

LASIN KEMIAA VERKOSSA

Anna Tähtivaara

Pro gradu –tutkielma

9.5.2008

Kemian opettajansuuntautumisvaihtoehto

Kemian koulutusohjelma

Matemaattisluonnontieteellinen tiedekunta

Helsingin yliopisto

Ohjaajat: Maija Aksela ja Timo Repo

Tiedekunta/Osasto – Fakultet/Sektion – Faculty		Laitos – Institution – Department	
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Kemian laitos	
Tekijä – Författare – Author			
Anna Tähtivaara			
Työn nimi – Arbetets titel – Title			
Lasin kemiaa verkossa			
Oppiaine – Läroämne – Subject			
Kemian opettajan suuntautumisvaihtoehto, epäorgaaninen kemia			
Työn laji – Arbetets art – Level	Aika – Datum – Month and year	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages	
Pro gradu –tutkielma	9.5.2008	75 + 2 + CD-ROM	
Tiivistelmä – Referat – Abstract			
<p>Eräs kemian opetuksen tehtävistä on herättää kiinnostusta kemiaa kohtaan. Sitä tukee esimerkiksi oppilaan arkipäivää lähellä olevan oppiaineen käyttö kemian opetuksessa. Lasin kemian avulla voidaan sekä lisätä oppilaiden kiinnostusta kemiaa kohtaan että tuoda esille kemian merkitys yhteiskunnalle ja ympäristölle. Vaikka lasi on vanha keksintö, se on edelleen ihmisille tärkeä materiaali. Lasin ajankohtaisia sovelluksia ovat esimerkiksi bioaktiivinen lasi ja itsensä pesevät ikkunat.</p> <p>Mielekkääseen kemian opetukseen ja opiskeluun tarvitaan uusia lähestymistapoja. Tieto- ja viestintäteknikka tarjoaa esimerkiksi uudenlaisia mahdollisuuksia mielekkään opetuksen järjestämiseen. Opetussuunnitelmien perusteet velvoittavat koulut perehdyttämään oppilaita tieto- ja viestintäteknikan käyttöön myös kemian opetuksessa. Näitä taitoja voidaan harjoittaa monissa eri oppiaineissa käyttämällä sopivia opetustapoja, esimerkiksi opiskelua verkko-oppimateriaalin avulla. Tieto- ja viestintäteknikkaa tulisi käyttää kemian oppimisen apuvälineenä entistä enemmän. Mielekäs verkon käyttö opetuksessa edistää oppimista. Verkossa on helppo yhdistää tekstiä, videoita ja kuvia samaan materiaaliin. Verkon käytön suurin etu on materiaalien helppo saatavuus.</p> <p>Tässä kehittämistutkimuksen tavoitteena oli tuottaa tutkimuspohjaisesti verkkopohjainen oppimateriaali, joka tukee lasin kemian opetusta mielekkäällä tavalla. Tutkimus sisälsi kaksi vaihetta: 1) tarveanalyysin ja 2) oppimateriaalin kehittämisen.</p> <p>Ensimmäisessä vaiheessa tutkittiin lasin kemian opetuksen nykytilaa ja haasteita perusopetuksen vuosiluokilla 7-9 ja lukiossa. Tämä toteuttiin voimassa olevien opetussuunnitelmien perusteiden mukaisten oppikirjojen sisällönanalyysinä. Toisessa vaiheessa kehitettiin lasin kemian verkko-oppimateriaali tarveanalyysin ja aikaisemman tutkimustiedon pohjalta. Lasin kemian opetustusta ei ole aikaisemmin Suomessa tutkittu.</p> <p>Tarveanalyysi osoitti, että lasin kemiaa on vähän esillä suomalaisessa kemian opetuksessa. Oppikirjoissa on vain vähän tietoa lasin kemiasta. Tiedon määrä vaihtelee kirjoittain ja usein se on hyvin pirstaleista. Tämän vuoksi yhdeksi oppimateriaalin tavoitteeksi asetettiin koota kattava tietopaketti lasin kemiasta. Materiaalin kehittämisessä otettiin huomioon mielekkään oppimisen kriteerit ja yleisiä hyvän verkko-oppimateriaalin kriteereitä.</p> <p>Tutkimuksen osana kehitetty verkko-oppimateriaali sisältää teoretietoa lasista, videoita sekä teoreettisia ja kokeellisia tehtäviä. Videoiden on tarkoitus tukea teoreettista oppimateriaalia. Ne muun muassa havainnollistavat lasin ominaisuuksia ja käsittelymahdollisuuksia. Oppimateriaalin linkkilistaan on koottu kohteita, joihin on mahdollista tehdä toiminnallisia opintokäyntejä lasin kemiaan liittyen. Oppimateriaali on tarkoitettu käytettäväksi perusopetuksen vuosiluokilla 7-9 ja lukiossa.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords			
Lasin kemia, kemian opetus, verkko, lukio, perusopetus			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited			
Helsingin yliopisto, kemian laitos, KEMMA, kemian opettajankoulutusyksikkö			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			
Ohjaajat: Maija Aksela ja Timo Repo			

Sisällys

1 JOHDANTO.....	1
2 LASIN KEMIA	3
2.1 LASIN MÄÄRITELMÄ	3
2.2 HISTORIA	4
2.3 RAKENNE JA OMINAISUUDET.....	6
2.3.1 Rakenne.....	7
2.3.1.1 Piidioksidilasi	8
2.3.1.2 Alkalisilikaattilasi	9
2.3.1.3 Alkali-maa-alkali-silikaattilasi	10
2.3.1.4 Borosilikaattilasi	11
2.3.2 Kemialliset ominaisuudet.....	12
2.3.3 Mekaaniset ominaisuudet.....	14
2.3.4 Muut fysikaaliset ominaisuudet.....	16
2.4 VALMISTUS	17
2.4.1 Raaka-aineet	18
2.4.2 Raaka-aineseoksen sulaminen.....	19
2.4.3 Selkeytys	21
2.4.4 Lasin työstömenetelmiä	22
2.4.4.1 Puhallus	22
2.4.4.2 Puristaminen	23
2.4.4.3 Float-lasi.....	23
2.4.5 Lasin jäädyttäminen ja jälkikäsitteily	24
2.4.6 Sol-gel menetelmä	25
2.5 LASILAATUJA	25
2.5.1 Sooda-kalkki-lasi	25
2.5.2 Lyijylasi	26
2.5.3 Borosilikaattilasi.....	26
2.5.4 Piidioksidilasi	27
2.5.5 Vesilasi.....	28
2.6 KÄYTTÖKOhteITA JA SOVELLUKSIA.....	28
2.6.1 Yleisesti tunnetut lasin käyttökohteet.....	28
2.6.2 Bioaktiivinen lasi.....	29
2.6.3 Fotokromaattinen lasi	32
2.6.4 Itsepuhdistuva lasi	33
2.7 KIERRÄTYS	35
2.7.1 Elinkaari.....	35
2.7.2 Lasin kierrätys	36
2.7.3 Lasivilla.....	38
3 LASIN KEMIA OSANA KEMIAN OPETUSTA	40
3.1 TAVOITTEET.....	40
3.2 AIHEKOKONAISUUDET	41
3.3 SISÄLLÖT	42
4 LASIN KEMIA VERKKO-OPETUKSENA	44
4.1 MÄÄRITELMÄ JA YLEISTÄ VERKKO-OPETUKSESTA	44
4.2 VERKKO-OPETUS LÄHIOPETUKSEN TUKENA.....	44

4.3 VERKKO-OPETTAMISEN EDUT JA HAASTEET	45
4.3 HYVÄ VERKKO-OPPIMATERIAALI	47
4.4 VIDEOIDEN KÄYTTÖ KEMIAN VERKKO-OPETUKSESSA	50
5 TUTKIMUS.....	53
5.1 TUTKIMUSKYSYMYKSET	53
5.2 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	53
6 TULOKSET	55
6.1 TARVEANALYYSI.....	55
6.2 VERKKO-OPPIMATERIAALI.....	61
7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	69
LÄHTEET	72
LIITTEET	76

1 Johdanto

Kemiaa on kaikkialla. Lasi on tuttu arkipäiväinen materiaali, jota löytyy joka puolelta ympäriltämme. Sen kemia on meitä jokaista lähellä. Lasi on vanha keksintö. Se on keksitty todennäköisesti jo ainakin 6000 vuotta sitten. Silti se tänäkin päivänä on ihmisille merkittävä materiaali. Lasille kehitellään koko ajan uusia käyttötarkoituksia perinteisten astioiden ja ikkunoiden rinnalle. Nykyään lasilla on merkittävä rooli esimerkiksi lääketieteessä.

Yhtenä kemian opetuksen tavoitteena on lisätä kiinnostusta kemiaa kohtaan. (Opetushallitus 2004, Opetushallitus, 2003) Kemian opetuksessa käytettävien opetusmenetelmien ja sisältöjen tulisi tukea tätä. Oppijan arkipäivää lähellä olevan oppiaineen on todettu lisäävään kiinnostusta kemiaa kohtaan (esim. Aksela & Juvonen, 1999; Lavonen et al. 2008). Tämän vuoksi lasin kemia on hyvä keino saada opiskelijat innostumaan kemiasta.

Kestävän kehityksen periaatteiden opetus kuuluu olennaisena osana kemian opetukseen. Opetuksessa tulisi käsitellä tuotteiden elinkaariin liittyviä prosesseja ja niiden vaikutuksia ympäristölle. Opiskelijoiden tulisi saada kemiallista tietoa, jonka pohjalta voivat tehdä päätöksiä kuluttajana. (Opetushallitus 2004, Opetushallitus, 2003) Lasin elinkaari on mielenkiintoinen esimerkki, koska lasia voidaan kierrättää loputtomasti.

Tämä tutkimus on tärkeä, koska aiempaa tutkimusta lasin kemian opetuksesta ei ole tehty. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää lasin kemian opetuksen nykytila perusopetuksen vuosiluokilla 7-9 ja lukiossa oppikirjojen sisällönanalyysin perusteella. Tämän jälkeen kehitettiin lasin kemian opetukseen soveltuva verkkopohjainen oppimateriaali. Oppimateriaalissa käsiteltävät aiheet valittiin siten, että ne tukevat opetussuunnitelmien perusteiden tavoitteita ja lisäävät kiinnostusta kemiaa kohtaan.

Oppimateriaali on opetuksen väline. Verkkopohjaisen oppimateriaalin etuna on muun muassa sen helppo saatavuus. Tämän tutkimuksen osana kehitetty lasin kemian verkko-oppimateriaali tarjoaa opettajille mahdollisuuden tutustua aiheeseen helposti ja käyttää oppimateriaalia opetuksensa tukena. Opetussuunnitelmien perusteiden mukaan (Opetushallitus 2004, Opetushallitus, 2003) opetuksen työtapojen tulee edistää tieto- ja

viestintätekniiikan käyttötaitoja. Verkko-opetusmateriaalin käyttö kemian opetuksessa tukee tähän tavoitteeseen pääsyä.

Tämä pro gradu -tutkielma koostuu rakenteellisesti kahdesta osasta: teoreettisesta viitekehyksestä ja tutkimusosasta. Teoreettisessa viitekehysessä käsitellään lasin kemiaa, opetussuunnitelmien perusteita aiheen osalta ja kemian verkko-opetusta. Tutkimusosassa esitetään tutkielman tutkimuskysymykset ja tutkimustulokset. Teoreettiseen viitekehukseen kuuluvat luvut 2-4. Tutkimusosaan kuuluvat luvut 5 ja 6.

Luvussa kaksi käsitellään lasin kemiaa. Luku alkaa lyhyellä katsauksella lasin historiaan. Sen jälkeen käsitellään lasin ominaisuuksia ja rakennetta. Luvun kaksi kolmannessa alaluvussa käydään läpi lasin valmistusta. Tämän jälkeen kerrotaan eri lasilaaduista, lasin käyttökohteista ja lasin kierrätyksestä. Luku kolme käsittelee voimassa olevia opetussuunnitelmien perusteita. Opetussuunnitelmista käsitellään kohtia, jotka liittyvät tutkittavaan aihealueeseen. Luvussa neljä käsitellään lasin kemian opetusta verkko-opetuksena. Aluksi esitetään määritelmiä, jonka jälkeen pohditaan verkko-opetuksen etuja ja haasteita. Lopuksi käsitellään vielä hyvän verkko-oppimateriaalin kriteereitä ja videoiden käyttöä kemian verkko-opetuksessa.

Luvussa viisi esitellään tutkimusta ohjaavat tutkimuskysymykset ja kerrotaan tutkimuksen kulusta. Luvussa kuusi käydään läpi tutkimuksen tuloksia ja luvussa seitsemän pohditaan tuloksia teoriaan peilaten sekä tehdään johtopäätöksiä.

2 Lasin kemia

Tässä kappaleessa kerrotaan lasista ja siihen liittyvästä kemiasta. Kappaleen sisältö on rajattu siten, että siinä esiintyvää teoriaa on käytetty hyödyksi tutkimuksen osana tehtyä oppimateriaalia toteutettaessa.

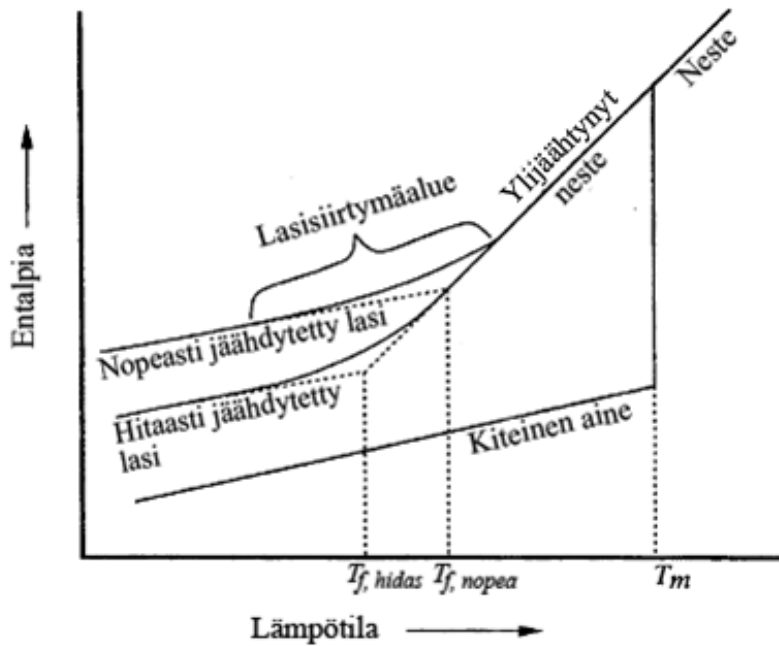
2.1 Lasin määritelmä

Lasi voidaan määritellä kiinteäksi aineeksi, jonka rakenneyksiköillä ei ole pitkän kantaman järjestystä tai sen rakenneyksiköillä ei ole tarkkaa järjestystä. Kemiallisesti lasit voivat koostua monista eri aineista. Ne voivat olla orgaanisia tai epäorgaanisia. Ne voivat koostua vain yhdestä oksidista (mm. piidioksidilasi) tai useammasta eri aineesta (mm. boraattilasi). Lasinmuodostajan ei edes tarvitse olla oksidi vaan lasi voi muodostua esimerkiksi vain yhdestä alkuaineesta (mm. seleeni) tai epäoksidoista (mm. halogenidilasi). (Volf, 1984) Kautta aikojen suurin osa ihmisten käyttämästä lasista on valmistettu piidioksidista. (Shelby, 2005)

Nesteen jäähdyttäminen sen sulamispisteen alapuolelle normaalisti aiheuttaa kiteytymisen. Kiteytymisen seurauksena entalpia laskee jyrkästi. Sulamispisteen alapuolelle jatkuva jäähdytys aiheuttaa edelleen entalpian laskua johtuen kiteiden lämpökapasiteetista. (Hüsing & Schubert, 2005)

Jos neste voidaan jäähdyttää alle sulamispisteen ilman kiteytymistä, saadaan alijäähtynyt neste. Lämpötilan laskiessa nesteen rakenne muuttuu edelleen, mutta entalpia ei laske jyrkästi johtuen epäjatkevasta rakenteen järjestäytymisestä. (Hüsing & Schubert, 2005)

Nesteen jäähtyessä sen viskositeetti kasvaa. Lopulta viskositeetti kasvaa niin suureksi etteivät atomit pysty enää täydellisesti järjestäytymään nesteen tasapainorakenteeseen. Entalpia alkaa poiketa tasapainotilan entalpiasta ja lopulta se määräytyy jäätyneen nesteen lämpökapasiteetin mukaan. Viskositeetti kasvaa niin suureksi että nesteen rakenteesta tulee muuttumaton eikä se ole enää riippuvainen lämpötilasta. Lämpötila- aluetta, joka on nesteen tasapainotilan entalpian ja jäätyneen nesteen entalpian välissä sanotaan lasisiirtymäalueeksi. (Hüsing & Schubert, 2005)



Kuva 1: Lämpötilan vaikutus entalpiaan lasia muodostavassa aineessa. T_m on sulamislämpötila. $T_{f, nopea}$ on lämpötila, jossa nopeasti jäähdytetyn nesteen rakenne jähmettyy. $T_{f, hidas}$ on lämpötila, jossa hitaasti jäähdytetyn nesteen rakenne jähmettyy. (Shelby, 2005)

Koska lasit voidaan valmistaa lukuisista eri lähtöaineista, ne ovat hyvin erilaisia. (Volf, 1984) Kaikilla laseilla on kuitenkin kaksi yhteistä ominaisuutta. Ensinnäkin niiden rakenneyksiköillä ei ole pitkän kantaman järjestystä eli ne ovat amorfisia. Toiseksi kaikilla laseilla on tietty alue, jolla tapahtuu muutos lasiksi eli lasisiirtymä. Nämä kaksi ehtoa määrittelevät mitä lasi on. (Shelby, 2005)

2.2 Historia

Lasia löytyi luonnosta jo kauan ennen kuin ihminen osasi valmistaa sitä. (Phillips, 1941). Luonnonlasia syntyy kun tiettytyyppiset kivet sulavat tulivuoren purkauksen, salaman tai meteoriitin iskun seurauksena. Tämän jälkeen ne jäähtyvät ja kiinteytyvät niin nopeasti, ettei kiteytymistä ehdi tapahtua. (Kolb & Kolb, 2000) Vulkaanista alkuperää olevaa lasia kutsutaan obsidiaaniksi ja se on yleisin luonnonlasi (Phillips, 1941). Kivikaudella obsidiaanista valmistettiin mm. työkaluja ja aseita (Matiskainen, 1994).

Lasin keksimisen ajankohdasta tai tapahtumista ei ole tarkkaa tietoa. Roomalaisen historioitsija Pliniuksen mukaan lasin keksivät foinikialaiset kaupppamiehet. (Phillips, 1941) Kaupppamiehet yöpyivät rannalla ja käyttivät mukanaan olleita suolalohkareita (soodapitoisia) keittoastioidensa tukena. Nuotiotulen kuumuus sai lohkkareet sulamaan ja sekoittumaan rantahieman kanssa, jolloin syntyi lasia. Lasi, kuten monet muutkin materiaalit, on keksitty vahingossa. (Matiskainen, 1994) Tämän arvellaan tapahtuneen noin 6000 vuotta sitten (Roberts, 1998).

Pitkän aikaa tätä tarinaa ei pidetty kovinkaan uskottavana. Myöhempien kokeiden perusteella on kuitenkin todettu, että lasia voidaan tosiaan valmistaa kyseisellä menetelmällä. (Phillips, 1941) Myös materiaalien saatavuutta voidaan pitää realistisena (Matiskainen, 1994).

Lasi on voitu keksiä myös muiden sattumien kautta. Keramiikkaa valmistettiin jo noin 8000 vuotta sitten. Keraamisten astioiden poltossa on voinut syntyä lasitteita, joiden huomaaminen on saattanut johtaa lasin keksimiseen. Myös metalleita sulattaessa syntyy lasitteita ja kuonaa, joka on lasin kaltaista. Tämäkin on voinut johtaa lasin keksimiseen. (Matiskainen, 1994)

Lasin valmistuksen alkuaikoina lasi oli arvokas materiaali ja siihen oli varaa vain erittäin rikkailla. (Kolb & Kolb, 1979) Ensimmäiset lasista tehdyt esineet olivat lasihelmiä. Niitä tehtiin Egyptissä jo 3000 vuotta eKr. (Matiskainen, 1994)

Myöhemmin egyptiläiset kehittivät ns. hiekkasydäntekniikan, jolla he pystyivät valmistamaan esimerkiksi pulloja ja purkkeja. Hiekasta ja savesta muotoiltiin metallipiikin ympärille astian sydän. Sydämen päälle pyöriteltiin toisen metallipiikin avulla sulaa lasia ohuina nauhoina. Lasinauhoja pyöriteltiin sydämen ympärille kunnes ne muodostivat ehjän pinnan. Jäähdytyksen jälkeen hiekkasydän kaiverrettiin pois. (Matiskainen, 1994)

Lasinpuhallus keksittiin noin 50 eKr, todennäköisesti Välimeren alueella. Se syrjäytti nopeasti hiekkasydäntekniikan. (Hudson, 1995) Lasinpuhallustaito muutti lasiteollisuutta merkittävästi. Lasi ei ollut enää pelkästään ylellisyystavaraa vaan se muuttui arkipäiväisemmäksi. Lasinpuhallus mahdollisti esimerkiksi uusia muotoja lasiastioille. Lasinpuhallustaidon keksimisen jälkeen pystyttiin tekemään symmetrisiä ja isompia esineitä, joilla oli ohuet seinät (Kolb & Kolb, 2000). Puhallusmenetelmä myös

helpotti ja nopeutti työskentelyä. Lasiesineitä voitiin tuottaa huomattavasti suurempia määriä. (Phillips, 1941)

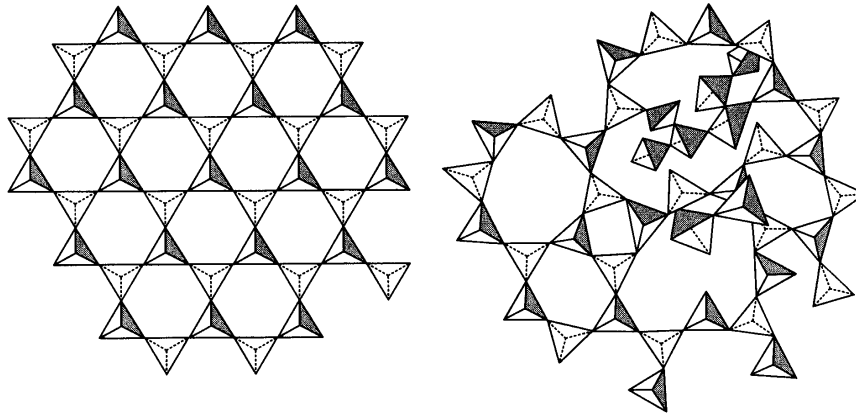
Merkittäviä keksintöjä lasilaatuja ajatellen ovat lyijylasi ja borosilikaattilasi. Lyijylasi keksittiin 1600-luvun loppupuolella. Aluksi lyijylasia käytettiin lähinnä lasiesineiden valmistukseen, sen helpon työstettävyyden ja loiston vuoksi. Myöhemmin myös muita lyijylasin ominaisuuksia opittiin käyttämään hyödyksi. (Klein & Lloyd, 1991)

Michael Faraday lisäsi boorioksidia lasin raaka-aineseokseen 1800-luvulla, mutta borosilikaattilasi tuli kaupalliseen käyttöön vasta 1900-luvun alussa. Ensimmäisiä borosilikaattilasin valmistajia oli Corning Glass Works, joka kehitti tuotemerkin Pyrex[®]. Siitä on tehty muun muassa uuninkestäviä astioita. (Phillips, 1941)

Suomeen lasia kulkeutui myöhäisrautakaudella viikinkien mukana. Ristiretkien jälkeen Suomessa alettiin rakentaa kirkkoja. Kirkkoihin toimitettiin ikkunalasia Euroopasta. Ensimmäinen maininta lasimestarista on Naantalista vuodelta 1449. 1600-luvulla Turussa asui jo n. 25 lasimestaria. Porvarit olivat ensimmäisiä, jotka hankkivat koteihinsa ikkunoita. Lasilla korvattiin käytössä olleet kalvot ja kiilleliuskelevyt. Suomen ensimmäinen lasitehdas perustettiin Uuteenkaupunkiin vuonna 1681, mutta se tuhoutui tulipalossa jo vuonna 1685. (Matiskainen, 1994)

2.3 Rakenne ja ominaisuudet

Lasi on erikoinen materiaali. Se on huoneenlämmössä kiinteässä olomuodossa, mutta sen rakenne ei ole kiteinen niin kuin kiinteiden aineiden yleensä. Lasilla ei ole säännöllistä kiderakennetta eli se on amorfina aine. (Kolb & Kolb, 1979)



Kuva 2: Kiteinen piidioksidi ja amorfinen piidioksidi. (Hüsing & Schubert, 2005)

Koska lasissa ei ole pitkällä kantamalla toistuvaa rakennetta, siitä ei löydy kahta täysin samanlaista pistettä. Lasin rakenteessa on heikompia ja vahvempia kohtia. Heikommissa kohdissa hajoaminen tapahtuu alhaisemmissa lämpötiloissa kuin vanhemmissa kohdissa. Koska lasi hajoaa eri kohdista eri lämpötiloissa, se pehmenee asteittain, eikä sillä ole tarkkaa sulamispistettä kuten kiteisillä aineilla. (Warren, 1940)

Lasin ominaisuuksia voi muuttaa vaihtamalla sen koostumusta, valmistusmenetelmää tai molempia. Lasin mitkään ominaisuudet (mekaaniset, kemialliset, jne.) eivät kuitenkaan esiinny yksinään vaan lasilla on aina tietty yhdistelmä ominaisuuksia. Yleensä yhtä ominaisuutta ei voida muuttaa muuttamatta toistakin. (Corning Museum of Glass, 2008)

Monet lasin ominaisuuksista johtuvat diffuusiosta tai atomien ja ionien kulkeutumisesta lasin verkkorakenteen läpi. Esimerkkejä tästä ovat sähkönjohtavuus ja liukeneminen, joita käsitellään tulevissa kappaleissa. (Shelby, 2005)

2.3.1 Rakenne

Vaikka lasista puuttuu pitkän kantaman järjestys, sillä on kuitenkin rakenne, joka vaikuttaa sen ominaisuuksiin. Eri tehtaissa valmistetut lasinäytteet, joilla on sama nimellinen koostumus ja jotka ovat anneloitu eli kuumakäsitelty samalla tavoin, ovat lähes identtiset. (Shelby, 2005)

Lasin rakennetta ei voida kuvata tietyllä yksittäisellä rakenteella, koska se ei pitäisi paikkaansa edes yhden näytteen sisällä. Sen sijaan on käytettävä idealisoituja rakenteita.

Rakennemalleissa tulisi esiintyä tietyt elementit. Niitä ovat esimerkiksi lasiverkon kationien koordinaatioluku, sidoskulmien jakauma, verkon liitettävyyden ja verkon ulotteisuus. (Shelby, 2005)

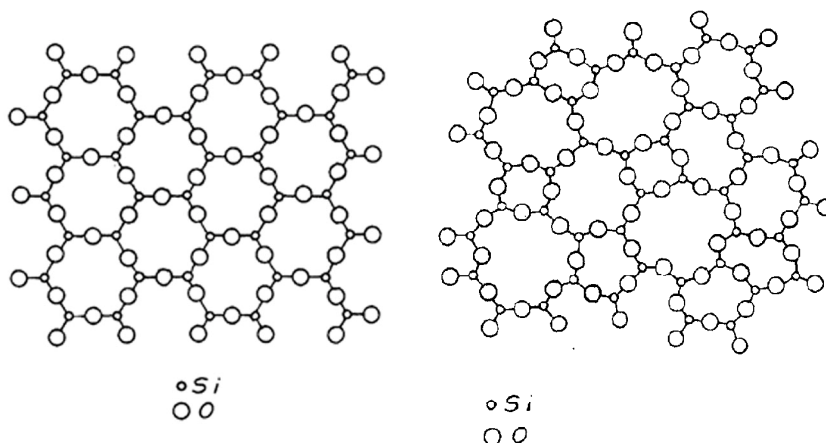
Lasia sanotaan usein alijäähtyneeksi nesteeksi. Lasissa jokaisella atomilla on pysyvä naapuriatomi melko määrättyllä etäisyydellä. Nesteessä sen sijaan minkä tahansa atomin tai molekyylin naapuriatomit vaihtuvat koko ajan. (Warren, 1940)

Seuraavissa kappaleissa käsitellään tarkemmin piidioksidi- ja borosilikaattilasien rakennetta, koska ne ovat yleisesti käytössä olevia lasia.

2.3.1.1 Piidioksidilasi

Piidioksidilasin verkkorakenteen päärakennusyksikkö on pii-happi tetraedri (SiO_4^{4-}). Piin koordinaatioluku on tässä 4. Nämä tetraedrit ovat liittyneet muihin molekyyliin tai atomeihin kaikista neljästä kulmasta, muodostaen kolmiulotteisen verkkorakenteen. Jokainen happiatomi on liittynyt kahteen piiatomiin. (Shelby, 2005)

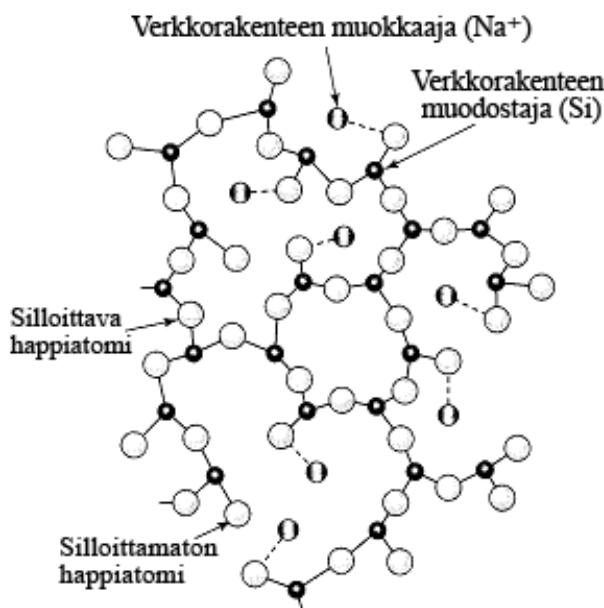
Lasin jokaisella atomilla on tietty määrä lähimpiä naapuriatomeja tietyllä etäisyydellä. Mikään rakenneyksikkö ei toistu identtisesti tasaisin välein kolmessa ulottuvuudessa, jonka vuoksi lasi ei ole kiteinen aine. (Warren, 1940) Rakenteen epäjärjestys johtuu vaihtelevista Si-O-Si sidoskulmista. Lisää epäjärjestystä aiheuttaa sidosten pyöriminen. Näin lasiin muodostuu rengasrakenteita kolmesta tai useammasta tetraedristä ja niiden väleihin eri kokoisia ja muotoisia koloja. (Shelby, 2005)



Kuva 3: Kaksiulotteinen esitys kiteisen piidioksidin ja piidioksidilasin rakenteesta. Neljäs happi olisi kunkin piin päällä. (Tiede, 1982)

2.3.1.2 Alkalisilikaattilasi

Alkalisilikaattilasin rakenne on lähes samanlainen kuin piidioksidilasin, mutta sen verkkorakenteessa on aukkoja (Shelby, 2005). Jokainen piiatomi on tetraedrisesti neljän hapen ympäröimä. Rakenteessa olevat aukot johtuvat hapen ainemäärän lisääntymisestä suhteessa piin ainemäärään. Alkalioksidin mukana tulee koostumukseen lisää happea, jolloin hapen ainemäärä nousee yli kaksinkertaiseksi verrattuna piin ainemäärään. Tällöin osa happiatomeista joutuu sitoutumaan vain yhteen piiatomiin. (Warren, 1940) Sanotaan, että rakenteessa on happiatomeja, jotka eivät muodosta siltoja, ns. silloittamattomia happiatomeja. Jokaisen tällaisen happiatomin on liityttävä lähellä olevaan alkali-ioniin, jotta rakenne säilyisi varauksettomana. Alkali-ionit ovat löyhästi kiinnittyneitä verkkorakenteen aukoihin ja vähentävät näin rakenteen vapaata tilaa. (Shelby, 2005) Niitä ympäröi noin kuusi happiatomia (Warren, 1940).



Kuva 4: Kaksiulotteinen esitys natriumsilikaattilasin rakenteesta. Neljäs happi olisi kunkin piin päällä. (Hummel, 1998)

Vaikka alkalisilikaattilasin rakenne on täysin määritelty, se ei ole järjestäytynyt pitkällä kantamalla, joten rakenne ei ole kiteinen. Tästä johtuen alkalisilikaattilasilla ei ole tarkkaa kemiallista koostumusta. (Warren, 1940)

Lasin rakenne vaikuttaa sen ominaisuuksiin. Alkalisilikaattilasin ominaisuudet poikkeavat piidioksidilasin ominaisuuksista katkeilevan verkkorakenteen vuoksi.

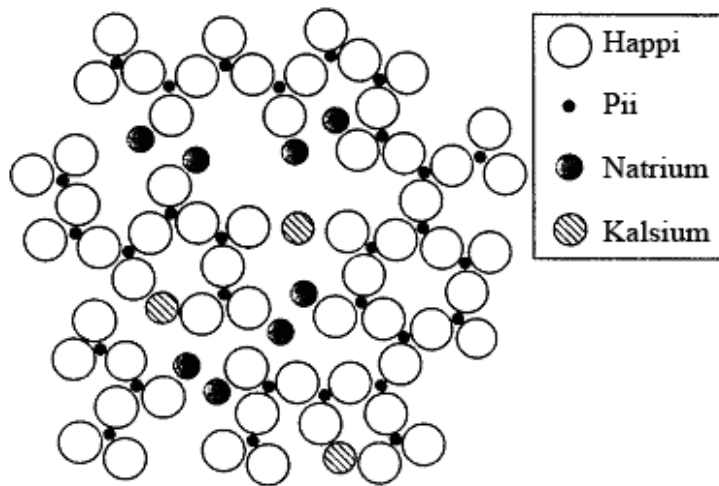
Alkalisilikaattilasilla on mm. pienempi viskositeetti ja alhaisempi lasisiirtymälämpötila (n. 500°C) kuin piidioksidilasilla. Lasin tiheys, taitekerroin, lämpölaajenemiskerroin ja sähköjohtavuus kasvavat alkalioksidikonsentraation kasvaessa. (Shelby, 2005)

Alkalioksidin lisääminen piidioksidilasiin aiheuttaa lasin pehmenemisen, koska hapen määrän kasvaessa osa rakenteen happiatomeista pystyy sitoutumaan vain yhteen piiatomiin. Jokainen tällainen happiatomi tarkoittaa yhtä katkosta tai heikkoa kohtaa vahvassa kolmiulotteisessa pii-happi-verkkorakenteessa. Mitä enemmän aukkoja, sitä heikompi lasi on ja sitä alhaisemmassa lämpötilassa lasia voidaan työstää. (Warren, 1940)

Alkalisilikaattilasien sähköjohtavuus on seurausta alkali-ionien diffuusiosta (Shelby, 2005). Pii-happi-verkkorakenteen atomit värähtelevät paikkansa nähden lämpöliikkeestä johtuen. Sähkökentän vaikutuksesta löyhästi sitoutuneet natriumionit voivat siirtyä verkkorakenteen kolosta toiseen. (Warren, 1940) Alkalioksidin ainemäärän kasvaessa myös sähkönjohtavuus kasvaa (Shelby, 2005).

2.3.1.3 Alkali-maa-alkali-silikaattilasi

Alkali-maa-alkali-silikaattilasia sanotaan yleisesti soodakalkkilasiksi. Sen rakenne on lähes samanlainen kuin alkalisilikaattilasien. Soodakalkkilasissa osa paremmin liikkuvista alkali-ioneista on korvattu huonommin liikkuvilla kahdenarvoisilla maa-alkali-ioneilla. Seurauksena on parempi kemiallinen kestävyys. Lisäksi ionien merkitys sähköjohtavuuden kannalta pienenee. (Shelby, 2005)



Kuva 5: Kaksiulotteinen esitys sooda-kalkki-silikaattilasista. Neljäs happi olisi kunkin piin päällä. (Shelby, 2005)

2.3.1.4 Borosilikaattilasi

Boorioksidi (B_2O_3) muodostaa helposti lasia. Puhtaassa boorioksidilasissa jokainen boori on kolmen happiatomin ympäröimä (tasokolmio) ja jokainen happi on sitoutunut kahteen booriin. (Warren, 1940)

Myös boorioksidipiidioksidilasin eli borosilikaattilasin rakenteessa jokainen boori on sitoutunut kolmeen happiatomiin tasokolmion muotoon. Jokainen piiatomi on tetraedrisesti sitoutunut neljään happiatomiin ja jokainen happiatomi on sitoutunut kahteen kationiin, joko kahteen booriin tai kahteen piihin tai booriin ja piihin. Rakenne on kolmiulotteinen satunnainen verkkorakenne. (Warren, 1940)

Boorioksidin lisääminen piidioksidiin saa aikaan pehmeämmän lasin. Lasissa pii on sitoutunut tetraedrisesti. Lisättäessä boorioksidia, booriatomit korvaavat rakenteessa osan piiatoimeista. Boori sitoo muun rakenteen vain kolmeen suuntaan, mikä tekee rakenteesta heikomman. (Warren, 1940)

Boori voi muodostaa sekä tasokolmion BO_3 että tetraedrin BO_4 . Sekä kiteinen että amorfinen boorioksidi koostuu vain tasokolmioista. Kun boorioksidia sisältävään lasiin lisätään alkalioksideja, tasokolmiot (BO_3) muuttuvat tetraedreiksi (BO_4) reaktioyhtälön 1 mukaisesti. (Hüsing & Schubert, 2005)



Seuraus on vastakkainen kuin alkalioksidin lisäämisellä piidioksidilasiin. Boorin koordinaatioluku kasvaa ja sidosten lukumäärän lisääntyminen aiheuttaa lasin vahvistumisen. (Warren, 1940)

2.3.2 Kemialliset ominaisuudet

Vaikka lasin yleensä ajatellaan olevan inertti materiaali, monet lasit ovat kemiallisesti reaktiivisia (Fine, 1991). Lasi on erittäin kestävä, koska siinä kemialliset muutokset ovat hyvin vähäisiä. Voidaan sanoa, että lasin kemiallinen kestävyys on sen kykyä vastustaa veden, ilmakehän aineiden (lähinnä vesi ja hiilidioksidi) ja happojen, emästen sekä suolojen vesiliuosten aiheuttamaa korroosiota. Vaikka lasien vastustuskyky yleisesti ottaen on hyvä, se on riippuvainen lasin koostumuksesta. (Phillips, 1941)

Jos lasissa on alkali-ioneita tai muita hyvin liikkuvia ioneja, tapahtuu ioninvaihtoa. Ioninvaihto tapahtuu liikkuvien ionien ja protonisten aineiden, kuten oksoniumionin (H_3O^+), välillä. Neste voi hyökätä myös suoraan verkkorakenteen sidoksiin siten, että ainesosien konsentraatiosuhteet ovat samat nesteessä ja lasissa. Tällöin puhutaan kongruentista liukenemisestä. Ioninvaihtoa voi tapahtua joko nesteen tai vesihöyryn läsnäollessa. Kongruenttia liukenemistä sen sijaan tapahtuu vain nesteen läsnäollessa. Kongruenttia liukenemistä tapahtuu yhtä aikaa ioninvaihdon kanssa. (Shelby, 2005)

Happamissa liuksissa lasin pinnassa olevat alkali-ionit korvautuvat helposti liuoksen H^+ -ioneilla. Ioninvaihdosta lasin pinnalle muodostuu kirjava liukoinen kerros. (Fine, 1991)

Sitä vastoin altistuminen emäksiselle liukselle voi aiheuttaa lasin rakenteen rikkoutumisen. OH^- -ionit voivat lopulta aiheuttaa lasin täydellisen hajoamisen. Esimerkkinä emäsliuoksen vaikutuksesta on lasiastioiden pitkäaikainen altistuminen astianpesuaineelle. Tästä aiheutuu valkoinen kalvo lasin pintaan. (Fine, 1991)

Myös vesi tai vesihöyry reagoivat lasin kanssa. Reaktiosta aiheutuu hydratoitunut piidioksidikerros. Se ilmenee lasin pinnassa olevana valkoisena kerroksena. Tästä voi seurata muita kemiallisia reaktioita, kuten metalli-ionien huuhtoutumista tai hiilidioksidin hyökkäys. Tämän seurauksena lasi heikkenee edelleen, joka näkyy kuorutuksen lisääntymisenä tai kuoppina. (Hawkes, 2000)

Kun esimerkiksi soodakalkkilasi altistuu vedelle natriumsilikaatti huuhtoutuu lasista ja hydrolysoituu. (Shelby, 2005)



Syntyneessä liuoksessa on natriumhydroksidia (NaOH) ja kolloidista silikaattihappoa ($[SiO_x(OH)_{4-2x}]_n$). Olosuhteista riippuen natriumhydroksidiliuos voi olla väkevä tai laimea. Jos liuos on väkevä, se voi hyökätä lasiin voimakkaasti aiheuttaen pysyvän himmeän tahran. (Phillips, 1941)

Jos lasi altistuu samalla hiilidioksidille (CO_2), kemialliset reaktiot jatkuvat. Hiilidioksidi ja natriumhydroksidi reagoivat keskenään muodostaen natriumkarbonaattia (Na_2CO_3). (Shelby, 2005)



Sitä kerääntyy lasin pintaan valkoiseksi saostumaksi. Natriumkarbonaatti lähtee pesemällä. Pesun jälkeen lasin pintakerros on haurastunut ja lasin luontainen kirkkaus on pysyvästi himmentynyt. (Phillips, 1941)

Lasin hajoaminen jatkuu, kunnes se on täysin hajonnut. Hajoamisnopeus riippuu mm. lasin koostumuksesta. Esimerkiksi sooda ja kalkki ovat melko huonosti liukenevia. Ne muodostavat lasin pintaan suojaavan kerroksen, joka hidastaa syöpymistä. (Phillips, 1941)

Myös olosuhteet vaikuttavat liukenemisnopeuteen. Jos liuoksen tilavuus on suuri verrattuna lasin pinta-alaan tai jos liuos vaihdetaan useasti, liuos pysyy laimeana ja pH vakiona. Jos taas liuoksen tilavuus on pieni verrattu lasin pinta-alaan, ioninvaihto aiheuttaa nopean pH:n nousun liuoksessa. Korkeassa pH:ssa piidioksidi liukenee nopeammin, joten lasikin liukenee paremmin. Yleensä pH:n hyvin korkea tai hyvin alhainen arvo nopeuttavat lasin liukenemistä. (Shelby, 2005)

Diffuusion ansioista monet kaasut pääsevät kulkemaan lasin läpi. Kaasut voivat läpäistä lasia nopeudella, jolla on merkitystä käytännön sovellusten kannalta. Esimerkiksi helium läpäisee monia laseja, joista tehdään vakuumiputkia. Vety pelkistää ioneita läpäistessään lasia. Tästä voi aiheutua lasin värjäytymistä. Happi pystyy läpäisemään

hehkulampun ohuen seinämän. Lampun sisällä se reagoi hehkulangan materiaalin kanssa ja aiheuttaa lampun hajoamisen. (Shelby, 2005)

Kaasun läpäisevyyden vaikuttaa moni tekijä. Mitä suurempi diffundoitava atomi tai molekyyli on, sitä huonommin se läpäisee lasia. Lasin koostumuksen vaikutusta kaasujen läpäisevyyden on tutkittu heliumin avulla. Läpäisevyys laskee stabilisaattori-ionien (esim. Ca^{2+}) konsentraation kasvaessa. Stabilisaattorit sijoittuvat verkkorakenteen koloihin ja näin sulkevat diffuusioreittejä. Faasien erottuminen vaikuttaa merkittävästi heliumin läpäisevyyteen lasissa. Koska kaasuatomit tai -molekyylit diffundoituvat nopeammin lasissa, jossa ei ole stabilisaattori-ioneja, diffundoituminen tapahtuu sen faasin kautta, jossa ei ole näitä ioneja. Tärkeää kaasun läpäisevyyden kannalta on stabilisaattorivapaan faasin hyvä kytkeytyminen. (Shelby, 2005)

2.3.3 Mekaaniset ominaisuudet

Mekaaniset ominaisuudet liittyvät materiaaliin vaikuttaviin voimiin ja näiden voimien aiheuttamiin vaikutuksiin materiaalissa.

Lasi on täysin elastinen murtoon saakka. Ulkoisilla voimilla voidaan aiheuttaa lasiin jännityksiä. Elastisena materiaalina lasi vastustaa näitä jännityksiä luomalla sisäisiä palauttavia voimia. Kun lasia taivutetaan tai venytetään, se palautuu alkuperäiseen muotoonsa vaikuttavan voiman poistuttua. Jos voima on tarpeeksi suuri, lasi rikkoutuu. Vaikka lasi hajoaa, siihen ei jää jälkiä pysyvistä muodonmuutoksesta. (Phillips, 1941)

Lasi on hauras materiaali. Hauraudelle ei ole tarkkaa määritelmää, mutta Preston on asettanut hauraalille materiaalille neljä vaatimusta.

1. Materiaalissa ei tapahdu venymistä ennen murtumista.
2. Materiaalilla on oltava suuri kimmokerroin.
3. Materiaalilla on oltava melko korkea veto-/murtolujuus.
4. Materiaalin pitää pystyä muodostamaan haarautuvia murtumia sisäisen jännityksen vaikutuksesta. Yksittäisen halkeaman on kyettävä muodostamaan säteilypiste muille haarautuville halkeamille, kun alkuperäinen halkeama etenee materiaalissa. (Phillips, 1941)

Koska lasi on haurasta, se hajoaa helposti suurien lämmön vaihteluiden seurauksena. (Shelby, 2005)

Lasin materiaalina ajatellaan olevan kovaa. Materiaalin sanotaan olevan kovaa, jos se vastustaa muodonmuutosta, kun sitä yritetään paikallisesti muovata. Lasin kovuus määräytyy verkkorakenteen muodostavien sidosten vahvuuden ja lasin rakenteen perusteella (Shelby, 2005). Sen kovuutta kuvataan Mohsin asteikoilla. Asteikon avulla voidaan määrittää suhteellinen kovuus, ei absoluuttista arvoa. (Phillips, 1941)

Mohsin asteikko perustuu kymmenen mineraalin kovuuteen. Mineraaleille on annettu jokaiselle arvo väliltä 1-10 vertaamalla niiden kovuutta toisiinsa. Kovin eli numero 10 on timantti ja pehmein eli numero 1 on talkki. Kovempi mineraali naarmuttaa aina pehmeämpää. Tutkittavan aineen kovuus määritellään naarmuttamalla sitä asteikon mineraaleilla. Näin saadaan selville mihin väliin se kuuluu. (Phillips, 1941) Oksidilasit sijoittuvat Mohsin asteikolla arvojen 5 ja 7 väliin. Ne naarmuttavat apatiittia, mutta eivät kvartssia. (Shelby, 2005)

Toinen tapa kuvata lasin kovuutta on Vickers-kovuus. Oksidilasien Vickers-kovuus vaihtelee kahden ja kahdeksan GPa:n välillä. Timantin kovuus tällä asteikolla on n. 100 GPa. (Shelby, 2005)

Lasin murtolujuus vaihtelee riippuen pintakäsittelystä, kemiallisesta ympäristöstä ja mittaustavasta. Lasin koostumus ei vaikuta lujuuteen. Lasin todelliset lujuudet ovat yleensä paljon pienempiä kuin teoreettiset lujuudet. Pinnan viat heikentävät merkittävästi lasin todellista lujuutta. Vikojen vuoksi lasiin keskittyy jännityksiä tiettyihin kohtiin. Kun nämä jännitykset kasvavat suuremmiksi kuin teoreettinen lujuus, lasi murtuu. Viat eivät ole lasille synnynnäisiä, vaan aiheutuvat ulkoisten tekijöiden takia. Lasin kovuus vaikuttaa sen todelliseen lujuuteen, koska kova lasi vastustaa paremmin vikojen syntymistä. (Shelby, 2005)

Normaaleissa ympäristöolosuhteissa lasin lujuus heikkenee ajan myötä. Tämä johtuu lasin vuorovaikutuksesta ympäröivän ilmakehän kanssa. Alituisen paineen alla lasiin syntyy säröjä. Ilmiötä kutsutaan staattiseksi väsymiseksi. Dynaaminen väsyminen sen sijaan liittyy hetkelliseen kuormituksen muutokseen. Kun kuormitusta nostetaan nopeasti, murtolujuus on suurempi kuin jos sitä olisi nostettu hitaasti. (Shelby, 2005)

2.3.4 Muut fysikaaliset ominaisuudet

Lasit ovat huonoja sähkönjohteita huoneenlämmössä. Osa laseista on kuitenkin parempia eristeitä kuin toiset. Suurin osa laseista on ionijohteita ja vain muutamat elektronijohteita. (Shelby, 2005)

Ioneja johtavissa laseissa sähkönjohtavuus riippuu ionien liikkuvuudesta. Kooltaan ja varaukseltaan pienemmät ionit pääsevät liikkumaan helpommin. Lasit, joissa on paljon yhdenarvoisia ioneita, ovat huonoja eristeitä. Hyviä eristeitä taas ovat lasit, joissa ei ole yhdenarvoisia ioneita. (Shelby, 2005)

Lasin sähkönjohtavuus riippuu myös varausten kuljettajien konsentraatiosta. Konsentraation kasvaessa sähkönjohtavuus paranee. Laseilla, joiden koostumuksessa on kahta tai useampaa alkalioksidia, vaikutus ei ole näin suoraviivainen. Vaikka alkalioksidien kokonauskonsentraatio pysyy vakiona, tietyn alkalioksidin suhde alkalioksidien kokonauskonsentraatioon vaikuttaa sähkönjohtavuuteen. Syytä tähän ei tarkasti tiedetä. Diffuusiokertoimia tutkittaessa on kuitenkin huomattu, että jokainen kerroin pienenee monotonisesti toisen alkali-ionin konsentraation kasvaessa. (Shelby, 2005)

Jos alkali-ioneita sisältävään lasiin lisätään maa-alkalioksidia, sähkönjohtavuus ja alkali-ionien diffuusiokyky heikkenee. Tämä johtuu liikkumattomista kahdenarvoisista ioneista, jotka varaavat koloja verkkorakenteesta. Koloja ei voida enää käyttää alkali-ionien siirtymiseen, koska kahden arvoiset ionit eivät liiku niistä. (Shelby, 2005)

Morfologialla voi olla suuri vaikutus lasin sähkönjohtavuuteen. Sähkönjohtavuus on odotettua huonompi, jos alkali-ionit ovat eristäytyneenä huonommin johtavassa faasissa. Jos nämä eristäytyneet osat liittyvät yhteen, muodostuu hyvin sähköä johtava faasi ja lasin sähkönjohtavuus paranee. (Shelby, 2005)

Kiteytyminen voi vaikuttaa lasin sähkönjohtokykyyn. Vaikutus riippuu kuitenkin kiteisen faasin koostumuksesta. Jos kiteytyminen poistaa alkali-ioneita jäljelle jäävästä lasista, se heikentää sähkönjohtavuutta. Jos kiteinen faasi ei sisällä alkali-ioneita, kiteytyminen parantaa lasin sähkönjohtokykyä. (Shelby, 2005) Alla olevassa taulukossa on esitetty kolmen eri lasin sähkönjohtavuus.

Taulukko 1: Esimerkkejä joidenkin lasien sähkönjohtavuudesta. (Callister, 1999)

Lasi	Sähkönjohtavuus (Ωm) ⁻¹
Soodakalkkilasi	10^{-10} - 10^{-11}
Boorisilikaattilasi	$\sim 10^{-13}$
Piidioksidilasi	$< 10^{-18}$

Vain muutamat kiinteät aineet läpäisevät valoa näkyvän valon aallonpituuksilla. Lasi on yksi niistä. Optisten ominaisuuksiensa vuoksi sille löytyy monia eri käyttökohteita, kuten ikkunat, lamput, optiset kuidut ja kristalliastiat. (Shelby, 2005)

Lasin taitekerroin on yksi sen mitatuimmista ominaisuuksista. Sen perusteella voidaan usein päätellä onko kyseinen lasi sopiva haluttuun käyttötarkoitukseen. Taitekerroin n määritellään seuraavasti:

$$n = \frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r}$$

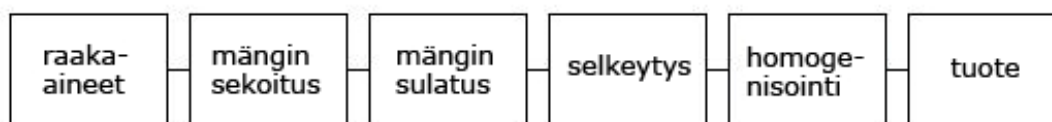
, missä θ_i on tulokulma ja θ_r on taitekulma. Taitekerroin ei ole vakio, vaan riippuu tulevan valon aallonpituudesta. (Shelby, 2005)

Lasin taitekerroin määräytyy valon vuorovaikutuksesta lasin atomien elektronien kanssa. Jos ionien elektronitiheys tai polaroituvuus kasvaa, taitekerroin suurenee. (Shelby, 2005)

Lasin anioneilla on merkittävä vaikutus taitekertoimeen. Vähemmän polarisoivan ionin vaihto enemmän polarisoivaan ioniin, kasvattaa taitekerrointa ja päinvastoin. Ei-silloittavat happiatomit ovat polarisoivampia kuin silloittavat. Jos lasin koostumusta muutetaan siten, että muodostuu enemmän ei-silloittavia happi-atomeita, taitekerroin kasvaa. Myös lasin tiheys vaikuttaa sen taitekertoimeen. Tiheyden kasvaessa taitekerroin kasvaa. (Shelby, 2005)

2.4 Valmistus

Lasia voidaan nykyään valmistaa monin eri menetelmin. Yleisin tapa on sulattaa raaka-aineseos eli mänki ja jäähdyttää se. Mänkiä varten on valittava käytettävät aineet ja laskettava niiden suhteelliset osuudet haluttua lasilaatua varten. Raaka-aineet punnitaan ja sekoitetaan siten, että saadaan homogeeninen seos. Seoksen sulaessa siinä tapahtuu monia kemiallisia ja fysikaalisia muutoksia. (Shelby, 2005, s. 26)



Kuva 6: Kaavio lasin valmistuksesta.

2.4.1 Raaka-aineet

Mängin aineet voidaan jakaa viiteen luokkaan niiden tehtävän perusteella: lasinmuodostajat, liuottajat, stabilisaattorit, väriaineet ja selkeyttämisaineet. Lasin tärkein osa on lasinmuodostaja. Se muodostaa lasin verkkorakenteen. Yleisimpiä lasinmuodostajia ovat piidioksidi (SiO_2), boorioksidi (B_2O_3) ja fosforioksidi (P_2O_5). Kaupallisen lasin käytetyin lasinmuodostaja on piidioksidi. (Shelby, 2005) Piidioksidin lähteenä voidaan käyttää tavallista hiekkaa. (Kolb & Kolb, 1979)

Piidioksidin hyvät lasinmuodostusominaisuudet johtuvat kahdesta sen ominaisuudesta. Ensinnäkin piillä on jopa sulana suuri taipumus ympäröidä itsensä neljällä happiatomilla. Seurauksena tästä jokainen happi pyrkii sitoutumaan kahteen piiatomiin ja massalla on suuri viskositeetti. Sulassa massassa nämä sidokset katkeavat ja muodostuvat koko ajan. Silti sitoutumisesta aiheutuu suuri viskositeetti, jonka vuoksi atomit eivät pysty muodostamaan järjestäytyneitä rakennetta. Tällaista rakennetta vaadittaisiin, jotta kiteytyminen voisi tapahtua. Toiseksi, koska happi sitoutuu vain kahteen piiatomiin, rakenne on hyvin joustava. Tästä johtuen se on lähes yhtä stabiili kuin kiteinen rakenne. Joustavuus mahdollistaa satunnaisten sidosten muodostumisen ja olemassaolon sulassa massassa. (Warren, 1940)

Pelkästään piidioksidista valmistetun lasin kustannukset olisivat liian suuret peruslasitavaroiden valmistukseen, piidioksidin korkean sulamispisteen takia (yli 1700°C). Tämän vuoksi käytetään liuottajia. Ne alentavat mängin sulamiseen tarvittavaa lämpötilaa. Yleisimpiä liuottajia ovat alkalioksidit, kuten sooda eli natriumkarbonaatti (Na_2CO_3). (Shelby, 2005)

Liuottajien käytön seurauksena monet lasin ominaisuuksista kärsivät, erityisesti kemiallinen kestävyys heikkenee. Tämän vuoksi mänkiin lisätään stabilisaattoreita, joita ovat maa-alkalimetallit, siirtymämetallit ja alumiinioksidi (Al_2O_3). Yleensä stabilisaattorina käytetään kalkkikiveä eli kalsiumkarbonaattia (CaCO_3). (Shelby, 2005)

Väriaineilla voidaan värjätä lasi halutun väriseksi. Väriaineet ovat 3d siirtymämetallien tai 4f maametallien oksideja. (Shelby, 2005) Värit aiheutuvat näkyvän valon eri aallonpituuksien absorboitumisesta. Valon energia saa elektroneja virittymään. Viritystilat eivät ole pysyviä. Elektronien palatessa alemmalle energiatasolla virittymisessä sitoutunut energia voi vapautua säteilyinä. (Fine, 1991)

Esimerkiksi Co^{2+} antaa sinisen värin, Mn^{3+} purppuranpunaisen ja Cr^{3+} vihreän. Koska siirtymät näissä ioneissa tapahtuvat 3d elektroneilla, väri riippuu ympäröivistä ioneista. Tämän vuoksi värit usein vaihtelevat lasin koostumuksesta riippuen. Harvinaisten maametallien elektronien siirtymät sen sijaan tapahtuvat sisemmillä orbitaaleilla (f-orbitaali), jolloin ympäröivät ionit eivät vaikuta niihin. (Fine, 1991)

Hiekassa on usein epäpuhtautena rautaoksideja, jotka aiheuttavat lasiin vihertävän värin. Jo 0,01% rautaa riittää. Fe^{3+} aiheuttaa keltaisen värin ja Fe^{2+} sinisen vihertävän värin. Hapettavilla aineilla voidaan hapettaa kahdenarvoinen rauta kolmenarvoiseksi, jolloin väri on vaaleampi. Esimerkiksi mangaanioksidin (MnO_2) käytöllä on kaksi eri vaikutusta. Se hapettaa raudan ja sen oma väri toimii vastavärinä eli neutraloi kolmenarvoisen raudan keltaisen värin. (Kolb & Kolb, 1979)

Selkeyttäjiä käytetään poistamaan mänkiin sulatuksen aikana muodostuvia kaasukuplia. Selkeyttäjinä käytetään esimerkiksi arseeni- ja antimonioksideja. Näitä käytetään yleensä hyvin pieniä määriä, joten niiden ei ajatella juurikaan vaikuttavan lopullisen lasin ominaisuuksiin. (Shelby, 2005)

2.4.2 Raaka-aineseoksen sulaminen

Mängin sulamisen aikana tapahtuu monia eri reaktioita. Tapahtumat riippuvat käytettävistä raaka-aineista, mutta perusidea on silti aina sama. (Shelby, 2005) Tässä kappaleessa käsitellään esimerkkinä tarkemmin sooda-kalkki-silikaatti –seosta, koska se on yleisin käytössä oleva lasi.

Lämmityksen alussa syntyy kosteutta, koska monet raaka-aineet ovat jossain määrin hydroskooppisia. Veden poistuminen seoksesta alentaa mängin lämpötilaa ja siten kasvattaa sulatuskustannuksia. (Shelby, 2005)

Seuraavassa vaiheessa muodostuu runsaasti kaasua, kun karbonaatit, sulfaatit ja nitraatit hajoavat. Kaasun muodostuminen aiheuttaa mängin sekoittumista ja edistää näin sen

homogenisoitumista. Sulan raaka-aineseoksen sekaan jää tässä vaiheessa syntyneistä kaasuista kuplia, jotka on myöhemmin poistettava. (Shelby, 2005)

Mänkiin syntyy nestefaaseja, kun alkuperäiset raaka-aineet, raaka-aineiden hajoamistuotteet ja raaka-aineista muodostuneet eutektiset seokset sulavat. Soodakalkkilasissa on kaksi eri nestefaasia. Toinen on natriumin ja kalsiumkarbonaatin muodostama eutektinen seos, jonka sulamispiste on 775°C. Toisen nestefaasin muodostaa natriumdisilikaatin ja piidioksidin eutektinen seos. Tämän faasin sulamispiste on noin 800°C. (Shelby, 2005)

Tässä vaiheessa nestefaasit ovat erittäin juoksevia ja kaasujen muodostus on voimakasta. Nesteiden ja kiinteiden aineiden seos on turbulenti. Lämpötilan noustessa tulenkestävät materiaalit, kuten hiekka ja maasälpä, liukenevat nopeammin. Tämän seurauksena seoksen viskositeetti kasvaa. Sulan massan piidioksidikonsentraation kasvaessa hiilidioksidin (CO₂) ja muiden kaasujen liukoisuus pienenee. Tämän seurauksena kaasujen vapautuminen lisääntyy. Viskositeetin nousun vuoksi on seoksen lämpötilaa nostettava, jotta se pysyisi tarpeeksi juoksevana nesteen ja jäljellä olevien kiinteiden aineiden perusteellista sekoittumista varten. Lopullisen homogeenisen seoksen muodostuminen kestää pitkään sulan seoksen suuren viskositeetin vuoksi. (Shelby, 2005)

Mängin sulamisen reaktioaikaan voidaan vaikuttaa eri keinoin. Tärkein sulamisaikaan vaikuttava tekijä on lasin koostumus. Yksinkertaiset oksidiseokset muodostavat yleensä eutektisen seoksen, joka sulaa nopeasti. Monet muista kuin silikaateista muodostuneet sulatteet ovat erittäin juoksevia sen komponenttien sulamislämpötilan yläpuolella ja liuottavat mängin partikkelit nopeasti. (Shelby, 2005)

Myös mängin ainesosien valinta vaikuttaa sulamisaikaan. Monet ainesosista on mahdollista hankkia useasta eri raakamateriaalista. Raakamateriaaleilla on eri sulamispisteet. Tällä on suuri merkitys sulamisen alkuvaiheessa. (Shelby, 2005)

Jätelasimurskan eli pintin lisääminen vähentää tarvittavaa sulamisaikaa, koska tällöin mängissä on vähemmän tulenkestäviä materiaaleja. Pintti sulaa helposti ja lisää mängin sulamisen alkuaikana olevan nesteen määrää. Tämän ansiosta raaka-aineiden liukeneminen helpottuu. (Shelby, 2005)

Ennen sulatusta tehtävään mängin raaka-aineiden sekoitukseen kannattaa panostaa, koska tämä voi lyhentää sulatusaikaa huomattavasti. Mängin ainesosien erottuminen voi estää eutektisten seosten muodostumisen ja näin rajoittaa sulamista. Perusteellinen sekoitus parantaa myös lasin laatua. (Shelby, 2005)

Partikkelikoko on yksi sulamisaikaan vaikuttava tekijä. Pienet partikkelit sulavat nopeammin, mutta voivat kasaantua suuremmiksi huokoisiksi partikkeleiksi. Tämä rajoittaa viskoottisen nesteen pääsyä partikkelien pinnalle. Huokoisilla partikkeleilla on pieni tiheys, jonka vuoksi ne nousevat mängin pinnalle. Tämä hidastaa niiden liukenemistä. Hyvin pieni partikkelikoko estää myös kaasujen poistumisen sulasta massasta, koska niiden väliin jää vain pieniä koloja. Tästä voi aiheutua hajoamisreaktioiden hidastuminen tai lakkaaminen. (Shelby, 2005)

Lasimassan sulatuksessa on otettava myös huomioon, että monet lasin raaka-aineista ovat korkeissa lämpötiloissa haihtuvia. Tämän takia suositaan lyhyitä sulatusaikoja, ettei raaka-aineiden haihtuminen pääsisi vaikuttamaan lasin koostumukseen. Mänkiin voidaan laittaa alunperin ylimäärin haihtuvaa raaka-ainetta, jotta haihtuminen ei vaikuttaisi lopputulokseen. Sula massa voidaan myös peittää, jolloin haihtuvan aineen osapaine mängin yläpuolella kasvaa ja höyrystyneiden ja liuenneiden partikkelien välille syntyy dynaaminen tasapaino. (Shelby, 2005)

2.4.3 Selkeytys

Kuten edellä jo mainittiin, sulaan massa muodostuu kuplia, jotka on poistettava ennen kuin lasimassasta valmistetaan esineitä. Kuplat voivat muodostua eri syistä. Esimerkiksi mängin ainesosien hajoamisesta syntyy seokseen kaasuja. Muodostuvia kaasuja ovat muun muassa hiilidioksidi CO_2 , rikkitrioksidi SO_3 , typen oksidit NO_x ja vesi H_2O . Sulamisen alkuvaiheessa mängin sekaan voi jäädä loukkuun myös ilmakehän kaasuja. Tämä voidaan estää sulattamalla mänki vakuumissa. Ilmakehän kaasujen loukkuun jäämistä edistää hyvin pienen partikkelikoon tai erikoiskoisten partikkelien käyttäminen. Seoksen mekaaninen sekoittaminen voi myös aiheuttaa ilman joutumista mängin sekaan. (Shelby, 2005)

Kuplia voidaan poistaa fysikaalisin tai kemiallisin keinoin. Koska kaasukuplien tiheys on pienempi kuin niitä ympäröivän nesteen, ne nousevat pintaan. Nesteen ominaisuudet kuitenkin vaikuttavat siihen kuinka nopeasti se tapahtuu. Kuplat nousevat sitä

nopeammin mitä juoksevampaa ja tiheämpää neste on. Myös kuplien koko vaikuttaa niiden nousunopeuteen. Suuremmat kuplat nousevat pienempiä kuplia nopeammin. (Shelby, 2005)

Joskus kuplien nousua voidaan auttaa sekoittamalla. Sekoittuminen voidaan saada aikaan mekaanisella sekoituksella, upokkaan muodolla, joka aiheuttaa ylöspäin suuntautuvia virtauksia, paikallisella lämmityksellä (paikallisia kuumempia ja siten tiheydeltään pienempiä alueita) tai tuottamalla kaasukuplia sulatteen pohjalla. (Shelby, 2005)

Kemialliseen kuplien poistoon käytetään selkeytysaineita. Selkeyttäjät vapauttavat suuren määrän kaasuja, jotka muodostavat suuria kuplia. Nämä nousevat nopeasti pintaan ja kantavat pienempiä kuplia mukanaan. Parhaita selkeyttäjiä ovat arsenikki- ja antimonioksidit. Näiden myrkyllisyyden vuoksi joudutaan käyttämään muitakin selkeyttäjiä, kuten natriumsulfaattia tai nitraatteja. Selkeyttäjien toimintamekanismi on vielä kiistanalainen. (Shelby, 2005)

Mängin hajoamisprosessissa muodostuva neste on usein vielä hyvin heterogeenistä. Nesteestä tulee pikkuhiljaa homogeenisempaa selkeytysvaiheessa nousevien kuplien sekoittaessa sitä. Mängin sulamisen reaktioaika ei yleensä kuitenkaan riitä homogeenisen nesteen muodostumiseen. Homogeenisyyttä edistävien diffuusioprosessien tapahtuminen vaatii enemmän aikaa kuin pelkkään aineiden sulamiseen kuluu. (Shelby, 2005)

2.4.4 Lasin työstömenetelmiä

Kun sula lasimassa on valmis, siitä voidaan valmistaa tuotteita hyvin monella eri tavalla. Tässä kappaleessa otetaan esiin muutamia tavallisia lasin työstömenetelmiä.

2.4.4.1 Puhallus

Lasinpuhallus on vanha, mutta edelleen käytössä oleva lasinvalmistusmenetelmä. Aluksi otetaan puhalluspillin päähän lasiuunista sulaa lasimassaa. Pillin pään on oltava kuuma, koska lasi ei tartu kylmään metalliin. Pillin päässä oleva massa muovataan tasaiseksi metallilevyn päällä. Tämän jälkeen tehdään posti eli puhalletaan lasin sisään pieni ilmakupla. Postin päälle otetaan uunista lisää lasia ja aletaan muotoilla siitä haluttua esinettä. (Matiskainen, 1994)

Seuravat vaiheet riippuvat siitä millainen tuote halutaan tehdä. Lasinpuhallustapoja on kolme erilaista: vapaasti puhaltaminen, pyörittäen puhaltaminen ja kiinnipuhaltaminen. Vapaasti puhaltamalla tehdyt esineet on muotoiltu käyttäen pihtejä ja puulastoja. Pyörittämällä puhaltamisessa käytetään muottia. Aloitus puhalletaan muottiin, jossa sitä samalla pyöritetään. Myös kiinnipuhaltamisessa käytetään muottia, mutta tässä menetelmässä aloitusta ei pyöritetä. (Matiskainen, 1994)

Jotta valmis lasiesine saataisiin irti puhalluspillistä, tarvitaan puntteli. Puntteli tehdään siten, että otetaan lasiuunista pillin päähän lasia ja muovataan se tasaiseksi metallilevyllä. Puntteli kiinnitetään kuumana lasiesineen pohjaan, jonka jälkeen esine voidaan katkaisemalla irroittaa puhalluspillistä. Esineen muokkausta voidaan jatkaa puntteliraudan varassa. Valmis esine irtoaa punttelista pienellä kopautuksella. (Matiskainen, 1994)

Pulloja, muuta pakkauslasia ja sähkölampuja tehdään nykyään koneellisesti puhaltamalla. Pullokoneessa sula lasipisara johdetaan ensin alkumuottiin, jossa syntyy pullon suosa ja runkoaihio. Sen jälkeen aihio siirtyy loppumuottiin, jossa pullo puhalletaan paineilman avulla lopulliseen muotoonsa. Tällaisissa pullokoneissa on yleensä 2-6 yksikköä, joista jokainen pystyy valmistamaan 10000-15000 pulloa vuorokaudessa. Automaattisessa valmistuksessa lasin lämpötilan on pysyttävä tarkasti määritellyissä rajoissa. (Pihkala & Salminen, 1992)

2.4.4.2 Puristaminen

Puristelasin valmistaminen on lasinpuhallusta vanhempi keksintö. Aluksi sitä tehtiin käsityönä, mutta nykyään se on täysin koneellistunut. Kone annostelee tarvittavan määrän lasia teräsmuottiin, joka männän avulla puristaa lasin haluttuun muotoon. Sen jälkeen esine siirtyy tulikiillotukseen, jossa epätasaisuudet poistuvat. Tällä menetelmällä voidaan valmistaa mm. talous- ja pakkauslasia, lasitiiliä ja linssejä. (Pihkala & Salminen, 1992)

2.4.4.3 Float-lasi

Tasolasia voidaan valmistaa eri menetelmin, kuten vetämällä, valsaamalla tai float-menetelmällä (Pihkala & Salminen, 1992). Nykyään sitä kuitenkin valmistetaan pääasiassa float-menetelmällä. Sula lasimassa valutetaan suoraan sulatusupokkaasta

sulan tinamassan päälle. Sulan tinan pinta on täysin sileä, joten jäähtyvän lasimassan pinta on myös sileä. (Shelby, 2005) Jäähdytystunnelissa lasi jäähdytetään leikkauslämpötilaan, joka on noin 60°C. Tässä vaiheessa lasissa ei ole jännityksiä. (Pihkala & Salminen, 1992)

2.4.5 Lasin jäähdyttäminen ja jälkikäsittely

Valmis lasiesine on jäähdytettävä hitaasti eli anneloitava, koska lasi on huono lämmönjohde. Liian nopeasta jäähtymisestä seuraa sisäisiä jännitystiloja, jotka johtuvat lasimassan epätasaisesti jakautuneesta lämpötilasta. Jos lasiin jää jännityksiä, se rikkoutuu helposti jo pienenkin voiman vaikutuksesta. Hitaasti jäähdyttämällä lämpötila laskee tasaisesti joka puolella esinettä. Tällöin jännityksiä ei pääse syntymään. (Pihkala & Salminen, 1992)

Valmista lasiesinettä voidaan käsitellä vielä monin eri tavoin, kuten hiekkapuhaltamalla, etsaamalla, maalaamalla tai lysterioimalla.

Hiekkapuhalluksessa lasin pinta himmennetään hienon hiekan ja paineilman avulla. Kohdat, joiden halutaan pysyvän kirkkaana, peitetään esimerkiksi kontaktimuovilla. Tämän jälkeen muut kohdat hiekkapuhalletaan. Lopuksi poistetaan kontaktimuovi. (Matiskainen, 1994)

Etsaus on lasin käsittelyä hapolla. Happona käytetään vetyfluoridia (HF). (Matiskainen, 1994) Lasi liukenee vetyfluoridihapon vaikutuksesta. (Kolb & Kolb, 1979)



Ennen happokäsittelyä esine upotetaan parafiiniin, jonka jälkeen raaputetaan esiin hapolla käsiteltävät pinnat. Näin lasiin saadaan haluttu kuvio. (Matiskainen, 1994)

Lasin maalaaminen on yksinkertaista. Lasin pintaan maalataan kuvioita metallioksideilla. Värit poltetaan kiinni lasiin kuumentamalla se uudestaan. (Matiskainen, 1994)

Lysterointi tapahtuu siten, että kuuman lasin pintaan sumutetaan metallioksidia. Koska lasi on kuuma, metallioksidi palaa siihen suoraan kiinni. Hopeanitraatilla on ennen vanhaan esimerkiksi hopeoitu lasisia kynttilänjalkoja. (Matiskainen, 1994)

2.4.6 Sol-gel menetelmä

Sol-gel –termin alle mahtuu monia eri metodeja. Kaikissa sol-gel –prosesseissa on tietyt yhteiset piirteet. Aluksi muodostetaan sooli, joka sisältää halutut lasin ainesosat. Soolia käsitellään siten, että se hyytyy. Geeli kuivataan, jotta siitä saadaan poistettua kaikki nesteet. Kuivattu geeli sintrataan yleensä lämpötilassa, joka on juuri lasinmuodostusalueen yläpuolella. (Shelby, 2005)

Sol-gel –prosessin ansiosta lasia voidaan valmistaa huomattavasti alhaisemmissa lämpötiloissa kuin sulatustekniikalla. Energiakustannukset ovat pienemmät. Lisäksi lasi on puhtaampaa, koska se on vähemmän kosketuksissa tulenkestäviin materiaaleihin. Raaka-aineet ovat erittäin puhtaita nesteitä, joten alkuperäinen puhtaus on jo paljon parempi kuin kiinteissä raaka-aineissa. Nesteiden sekoituksessa saadaan homogeenisempi seos kuin sekoittamalla jauheita. Matalan hyytymislämpötilan ansiosta kappaleet pystytään muotoilemaan lähes lopulliseen muotoonsa, jonka vuoksi jälkikäsitteilykulut pysyvät pieninä. Kalvosovelluksia on helpompi tehdä sol-gel menetelmällä kuin sulatteesta. (Shelby, 2005)

Prosessissa on myös huonoja puolia. Raaka-aineet ovat erittäin kalliita. Nesteiden poisto huokosista on hidasta ja aiheuttaa usein geelin halkeamisen. Kuivumisen aikana tapahtuu merkittävää kutistumista, joka vaikeuttaa mutkikkaiden muotojen muodostamista ilman jälkeempää tarvittavaa työstöä. Kuivuneet geelit ovat erittäin heikkoja ja niitä pitää käsitellä varoen. (Shelby, 2005)

2.5 Lasilaatuja

Lasien koostumus voi vaihdella suuresti. Lasityyppejä on olemassa satoja erilaisia (Antila & al, 1999). Suurin osa näistä voidaan jakaa neljään pääluokkaan: soodakalkkilasit, lyijylasit, borosilikaattilasit ja piidioksidilasit. (Kolb & Kolb, 2000). Tämän lisäksi on olemassa muita laseja, joita käytetään pienemmässä mittakaavassa. Tämän kappaleen viimeisessä alakappaleessa otetaan esimerkkinä vesilasi.

2.5.1 Sooda-kalkki-lasi

Sooda-kalkki-lasi on maailman käytetyin lasi. 1970-luvun lopussa yli 90% tehdystä lasista oli soodakalkkilasia (Kolb & Kolb, 1979). Sitä käytetään tuotteissa, joita valmistetaan paljon ja joilla ei ole kovia vaatimuksia lasin ominaisuuksille, kuten

pakkauslasi, pöytäastiat ja ikkunalasi (Phillips, 1941). Sooda-kalkki-lasilla on melko huono kemiallinen kestävyys eikä se kestä suuria ja äkillisiä lämpötilan vaihteluita. Sitä on helppo valmistaa sen kohtuullisen alhaisen sulamispisteen vuoksi. (Shelby, 2005)

Sooda-kalkki-lasissa on yleensä noin 66% hiekkaa (SiO_2), noin 15% soodaa (Na_2CO_3 tai Na_2O) ja noin 10% kalkkia (CaCO_3 tai CaO). Jäljelle jääneet 9% on muita oksideja. Käytettävien raaka-aineiden suhteet ovat muuttuneet todella vähän vuosien kuluessa. (Kolb & Kolb, 2000)

2.5.2 Lyijylasi

Lyijylasissa sooda ja kalkki on korvattu lyijyoksidilla (PbO). Se on kalliimpaa kuin sooda-kalkki-lasi, mutta ominaisuuksiensa vuoksi se sopii erilaisiin käyttötarkoituksiin. Lyijylasia on helppo sulattaa ja työstää, kuten leikata, kaivertaa ja kiillottaa. Sillä on suuri taitekerroin (1,507-2,179) (Phillips, 1941) ja se on hyvin pehmeää. Tämän takia siitä valmistetaan kristalliastoita, taide-esineitä, optisia linssejä ja prismoja. Lyijylasi johtaa erittäin huonosti sähköä, joten se on hyvä materiaali sähkölaitteissa. (Kolb & Kolb, 2000) Lasit, joissa on 80-90% lyijyoksidia, suojaavat gammasäteilyltä (Kolb & Kolb, 1979).

2.5.3 Borosilikaattilasi

Borosilikaattilasia valmistetaan sen hyvän lämmön ja kemiallisen kestävyuden sekä huonon sähkönjohtavuuden takia. Yksi tunnetuimpia borosilikaattilaseja on Pyrex[®]-lasi. Sen koostumus on noin 81% piidioksidia (SiO_2), 13% boorioksidia (B_2O_3), 4% natriumoksidia (Na_2O) ja 2% alumiinioksidia (Al_2O_3). (Shelby, 2005) Borosilikaattilasia käytetään mm. uuniastioissa ja laboratoriovälineissä (Kolb & Kolb, 2000).

Toistaiseksi ei ole täysin varmasti selvitetty mikä aiheuttaa borosilikaattilasin paremman kemiallisen kestävyuden. Erään teorian mukaan se johtuu lasin jakautumisesta kahteen toisiinsa sekoittumattomaan faasiin: katkonaiseen natriumoksidi- ja boorioksidirikkaaseen faasiin sekä jatkuvaan piidioksidirikkaaseen faasiin. Koska piidioksidirikas faasi on hallitseva, lasin kestävyys paranee. Boorioksidin ansiosta lasia voidaan muokata kohtuullisissa lämpötiloissa. (Fine, 1991)

Ominaisuuksiltaan vastaavanlaista lasia voidaan valmistaa myös siten, että boorioksidin tilalla käytetään alumiinioksidia (Al_2O_3). Alumiinisilikaattilasi kestää lämmön vaihteluita vielä paremmin kuin borosilikaattilasi. Sitä on kuitenkin vaikeampi sulattaa ja työstää. (Kolb & Kolb, 2000) Alumiinioksidi myös lisää lasin pinnan kykyä vastustaa hydrolysoitumista (Kolb & Kolb, 1979).

2.5.4 Piidioksidilasi

Piidioksidilasi on laseista kaikkein parasta laadultaan ja kestävyydeltään (Kolb & Kolb, 2000). Sen käyttöä rajoittavat kalliit valmistuskustannukset, jotka johtuvat kiteisen piidioksidin korkeasta sulamispisteestä. Sitä on sulamisen jälkeen vaikea työstää sen suuren viskositeetin vuoksi. (Phillips, 1941) Piidioksidilasi on ainoa kaupallinen lasi, joka koostuu ainoastaan yhdestä pääkomponentista. Piidioksidilasia valmistetaan usein suoraan luonnossa esiintyvistä mineraaleista, kvartsista. (Shelby, 2005)

Piidioksidilasilla on erinomaiset ominaisuudet. Se kestää hyvin lämmön vaihteluita. Sitä voidaan käyttää korkeissa lämpötiloissa (yli 1000°C), sen korkean lasisiirtymälämpötilan vuoksi ja se läpäisee valoa laajalla spektrialueella. (Shelby, 2005)

Piidioksidilaseja voidaan valmistaa kolmella eri menetelmällä. Ensimmäinen tapa on sulattaa puhdasta kvartsia vakuuissa noin 1900°C :een lämpötilassa. Vakuumi tarvitaan, jotta suuren viskositeetin omaavasta sulasta massasta saadaan poistettua sinne muodostuneet kuplat. (Kolb & Kolb, 2000)

Toinen tapa on valmistaa 96%:sta piidioksidilasia. Ensin valmistetaan haluttu lasiesine borosilikaattilasista. Kuumakäsittelyssä lasiin syntyy kaksi eri faasia (Kolb & Kolb, 1979). Esine käsitellään kuumalla typpihapolla, jolloin boorioksidi liukenee. Esineeseen syntyy pieniä käytäviä. Käsitelty lasiesine kuumennetaan 1200°C :een, jolloin se kutistuu noin 14% ja tulee taas täysin kiinteäksi. Tällä tavoin valmistettujen tuotteiden ominaisuudet ovat hyvin lähellä sulatetusta kvartsista valmistettuja tuotteita. Koska borosilikaattilasia on huomattavasti helpompi muotoilla, tällä menetelmällä saadaan monimuotoisempia esineitä. (Kolb & Kolb, 2000)

Kolmas tapa valmistaa piidioksidilasia on piitetrakloridin (SiCl_4) liekkihydrolyysi. Erittäin puhdasta piitetrakloridia käsitellään metaani-happi liekillä, jonka lämpötila on yli 1500°C .ta. (Kolb & Kolb, 2000)



Yksinkertaisia lasikappaleita muodostetaan kerrostamalla piidioksidia samalla kun sitä liekkihydrolyysissä muodostuu. (Kolb & Kolb, 1979)

2.5.5 Vesilasi

Vesilasi on veteen liukenevaa lasia (Kivinen & Mäkitie, 1993). Vesiliukoisia soodasilikaattilaseja tehdään erilaisista piidioksidin (SiO_2) ja soodan (Na_2CO_3) seoksista. Näitä laseja valmistetaan kuumentamalla hiekkaa natriumkarbonaatin kanssa.



Soodasilikaattilaseja on saatavilla joko jauheina tai vesiliuoksina. Natriumsilikaatteja käytetään jauhemuodossa pesuaineissa lisäämään emäksisyyttä ja juoksevuuutta. Liuoksena sitä käytetään liimana aaltopahvilaatikoissa ja metallien pesussa. (Kolb & Kolb, 1979) Tämän lisäksi sitä voidaan käyttää sideaineina maaleissa ja elintarvikkeissa estämään paakkuuntumista (Hannola-Teitto & al., 2006).

2.6 Käyttökohteita ja sovelluksia

Lasille on olemassa monia eri käyttötarkoituksia. Tässä kappaleessa käsitellään ensin lyhyesti yleisesti tunnettuja lasin käyttökohteita. Luvussa 2.6.2 kerrotaan bioaktiivisen lasin toiminnasta. Kappale 2.6.3 käsittelee fotokromaattista lasia. Viimeisessä luvussa kerrotaan titaanidioksidilla päällystetyistä itsensä pesevistä ikkunoista.

2.6.1 Yleisesti tunnetut lasin käyttökohteet

Lasituotteet jaetaan yleensä käyttötarkoituksensa perusteella seuraaviin ryhmiin: ikkunlasi, käyttö- ja koristelasi, pakkauslasi, rakennuslasi, valaisinlasi, erikoislasi, lasivilla ja kuitulasi. Lasiset taloustavarat ja taide-esineet ovat käyttö- ja koristelasia. Pakkauslasia ovat pullot ja tölkit. Rakennuslasi voi olla esimerkiksi julkisivulasia. Erikoislasi ovat laboratoriolasit. Valaisinlasia käytetään valaisimissa, hehkulampuissa ja loisteputkissa. Lasivilla on lämmöneriste ja kuitulasilla voidaan esimerkiksi lujittaa muovia. (Nurmi, 1989)

Tavallista kestävämpää ja turvallisempaa lasia, saadaan karkaisemalla. Karkaistua lasia käytetään esimerkiksi auton taka- ja sivuikkunoissa (Roberts, 1998) sekä silmälasien linseissä (Hummel, 1997). Karkaistaessa lasi lämmitetään noin 800 asteeseen, jonka jälkeen jäädytetään nopeasti paineilman avulla. Tämä aiheuttaa lasiin puristusjännityksen. Toinen tapa on kasta lasi väkevään kaliumsuolaliuokseen. Lasin pinnalla olevat natriumionit (Na^+) korvautuvat suuremmilla kaliumioneilla (K^+), josta myös aiheutuu pintaan puristusjännitys. Jännitykset vahvistavat lasia. Jos karkaistu lasi kuitenkin hajoaa, se hajoaa pieniksi kuutiomaisiksi paloiksi. Normaali lasi sen sijaan hajoaa suuriksi teräviksi sirpaleiksi. (Swaddle, 1997)

Turvallista lasia voidaan tehdä myös laminoinnilla. Laminoitua lasia käytetään mm. auton tuulilaseissa (Hummel, 1997). Laminoitussa lasissa kahden lasin välissä on vahva ohut muovikalvo. Lasin rikkoutuessa lasisirut jäävät kiinni kalvoon. (Antila & al., 1999)

2.6.2 Bioaktiivinen lasi

Bioaktiiviset materiaalit nopeuttavat paranemista ja kudosten kasvua. Implantteihin ja proteeseihin suunnitellaan bioaktiivisia materiaaleja, jotka hitaasti korvautuvat luulla. (Hüsing & Schubert, 2005) Bioaktiivinen lasi on lasia, johon kudokset voi kiinnittyä kemiallisesti. Se keksittiin 1960-luvun lopulla USA:ssa. Bioaktiivisen lasin keksijänä pidetään Larry Henchiä. Hän huomasi, että tietynlainen lasi ja luu liittyvät hyvin yhteen. (Aho & al, 2003)

Bioaktiivinen lasi on potentiaalinen materiaali lääketieteen sovelluksiin. Nykyiset kliiniset sovellukset ovat lähinnä metalliproteesien päällystystämisen tai luusiirrännäisen korvikkeena käyttö. Kalsiumfosfaattimateriaalien ja keraamien kliininen käyttö luusementtinä ja luusiirrännäismateriaalina on herättänyt kiinnostusta. (Hüsing & Schubert, 2005)

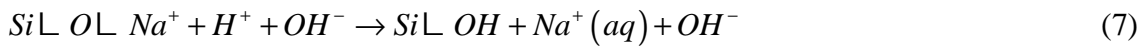
Bioaktiivinen lasi koostuu yleensä pii- (SiO_2), kalsium- (CaO), natrium- (Na_2O) ja fosfaattioksideista (P_2O_5). Lisäksi voidaan käyttää pieniä määriä muita aineita, kuten boorioksidia (B_2O_3) tai alumiinioksidia (Al_2O_3). (Aho & al, 2003)

Erityistä tässä materiaalissa on se, että monia sen ominaisuuksia voidaan hallitusti muuttaa muuttamalla lasin koostumusta. Bioaktiivisen lasin tärkein ominaisuus on sen hallittu liukoisuus. Lasin on oltava liukoinen, jotta elävän kudoksen ja lasin pinnan

välillä voi tapahtua tarvittavat reaktiot (Chan & al., 2005). Juuri tämä mahdollistaa kudoksen kiinnittymisen lasin pintaan. (Aho & al, 2003)

Piidioksidilasin sitoutuminen elävään kudokseen johtuu pääasiassa hydroksyylikarbonaattiapatiittikerroksen (HCA) muodostumisesta. Lasin bioaktiivisuutta mitataankin yleensä HCA:n muodostumisnopeuden perusteella. Muodostumisnopeus riippuu lasin koostumuksesta. Verkkorakennetta muokkaavaat ionit nopeuttavat bioaktiivisen lasin verkkorakenteen hajoamista. Piidioksidin määrän kasvaessa, verkkorakennetta muokkaavien ionien määrä pienenee. (Hench & al., 2003) Tämän vuoksi bioaktiivisuus laskee piidioksidipitoisuuden kasvaessa. (Leeuw & Tilocca, 2006) Apatiitin muodostusnopeus riippuu myös lasin pintarakenteesta ja lasipartikkelien koosta (Chan & al., 2005).

Apatiittikerroksen muodostuminen voidaan jakaa viiteen eri vaiheeseen. Ensimmäiseksi lasin pinta dealkalisoituu. Lasin natrium- (Na^+) tai kalsium-ionit (Ca^{2+}) ionit korvautuvat liuksesta saatavilla protoneilla (H^+) tai oksoniumioneilla (H_3O^+). (Hench & al., 2003)



Toisessa vaiheessa hydroksyyli-ionit hyökkäävät piidioksidin kimppuun, katkaisten Si-O-Si sidoksia. Tällöin pintaan muodostuu silanoliryhmiä (Si-OH), jotka liukenevat $\text{Si}(\text{OH})_4$:n muodossa. (Hench & al., 2003)



Kolmannessa vaiheessa $\text{Si}(\text{OH})_4$ polymeroituu, koska toisen vaiheen jälkeen pinnan läheisyydessä on suuri $\text{Si}(\text{OH})_4$ konsentraatio. Vaikka monomeerinen muoto on stabiili matalissa konsentraatioissa, se polymeroituu nopeasti muodostaen polysilikaattihappoa. Tästä seuraa piidioksidirikkaan kerroksen kondensoituminen lasin pintaan. (Hench & al., 2003)

Neljännessä vaiheessa kalsium- (Ca^{2+}) ja fosfaatti-ionit (PO_4^{3-}) siirtyvät piidioksidirikkaan kerroksen läpi lasin pintaan ja muodostavat $\text{CaO-P}_2\text{O}_5$ -rikkaan kalvon piidioksidirikkaan kerroksen päälle. Pintaan kerääntyy liuoksessa olevia

kalsium- ja fosfaatti-ioneita. Tästä seuraa amorfisen CaO-P₂O₅ -rikkaan kalvon muodostuminen. (Hench & al., 2003)

Viidennessä vaiheessa amorfisen CaO-P₂O₅ kalvo kiteytyy liuoksen OH⁻ ja CO₃²⁻ anionien vaikutuksesta, jolloin muodostuu hydroksyylikarbonaattiapatiittikerros. (Hench & al., 2003)

HCA-kerroksen muodostumisen jälkeen seuraavia tapahtumia ei tunneta tarkasti. Tiedetään kuitenkin, että muodostunut HCA-kerros sitoutuu kollageeniin. Epäorgaanisen implantin ja elävän kudoksen välille muodostuu vahva rajapintasidos. (Hüsing & Schubert, 2005) Koska apatiitti on muodostunut elävässä organismissa, se on koostumukseeltaan lähes oman luun kaltainen. Tämä auttaa luukudoksen kiinnittymistä bioaktiivisen lasin pintaan. Lasi liukenee vähitellen kokonaan, jos sen liukoisuus on riittävän suuri. (Aho & al, 2003)

Bioaktiivisen lasin heikkoutena on sen hauraus. Se kestää hyvin puristusvoimia, mutta ei vetovoimia, kuten taivutusta. Yksi tapa hyödyntää bioaktiivista lasia siten, ettei sen hauraus tuota ongelmia, on yhdistää se metallin kanssa. Kun metalliproteesi pinnoitetaan bioaktiivisella lasilla, metallinen runko kantaa kuorman ja lasi ohjaa luunkasvua. Metallia voidaan pinnoittaa polttamalla lasijauhetta sen pinnalle. Tällaista metallin ja lasin yhdistelmää käytettäessä on huomioitava materiaalien lämpölaajenemiskertoimet. Niiden on vastattava toisiaan, jotta pinnoite ei hajoaisi. (Aho & al, 2003)

Bioaktiivista lasia hyödyksi käyttäen on kehitetty muovista koostuva kalvo, jossa lasi on pieninä helminä. Kalvo on helppo muotoilla tilanteen mukaan. Sitä käytetään esimerkiksi kallomurtumien hoidossa. Kalvo laitetaan kallossa olevan reiän päälle, jolloin se ohjaa luun kasvamaan suoraan oikeaan muotoonsa. (Varteva, 2002)

Bioaktiivisia laseja voidaan valmistaa joko perinteisesti sulatusmenetelmällä tai sol-gel-menetelmällä. Sol-gel-menetelmällä valmistettu lasi reagoi nopeammin muodostaessaan apatiittikerroksen. (Rámila & Vallet-Regi, 2000) Sol-gel menetelmällä valmistetun bioaktiivisen lasin korkeampi bioaktiivisuus ja liukenemisnopeus johtuvat geelin pintarakenteesta eli huokosten koosta ja tilavuudesta yhdistettynä laajaan pinnan pinta-alaan. Sol-gel syntetisoiduissa biolaseissa piidioksidin määrä voi olla jopa 85 mol%.

Tällöin lasi on vielä bioaktiivinen. Perinteisellä sulatusmenetelmällä valmistetussa lasissa raja on 60 mol%. (Hench & al., 2003)

2.6.3 Fotokromaattinen lasi

Fotokromaattinen lasi on lasia, jonka absorptiospektri muuttuu valon vaikutuksesta ja palaa ennalleen vaikutuksen lakatessa (Araujo, 1985). Sitä voidaan käyttää esimerkiksi itsestään tummuvista aurinko- tai ikkunalaseissa. Ne tummuvat auringon valon vaikutuksesta ja palautuvat takaisin täysin läpinäkyviksi valon vaikutuksen poistuessa. (Zumdahl, 2007)

Muutamit homogeeniset lasit ovat itsestään fotokromaattisia. Niitä ovat esimerkiksi kadmiumboorisilikaatti ja vahvasti pelkistetyt alkalisilikaatit. Toiset lasit sen sijaan ovat fotokromaattisia, koska niiden passiivisessa matriisissa on säteilytykselle alttiita partikkeleita. (Araujo, 1985)

Lasista voidaan tehdä fotokromaattista esimerkiksi lisäämällä lasin raaka-aineseokseen hopeakloridia. Hopeakloridin tilalla voi olla joku muukin hopeahalogenidi (Suvanto, 2008). Lasi valmistetaan perinteisin menetelmin. Hopeakloridi lisätään mänkiin ennen sulatusta. Riippuen hopeakloridin konsentraatiosta tuote voi olla fotokromaattista jo normaalin anneloinnin ja jäähtymisen jälkeen. Jos konsentraatio on pieni, lasi joudutaan lämmittämään uudelleen muutaman minuutin tai tunnin ajaksi. Lämpötila tulee olla lasin annelointi- ja pehmenemislämpötilan välissä. (Armistead & Stookey, 1964)

Lämmitys aiheuttaa kidealkion muodostumisen ja sulan hopeakloridin kolloidisten pisaroiden kasvamisen. Kasvavat pisarat muodostavat emulsion, jossa ne kiteytyvät lasin jäähtyessä kloridin sulamispisteen alapuolelle. (Armistead & Stookey, 1964)

Fotokromaattinen lasi tummuu UV-valon vaikutuksesta. Kloridi-ionilta vapautuu elektroni, jonka hopeaioni ottaa vastaan. (Armistead & Stookey, 1964)



Fotokromaattinen reaktio voimistuu ja nopeutuu merkittävästi, kun lasiin lisätään pieni määrä kuparia (Flohr & al., 1987). Kupari-ionilta vapautuu elektroni, jonka hopeaioni ottaa vastaan. (Armistead & Stookey, 1964)



Fotolyttisesti syntyneet hopea-atomit muodostavat rykelmiä hopeaklorididisaostumien pinnalle. Nämä rykelmät voivat olla pallomaisia tai elliptisiä ja ovat erillään toisistaan. Vaihtoehtoisesti hopea-atomit voivat muodostaa ohuen pintakerroksen. (Helbig & Hoffmann, 1987)

Valon vaikutuksesta tapahtuu yhtäaikaan kolme prosessia: tummuminen, optinen vaalentuminen ja terminen vaalentuminen. Tuloksena näistä kilpailevista reaktiosta on lasin väriasteen säilyminen, jos valon intensiteetti ja lämpötila pysyvät vakioina. (Armistead & Stookey, 1964)

Jotta lasit palautuisivat takaisin täysin valoa läpäisevään koostumukseensa, on reaktion oltava käänteinen. Tätä tarkoitusta varten on fotokromaattisessa lasissa Cu^+ -ioneja. Kupari-ioneilla on toinenkin tarkoitus. Ne vähentävät kloridiatomien muodostumista valon aiheuttamassa reaktiossa, jolloin ne eivät pääse karkaamaan kiteestä.



Kun altistus voimaakkaalle valolle lakkaa Cu^{2+} -ionit siirtyvät hopeakloridikiteen pinnalle ja ottavat siellä hopea-atomeilta vastaan elektroneita.



Kun hopeaionit ovat näin muodostuneet uudelleen, ne palaavat paikalleen hopeakloridikiteeseen ja lasista tulee jälleen läpinäkyvää. (Zumdahl, 2007)

Tyypillinen fotokromaattinen lasi päästää noin 20% valosta läpi voimakkaassa auringonpaisteessa. Muutaman minuutin kuluttua poistuttaessa auringonpaisteesta, transmittanssi palautuu noin 80%:iin. Normaalin lasin transmittanssi on 92%. (Zumdahl, 2007)

2.6.4 Itsepuhdistuva lasi

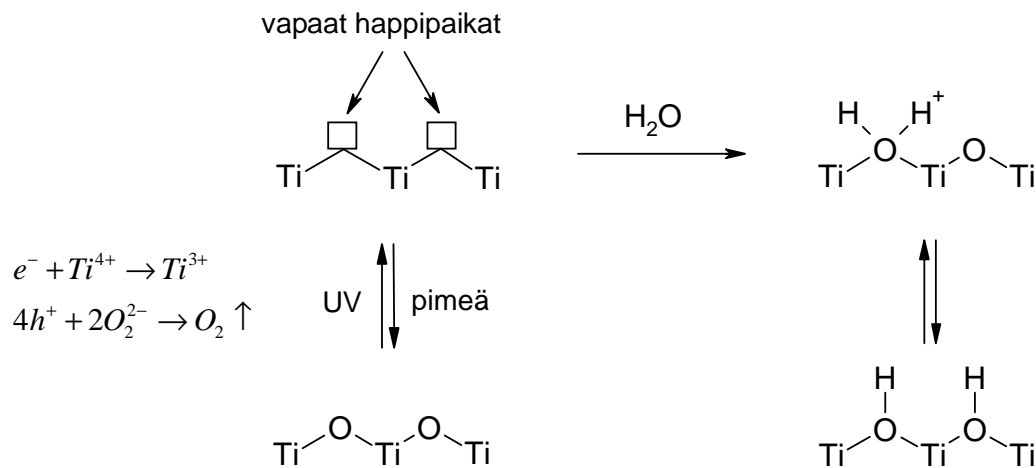
Itsepuhdistuvaa lasia käytetään lähinnä ikkunoissa. Lasin pintaan on lisätty ohut kalvo titaanidioksidia (TiO_2). Se saa lasin hylkimään likaa ja bakteereja. Puhdistuakseen lasi tarvitsee vain vettä ja aurinkoa. (Zumdahl, 2007) Titaanidioksidi on hyvä kemikaali

orgaanisten yhdisteiden fotokatalyyttiseen hajotukseen, koska se on melko halpaa, kemiallisesti hyvin stabiili ja fotolyysin seurauksena muodostuvat aukot ovat erittäin hapettavia. (Fujishima & al., 2000)

Titaanidioksidi vaikuttaa puhdistumiseen kahdella tavalla. Auringon UV-valo saa titaanidioksidin toimimaan katalyyttinä. Katalyytin vaikutuksesta lasin pinnalla oleva orgaaninen lika hajoaa hiilidioksidiksi ja vedeksi. (Zumdahl, 2007)

Titaanidioksidi on puolijohde, jonka valenssivyön ja johtovyön energiaero on 3.0eV. Se absorboi fotoneja, mikä johtaa virittyneiden elektronien ja aukkojen syntyyn. UV-valo, jonka aallonpituus alle ~400 nm, voi virittää elektroneja ja aukkoja. Virittyneet elektronit reagoivat happimolekyylien kanssa muodostaen happiradikaaleja ($\cdot\text{O}_2$). Syntyneet aukot reagoivat veden kanssa muodostaen hydroksyyli-radikaaleja ($\cdot\text{OH}$). Reaktiiviset radikaalit yhdessä hajottavat orgaaniset yhdisteet. Mitä kauemmin kalvo on altistuneena UV-valolle, sitä enemmän orgaanista materiaalia hajoaa. (Fujishima & al., 2000)

Titaanidioksidi on erittäin hydrofiilinen, jonka vuoksi sadevesi ei pisaroidu lasin pinnalle, vaan leviää pinnan peittäväksi vesikalvoksi. Näin sadevesi pystyy huuhtomaan pois kiinteän epäorgaanisen lian. (Zumdahl, 2007) Titaanidioksidikalvo saa superhydrofiiliset ominaisuudet UV-valon vaikutuksesta. Tässäkin tapauksessa muodostuu elektroneja ja aukkoja, mutta ne reagoivat eri tavoin. Elektronit pyrkivät pelkistämään titaani(IV)kationit titaani(III)kationeiksi ja aukot hapettavat O^{2-} anionit. Tässä prosessissa happiatomit irtoavat rakenteesta ja jättävät jälkeensä tyhjiä paikkoja. Vesimolekyylit voivat mennä näihin vapaisiin paikkoihin. Pintaan syntyy absorboituneita OH-ryhmiä, jotka tekevät pinnasta hydrofiilisen. Mitä kauemmin kalvo on altistuneena UV-valolle, sitä pienemmäksi veden kohtauskulma muuttuu. Titaanidioksidipäällyste säilyttää hydrofiiliset ominaisuudet vaikka loputtomasti, kunhan se altistuu UV-valolle. (Fujishima & al., 2000)



Kuva 7: Titaanidioksidin hydrofiilisyyys. (Fujishima & al., 2000)

Ulkopinnoilla titaanidioksidin hydrofiilisyyys estää vettä pisaroitumasta, mikä on hyödyksi pesutapahtumassa. Sisäpinnoilla titaanidioksidin kyky vetää vesimolekyylejä voimakkaasti puoleensa, estää ikkunoiden ja peilien höyrystymisen. (Zum Dahl, 2007)

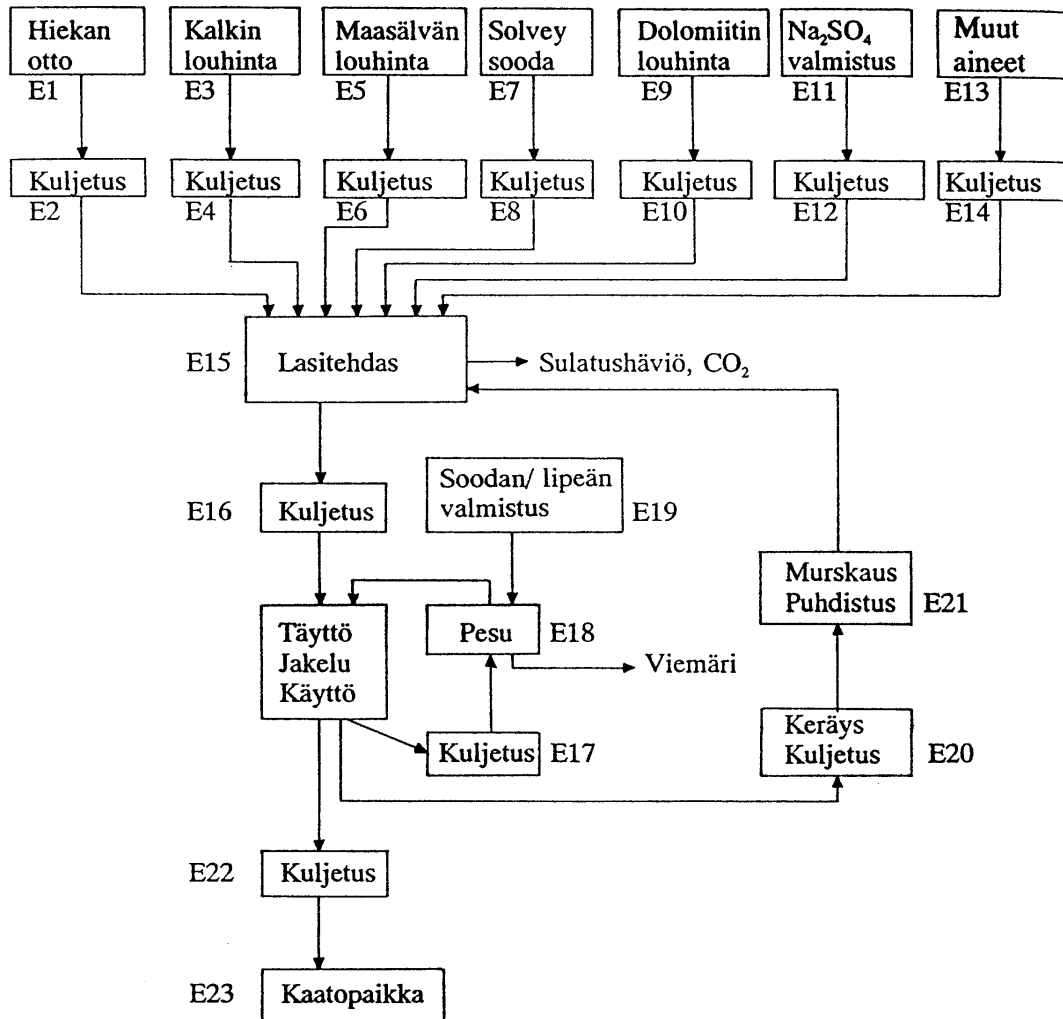
Koska titaanidioksidi vaatii toimiakseen UV-valoa, pinnoite toimii huonosti sisällä, jossa UV-valoa on vähän. Japanilaiset ovat keksineet tavan, jolla myös sisäpinnat saadaan puhdistumaan itsestään. Jos titaanidioksidipinnoitteeseen lisätään typpi-atomeita, se toimii sekä näkyvän valon että UV-valon vaikutuksesta. Titaanidioksidipäällyste tappaa myös monia bakteereita. Keksintö on johtanut esimerkiksi itsestään sterilisoituvien kylpyhuoneen tiilien, työtasojen ja vessojen kehittämiseen. (Zum Dahl, 2007)

2.7 Kierrätys

2.7.1 Elinkaari

Tuotteen elinkaari kertoo sen vaiheet raaka-aineesta tuotteeksi ja edelleen jätteeksi. Elinkaarianalyysin avulla pyritään selvittämään tuotteen ympäristölle mahdollisesti aiheuttamat haitat. Tällä tavalla mahdollistetaan eri tuotteiden ympäristövaikutusten vertailu toisiinsa.

Lasista voidaan tehdä monia eri tuotteita. Lasipakkaukset ovat kuitenkin olleet elinkaaren kannalta merkittävän kiinnostuksen kohteena. Kuvassa 8 on esimerkki lasipakkauksen elinkaaresta.



Kuva 8: Lasipakkauksen elinkaari (Vertanen, 1993)

2.7.2 Lasin kierrätys

Lasi on 100%:sti kierrätettävä materiaali. Koska lasi ei ole kuitumateriaali, sitä voidaan periaatteessa käyttää loputtomasti uudelleen. (Lettenmeier, 1994) Vuonna 2005 lasin osuus yhdyskuntajätteestä oli noin 5%. (Ajanko-Laurikko & al., 2007)

Suomessa lasinkierrätys toimii hyvin. Lähes kaikki panttia vastaan kerätyt lasipakkaukset menevät puhditukseen ja sieltä uudelleenkäytettäväksi tai murskattavaksi. Syntynyt murska käytetään hyväksi uusien pakkausten ja tasolasin valmistamisessa tai lasivillan tuotannossa. Kunnalliseen keräykseen palautetusta lasista osa käytetään hyödyksi kun taas osa päätyy kaatopaikalle. (Ajanko-Laurikko & al., 2007)

Kierrättämällä lasia voidaan säästää luontoa. Lasin valmistus vaatii korkeita lämpötiloja, joten energian kulutus on suuri. Korkeiden lämpötilojen vuoksi lasin valmistuksessa syntyy hiilidioksidi- (CO_2), typpioksidi- (NO_x) ja rikkidioksidipäästöjä (SO_2). Lisäksi syntyy kloridi-, fluoridi- ja metallipäästöjä raaka-aineissa olevien epäpuhtauksien takia sekä pölypäästöjä. (Lehtinen & Vares, 2007)

Lasia kierrättämällä säästetään myös rahaa, koska kalliita raaka-aineita tarvitaan vähemmän. Kierrätyslasia käytettäessä esimerkiksi tarvittavan soodan määrä vähenee. Se on tuontitavaraa ja lasin kallein ainesosa. Koska jätelasi sulaa helpommin kuin neitseelliset raaka-aineet, lasin sulatukseen tarvittavaa energiaa säästyy. Energiansäästön ansiosta päästöt ilmaan (mm. typen ja rikin oksidit) ja lasitehtaiden hiukkaspäästöt vähenevät. (Ajanko-Laurikko & al., 2007)

Käyttämällä kierrätyslasia pakkauslasi- ja lasivillateollisuudessa neitseellisen raaka-aineen käyttötarve vähenee vähintään 50%. Tämä vähentää erityisesti hiilidioksidipäästöjä. Hiilidioksidipäästöjen pieneneminen johtuu siitä, että kierrätyslasista ei vapaudu siihen sitoutunutta hiilidioksidia toisin kuin neitseellisen raaka-aineen soodasta, kalsiitista ja dolomiitista. (Lehtinen & Vares, 2007)

Yleensä suurin kierrätyslasin käyttäjä on pakkauslasiteollisuus. Monissa maissa sen osuus kierrätyslasin käytöstä on jopa 80%. Toinen teollisuudenala, joka käyttää merkittäviä määriä kierrätyslasia, on lasivillateollisuus. Suomessa se on merkittävin kierrätyslasin käyttäjä. (Lehtinen & Vares, 2007)

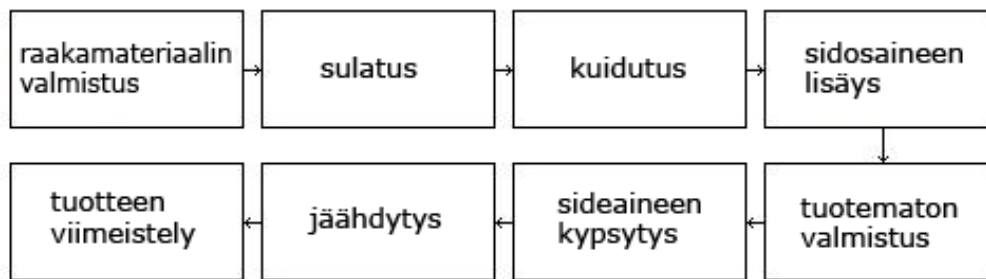
Eri tyyppisten lasien kemiallinen koostumus rajoittaa uudelleenkäyttöä, sillä kaikki lasilaadut eivät sovi keskenään yhteen. Helpointa olisi valmistaa lasista samaa tuotetta, joka se aiemmin oli. (Lehtinen & Vares, 2007) Myös epäpuhtaudet vähentävät kierrätysmahdollisuuksia. Esimerkiksi, kun 70 grammaa alumiinia sulaa yhden kierrätyslasitonnin mukana, lasista pilaantuu 25kg eli 4%. (Lettenmeier, 1994)

Jotta kaikenlaista lasitavaraa voitaisiin hyödyntää tehokkaasti, tarvittaisiin lisää erilaisia hyödyntämiskohteita. Silloin voitaisiin saada käyttöön sekin kierrätyslasi, joka ei tarkkojen laatuvaatimusten takia sovi pakkauslasi- tai lasivillateollisuuteen. (Lehtinen & Vares, 2007) Erityisen ongelmallisia ovat autojen tuulilasit (Korkala, 2007).

Suomessa on tällä hetkellä kaksi lasipajaa, jotka hyödyntävät tuotteissaan kierrätyslasiä. Ne ovat Lasistudio Jan Torstensson Oy ja Evolum Oy. Lasistudion tuotteet tehdään kuumentamalla lasiuunissa pakkauslasiastioita, kun taas Evolum Oy käyttää kylmätyöstömenetelmiä. Molemmilla yrityksillä tuotantokapasiteetti on melko pieni. (Korkala, 2007)

2.7.3 Lasivilla

Lasivilla on äänen ja lämmön eristeenä käytetty lasikuidusta ja sideaineista valmistettu tuote. Lasivillan valmistukseen kuuluu kahdeksan eri vaihetta: raakamateriaalin valmistus, sulatus, kuidutus, sidosaaineen lisäys, tuotteen aihion valmistus, sideaineen kypsytytys, tuotteen jäähdytys ja viimeistely. (European Commission, 2008)



Kuva 9: Kaavio lasivillan valmistuksen vaiheista.

Lasivillan tyyppillinen koostumus on 57-70% piidioksidia (SiO_2), 12-18% alkalioksideja, 8-15% maa-alkalioksideja, 0-12% boorioksidia (B_2O_3), alle 0.5% rautaoksidia, 0-5% alumiinioksidia (Al_2O_3) ja 0-3% lyijyoksidia (P_2O_5). (European Commission, 2008)

Lasivillan raaka-aineena on yleensä hiekka, sooda, dolomiitti, kalkkikivi, natriumsulfaatti sekä booria ja alumiinia sisältävät mineraalit. Lisäksi lasivillan valmistuksessa käytetään kierrätyslasiä. Kierrätyslasi voi olla omasta prosessista tullutta hukkalasia tai kierrätettyä pakkaus- ja tasolasia. Lasivillan valmistuksessa hukkalasia syntyy, jos linja joudutaan pysäyttämään. Silloin sulan lasin annetaan valua kylmään veteen, josta se voidaan siirtää takaisin tuotantoon. Muualta tulleen jätelasin käyttöä hankaloittaa lasin mahdollisesti vääränlainen koostumus ja epäpuhtaus. (European Commission, 2008)

Lasivillan valmistuksessa kierrätyslasin osuus voi olla jopa 80-85%. Valmistuksessa käytetään sekä kirkasta että vihreää lasia, mutta ei yleensä ruskeaa. Ruskea lasi sisältää rautaa, joka voi aiheuttaa ongelmia tuotannossa. (Lehtinen & Vares, 2007)

Lasivillan raaka-aineet punnitaan automaattisesti ja sekoitetaan ennen lasiuuniin siirtämistä. Välivaraston kautta raakamateriaali siirretään uuniin. Lasiuunit ovat yleensä joko sähköllä tai kaasulla lämmitettäviä. (European Commission, 2008) Sähköllä lämmitettävissä uuneissa alkulämmitys täytyy tehdä kaasun avulla, koska vasta sula lasimassa johtaa tarpeeksi hyvin sähköä. (Korpio, 2008)

Kun lasi on sulanut uunissa, se siirtyy linjaa pitkin kuidutuskoneisiin. Lasi pakotetaan keskipakoisvoimalla kuidutuskoneen lingon reikien läpi. Kaasupuhalluksella ja paineilmalla kuidutettu lasi saadaan venytettyä ohuiksi kuiduiksi. Muodostuneeseen kuituharsoon suihkutetaan sideaineliuos ja mineraaliöljy. (European Commission, 2008) Sideaineena käytetään fenoliformaldehydi-ureahartsia (Antila & al., 1999).

Kuidutettu lasi imetään kuljetushihnalle, jossa muodostuu tasainen aihiomatto. Kuljetushihna siirtää tuoteaihion kypsytysouniin, jossa lämpötila on noin 250°C. Tuote kuivuu ja sideaine kovettuu. Kypsytyksen jälkeen tuoteaihio ilmakehään ja leikataan halutun kokoisiksi levyiksi. Tasattavista reunoista syntyvät hukkapaloista voidaan tehdä puhallusvillaa. (European Commission, 2008)

Kun lasivillan valmistuksessa käytetään kierrätyslasia, dolomiitin ja soodan tarve pienenee. Kierrätyslasin käyttö vähentää myös päästöjä ilmakehään, erityisesti CO₂-päästöjä. Syynä tähän on tarvittavan sulatusenergian määrän pieneminen. Lisäksi kierrätyslasista ei vapaudu kemiallisesti sitoutunutta hiilidioksidia, kuten neitseellisiin raaka-ainekoostumuksiin kuuluvasta soodasta, kalsiitista ja dolomiitista. Kierrätyslasin käyttö voi pienentää energian tarvetta jopa 40%. (Lehtinen & Vares, 2007)

3 Lasin kemia osana kemian opetusta

Tässä luvussa tarkastellaan, miten lasin kemiaa voi yhdistää osaksi perusopetuksen vuosiluokkien 7-9 ja lukion opetusta. Luvussa 3.1 tarkastellaan kemian opetuksen tavoitteita. Luvussa 3.2 käsitellään opetussuunnitelmien perusteiden asettamia aihekokonaisuuksia. Luku 3.3 tarkastelee lasin kemian yhdistämistä kemian opetuksen sisältöihin. Tarkastelussa kiinnitetään huomiota myös kohtiin, jotka liittyvät tieto- ja viestintäteknologian käyttöön sekä kokeellisuuteen kemian opetuksessa. Lasia ei sinänsä mainita peruskoulun tai lukion opetussuunnitelmien perusteissa, mutta se käy materiaaliksi useaan eri kokonaisuuteen.

3.1 Tavoitteet

Peruskoulun vuosiluokkien 7-9 kemian opetukselle on asetettu tietyt tavoitteet. Lasin opetus voidaan hyvin sisällyttää osaan niistä.

Opetussuunnitelmien perusteiden mukaan oppilaan tulisi oppia *aineiden kiertokulkuun ja tuotteiden elinkaareen liittyviä prosesseja sekä niiden merkityksen luonnolle ja ympäristölle*. (Opetushallitus, 2004) Lasi on ihmiselle tärkeä materiaali, joten sen kiertokulku ja lasituotteiden elinkaari ovat mielekkäitä esimerkkejä.

Lasia voidaan käyttää myös esimerkkinä, kun tavoitteena on, että oppilas oppii *tuntemaan aineiden ominaisuuksia kuvaavia fysikaalisia ja kemiallisia käsitteitä ja käyttämään niitä, tuntemaan aineen rakennetta ja kemiallisia sidoksia kuvaavia käsitteitä ja malleja sekä tuntemaan kemian ilmiöiden ja sovellusten merkityksen sekä ihmiselle että yhteiskunnalle*. (Opetushallitus, 2004)

Myös lukion opetussuunnitelmien puolelta löytyy tavoitteita, joiden perusteella lasi voidaan liittää osaksi kemian opetusta.

Tavoitteena on muun muassa, että opiskelija *osaa kemian keskeisimmät peruskäsitteet ja tietää kemian yhteyksiä jokapäiväisen elämän ilmiöihin sekä ihmisen ja luonnon hyvinvointiin sekä opiskelija perehtyy nykyaikaiseen teknologiaan teollisuudessa ja ympäristötekniikassa*. (Opetushallitus, 2003) Esimerkiksi bioaktiivisen lasin tai muiden lasin nykyaikaisten sovellusten käsittely sopii molempiin kohtiin.

Lasin kiertokulku ja lasitavaroiden elinkaari olisi sopiva aihekokonaisuus lukion puolelle. Tavoitteissa halutaan, että opiskelija *osaa käyttää kemiallista tietoa kuluttajana ja kestävän kehityksen edistämisessä sekä osallistuessa luontoa, ympäristöä ja teknologiaa koskevaan keskusteluun ja päätöksentekoon.* (Opetushallitus, 2003)

Erään tavoitteen mukaan opiskelijan tulisi *saada kokemuksia, jotka herättävät ja syventävät kiinnostusta kemiaan ja sen opiskelua kohtaan.* (Opetushallitus, 2003) Koska lasi on jokaiselle tuttu arkipäiväinen materiaali, se on kiinnostava aihe.

Sekä perusopetuksen vuosiluokilla 7-9 että lukiossa korostetaan kokeellisuuden merkistystä osana kemian opetusta. Tämän vuoksi kokeellisuus on hyvä ottaa mukaan myös lasin kemian opetuksessa.

Perusopetuksessa kokeellisuuden avulla autetaan oppilaita hahmottamaan luonnontieteiden luonnetta ja omaksumaan uusia luonnontieteellisiä käsitteitä, periaatteita ja malleja. Kokeellisuuden avulla kehitetään käden taitoja, kokeellisen työskentelyn ja yhteistyön taitoja sekä innostetaan oppilaita kemian opiskeluun. Tavoitteena on oppia työskentelemään turvallisesti ja ohjeita noudattaen. (Opetushallitus, 2004)

Lukiossa opiskelijan tulisi osata kokeellisen työskentelyn ja muun aktiivisen tiedonhankinnan avulla etsiä ja käsittää tietoa elämän ja ympäristön kannalta tärkeitä kemiallisista ilmiöistä ja aineiden ominaisuuksista sekä osata tehdä ilmiöitä koskevia kokeita ja oppia suunnittelemaan niitä sekä osata ottaa huomioon turvallisuusnäkökohdat. Opiskelijan tulisi myös osata tulkita ja arvioida kokeellisesti tai muutoin hankkimaansa tietoa ja keskustella siitä sekä esittää sitä muille. (Opetushallitus, 2003)

3.2 Aihekokonaisuudet

Opetussuunitelmien perusteissa on määritelty aihekokonaisuudet, joiden tavoitteet ja sisällöt sopivat useisiin oppiaineisiin. Niiden tarkoitus on eheyttää opetusta ja kasvatusta. Aihekokonaisuudet tulevat esiin joka aineen kohdalla sille aineelle ominaisella tavalla. Ne näkyvät myös koulun toimintakulttuurissa. (Opetushallitus, 2004)

Peruskoulun opetussuunitelmien perusteissa aihekokonaisuuksia on yhteensä 7. Ne ovat Ihmisenä kasvaminen, Kulttuuri-identiteetti ja kansainvälisyys, Viestintä ja mediataito,

Osallistuva kansallisuus ja yrittäjyys, Vastuu ympäristöstä, hyvinvoinnista ja kestävästä tulevaisuudesta, Turvallisuus ja liikenne sekä Ihminen ja teknologia. (Opetushallitus, 2004)

Lasin opetus sijoittuu parhaiten Vastuu ympäristöstä, hyvinvoinnista ja kestävästä tulevaisuudesta sekä Ihminen ja teknologia aihekokonaisuuksiin. Näissä aihekokonaisuuksissa oppilaan tulisi mm. oppia *arvioimaan oman kulutuksensa ja arkikäytäntöjensä vaikutuksia ja omaksumaan kestävän kehityksen edellyttämiä toimintatapoja sekä ymmärtämään teknologiaa, sen kehittämistä ja vaikutuksia eri elämänaalueilla, yhteiskunnan eri sektoreilla ja ympäristössä.* (Opetushallitus, 2004)

Lukion opetussuunnitelmien perusteissa aihekokonaisuuksia on 6. Ne ovat Aktiivinen kansalaisuus ja yrittäjyys, Hyvinvointi ja turvallisuus, Kestävä kehitys, Kulttuuri-identiteetti ja kulttuurien tuntemus, Teknologia ja yhteiskunta sekä Viestintä ja mediaosaaminen. (Opetushallitus, 2003) Lasi sopii näistä esimerkiksi Kestävän kehityksen aihekokonaisuuteen.

Tieto- ja viestintäteknologian käyttäminen esiintyy aihekokonaisuuksissa. Peruskoulussa näiden käyttötaitoa korostetaan aihekokonaisuuksissa Viestintä ja mediataito sekä Ihminen ja teknologia. (Opetushallitus, 2004) Lukion puolella tieto- ja viestintäteknologian käyttö sijoittuu aihekokonaisuuteen Viestintä ja mediaosaaminen. (Opetushallitus, 2003)

3.3 Sisällöt

Peruskoulun vuosiluokkien 7-9 kemian opetussuunnitelmassa sisällöt jakautuvat kolmen pääotsikon alle. Nämä ovat ilma ja vesi, raaka-aineet ja tuotteet sekä elollinen luonto ja yhteiskunta. (Opetushallitus, 2004) Lasin voisi sijoittaa näistä lähinnä raaka-aineet ja tuotteet kohdan alle.

Tarkemmin raaka-aineet ja tuotteet kohdassa mainintaan *tärkeimmät maankuoresta saatavat alkuaineet ja yhdisteet ja niiden ominaisuuksia sekä tuotteiden valmistus, käyttö, riittävyys ja kierrätettävyys.* (Opetushallitus, 2004) Lasin raaka-aineiden ja valmistuksen käsittely olisi hyvä esimerkki. Samalla voisi ottaa esille lasin ympäristöystävällisyyden. Lasin raaka-aineet ovat uusiutuvia luonnonvaroja ja lisäksi lasi on sataprosenttisesti kierrätettävä materiaali.

Lukiassa on viisi pakollista kurssia. Kurssit ovat nimeltään Ihmisen ja elinympäristön kemia, Kemian mikromaailma, Reaktiot ja energia, Metallit ja materiaalit sekä Reaktiot ja tasapaino. (Opetushallitus, 2003) Näistä lasin opetus voidaan sijoittaa kurssiin metallit ja materiaalit.

Metallit ja materiaalit kurssin sisällöissä mainitaan, että *opiskelijan tulisi oppia tuntemaan teollisesti merkittäviä raaka-aineita sekä niiden jalostusprosesseja sekä tuntemaan erilaisia materiaaleja, niiden koostumusta, ominaisuuksia ja valmistusmenetelmiä sekä kulutustavaroiden ympäristövaikutusten arviointiin käytettäviä menetelmiä.* (Opetushallitus, 2003) Lasista voitaisiin käsitellä sen raaka-aineita, valmistusta, eri lasityyppejä, lasin koostumusta ja ominaisuuksia sekä erilaisia sovelluksia. Myös lasin ympäristövaikutusten pohdinta ja lasituotteiden elinkaareen tutustuminen sopisi tähän kurssiin.

4 Lasin kemia verkko-opetuksena

4.1 Määritelmä ja yleistä verkko-opetuksesta

Verkko-opetus voi tarkoittaa eri ihmisille eri asiaa. Siitä puhuttaessa onkin syytä selvittää mitä se puhujalle merkitsee. Verkko-opetuksen voidaan ajatella jakautuvan kolmeen eri tyyppiin: verkon tukema lähiopetus, monimuoto-opetus ja itseopiskelu. Verkko-opettamisesta tai -oppimisesta voidaan puhua, jos verkolla on siinä joku osuus. (Kalliala, 2002)

Verkko-oppimismateriaalilla tarkoitetaan esimerkiksi opettajan laatimaa materiaalia, joka voi olla kurssikuvaus, tehtäviä, kalvoja tai jopa verkkokirja. Materiaali voi koostua muun muassa tekstistä, kuvista ja videoista. Verkko-oppimismateriaali voi olla myös opettajan ja oppijoiden yhdessä laatima. Silloin se voi koostua esimerkiksi oppijoiden projektien esitelmistä tai verkkokeskusteluista. Verkko-oppimateriaalista voidaan puhua myös kun verkosta etsitään opiskeltavaan aiheeseen liittyvää tietoa. (Kalliala, 2002)

Verkko-oppimisympäristö on oppimisympäristö, joka on toteutettu internetiä ja verkkoteknologiaa hyödyntäen. Ympäristö koostuu hypertekstirakenteista ja hypermediasta. Se voi sisältää linkkejä ja vuorovaikutuksen mahdollistavia välineitä. (Nevgi & Tirri, 2003)

4.2 Verkko-opetus lähiopetuksen tukena

Tämän työn osana tehty opetusmateriaalin on ajateltu lähinnä käytettäväksi lähiopetuksen tukena. Toki sitä voi käyttää myös itsenäiseen opiskeluun. Kun verkkoa käytetään lähiopetuksen tukena, käytettävissä on edelleen perinteiset vuorovaikutusmenetelmät. Verkko-oppimateriaalin käyttö itseopiskelussa vaatii huomattavasti tarkemman pohdinnan materiaalin toimivuudesta. (Kalliala, 2002)

Verkkoa voidaan käyttää lähiopetuksen tukena eri tavoin. Opettaja voi laittaa tekemänsä kalvot ja monistheet verkkoon, jossa oppijat voivat tutustua niihin ennen opetusta, käyttää niitä opetuksen seuraamisen apuna tai kerrata asian niistä opetuksen jälkeen. (Kalliala, 2002)

Verkkoa voidaan käyttää tietolähteenä. Opettaja voi etsiä sieltä tietoa opetettavaan aiheeseensa, jonka pohjalta valmistelee opetustaan. Vaihtoehtoisesti oppijat voivat etsiä verkosta aiheeseen liittyvää tietoa. (Kalliala, 2002)

Verkossa voidaan julkaista oppijoiden esityksiä tai tehtävien ratkaisuja. Tällöin oppijat pääsevät katsomaan myös toistensa tuotoksia. Opettaja voi julkaista verkossa kurssin tehtävät ohjeineen. Verkossa voidaan julkaista myös esimerkiksi kurssin lukujärjestys tai opettajan tiedotteet. (Kalliala, 2002)

4.3 Verkko-opettamisen edut ja haasteet

Niin kuin kaikissa opetusmenetelmissä, verkko-opettamisessa on sekä etuja että haasteita. Jos halutaan käyttää verkko-opetusta osana opetusta tai siirtää kurssi kokonaan verkkomuotoon, on näitä seikkoja pohdittava.

Verkko-opiskelun yhteydessä usein kehutaan vapautta ajasta ja paikasta. Opiskelu voi tapahtua opiskelijan valitsemissa paikoissa ja opiskelijan valitsemaan aikaan. Tällöin puhutaan kuitenkin itseopiskelusta. Joustavuus vähenee, jos verkko-opetusta käytetään monimuoto-opetuksessa tai lähiopetuksen tukena. (Kalliala, 2002)

Verkko-opetusmateriaali on yleensä ajantasaista ja helposti saatavilla. (Multisilta 1997) Ajantasaisuus luo oppimateriaalin tekijälle paineita, mutta sähköinen materiaali on helposti päivitettävissä. Opettajan on helppo lisätä materiaalin myös tiedotteita kurssia koskien. (Kalliala, 2002) Opiskelijaa helppo saatavuus auttaa paljon. Esimerkiksi joitain kirjoja voi olla vaikea saada lainaan. Verkko-oppimateriaali sen sijaan on helposti saatavilla koko ajan ja sitä voidaan käyttää niin pitkään kuin tarve vaatii.

Nykyinen oppimiskäsitys tukee ajatusta verkko-opetuksen käyttämisestä osana opetusta. Oppimisessa oppijan on oltava aktiivisessa roolissa. (Opetushallitus, 2004) Opettaja ei voi kaataa tietoa oppijan päähän. Oppijan on itse valikoitava, mitä haluaa oppia ja konstruoidava oppimansa omien tarpeidensa, kiinnostuksensa ja näkemyksensä perusteella. Verkossa oppija pääsee oppimaan itseään eikä kurssia varten. (Kalliala, 2002)

Kertaus ja omaan tahtiin asiaan syventyminen on helppoa verkko-oppimateriaalin avulla. Oppija voi esimerkiksi lähiopetuksen jälkeen palata materiaalin pariin ja jatkaa siihen tutustumista. Oppimateriaalin tehtävien avulla oppija voi testata osaamistaan. Jos

verkko-opetusmateriaalin kuuluu keskustelualusta, voidaan lähiopetustilanteessa syntynyttä keskustelua jatkaa verkossa. (Kalliala, 2002)

Verkko-opetusmateriaali helpottaa eriyttämistä. Materiaali mahdollistaa oppijoiden etenemisen omaan tahtiin ja tietyissä tapauksissa myös haluamassaan järjestyksessä. Verkkomateriaalia voidaan käyttää edistyneimmille lisätehtävien tekoon tai hitaammin edistyville tukiovetusmateriaalina. (Haasio, 2001)

Nevgi ja Tirri (2003) jakavat verkko-oppimisen esteet neljään pääalueeseen: 1) opiskelijan opiskelutaitojen puute, 2) opiskelijan työ- ja elämäntilanne, 3) verkko-opetuksen pedagogiset ratkaisut ja arviointi sekä 4) koulutusta tarjoavan organisaation hallinnolliset ratkaisut koskien verkko-opetuksen organisointia. Nämä neljä pääaluetta voidaan jakaa kahteen kategoriaan, opiskelijälähtöisiin ja organisaatilähtöisiin esteisiin.

Taulukko 2: Verkko-oppimisympäristön esteet (Nevgi & Tirri, 2003).

	Opiskelijan persoonallisuudesta, ominaisuuksista ja elämäntilanteista aiheutuvat syyt	Orgaanisaatiosta johtuvat syyt
Tekniikka ja ohjelmistot	*tietotekniikan osaamisen puute *tietokoneen puutteellinen taso *liian hidas verkkoyhteys	*tekniikan ja ohjelmistojen soveltumattomuus *liian raskaat verkkosivustot
Opetus	*vaikeus tulkita ja vastaanottaa palautetta *vaikeus osallistua opetuskeskusteluun	*opettajan palautteuden hitaus, epäasiallisuus ja puutteellisuus *opettajan puutteelliset tekstiviestinnän taidot
Verkkoympäristön rakenne	*ei osaa liikkua hypertekstiympäristössä *ei osaa hahmottaa kyberavaruuden tiloja *ei tunnista miten eri tilat linkittyvät toisiinsa	*huonosti suunniteltu hypertekstin rakenne *sivuilla liikkumisen ohjeet tai vihjeet puuttuvat *sivustot liian raskaita *sivustot sisältävät liian monia elementtejä
Ohjaus- ja neuvontapalvelut	*ei tunnista avun tarvettaan *ei osaa hakea neuvontaa ja ohjausta	*ohjaus- ja neuvontapalvelut vaikeasti löydettävissä ja saavutettavissa tai puuttuvat kokonaan
Kustannukset	*verkkoyhteydet ja tietotekniikka liian kalliita	*kalliimpia kuin perinteiset kurssit

Tekniikka ja ohjelmistot voivat aiheuttaa ongelmia verkko-opetuksessa. Oppijasta johtuvia ongelmia ovat tietotekniikan osaamisen puute. Ongelmat voivat olla myös laitteistosta johtuvia, kuten tietokoneen puutteellinen taso ja riittämätön verkkoyhteys. Organisaation puolelta ongelmia voi aiheuttaa tekniikan ja ohjelmistojen

soveltumattomuus tai tavallisille modeemeille liian raskaat verkkosivustot. (Nevgi & Tirri, 2003)

Opetukseen liittyviä ongelmia verkko-opetuksessa voi olla muun muassa opettajan palautteiden hitaus, epäasiallisuus ja puutteellisuus sekä opettajan puutteelliset tekstiviestinnän taidot. Oppijan puolelta aiheutuvia ongelmia ovat esimerkiksi vaikeudet tulkita ja vastaanottaa palautetta sekä vaikeudet osallistua opetuskeskusteluun. (Nevgi & Tirri, 2003)

Myös verkkoympäristöstä voi aiheutua ongelmia. Oppija ei välttämättä osaa liikkua hypertekstiympäristössä tai ei osaa hahmottaa kyberavaruuden tiloja eikä tunnista miten eri tilat linkittyvät toisiinsa. Osa ongelmista voi olla organisaation aiheuttamia, kuten huonosti suunniteltu hypertekstin rakenne. Myös puuttuvat sivuilla liikkumisen ohjeet ja vihjeet voivat aiheuttaa ongelmia. Samoin liian raskaat sivustot ja sivustot, jotka sisältävät liian monia elementtejä. (Nevgi & Tirri, 2003)

Verkko-opetuksessa ohjaus- ja neuvontapalvelut ovat tärkeässä roolissa. Ongelmia aiheutuu, jos oppija ei tunnista avun tarvettaan tai ei osaa hakea neuvontaa ja ohjausta. Organisaatiosta voi johtua, että ohjaus- ja neuvontapalvelut ovat vaikeasti löydettävissä ja saavutettavissa tai puuttuvat kokonaan. (Nevgi & Tirri, 2003)

Verkko-opetuksen kustannukset voivat tuottaa ongelmia. Verkkoyhteydet ja tietotekniikka saattavat olla liian kalliita oppijalle. Myös organisaatiolle verkkokurssit ovat usein kalliimpia kuin perinteiset kurssit. (Nevgi & Tirri, 2003)

Edellä olevista esteistä monet liittyvät lähinnä etäopiskeluun tai monimuoto-opiskeluun. Kun verkkomateriaalia käytetään lähiopetuksessa, monet esteistä katoavat. Jos opettaja aikoo käyttää tiettyä verkko-materiaalia tunnilla, hän esimerkiksi varmasti pitää huolen siitä, että käytettävissä on tarvittava tekniikka. Opettaja voi myös ohjata opiskelijoita, joten opiskelijan osaamisen puutteet eivät muodosta suurta ongelmaa. Lähiopetuksessakin ongelmia voi kuitenkin aiheuttaa esimerkiksi huonosti suunniteltu verkkoympäristön rakenne.

4.3 Hyvä verkko-oppimateriaali

Nevgin ja Tirrin (2003) tekemän tutkimuksen mukaan hyvän verkkokurssin tärkein ominaisuus on selkeys. Selkeyttä kaivattiin rakenteessa, tavoitteissa, oppimateriaalissa,

ulkoasussa ja ohjeissa. Muita hyviä ominaisuuksia oli vuorovaikutteisuus, monipuolisuus, hyvä sisältö, esteettinen ulkoasu ja onnistunut linkitys. Vaikka nämä termit kuvaavat hyvän verkkokurssin piirteitä, ne sopivat myös sovellettavaksi hyvän lähiopetuksessa käytettävän verkko-oppimateriaalin ominaisuuksiksi.

Hyvää oppimateriaalia luodessa tulee ottaa huomioon ihmisen tiedonkäsittelyn lainalaisuudet. Ihmisen tiedonkäsittelyprosessit ovat muistin ja ajattelun toimintoja. Ne ovat mukana uusia asioita opittaessa. (Nyman & Kanerva, 2005)

Eräs keskeinen oppimisen este on työmuistin ylikuormittuminen. Työmuistin tarkoitus on säilyttää tietoa väliaikaisesti ja sen kapasiteetti on rajallinen. Työmuistia kuormittavat oppimateriaalin monimuotoisuus ja erilaiset materiaalin esittämistavat. Kuormitus pitäisi pyrkiä pitämään mahdollisimman pienenä, jotta opiskelija pystyisi keskittymään materiaalin sisällön oppimiseen. (Nyman & Kanerva, 2005)

Työmuistin kuormitus voidaan jakaa sisäisiin ja ulkoisiin kuormitustekijöihin. Oppimateriaalin sisällön monimutkaisuudesta johtuva kognitiivinen kuormitus on sisäinen kuormitustekijä. Ulkoisilla kuormitustekijöillä tarkoitetaan materiaalin esitysmuodon aiheuttamaa kuormitusta. (Nyman & Kanerva, 2005)

Navigoiminen hypertekstissä ja materiaalin oppiminen aiheuttaa kognitiivista kuormitusta, koska hypertekstiympäristössä oppija joutuu pitämään mielessään opeteltavan materiaalin lisäksi dokumentin rakenteen ja sen, miten aikoo dokumentissa edetä ja missä osissa on aiemmin käynyt. (Nyman & Kanerva, 2005)

Ylimääräinen tarkkaavaisuutta puoleensa vetävä materiaali häiritsee oppimisprosessia. Tämä on syytä pitää mielessä esimerkiksi kuvitusta valitessa. Opiskelija ei myöskään yleensä pysty seuraamaan kuin yhtä kielellistä lähdettä kerrallaan. (Nyman & Kanerva, 2005)

Kuvalliset esitykset ovat joko analogisia tai symbolisia. Analogiset kuvat, esimerkiksi maastosta piirretty kartta, esittävät visuospaatialisia ilmiöitä. Ne auttavat ymmärtämistä, koska ne havainnollistavat ilmiötä paremmin kuin samaa asiaa kuvaava teksti. Diagrammit ja kaaviot ovat esimerkkejä symbolisista kuvista. Ne voivat helpottaa monimutkaisen oppimateriaalin ymmärtämistä. (Nyman & Kanerva, 2005)

Kun informaatiota esitetään useassa eri muodossa samanaikaisesti, puhutaan multimedista (Erämetsä & Kanerva, 1993). Digitaalinen oppimateriaali on yleensä muodoltaan multimediaa. Oppimisen kannalta hyödylliselle multimedialle voidaan esittää kolme kriteeriä: 1) pitää tukea navigointia, 2) käytön tulee olla tarpeeksi nopeaa ja 3) sisällön ja luotettavuusasteen tulee selvitä käyttäjälle välittömästi. (Meisalo & al., 2000)

Onnistuneilla verkkosivuilla on kiinnitetty huomiota yksityiskohtiin, kuten väreihin, asetteluun, kirjasinkokoon ja otsikoihin. Visuaalisia ja muita efektejä ei kannata käyttää liiaksi, mieluummin liian vähän kuin liikaa. Käytettävän grafiikan on tuettava aineiston muuta sisältöä. Sivun sommittelun tulisi olla houkutteleva. Huomiota kannattaa kiinnittää myös kirjoitusasuun ja -tyyliin. Yhdellä sivulla ei pitäisi olla yhtä tai kahta näyttöruudullista enempää aineistoa. (Meisalo & al., 2000)

Erityisesti käytettävyyden kannalta on otettava huomioon sivujen latautumiseen kuluva aika. Sen tulisi olla kohtuullinen myös hitaita modeemeita käytettäessä. Toinen käytettävyyden kannalta olennainen asia on helppo navigoitavuus. Sen on oltava riittävän yksinkertainen. (Meisalo & al., 2000)

Taulukko 3: Koontia hyvän verkkosivun ominaisuuksista. (esim. Nevgi & Tirri, 2003, Meisalo & al. 2000)

Rakenne	Sisältö	Ulkonäkö	Tekniset ominaisuudet
*selkeä *navigointi helppoa *selkeät linkitykset	*selkeä *jäsenneily *monipuolinen *havainnollinen *rikas *tiivis *keskittyy olennaiseen *mielenkiintoinen	*selkeä *miellyttävä *houkutteleva *havainnollinen *visuaalinen	*materiaali ei saa olla liian raskas

Nevgi ja Tirri (2001) ovat tutkineet aikuisopiskelijoiden mielipiteitä oppimista edistävästä seikoista verkko-opetuksessa. Tutkimuksen teoreettisena pohjana he käyttivät mielekkään oppimisen kriteereitä. He yhdistivät kriteeristöä varten Jonassenin vuonna 1995 määrittelemät kriteerit Ruokamon ja Pohjalaisen kehittämään käsitteeseen oppimisen transfer. Oppimisen transfer tarkoittaa opitun siirtämistä uusiin oppimistilanteesta poikkeaviin tilanteisiin.

Jonassenin mielekkään oppimisen kriteerit ovat aktiivisuus, konstruktivisuus, yhteistoiminnallisuus, intentionaalisuus, keskustelumuotoisuus ja vuorovaikutteisuus, kontekstuaalisuus sekä reflektiivisyys. (Nevgi & Tirri, 2001)

Aktiivisuus tarkoittaa oppijan aktiivista työskentelyä, jolloin hän työstää uutta tietoa ja on itse vastuussa omasta oppimistuloksesta. Konstruktivisuus tarkoittaa sitä, että oppija yhdistää uuteen tietoon aikaisempaa tietoaan ja pyrkii ymmärtämään tai sovittamaan ristiriidassa olevia asioita ja näin muokkaamaan uutta tietoa. Yhteistoiminnallisuudella tarkoitetaan oppijoiden toimimista ja oppimista yhdessä. Oppijat hyödyntävät toistensa taitoja observoimalla ja mallioppimalla toisiltaan. Intentionaalisuus tarkoittaa oppijoiden aktiivista pyrkimystä saavuttaa itse asettamansa kognitiiviset tavoitteet. Keskustelumuotoisuus ja vuorovaikutteisuus tarkoittavat oppimisprosessin sosiaalisuutta ja dialogisuutta. Oppijat muodostavat yhteisiä oppimisyhteisöjä ja rakentavat uutta tietoa yhdessä. He hyödyntävät toistensa erilaisia näkemyksiä ja vaihtavat ajatuksia. Kontekstuaalisuuden mukaan oppimistehtävien tulisi olla todelliseen elämään liittyviä, simuloinnin avulla tuotettuja tapauksia tai ongelmalähtöisen oppimisen näkemyksen mukaisia tilanteita. Reflektiivisyydellä tarkoitetaan, että oppijat ilmaisevat ajatuksiaan pohtien ja reflektoiden omaa oppimistaan ja johtopäätöksiansä. (Nevgi & Tirri, 2001)

Nevgin ja Tirrin (2001) mukaan verkko-oppimista edisti parhaiten intentionaalisuus ja aktiivisuus. Melko hyvin oppimista edistäviksi koettiin myös konstruktivinen opiskelu ja oppiminen.

4.4 Videoiden käyttö kemian verkko-opetuksessa

Verkko-opetusmateriaali tarjoaa tilaisuuden käyttää hyväksi videoita opetuksessa. Videoita käytettäessä on muistettava mieltä mitä annettavaa niillä on opetukselle. Niillä ei pidä korvata muuta opetusta, vaan ne tulisi olla menetelmä muiden menetelmien joukossa. (Wellington, 2004)

Kemian opetuksessa videoita voidaan käyttää moniin eri tarkoituksiin. Joskus sama video käy useampaankin eri tarkoitukseen. Puukari (2003) on listannut videoille 11 eri käyttötarkoitusta.

Videoita voidaan käyttää mutkikkaiden teorioiden, prosessien tai laitteen käyttöperiaatteiden selventämiseen. Jotkut kokeet ovat vaarallisia tai erittäin kalliita toteuttaa koulussa, mutta silti tärkeitä aiheen ymmärtämisen kannalta. Tällöin se voidaan näyttää videolta. Videoita voidaan käyttää, kun halutaan ennen tai jälkeen varsinaisen opetuksen tuoda esille tieteellisen tiedon tai teorian käytännön merkitys. Uuden aiheen tai käsitteen esittelyyn voidaan käyttää videota. Silloin sen tulisi sisältää materiaalia ja esitystekniikoita, jotka auttavat oppijaa löytämään videoiden avainnäkökulmat ja tärkeät yksityiskohdat. Videota voidaan käyttää myös keskustelun alustamisessa. Silloin yleensä halutaan joko rakentaa uusia käsitteitä tai käsitellä yksityiskohtaisemmin tuttuja käsitteitä tai auttaa oppijoita keskustelemaan tieteen teknologian ja yhteiskunnan yhteyksistä. Eräs tapa käyttää videoita on yhteenveto. Hyvä video voi auttaa oppijoita muistamaan avainkäsitteet ja niiden suhteet sekä tieteellisen tiedon käyttämisen todellisen elämän tilanteissa. Videot tarjoavat toimintaohjeita laboratoriotöiden tekoon ja laitteiden käyttöön. Tällä tavalla opettaja voi paremmin keskittyä yksilölliseen ohjaukseen. Videon avulla voi antaa palautetta suorituksesta. Palautteen annossa katsotaan suoritusta videolta ja keskustellaan siitä. Tätä ei kuitenkaan ole juuri luonnontieteiden opetuksessa käytetty. Videon avulla voidaan suurentaa esimerkiksi esineitä, joita opettaja haluaa esitellä. Oppilaat voivat nauhoittaa videopätkiä osana luonnontieteiden projektia. Eräs edellisistä hieman poikkeava tapa on näyttää video-ohjelmia, joissa tarinaan liittyy luonnontieteellistä tietoa. (Puukari, 2003)

Luonnontieteellisissä aineissa koulussa korostuu taitojen merkitys. Asioiden tekeminen luo usein kiinnostusta näitä aineita kohtaan. Taitoihin kuuluu mm. havaitsemista, mittaamista, kokeilemista, tarkkailua ja tulosten kirjaamista. Luonnontieteet ovat kuitenkin myös teoreettisia. Niisiin kuuluu ajattelua, päättelyä, hypoteesien tekoa, teorioiden rakentelua, mallintamista jne. Ajatteluharjoitukset ovat yhtä tärkeitä kuin käytännön tehtävät. Multimedian avulla voidaan auttaa vaikeiden ja abstraktien asioiden ymmärtämistä. (Wellington, 2004)

Wellington (2004) on tehnyt tutkimuksen multimediainformaation käytöstä opetuksessa. Kyselyyn osallistui sekä oppilaita että opettajia ja he arvioivat muutamia esimerkkejä multimediaoppimateriaaleista. Tässä käydään läpi tuloksista niitä kohtia, jotka sopivat videoiden käyttöön. Tutkimuksen tuloksista selvisi, että oppilailta ja opettajilta oli hyvin samantyyppiset näkemykset multimedian käytöstä osana opetusta.

Taulukko 4: Videoiden käytön hyödyt ja vaarat. (Wellington, 2004)

Hyödyt	Vaarat
<ul style="list-style-type: none"> *motivoiva ja mukaansa tempaava *kertaamisen mahdollisuus *voidaan katsoa reaktiota, jotka eivät olisi mahdollisia toteuttaa koululaboratoriossa *näkemällä jää paremmin mieleen *voi keskittyä tarkkailuun *työ onnistuu aina 	<ul style="list-style-type: none"> *ei saa korvata muita opetusmenetelmiä *kalliiden reagenssien säästäminen voi houkutella näyttämään helpotkin kokeelliset työt videolta *videot antavat väärää kuvaa tieteistä

Multimediaa pidettiin motivoivana ja mukaansa tempaavana. Se mahdollisti kertaamisen omassa rauhassa. Videoilta voitiin katsoa reaktiota, joita ei ollut mahdollista toteuttaa koululaboratoriossa. Monet olivat sitä mieltä, että näkemällä asiat jäivät paremmin mieleen kuin pelkän kerronnan avulla. Videoita katsoessa pystyi keskittyä pelkästään tarkkailuun, kun ei tarvinnut itse tehdä muuta. Videolla kokeellinen työ myös onnistui aina. (Wellington, 2004)

Eräs uhkatekijä on liiallinen videoiden käyttö. Ne eivät saa korvata muita opetusmenetelmiä. Esimerkiksi kalliiden reagenssien säästäminen voi houkutella näyttämään helpotkin kokeelliset työt videolta. Videot voivat myös antaa väärää kuvaa luonnontieteistä. Niistä puuttuu epäonnistumiset ja sekasotku. Lisäksi ne ovat monesti dramaattisia. (Wellington, 2004)

Videoiden tai multimedian käyttöä suunniteltaessa kannattaa aina miettiä, auttaako tekeminen oppimista vai onko paino jossain muualla, jolloin video tai multimedia voi olla perinteistä kokeellisuutta parempi vaihtoehto.

5 Tutkimus

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää millaista on nykyisen opetussuunnitelman mukainen perusopetuksen vuosiluokkien 7-9 ja lukion kemian opetus lasista. Tarveanalyysin ja aikaisemman tutkimustiedon pohjalta kehitettiin ajanmukainen ja opetussuunnitelman perusteiden tavoitteiden mukainen verkko-oppimateriaali kemian opetukseen.

5.1 Tutkimuskysymykset

Tutkimuskysymysten tarkoituksena on ohjata tutkimusta. Tässä kehittämistutkimuksessa haettiin vastausta seuraaviin kysymyksiin:

1. Miten lasin kemiaa opetetaan perusopetuksen 7.-9. luokilla ja lukiassa?
 - 1.1 Mitä lasin kemiaan liittyviä asioita käsitellään oppikirjojen teksteissä ja kuvissa tai kuvateksteissä?
 - 1.2 Mitä lasin kemiaan liittyviä asioita käsitellään oppikirjojen tehtävien avulla?
2. Millainen verkko-oppimateriaali tukee lasin kemian opetusta mielekkäällä tavalla?

Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen vastataan kappaleessa 6.1 ja toiseen kysymykseen kappaleessa 6.2.

5.2 Tutkimuksen toteutus

Tutkimus toteutettiin kehittämistutkimuksena. (Edelson, 2002) Se tehtiin kahdessa vaiheessa. Syksyn 2007 aikana tehtiin oppikirjoista tarveanalyysi ja keväällä 2008 kehitettiin verkko-oppimateriaali lasin kemian opetukseen.

Tarveanalyysin tarkoituksena oli oppikirjojen avulla saada kuva lasin kemian opetuksen nykytilasta ja haasteista. Kirjoja ei ollut tarkoitus verrata toisiinsa. Tutkimuksen kirjat olivat peruskoulun vuosiluokkien 7-9 ja lukion kirjoja. Ne valittiin saatavuuden mukaan. Yhteensä tutkimuksessa tutkittiin 25 oppikirjaa. Näistä 5 oli perusopetuksen vuosiluokkien 7-9 kirjoja ja loput 20 lukion kirjoja. Perusopetuksen vuosiluokilta 7-9 oli kaksi eri kirjasarjaa ja lukiosta neljä.

Tutkimuksessa käsiteltiin ainoastaan tekstikirjoja. Toisessa perusopetuksen vuosiluokkien 7-9 oppikirjasarjassa ja lukion kirjasarjoissa tekstikirjat sisälsivät kokeellisia töitä. Niitä ei otettu mukaan tähän tutkimukseen.

Tutkimusten mukaan monet opettajat ovat opetuksen suunnittelussa oppikirjasidonnaisia. Opetuksen perustana on tällöin oppikirjan sisältämän informaation välittäminen. (Ahtineva, 2000) Tämän vuoksi oppikirjatutkimus antaa melko hyvän kuvan siitä mitä lasin kemiasta kouluissa opetetaan.

Tarveanalyysin valmistuttua tutustuttiin peruskoulun ja lukion opetussuunnitelmien perusteisiin. Niistä kerrottiin jo tarkemmin luvussa 3. Lasia ei varsinaisesti mainittu opetussuunnitelmien perusteissa, mutta sen opetus sopii useaan kokonaisuuteen.

Ennen oppimateriaalin kehittämistä tutustuttiin myös tämän hetkiseen tietoon lasin kemiasta. Opetussuunnitelmien perusteiden ja nykyisen lasitiedon perusteella pohdittiin mitä lasin kemiasta olisi hyvä opettaa.

Koska tutkimuksessa kehitetty oppimateriaali on verkkopohjainen, tutustuttiin myös verkkopedagogiikkaan. Tämän avulla selvitettiin millainen olisi hyvä ja mielekäs verkko-oppimateriaali lasin kemian opetukseen.

Oppimateriaalin suunnittelu aloitettiin samalla, kun tehtiin lasin kemian teoriaosaa. Silloin mietittiin jo mitkä asiat olisivat opetusmateriaaliin mielekkäitä. Näille ajatuksille haettiin vahvistusta opetussuunnitelmien perusteista.

Verkko-oppimateriaali on tarkoitettu lähinnä lähiopetuksen tueksi. Opettaja voi käyttää sitä tunnilla lisämateriaalina tai antaa siitä osia esimerkiksi kotitehtäväksi. Opettajan tuki on materiaalia käytettäessä tärkeä, koska se on suunnattu sekä perusopetuksen vuosiluokille 7-9 että lukioon, joten osa materiaalista on turhan haastavaa perusopetuksen käyttöön.

Verkko-oppimateriaali sisältää teorian lisäksi tehtäviä ja kokeellisuutta. Tehtävien tarkoituksena on testata oppimista. Kokeellisten töiden tarkoitus on motivoida oppilaita, tuoda vaihtelua teoriapainotteiseen materiaaliin ja tuoda esiin kemian kokeellista luonnetta. Lisäksi materiaaliin on liitetty muutamia videoita. Niiden avulla on pyritty havainnollistamaan tekstiosassa esiin tulleita asioita.

6 Tulokset

Tässä kappaleessa esitellään tutkimuksen tulokset. Kappaleessa 6.1 esitellään tarveanalyysin tulokset ja kappaleessa 6.2 kerrotaan kehitetystä verkko-oppimateriaalista.

6.1 Tarveanalyysi

Tarvenanalyysissä selvitettiin sisällönanalyysin (Sarajärvi & Tuomi, 2002) avulla miten lasin kemiaa käsitellään perusopetuksen vuosiluokkien 7-9 ja lukion oppikirjoissa. Analyysi kattoi yhteensä 25 oppikirjaa. Tutkimusta varten kirjat nimettiin kirjain ja numero yhdistelmin. Kirjain kertoo mikä kirjasarja oli kyseessä ja numero kertoo kuinka mones sarjan kirja on kyseessä. Kirjasarjoja oli yhteensä kuusi ja niissä kirjojen määrät vaihtelivat yhdestä viiteen. Kirjasarjat a-b olivat perusopetuksen 7.-9. luokkien kirjoja ja c-f lukion kirjoja. Tutkituista kirjoista kymmenestä ei löytynyt mainintoja lasista. Kirjat on tarkemmin eritelty liitteissä.

Kirjoissa esiintyneet maininnat lasista jaettiin kuuteen kategoriaan: historia, ominaisuudet, käyttökohteet, valmistus, elinkaari ja lasilaadut.

Lasin historiaa esiintyi kolmessa kirjasarjassa. Kaikissa näissä oli jonkunlainen kuvaus lasin keksimisen ajankohdasta, joko vuosina tai verrattuna muiden materiaalien keksimisajankohtaan. Kuvia tästä aiheesta löytyi yksi. Siinä oli maininta lasinvalmistuksen ajankohdan keksimisestä. Ainoa tehtävä löytyi lukion 1. kurssin kirjasta.

Taulukko 5: Tarveanalyysin löydökset lasin historiasta.

kirja	teksti	kuvat + kuvatekstit	tehtävät
a	*lasinvalmistuksen keksimisen ajankohta *miten lasi keksittiin *ensimmäiset lasituotteet *lasin puhalluksen keksiminen *Suomen ensimmäinen lasitehdas	*lasinvalmistuksen keksimisen ajankohta	
c4	*lasi savikeraamikan rinnalle		
d1,4	*lasinvalmistuksen keksimisen ajankohta		*lasinvalmistuksen keksimisen ajankohta
d3	*lasinvalmistustaito on tunnettu kauan ennen kemian teorioiden kehittymistä		

Lasin ominaisuuksista löytyi maininta jokaisesta tutkitusta kirjasarjasta. Lukion kirjasarjoissa puhuttiin lasin amorfisesta rakenteesta. Toisesta peruskoulun kirjasta löytyi viittaus amorfiseen rakenteeseen, mutta termiä amorfisuus ei otettu esille. Lukion kirjoista ei juuri muita lasin ominaisuuksia löytynyt. Yhden kirjan kuvateksteistä löytyi tietoa lasin rakenteesta ja liukenevuudesta. Neljässä kirjassa ominaisuuksia esiintyi tehtävissä. Niissä käsiteltiin esimerkiksi lasin amorfisuutta, sähköjohtokykyä ja syttyvyyttä.

Taulukko 6: Tarveanalyysin löydökset lasin ominaisuuksista.

kirja	teksti	kuvat + kuvatekstit	tehtävät
a	*läpinäkyvää, vedenpitävää, kestää hyvin kemikaaleja *hyvä lämmön- ja sähköneriste *rikkoutuu helposti *jäähmetty kiteytymättä		*luokittelua: vaikeasti syttyvä *sähkönjohtavuus *ominaisuuksien luettelointia
b2	*hyvä eriste		
c2	*ei absorboi näkyvän valon aallonpituuksia *kovaa, kestää hyvin kemikaaleja ja korkeita lämpötiloja *amorfinen		
c4	*amorfinen		
d2	*amorfinen		
d4			*amorfinen *ei hapetu
e1	*rikkoutuu helposti		
e2	*amorfinen *veteen liukenematon		*lämmönjohtavuus
e4	*amorfinen	*silikaattien muodostama kolmiulotteinen verkkorakenne *veteen liukenematon	
f2	*amorfinen		
f4			*amorfisuus

Lasin käyttökohteita esiintyi jokaisessa kirjasarjassa. Käyttökohteina mainittiin esimerkiksi pakkauslasi, keraamikan lasittaminen, lasivilla ja lasikuitu. Lasikuitu esiintyi kirjoissa kahdessa eri merkityksessä, komposiittina ja lasikuituna. Kirjoista löytyi mainintoja lasin nykyaikaisista sovelluksista. Kahdessa kirjassa oli tietoa bioaktiivisesta lasista ja yhden kirjan kuvatekstissä kerrottiin itsepuhdistuvasta lasista. Tehtävissä käsiteltiin lasikuitua muovien vahvikkeena, itsestään tummuvia aurinkolaseja ja kotoa löytyviä lasiesineitä.

Taulukko 7: Tarveanalyysin löydökset lasin käyttökohteista.

kirja	teksti	kuvat + kuvatekstit	tehtävät
a	*yleiset: lasipaukkaukset, astiat, ikkunat, koriste-esineet, silmälasit, peilit, linssit, lasitteet, taidelasi, uuniastiat, laboratoriolasit, hehkulamput *luukudoksen korjaajana *ketävät lasit: karkaistu, panssari *lasivilla		*mitä lasiesineitä löytyy kotoa?
b1	*lasiastiat		
b2	*tulitikkurasian raapaisupinnassa *peilissä pinnoitteena *fotokromaattiset lasit		
b3	*lasivilla		
c2	*tulitikkurasian raapaisupinnassa		
c4	*itsepuhdistuvat ikkunat *lasikuitu	*koriste-esineet	
d1			*lasikuitu
d3		*itsepuhdistuva lasi	
d4	*laboratoriovälineet *vesilasi: maalien sideaine, pesuaineissa lisäämässä juoksevuutta ja emäksisyyttä, elintarvikkeissa estämässä paakkuuntumista *luukudoksen korjaajana *lasikuitu	*lasikuitu	*itsestään tummuvat aurinkolasit
e2	*pakkauslasi *uuninkestävät astiat *laboratorioastiat		
e4	*pakkauslasi *pinnoitus/lasitus *lasivilla		
f2		*kameran linssi	
f4	*lasikuitu	*hehkulamppu	

Lasin valmistusta ei käsitelty kovinkaan kattavasti missään kirjassa. Lähinnä maininnat liittyivät lasin raaka-aineisiin. Valmistuksesta kerrottiin ainoastaan, että raaka-aineet sulatetaan korkeissa lämpötiloissa. Kolmessa kirjasarjassa oli mainintoja lasin värjäyksestä ja kahdessa sen syövyttämisestä. Yhdessä kirjassa otettiin esiin energian kulutus valmistusprosessissa. Kirjassa a oli kuva lasipullon valmistuksen vaiheista.

Muiden kirjojen kuvissa käsiteltiin raaka-aineita ja lasin värjäystä. Lasin valmistukseen liittyvät tehtävät käsittelevät pääasiassa käytettäviä raaka-aineita.

Taulukko 8: Tarveanalyysin löydökset lasin valmistuksesta.

kirja	teksti	kuvat + kuvatekstit	tehtävät
a	*raaka-aineita *menetelmistä: suupuhallus, koneellinen puhallus, puristaminen, rullaaminen, vetäminen, valaminen *valmistusprosessista: raaka-aineiden sekoitus, sulatus *lisäaineita ominaisuuksien muuttamista ja värjäystä varten *keräyslasin käyttö lasin valmistuksessa	*lasipullon valmistuksen vaiheet	*raaka-aineet *menetelmistä *energian kulutus lasinvalmistuksessa
b2	*raaka-aine: lipeä *lasin syövyttäminen		
c2	*raaka-aineita *lasia sulattamalla		
c4	*lasissa lantaanioksidi sitoo IR-säteilyä *raaka-aineita: kaoliini, kvartsihiekkä, kalkkikivi, sooda	*värjäys metalliyhdisteillä	*raaka-aineita: natriumkarbonaatti, kalsiumkarbonaatti, kvartsi (piidioksidi)
d1			*raaka-aine: potaska
d2	*voi muovata lämmön avulla moneen kertaan rakenteen kärsimättä	*raaka-aine: piidioksidi	
d4	*raaka-aineita: sooda, piidioksidi *syövyttäminen	*raaka-aine: sooda *värjäys metalliyhdisteillä	*raaka-aineita: ikkunalasin ja kristallilasin kemialliset kaavat *syövyttäminen
e2	*raaka-aineita *lasia sulattamalla *kemiallisia reaktioita sulamisen aikana *värjäys metallioksidoilla *lasimestarin saippua *jäähdytyksestä		
e4	*lasi koostuu natrium- ja kaliumsilikaateista sekä piidioksidista		*syövyttäminen
f4	*raaka-aineita: sooda, kalkki, piin yhdisteet		

Lasin elinkaarta käsiteltiin lähinnä perusopetuksen vuosiluokkien 7-9 kirjasarjoissa. Yhdestä lukion kirjasarjasta löytyi maininta lasin kierrätyksestä. Erityisesti kirjoissa oli kiinnitetty huomiota jätteiden lajitteluun. Kirjan a tehtävissä otettiin esiin lasinvalmistuksen energian kulutus. Kirjan a ja d1 tehtävissä oli maininta lasin kierrätyksestä. Muutoin tehtävät keskittyivät jätteiden lajitteluun.

Taulukko 9: Tarveanalyysin löydökset lasin elinkaaresta.

kirja	teksti	kuvat + kuvatekstit	tehtävät
a	*lasi vs. muovi *jätteen lajittelu *rajattomasti kierrätettävä *keräyslasi lasin raaka-aineena	*jätteiden lajittelu	*lasinvalmistuksen energian kulutus *jätteiden lajittelu *keräyslasin käyttö
b1	*jätteiden lajittelu		
b3	*lasipaukkauksien uudelleenkäyttö ja uusiokäyttö *jätteiden lajittelu	*lasipullojen keräys *jätteiden lajittelu	*jätteiden lajittelu
d1	*jätelasi voidaan hyödyntää		*jätteiden lajittelu *ihanteellinen raaka-aine kierrätykseen
d2	*sopii hyvin kierrätykseen		

Jonkunlainen maininta lasilaaduista löytyi jokaisesta kirjasarjasta yhtä lukuunottamatta. Niitä ei kuitenkaan yleensä käsitelty sen tarkemmin.

Taulukko 10: Tarveanalyysin löydökset lasilaaduista.

kirja	teksti	kuvat + kuvatekstit	tehtävät
a	*lyijylasi *borosilikaattilasi		
c2	*kvartsilasi		
d4	*kvartsilasi *vesilasi		*soodakalkkilasi *lyijylasi
e2	*soodalasi *borosilikaattilasi		
f4		*kvartsilasi	

Perusopetuksen puolella lasin kemiaa esiintyi monessa eri yhteydessä. Kirjassa a lasista oli kokonainen kappale. Sen lisäksi lasin kemiasta puhuttiin raaka-aineena olevien alkuaineiden yhteydessä sekä metallien sähkönjohtavuudesta kerrottaessa. Kirjasarjassa b lasin kemiaa oli käsitelty esimerkiksi lisäkappaleissa, jonkin käytännön sovelluksen

kautta, metallien sähkönjohtavuudesta puhuttaessa sekä raaka-aineena olevien alkuaineiden yhteydessä.

Lukion oppikirjoissa lasin kemia sijoittuu lähinnä kursseihin 2: Kemian mikromaailma ja 4: Metallit ja materiaalit. Historiaa löytyi kurssista 4 ja muutaman muun kurssin kirjan aloituskappaleesta. Lasin ominaisuudet löytyivät kursseista 2 ja 4. Käyttökohteita käsiteltiin lähinnä kursseissa 2 ja 4. Jotain mainintoja löytyi myös kurssien 1: Ihmisen ja elinympäristön kemia sekä 3: Reaktiot ja energia kirjoista. Lasinvalmistusta käsiteltiin kursseissa 2 ja 4. Lasin elinkaarta ei juuri lukion oppikirjoissa käsitelty, mutta joitain mainintoja löytyi kursseista 1 ja 2. Lasilaaduista mainittiin kursseissa 2 ja 4.

Oppikirjoista löytyi tietoa lasista, mutta usein ne olivat yksittäisiä lauseita ripoteltuna sinne tänne. Kirjojen perusteella sai vaikutelman, että lasin kemialla ei juuri käsitellä perusopetuksen vuosiluokilla 7-9 tai lukiassa.

6.2 Verkko-oppimateriaali

Tarveanalyysin ja aikaisemman tutkimustiedon pohjalta verkko-oppimateriaalin tavoitteeksi asetettiin kattavan tietopaketin tekeminen lasin kemiasta. Oppikirjoissa lasin kemia esiintyi hyvin pirstaleisena. Verkko-oppimateriaalin oli tarkoitus kerätä sopivan kattava paketti, jota voidaan käyttää soveltaen sekä perusopetuksen vuosiluokilla 7-9 että lukiassa.

Toiseksi tavoitteeksi verkko-oppimateriaalille asetettiin kiinnostuksen lisääminen ja motivointi kemian opiskelua kohtaan. Lasi on tätä silmällä pitäen hyvä aihe, koska se on arkipäiväinen materiaali. Erityisesti verkkomateriaalissa olevien käytännön sovellusten toivottiin lisäävään kiinnostusta kemiaan. Oppimateriaalin suunnittelussa käytettiin hyväksi Jonassenin (1995) mielekkään oppimisen kriteereitä.

Tutkimuksen osana kehitetty verkko-oppimateriaali löytyy osoitteesta: <http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/lasinkemia>. Se on jaettu seitsemään osaan: lasi, lasin historia, lasin ominaisuudet, lasin valmistus, lasilaadut, lasin käyttökohteet ja lasin elinkaari. Aihealueet löytyvät vasemmalta valikosta. Lisäksi valikossa on tehtävät, sanasto, linkit ja lähteet. Lasin valmistus ja lasin käyttökohteet on jaettu molemmat neljään alaosiin, jotta sivuille ei tulisi liian paljon tekstiä. Sivujen tekstmäärän oikeanlainen mitoitus oli yksi hyvän verkko-oppimateriaalin kriteereistä.

Kuvassa 10 on oppimateriaalin etusivu. Etusivulla kerrotaan sivujen olevan osa pro gradu –tutkielmaa ja vähän niiden sisällöstä. Tämän on tarkoitus antaa käyttäjälle heti tietoa sivujen tarkoituksesta, sisällöstä ja luotettavuudesta.

Opettajan halutessa lisätietoa lasista, sitä tarjoaa tämän pro gradu –tutkielman teoriaosuus lasin kemiasta. Oppimateriaalin etusivulla on tältä varalta linkki tutkielmaan. Myös kattava lähdeluettelo antaa mahdollisuuden tutustua aiheeseen perusteellisemmin.

LASIN KEMIA	Tervetuloa!
Etusivu	Olet juuri löytänyt oppimateriaalin lasista. Tämä sivusto on kehitetty osana pro gradu –tutkielmaani, joka käsittelee lasin kemian opetusta. Tutkielman pääset lukemaan osoitteesta: http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/tutkimus/opinnaytetyot/index.htm .
Lasi	
Lasin historia	Oppimateriaali on ajateltu käytettäväksi lähiopetuksen tukena yläasteella tai lukiossa. Sivusto sopii kuitenkin kaikille lasista kiinnostuneille. Lukioon sivusto sopii kokonaisuudessaan. Osa sisällöstä voi olla liian vaikeaa käsiteltäväksi yläasteella, mutta esimerkiksi lasin historia ja elinkaari sopivat hyvin yläasteen käyttöön.
Lasin ominaisuudet	
Lasin valmistus	
» raaka-aineet	
» valmistusprosessi	
» työstömenetelmät	
» jäädytys ja jälkikäsittely	
Lasilaatuja	
Missä lasia käytetään?	Oppimateriaalissa on paljon tietoa lasista, sen kemiasta ja ajankohtaisista sovellutuksista. Olen suunnitellut opiskelijoille erilaisia aktiviteetteja, kuten testaa tietosi –tehtäviä ja kokeellisia töitä. Materiaalin teoriaa on pyritty tukemaan muutamilla havainnollistavilla videoilla. Sivustoilta löytyy myös vinkkejä hyvistä vierailukohteista.
» perinteiset	
» bioaktiivinen lasi	
» itsensä pesevät ikkunat	
» fotokromaattiset lasit	
Elinkaari ja kierrätys	Opetussuunnitelmien perusteissa ei varsinaisesti mainita lasin kemian osana kemian opetusta. Lasin kemian voi silti hyvin sisällyttää kemia tunneille. Lasi on mielenkiintoinen materiaali ja sopii oppimateriaaliksi moniin opetussuunnitelmien perusteiden asettamien tavoitteiden saavuttamiseen.
Tehtävät	- Anna Tähtivaara
Sanasto	ps. Videot on tuottanut Corning Museum of Glass. Jos ne eivät tällä sivustolla jostain syystä toimi, ne voi ladata omalle koneelle museon sivuilta. Verkkosivun osoite löytyy linkkiliistasta.
Linkit	
Lähteet	

Kuva 10: Verkko-oppimateriaalin etusivu.

Kuvassa 11 on oppimateriaalin Lasi-sivu. Lasi-sivulla pyritään pääsemään aiheeseen sisään. Aluksi tehtävänä on pohtia parin kanssa tai pienessä ryhmässä mitä lasi on. Tässä tulee mukaan opiskelun keskustelumutoisuus ja vuorovaikutteisuus, joka on yksi mielekkään oppimisen kriteereistä. Tehtävän jälkeen voidaan sivulta tutustua aiheeseen.

Lasi-sivulla otetaan esiin käsite amorfisuus, jonka vaikutusta sulamiseen havainnollistetaan videolla. Videolla verrataan metallin ja lasin sulamista. Tämä tarjoaa konkreettisen esimerkin lasin rakenteen vaikutuksista sen ominaisuuksiin. Videon

avulla materiaaliin saadaan kontekstuaalisuutta, sillä ilmiöt ovat todelliseen elämään kuuluvia.

LASIN KEMIA

- Etusivu
- Lasi
- Lasin historia
- Lasin ominaisuudet
- Lasin valmistus
 - » raaka-aineet
 - » valmistusprosessi
 - » työstömenetelmät
 - » jäähdytys ja jälkikäsitely
- Lasilaatuja
- Missä lasia käytetään?
 - » perinteiset
 - » bioaktiivinen lasi
 - » itsensä pesevät ikkunat
 - » fotokromaattiset lasit
- Elinkaari ja kierrätys
- Tehtävät
- Sanasto
- Linkit
- Lähteet

Lasi

Lasi on varmasti meille jokaiselle tuttu materiaali. Sitä löytyy kaikkialta ympäriltämme. Se on niin arkipäiväinen, että emme yleensä edes kiinnitä huomiota sen läsnäoloon. Takuulla kuitenkin huomaisimme sen puuttumisen.

Tehtävä: Mieti mitä lasi on? Miten voit määritellä sen? Hetken mietittyäsi keskustele aiheesta pariisi kanssa tai pienessä ryhmässä.

Lasi on kiinteä aine. Sillä on tietty muoto ja tilavuus. Tyypillistä kiinteille aineille on niiden kiderakenne. Atomit ovat järjestäytyneet tietyllä tavalla ja tämä järjestys säilyy kappaleen koko tilavuudessa. Lasi on kuitenkin tässä mielessä poikkeuksellinen kiinteä aine. Sen rakenteessa ei ole pitkän kantaman järjestystä. Tällaisia aineita sanotaan amorfisiksi. Toinen esimerkki amorfisesta aineesta on voi.

Kun kiteinen aine ylittää tietyn lämpötilan, se muuttuu nestemäiseksi. Tätä lämpötilaa kutsutaan sulamispisteeksi. Siinä atomien lämpöliike on kasvanut niin suureksi, että kiderakenne hajoaa. Amorfisilla aineilla ei ole tarkkaa sulamispistettä, vaan sen juoksevuus kasvaa pikkuhiljaa lämpötilan noustettaessa. Kemiassa juoksevuudesta käytetään termiä viskositeetti. Mitä viskoottisempi aine on sitä hitaammin se liikkuu/muuttua muotoaan.

Metallin sulaminen vs. lasin sulaminen




[Näytä/piilota selitys](#)

Lasin kemiallinen koostumus voi vaihdella suurestikin. Lasi onkin fysikaalinen tila eikä tietyn kemiallisen koostumuksen omaava aine. Ennen lasi määriteltiin epäorgaaniseksi tuotteeksi,

Kuva 11: Verkko-oppimateriaalin Lasi-sivu.

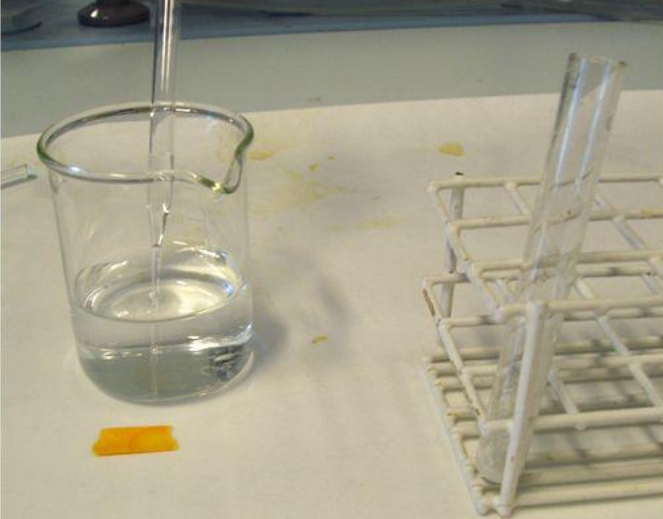
Kaikki sivuilla olevat videot ovat englannin kielisiä, jonka vuoksi niiden sisältö on suomennettu videon alareunasta löytyvän [Ava/piilota selitys](#) -linkin alle. Linkki avautuu laatikoksi videon alapuolelle, josta sen voi avata ja piilottaa halutessaan (kuva 12). Näin se ei häiriste sivun lukemista, jos siihen halutaan esimerkiksi tutustua videota katsomatta.

» raaka-aineet	<h3>Lasiesineen jäädytyksen merkitys</h3>  <p>Näytä/piilota selitys</p> <p>Mikä tahansa kuumaprosessilla tehty lasiesine, oli se valamalla tai puhaltamalla, täytyy jäädyttää hallitusti eli anneloida. Tässä roomalaistyyppinen pullo laitetaan jäädytysuuniin. Esine on uunissa noin 900 asteessa päivän loppuun asti, jolloin uuni sammutetaan. Tällöin uuni jäähtyy hiljalleen huoneenlämpöön noin 12 tunnin aikana. Uunin jäähtymisen aikana, lasi jäähtyy hitaasti. Ohuimmat ja paksuimmat kohdat jäähtyvät samaan tahtiin. Tällöin myös niiden tilavuudet pienenevät samaan tahtiin, jolloin lasiin ei synny jännityksiä, jotka voisivat rikkoa sen.</p> <p>Tässä samanlainen esine irrotetaan punttelista ja sen annetaan jäähtyä nopeasti. Ajastimesta nähdään kulunut aika. Vasemmalla on minuutit. Noin kahdeksan minuutin jälkeen kahva poksahtaa irti. Tämä on seurausta siitä, että ohut astian runko jäähtyy nopeammin kuin paksu kahva. Niiden liittymiskohtaan syntyy suuri jännite joka aiheuttaa hajoamisen.</p>
» valmistusprosessi	
» työstömenetelmät	
» jäädytys ja jälkikäsittely	
Lasilaatuja	
Missä lasia käytetään?	
» perinteiset	
» bioaktiivinen lasi	
» itsensä pesevät ikkunat	
» fotokromaattiset lasit	
Lasin elinkaari ja kierrätys	
Tehtävät	
Sanasto	
Linkit	
Lähteet	

Kuva 12: Videon suomennos oppimateriaalissa.

Ahteen ja Pehkosen (2000) mukaan henkilöhistoriat, tarinat ja oppiaineen kehityshistoria motivoi ja innostaa osaa oppijoista. Oppimateriaalissa lasin historiaa käsitellään lyhyesti motivointi tarkoituksessa. Sivulta selviää, miten lasi on keksitty ja mitä vaikutuksia esimerkiksi lasinpuhallustaidon keksimisellä on ollut ihmisille. Historia-sivulla on kaksi videota, joiden on tarkoitus valottaa oppilaille vanhanaikaisia lasinvalmistusmenetelmiä. Videoista nähdään myös, miten lasi käyttäytyy kuumana.

Lasin ominaisuudet on jaettu kemiallisiin ja fysikaalisiin ominaisuuksiin. Kemiallisista ominaisuuksista on sivulle liitetty kokeellinen työ (kuva 13). Työn perusteella huomataan, että lasi liukenee veteen. Työ todistaa edellä kerrotun teorian paikkaansa pitäväksi. Tämä työ on mielenkiintoinen, koska oppilaiden voi olla vaikea uskoa lasin reagoivan veden kanssa. Yleensä käytännön kokemusten perusteella lasi on inertti materiaali.

<p>LASIN KEMIA</p> <p>Etusivu</p> <p>Lasi</p> <p>Lasin historia</p> <p>Lasin ominaisuudet</p> <p>Lasin valmistus</p> <ul style="list-style-type: none"> » raaka-aineet » valmistusprosessi » työstömenetelmät » jäähdytys ja jälkikäsittely <p>Lasilaatuja</p> <p>Missä lasia käytetään?</p> <ul style="list-style-type: none"> » perinteiset » bioaktiivinen lasi » itsensä pesevät ikkunat » fotokromaattiset lasit <p>Lasin elinkaari ja kierrätys</p> <p>Tehtävät</p> <p>Sanasto</p> <p>Linkit</p> <p>Lähteet</p>	<p>Tehtävät</p> <p>Liukeneeko lasi veteen?</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> <p>Tarvikkeet:</p> <ul style="list-style-type: none"> - lasimurskaa - mortteli - lusikka - koeputki - vettä - pH-paperi </div> <p>Lasimurskaa saa tietysti rikki menneistä lasiastioista. Jos lähettyvillä toimii lasinpuhailija, häneltä voi myös kysyä hukkalasia. Lasimurska on saatava hienorakenteiseksi, jotta reagoiva pinta-ala on tarpeeksi suuri. Lasimurska kannattaakin ehkä hienontaa jo etukäteen, koska siihen voi kulua reilusti aikaa.</p> <p>Laita hienoksi jauhettua lasimurskaa koeputkeen. Lisää vettä, siten että lasimurska juuri ja juuri peittyy.</p> <p>Tarkista pH-paperilla veden pH ja sen jälkeen koeputkeen syntyneen liuoksen pH. Lasi on luennut veteen ja on syntynyt emäksinen liuos. Vesi siis todella liuottaa lasia.</p> 
--	---

Kuva 13: Kokeellinen työ oppimateriaalissa.

Kemiallisista ominaisuuksista on pyritty tarjoamaan käytännön esimerkit. Ne auttavat opiskelijaa sitomaan teorian todelliseen elämään. Fysikaaliset ominaisuudet, vaikka niitä onkin paljon, jäävät teoreettisemmalle pohjalle. Tämän on ajateltu olevan perusteltua, koska kyse on kemian oppimateriaalista.

Raaka-aineet –sivulla käsitellään lasin valmistuksessa tarvittavia raaka-aineita. Oppikirjoissa raaka-aineita mainittiin, mutta niiden käytöstä ei yleensä kerrottu sen tarkemmin. Tällä sivulla on haluttu syventyä raaka-aineiden merkitykseen lasin valmistuksessa.

Oppikirjoista ei löytynyt juurikaan tietoa lasin valmistusprosessista. Sivustolla käsitellään prosessia lyhyesti, jotta opiskelijat saisivat yleiskuvan lasin valmistuksen tapahtumista.

Työstömenetelmät –sivulla käsitellään lyhyesti kolme eri menetelmää: lasinpuhallus sekä puristelasin ja float-lasin valmistus. Työstömenetelmiä ei yleensä käsitelty oppikirjoissa. Lasinpuhalluksesta on sivulla video, koska sanallisten selitysten perusteella voi olla vaikea selkeää kuvaa lasinpuhalluksesta. Videolta tämä sen sijaan selviää hyvin. Muut käsitellyt työstömenetelmät on jätetty vähemmän tarkastelun varaan. Lasinpuhallus valittiin tarkempaan käsittelyyn tutkijan oman kiinnostuksen ja sen näyttävyyden vuoksi.

Jäähdytys ja jälkikäsitteily –sivulla kerrotaan, mitä esineen valmistamisen jälkeen vielä voidaan tai täytyy tehdä, jotta saadaan valmis tuote. Sivulla on havainnollinen video oikeanlaisen jäähdytyksen tärkeydestä. Tämän jälkeen on käsitelty vielä neljä yleistä jälkikäsitellymenetelmää: hiekkapuhallus, etsaus, maalaus ja lysterointi.

Lasilaatuja-sivulla esitellään tyypillisimmät lasilaadut ja joitain niiden ominaisuuksia. Sivulla käsiteltävät lasilaadut ovat soodakalkkilasi, lyijylasi, borosilikaattilasi, piidioksidilasi ja vesilasi. Sivulle on liitetty kokeellinen tehtävä, jossa käytetään vesilasia kemiallisen puutarhan tekoon. Tämä tehtävä on tarkoitettu lähinnä motivoimaan oppilaita. Samalla se antaa mahdollisuuden tutustua vesilasiin konkreettisesti.

Lasin käyttökohteisiin on valittu yleisesti tunnettujen käyttökohteiden lisäksi kolme mielenkiintoista sovellutusta: bioaktiivinen lasi, itsepuhdistuvat ikkunat ja fotokromaattiset lasit. Näiden kautta voidaan esitellä arkipäivään liittyvää lasin kemian teoriaa ja osoittaa kemian tärkeys ihmisille.

Perinteiset käyttökohteet –sivulla opiskelijat saavat ensin miettiä, missä itse ovat lasia nähneet ja keskustella kokemuksistaan pareittain tai ryhmissä. Sivulla luetellaan muutamia käyttökohteita. Lukiessaan opiskelijat voivat verrata niitä omaan listaansa. Tarkemmin on käsitelty karkaistua ja laminoitua lasia sekä otettu esiin niiden käyttökohteita. Tämä sivu on voimakkaasti lähellä opiskelijoiden arkipäivän kokemuksia.

Bioaktiivinen lasi on mielenkiintoinen ja tärkeä lasin sovellutus. Sivulla kerrotaan lyhyesti sen toimintaperiaatteesta ja käyttömahdollisuuksista. Tällä sivulla tulee hyvin esille lasin merkitys nykypäivänä.

Itsepuhdistuvat ikkunat ovat toinen oppimateriaalissa käsiteltävä nykypäiväinen lasin sovellutus. Tällä sivulla oppilaille selviää, että ne ovat totista totta. Sivulla selitetään titaanidioksidipäällysteen toimintaperiaate.

Fotokromaattinen lasi on jo melko vanha keksintö, mutta silti varmasti monille tuntematon. Tällä sivulla käydään läpi hopeakloridin avulla valmistetun fotokromaattisen lasin toimintaperiaate.

Kestävä kehitys on olennaisessa roolissa kemian opetuksessa. Lasin kierrätys ja elinkaari –sivu sopii hyvin tähän aihealueeseen. Aluksi sivulla on kaavion muodossa lasipaukkauksen elinkaari. Lasipaukkauksen elinkaari on valittu, koska se on ollut yleisen kiinnostuksen kohteena lasin kierrätystä tutkittaessa. Sen jälkeen on yleistä tietoa lasin kierrätyksestä ja lopuksi esimerkkinä kierrätyslasin käytöstä lasivillan valmistus. Lasivillateollisuus valittiin esimerkiksi, koska se on Suomen suurin kierrätyslasin käyttäjä. Sivulla on myös tehtävä, jossa on tarkoitus tutustua lasijätteen lajitteluun. Tämä tehtävä koskettaa hyvin oppilaan arkipäivää. Tehtävää tehdessä oppilas joutuu itse hankkimaan tietoa oppimateriaalin ulkopuolisilta sivuilta. Tässä yhteydessä on hyvä käsitellä lähdekritiikkiä, jolloin opitaan yleisiä internetin käyttötaitoja.

Tehtävät-sivu on jaettu kahteen osaan: kokeelliset työt ja tehtävät. Tällä sivulla on sekä muualla oppimateriaalissa esiintyneet tehtävät että muut lisätehtävät. Kokeellisia töitä on kolme kappaletta. Niiden on tarkoitus motivoida oppilaita ja tuoda esille kemian kokeellista luonnetta. Teoreettisiin tehtäviin kuuluu pohdinta- ja testaa tietosi –tehtäviä sekä yksi väittely-tehtävä. Testaa tietosi –tehtäviin löytyy vastauksen tehtävän jälkeen laitetusta linkistä (kuva 14). Pohdintatehtävät eivät ole tehtävät-sivulla, koska ne liittyvät kiinteästi alueeseen, jonka ohessa ne on esitetty.

LASIN KEMIA	Tehtävät
Etusivu	Testaa tietosi lasin historiasta
Lasi	1. Millaisella tekniikalla ensimmäisiä lasiasioita valmistettiin?
Lasin historia	2. Koska lasinpuhallus keksittiin?
Lasin ominaisuudet	3. Mitä hyötyä lasinpuhalluksen keksimisestä on ollut?
Lasin valmistus	4. Miten ja koska lasi keksittiin?
» raaka-aineet	5. Mitä on obsidiaani? Mihin sitä on käytetty?
» valmistusprosessi	6. Mitkä olivat ensimmäisiä lasista valmistettuja esineitä?
» työstömenetelmät	7. Mitä välineitä käytetään lasihelmien valmistuksessa?
» jäähdytys ja jälkikäsittely	8. Mitä Pyrex tarkoittaa?
Lasilaatuja	Vastaukset
Missä lasia käytetään?	
» perinteiset	
» bioaktiivinen lasi	
» itsensä pesevät ikkunat	
» fotokromaattiset lasit	
Lasin elinkaari ja kierrätys	
Tehtävät	
Sanasto	
Linkit	
Lähteet	

Kuva 14: Esimerkki oppimateriaalin testaa tietosi –tehtävistä.

Sanastoon on koottu oppimateriaalissa esiintyneitä mahdollisesti oppilaille uusia sanoja. Yleensä sanat on pyritty selittämään siinä kohdassa missä ne materiaalissa sijaitsevat, joten sanasto on lähinnä koonti näistä sanoista.

Linkit-sivulle on kerätty hyödyllisiä linkkejä esimerkiksi mahdollisten vierailukohteiden internetsivuille tai sivustoille, joista voi saada lisätietoa lasista. Lähteet-sivulla on sivujen ja gradun kemian teoreettisen viitekehyksen tekemiseen käytetyt lähteet.

7 Johtopäätökset ja pohdinta

Tämän kehittämistutkimuksen päätuloksena saatiin verkko-oppimateriaali lasin kemian opetusta varten perusopetuksen 7.-9. vuosiluokille ja lukioon. Suomessa ei ole aikaisemmin julkaistu lasin kemiasta verkko-oppimateriaalia. Verkko-oppimateriaalin tavoitteena oli tarjota lasin kemian oppimista mielekkäällä tavalla tukeva materiaali helposti kaikkien saatavilla olevassa muodossa.

Perusopetuksen vuosiluokkien 7-9 ja lukion oppikirjoista löytyi vaihtelevasti tietoa lasin kemiasta. Yleensä tieto oli pirstaleista ja esiintyi sivuhuomautuksina muiden aiheiden yhteydessä. Oppikirjojen perusteella on vaikea muodostaa selkeää kuvaa lasin kemiasta. Tutkimuksen osana kehitetyn verkko-oppimateriaalin avulla haluttiin vastata tähän haasteeseen.

Opetussuunnitelmien perusteissa ei varsinaisesti mainita lasin kemiaa osana kemian opetusta. Lasi on kuitenkin mielenkiintoinen materiaali ja sopii oppimateriaaliksi moniin opetussuunnitelmien perusteiden asettamien tavoitteiden saavutteluun.

Oppimateriaalin kehittäessä otettiin huomioon Jonassenin (1995) mielekkään oppimisen kriteerit. Materiaalissa monet näistä kriteereistä täyttyvät. Ensinnäkin lasi on arkipäiväinen materiaali ja oppimateriaali on hyvin sidoksissa arkipäivään esimerkiksi sovellusten kautta. Näiden ansiosta oppimateriaali on kontekstuaalinen. Materiaali ottaa huomioon myös oppijoiden aktiivisuuden. Oppimateriaalin sisällön seassa esitetyt pohdintakysymykset ja tehtävä-sivulla oleva väittely aktivoivat opiskelijoita itse ajattelemaan oppittavaa aihealuetta. Kysymyksiä pohditaan pareittain tai pienissä ryhmissä. Sen jälkeen niistä voidaan keskustella vaikka koko luokan kesken. Näin tulee mukaan keskustelumuotoisuutta ja vuorovaikutteisuutta sekä valitusta työtavasta riippuen myös yhteistoiminnallisuutta.

Oppimateriaalin suunnittelussa kiinnitettiin huomiota sen ulkonäköön ja helppoon navigointiin. Värit ovat asialliset, jolloin huomio voi keskittyä niiden sijasta olennaiseen sisältöön. Vasemmalla puolella oleva valikko säilyy navigoidessa koko ajan samanlaisena. Sivut on otsikoitu valikon tekstien mukaan, jolloin käyttäjä pysyy koko ajan perillä omasta sijainnistaan materiaalissa. Oppimateriaalissa ei myöskään ole turhia kuvia. Nämä seikat auttavat oppijaa keskittymään opittavaan asiaan.

Oppimateriaalin rakenteesta on pyritty tekemään selkeä. Materiaali etenee lineaarisesti, vaikka tämä ei aihealueiden oppimisen kannalta ole välttämätöntä. Sivujen väliset hyperlinkit voisivat helposti saada oppilaan eksymään materiaalissa. Lineaarisen rakenteen avulla pyritään vapauttamaan oppilas turhalta työmuistin kuormitukselta.

Suunnittelussa otettiin huomioon myös sivujen pituus ja sopiva kirjasinkoko. Liian pitkät sivut vaikeuttavat materiaaliin tutustumista, koska käyttäjä joutuu rullaamaan sivua ylös- tai alaspäin. Tietokoneen näytöltä luettaessa katse harhailee helposti. Kirjasinkoko on pyritty valitsemaan tarpeeksi suureksi, jotta sitä olisi miellyttävä lukea tietokoneen ruudulta.

Oppimateriaalissa olevien videoiden on tarkoitus tukea materiaalin muuta sisältöä. Niiden avulla voidaan havainnollistaa tiettyjä aiheita. Tutkimusten mukaan opiskelijat pitävät videoita yleensä myös motivoivina (Wellington, 2004). Videoilla esitetyt tapahtumat ovat sellaisia, joita ei kouluympäristössä voida toteuttaa.

Tutkimusten perusteella vierailut lisäävät oppilaiden kiinnostusta kemiaa kohtaan. Vierailuiden avulla oppilas saa tietoa siitä, mihin kemiaa tarvitaan koulun ulkopuolella. (Lavonen & Meisalo, 2005) Kehitetyn verkko-oppimateriaalin linkkilistaan on liitetty vierailukohteiden kotisivuja. Teoreettisen lasin kemian opiskelun ohella opettaja voi tehdä näihin kohteisiin toiminnallisia opintokäyntejä.

Kehitetystä verkko-oppimateriaalista on kolme kokeellista työtä. Ne on liitetty lasin teoretietoon, jolloin ne tuovat oppimateriaaliin käytännön läheisyyttä ja liittävät työt aina tiettyyn kontekstiin. Töiden tarkoitus on motivoida oppilaita ja tuoda esiin kemian kokeellista luonnetta.

Yksi tärkeä verkko-oppimateriaalia tehdessä huomioitava seikka on sivuston käytettävyys. Latausajat eivät saa olla liian pitkiä ja sivuston tulisi toimia yleisimmillä tietokoneen kokoonpanoilla. Tätä sivustoa testattiin kolmella eri selaimella (Internet Explorer, Mozilla ja Opera) ja kahdella eri Windowsin versiolla (Xp ja Vista). Muita kokoonpanoja ei pystytty testaamaan, mutta edellä mainitut ovat varmaan yleisimmät käytössä olevat kokoonpanot. Kolme eri yhteysnopeutta käytettiin sivuston testauksessa. Pienimmällä nopeudella (matkapuhelimen gprs-yhteys) videoiden katsominen ei onnistunut, mutta muuten sivustojen lataus toimi hyvin. Tämän varalta

käyttäjää on materiaalin etusivulla ohjeistettu lataamaan videot niiden alkuperäiseltä tuottajalta omalle koneelle.

Tutkimuksen tuloksena saatua verkko-oppimateriaalia voi käyttää lähiopetuksen tukena sekä perusopetuksen vuosiluokilla 7-9 että lukiossa. Materiaali sopii myös itsekseen tutustuttavaksi lasista kiinnostuneille. Materiaalin puitteissa ei pystytä menemään kovin syvälle lasin kemiaan, mutta lisätietoa kaivatessaan käyttäjä voi tutustua tämän pro gradu –tutkielman teoreettiseen viitekehykseen tai oppimateriaalin lähdeluettelosta löytyviin lähteisiin.

Tutkimuksen tuloksia tulkittaessa tulee muistaa olla kriittinen. Tämän tutkimuksen tekoon on vaikuttanut tutkijan subjektiivisuus. Tutkijalla on ollut aiheesta omat ennakkokäsitykset ja asenteet. Ne ovat voineet vaikuttaa tuloksiin. Oppikirjojen analysoinnissa on ollut tulkinnanvaraisuutta ja oppimateriaali on kehitetty vastaamaan tutkijan käsitystä mielekkästä ja kattavasta oppimateriaalista. Tämän vuoksi aihetta tulisi tutkia edelleen.

Tehdyn tutkimuksen pohjalta heräsi uusia tutkimuskysymyksiä. Olisi esimerkiksi mielenkiintoista tutkia, miten kehitetty verkko-oppimateriaali toimii käytännössä. Tietoa pitäisi saada sekä opettajien että opiskelijoiden kokemuksista. Tutkimustiedon perusteella oppimateriaalia voitaisiin kehittää edelleen. Yhtenä tutkimuskohteena voisi olla kiinnostavimman aihealueen määritys ja sitä kautta uuden verkko-oppimateriaalin tuottaminen. Tällöin voitaisiin tiettyyn osa-alueeseen syventyä tarkemmin. Kiinnostavaa olisi myös tutkia, miten tässä tutkimuksessa kehitetty oppimateriaali tukee oppimista tai lisää opiskelijoiden kiinnostusta yleisesti kemiaa tai tarkemmin lasin kemiaa kohtaan.

Lasin kemian verkko-opetuksen avulla voidaan innostaa oppilaita kemian opiskeluun. Arkipäiväisen materiaalin käsittely kemian kannalta osoittaa oppilaille kemian käytännönläheisyyden ja kemian osaamisen merkityksen yhteiskunnassa.

Lähteet

- Aho, A., Anderson, Ö., Heikkilä, J., Keränen, J., Konttinen, Y., Lappalainen, R., Lepojärvi, M., Nevalainen, J., Santavirta, S., Salenius, J., Tarvainen, T., Törmälä, P., Vallittu, P., Viljanen, V., Waris, E. & Waris, V. 2003. Yleiskatsaus terveydenhuollon laitteissa ja tarvikkeissa käytettyihin biomateriaaleihin. Helsinki: Lääkelaitos.
- Ahtee, M. & Pehkonen, E. 2000. Johdatus matemaattisten aineiden didaktiikkaan. Helsinki: Edita.
- Ahtineva, A. 2000. Oppikirja – tiedon välittäjä ja opintojen innoitaja? Lukion kemian oppikirjan – Kemian maailma 1 – tiedonkäsitys ja käyttökokemukset. Turku: Turun yliopisto.
- Ajanko-Laurikko, S., Arnold, M., Dahlbo, H., Laiho, A., Korhonen M-R, Mroueh, U-M, Savolainen, I. & Wihersaari, M. 2007. Uusien jätteenkäsittelykonseptien mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. Espoo: VTT.
- Aksela, M. & Juvonen, R. 1999. Kemian opetus tänään. Helsinki: Opetushallitus.
- Antila, A-M., Karppinen, M., Leskelä, M., Mölsä, H. ja Pohjakallio, M. 1999. Tekniikan kemia. Helsinki: Edita.
- Araujo, R. J. 1985. Photochromic Glass. *Journal of Chemical Education* 62 (6), 472-473.
- Armistead, W. H. & Stookey, S. D. 1964. Photochromic Silicate Glasses Sensitized by Silver Halides. *Science* 144 (3615), 150-154.
- Callister, W.D. Jr. 1999. *Materials science and engineering: An Introduction*. 5. painos. New York: John Wiley & Sons.
- Chan, J. C. C., Hsu, Y-C, Lin, K. S. K., Mou, Y., Tseng Y-H & Yang, C-M. 2005. Mechanistic Study of Apatite Formation on Bioactive Glass Surface Using ³¹P Solid-State NMR Spectroscopy. *Chemistry of Materials* 17 (17), 4493-4501.
- Corning Museum of Glass: <http://www.cmog.org/index.asp?pageId=719> (viitattu 17.1.2008)
- Edelson, D. C. 2002. Design Research: What We Learn When We Engage in Design. *The Journal of the Learning Sciences* 11 (1), 105-121.
- European commission. 2001. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques in the Glass Manufacturing Industry. <http://www.jrc.es/pub/english.cgi/0/733169> (viitattu 1.5.2008)
- Fine, G. J. 1991. Glass and Glassmaking. *Journal of Chemical Education* 68 (9), 765-768.

- Flohr, T., Helbig, R. & Hoffmann, H. J. 1987. Rate equation for photochromic glasses considering both thermal and optical regeneration. *Journal of Materials Science* 22 (6), 2058-2062.
- Fujishima, A., Rao, T. N. & Tryk, D. 2000. Titanium dioxide photocatalysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews* 1 (1), 1-21.
- Haasio, A. 2001. Tietoverkot opetuksen apuvälineenä, s. 9-21. Oppiminen verkossa. Toim. Haasio, A. & Piukkula, J. Helsinki: BTJ Kirjastopalvelu.
- Hawkes, S. J. 2000. Glass Doesn't Flow and Doesn't Crystallize and It Isn't a Liquid. *Journal of Chemical Education* 77 (7), 846-848.
- Hench, L. L., Jones, J. R., Pryce, R. S. & Saravanapavan, P. 2003. Bioactivity of gel-glass powders in the CaO-SiO₂ system: A comparison with ternary (CaO-P₂O₅-SiO₂) and quaternary glasses (SiO₂-CaO-P₂O₅-Na₂O). *Journal of Biomedical Materials Research, Part A* 66 (1), 110-119.
- Hudson, John. 1995. Suurin tiede, kemian historia. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy.
- Hummel, R. E. 1998. *Understanding Materials Science: History, Properties, Applications*. New York: Springer.
- Hüsing, N. & Schubert, U. 2005. *Synthesis of Inorganic Materials*. 2. painos. Weinheim: WILEY-VCH.
- Kalliala, E. 2002 *Verkko-opettamisen käsikirja*. Helsinki: Oy Finn Lectura Ab.
- Kivinen, A. & Mäkitie, O. 1993. *Kemia*. Keuruu: Otava.
- Klein, D. & Lloyd W. 1991. *The History of Glass*. London: Black Cat.
- Kolb, K. E. & Kolb D. K. 1979. The Chemistry of Glass. *Journal of Chemical Education* 56 (9), 604-608.
- Kolb, K. E. & Kolb D. K. 2000. Glass-Sand + Imagination. *Journal of Chemical Education* 77 (7), 812-816.
- Korkala, A. 2007. Vanha pullo saa uuden elämän. *Aamulehti* 30.6.2007.
- Korpio, E. 2008. Suullinen tiedonanto 18.4.2008.
- Lavonen, J., Juuti, K., Meisalo, V., Uitto, A. & Byman, R. Luonnontieteiden opetuksen kiinnostavuus peruskoulussa.
http://www.mirror4u.net/opettajat/Mirror6_luonnontiet.pdf (viitattu 7.5.2008)
- Lavonen, J. & Meisalo, V. 2005. Millä tavalla oppilaat haluavat opiskella?
<http://www.edu.fi/pageLast.asp?path=498,1329,1520,21839,48344,48355> (viitattu 7.5.2008)

- Leeuw, N. H. & Tilocca, A. 2006. Ab Initio Molecular Dynamics Study of 45S5 Bioactive Silicate Glass. *Journal of Physical Chemistry* 110 (51), 25810-25816.
- Lehtinen, J. & Vares, S. 2007. Lasipakkausten keräysjärjestelmän tehostaminen ja lasin hyötykäytön ympäristövaikutukset. Espoo: VTT.
- Lettenmeier, M. 1994. Roskapuhetta: Jäteneuvonnan käsikirja. Helsinki : Rakennusalan kustantajat.
- Matiskainen, H. 1994. Suomalaisen lasin historia. Riihimäki: Suomen Lasimuseo.
- Meisalo, V., Sutinen, E. & Tarhio, J. 2000. Modernit oppimisympäristöt, Tietotekniikan käyttö opetuksen ja oppimisen tukena. Helsinki: Tietosanoma.
- Multisila, J. 1997. Miltä näyttää www-maailma oppimisympäristönä, s. 101-111. *Verkkopedagogiikka*. Toim. Lehtinen, E. Helsinki: Edita.
- Nevgi, A. & Tirri, K. 2001. Oppimista edistävät ja estävät tekijät verkko-opiskelussa, s.117-151. *Verkot ja teknologia aikuisopiskelun tukena*. Aikuiskasvatuksen 42. vuosikirja. Toim. Sallila, P. ja Kalli, P. Helsinki: BTJ Kirjastopalvelu.
- Nevgi, A. & Tirri, K. 2003. Hyvää verkko-opetusta etsimässä. Oppimista edistävät ja estävät tekijät verkko-oppimisympäristöissä – opiskelijoiden kokemukset ja opettajien arviot. Turku: Suomen kasvatustieteellinen seura.
- Nurmi, V. 1989. Lasinvalmistajat ja lasinvalmistus Suomessa 1900-luvun alkupuolella. Helsinki: Suomen muinaismuistoyhdistys.
- Nyman, P. & Kanerva, K. 2005. Oppijan tiedonkäsittelyjärjestelmän huomioiminen laadukkaana verkko-opetuksen suunnittelussa, s. 95-108. *Laadukkaasti verkossa: Yliopistollisen verkko-opetuksen ulottuvuudet*. Toim. Nevgi, A., Löfström, E. ja Evälä, A. Helsinki: Yliopistopaino.
- Opetushallitus. 2003. Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003. Helsinki: Opetushallitus.
- Opetushallitus. 2004. Peruskoulun opetussuunnitelman perusteet 2004. Helsinki: Opetushallitus.
- Phillips, C. J. 1941. *Glass: The Miracle Maker*. 4. painos. London: Pitman Publishing Corporation.
- Pihkala, J. & Salminen, R. 1992. *Prosessitekniikan kokonaisprosessit*. Helsinki: VAPK-kustannus.
- Puukari, S. 2003. *Video Programmes as Learning Tools: Teaching the Gas Laws and Behaviour of Gases in Finnish and Canadian Senior High Schools*. Jyväskylä: Jyväskylän yliopistopaino.

- Rámila, A. & Vallet-Regi, M. 2000. New Bioactive Glass and Changes in Porosity during the Growth of a Carbonate Hydroxyapatite Layer on Glass Surfaces. *Chemistry of Materials* 12 (4), 961-965.
- Roberts, R. M. 1998. *Sattuma tieteessä: onnekkaiden oivallusten historia: serendipisyys*. Helsinki: Yliopistopaino.
- Sarajärvi, A. & Tuomi, J. 2002. *Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi*. Helsinki: Tammi.
- Shelby, J. E. 2005. *Introduction to Glass Science and Technology*. 2. painos. Cambridge, UK: The Royal Society of Chemistry.
- Suvanto, T. 2008. Miksi lasit tummuvat? *Tiede*, nro 3.
- Swaddle, T.W. 1997. *Inorganic chemistry: An industrial and environmental perspective*. USA: Academic Press.
- Tiede, R. L. 1982. Glass Fibers – Are They the Solution? *Journal of Chemical Education* 59 (3), 198-200.
- Varteva, R. 2002. Biolasi kasvattaa täsmäluuta. *Tiede*, nro 4.
- Vertanen, S. 1993. *Elinkaarianalyysi ja pakkaukset*. Helsinki: Vesi- ja ympäristöhallinto.
- Volf, M. 1984. *Glass Science and Technology 7, Chemical Approach to Glass*. New York: Elsevier.
- Warren, B. E. 1940. X-ray diffraction study of the structure of glass. *Chemical Reviews* 26 (2), 237-255.
- Wellington, J. 2004. *Multimedia in science teaching*, s. 87-103. *Teaching Secondary Science with ICT*. Toim. Barton, R. Maidenhead : Open University Press.
- Zumdahl, S. & Zumdahl, S. 2007. *Chemistry*. 7. painos. USA: Houghton Mifflin Company.

Liitteet

Liite 1: Tarveanalyysissä tutkitut kirjat

Kirjat, joissa oli mainintoja lasista:

- a Aspholm, S., Hirvonen, H., Hongisto, J., Lavonen, J., Penttilä, A., Saari, H & Viiri, J. 2003. Aine ja energia: Kemian tietokirja. Porvoo: WSOY.
- b1 Happonen, J., Heinonen, M., Muilu, H. ja Nyrhinen, K. 2006. Avain 1: kemia. Keuruu: Otava.
- b2 Happonen, J., Heinonen, M., Muilu, H. ja Nyrhinen, K. 2004. Avain 2: kemia. Keuruu: Otava.
- b3 Happonen, J., Heinonen, M., Muilu, H. ja Nyrhinen, K. 2007. Avain 3: kemia. Keuruu: Otava.
- c2 Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T. ja Vakkilainen, K-M. 2005. Kemisti 2: Kemian mikromaailma. Porvoo: WSOY.
- c4 Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T. ja Vakkilainen, K-M. 2006. Kemisti 4: Metallit ja materiaalit. Porvoo: WSOY.
- d1 Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. ja Rassi, M. 2004. Neon 1: Ihmisen ja elinympäristön kemia. Helsinki: Edita.
- d2 Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. ja Rassi, M. 2005. Neon 2: Kemian mikromaailma. Helsinki: Edita.
- d3 Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. ja Rassi, M. 2007. Neon 3: Reaktiot ja energia. Helsinki: Edita.
- d4 Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. ja Rassi, M. 2006. Neon 4: Metallit ja materiaalit. Helsinki: Edita.
- e1 Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P., Pihko, P. ja Salo, K. 2007. Reaktio 1: Ihmisen ja elinympäristön kemia. Helsinki: Tammi.
- e2 Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. ja Pihko, P. 2005. Reaktio 2: Kemian mikromaailma. Helsinki: Tammi.
- e4 Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. ja Pihko, P. 2006. Reaktio 4: Metallit ja materiaalit. Helsinki: Tammi.

- f2 Kalkku, I., Kalmi, H. ja Korvenranta, J. 2005. Kide 2 lukio kemia: Kemian mikromaailma. Keuruu: Otava.
- f4 Kalkku, I., Kalmi, H. ja Korvenranta, J. 2006. Kide 4 lukio kemia: Metallit ja materiaalit. Keuruu: Otava.

Kirjat, joista ei löytynyt mainintoja lasista:

- b4 Happonen, J., Heinonen, M., Muilu, H. ja Nyrhinen, K. 2006. Avain 4: fysiikka ja kemia. Keuruu: Otava.
- c1 Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T. ja Vakkilainen, K-M. 2004. Kemisti 1: Ihmisen ja elinympäristön kemia. Porvoo: WSOY.
- c3 Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T. ja Vakkilainen, K-M. 2005. Kemisti 3: Reaktiot ja energia. Porvoo: WSOY.
- c5 Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T. ja Vakkilainen, K-M. 2007. Kemisti 5: Reaktiot ja tasapaino. Porvoo: WSOY.
- d5 Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. ja Rassi, M. 2007. Neon 5: Reaktiot ja tasapaino. Helsinki: Edita.
- e3 Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. ja Pihko, P. 2006. Reaktio 3: Reaktiot ja energia. Helsinki: Tammi.
- e5 Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. ja Pihko, P. 2007. Reaktio 5: Reaktiot ja tasapaino. Helsinki: Tammi.
- f1 Kalkku, I., Kalmi, H. ja Korvenranta, J. 2004. Kide 1 lukio kemia: Ihmisen ja elinympäristön kemia. Keuruu: Otava.
- f3 Kalkku, I., Kalmi, H. ja Korvenranta, J. 2005. Kide 3 lukio kemia: Reaktio ja energia. Keuruu: Otava.
- f5 Kalkku, I., Kalmi, H. ja Korvenranta, J. 2007. Kide 5 lukio kemia: Reaktiot ja tasapaino. Keuruu: Otava.