

Lasin kemiallinen karkaisu (lujittaminen)

-

Lyhyesti teoriaa, käytäntöä ja sovelluksia

Karo Tammela

Lasimyynti Tammela

2022

Kirjoittaja Karo Tammela toimii lasialan yrityksessä ja on kiinnostunut lasin soveltamisesta ja innovaatioista lasialalla. Kyseessä ei ole vertaisarvioitu tieteellinen artikkeli, vaikkakin tekstissä viitataan alan tunnettuihin ja laajasti viitattuihin tieteellisiin julkaisuihin.

[karo@lasimyynti.fi](mailto:karo@lasimyynti.fi)

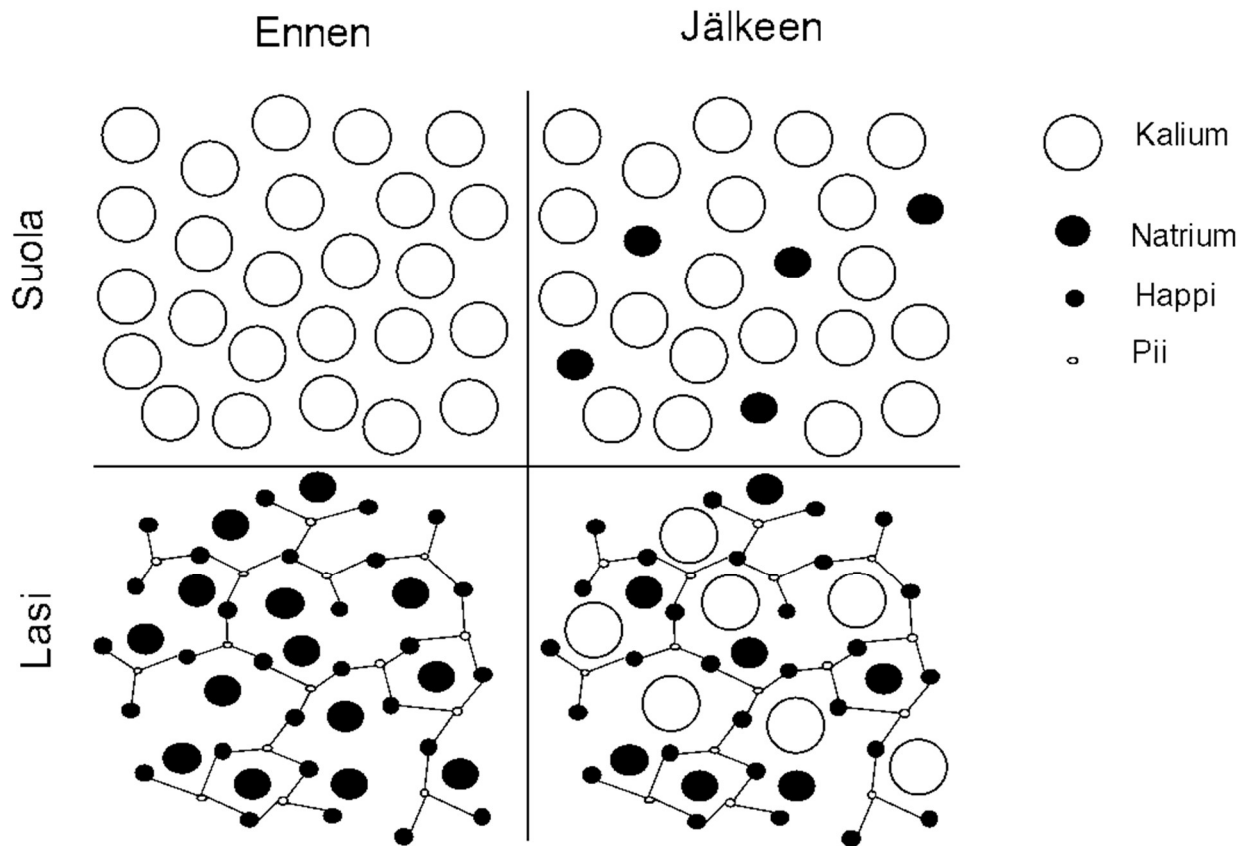
## Johdanto

Lasi on materiaali erittäin vanha ja yleisesti käytetty materiaali. Lasin ominaisuuksien heikko puoli on aina kuitenkin ollut sen rikkoutuminen kohtuullisen helposti tietyissä tapauksissa, vaikkakin tasolasi on kemiallisesti hyvin kestävä verrattuna useisiin muihin rakennusmateriaaleihin. Tähän ongelmaan onkin lasin historian aikana kehitetty erilaisia menetelmiä, jotka parantavat sen kestävyttä. Lasin lämpökarkaisu on näistä nykyään tunnetuin ja yleisin menetelmä. Lämpökarkaisun suosion taustalla ovat menetelmän helppokäyttöisyys ja verrattain edullinen hinta. Se on myös ollut tunnettu jo 1800-luvun loppupuolelta saakka. Huomattavasti tuntemattomampi tapa lasin lujittamiseksi on lasin kemiallinen karkaisu (tai lujittaminen). Sitä kutsutaan myös ioninvaihto menetelmäksi, sillä tähän kyseinen prosessi juuri perustuu. Lasin kemiallisia karkaisijoita ei tällä hetkellä Suomessa ole muita kuin [Lasimyynti Tammela](#) Vantaalla. Sitten lähimmät kemialliset karkaistulaitteet löytyvät Tanskasta [Mirit Glasilta](#).

Tässä lyhyessä työpaperissa käyn läpi lasin kemiallisen lujittamisen teoriaa, jonka jälkeen pureudun tarkemmin kemiallisen karkaisun ominaisuuksiin ja etuihin. Lopuksi tarkastelen vielä esimerkkejä sen eri sovelluksista ja käyttökohteista. Lähteenä käytän suurilta osin vertaisarvioituja tieteellisiä artikkeleja. Lähdeluettelo löytyy tämän työpaperin lopusta.

## Ioninvaihtoprosessi = lasin kemiallinen lujittaminen

Färm (2016, s. 50) on kuvannut Varshneyaa (2010, s. 132) ja Karlsson et al. (2010, s. 44) mukailleen ioninvaihtoprosessin selkästi alla olevan kuvan avulla.



Kuvasta on helposti havaittavissa miten lasissa olevia Natrium-ioneja korvautuu suolan Kalium-ioneilla. Kalium-ionit ovat kooltaan suurempia ioneja ja tällöin lasin pintaan syntyy kova puristusjännitys, joka taas johtaa lasin parantuneeseen kestävyYTEEN. Käytännön tekemisenä tämän tarkoittaa sitä, että lasi asetetaan useiksi tunneiksi suolakylpyyn. Suola on kaliumnitraattia, josta ionit vapautuvat.

Teoreettisesti lasissa voidaan päästä äärimmäisen suuriin pinnan puristejännityksiin. Saavutettavaan jännitykseen vaikuttavat prosessointiaika sekä käytettävä lasilaatu. Alumiinisilikaattilasi on yleisesti käytetyistä lasilaaduista prosessiin parhaiten soveltuva, sillä se mahdollistaa nopeamman käsittelyajat ja suuremmat jännitykset. Kuitenkin tavallisimmin käytetty soodakalkkisilikaattilasi sopii prosessiin erittäin hyvin ja siitä saadaan tavallista float lasia huomattavasti kestävämpää materiaalia aikaiseksi.

Ioninvaihtoprosessin aikana suurin jännitys syntyy erittäin lähelle pintaa, vain muutaman kymmenen mikrometrin syvyyteen. Tämä prosessin aikana syntyvä ominaisuus aiheuttaa sen, että kemiallisesti karkaistu lasi hajoaa samantyyppisesti suurina paloina kuten perinteinen float lasi. Vaikka hajonneen lasin särmit ovat tylpempiä kuin käsittelemättömässä lasissa, niin käyttö turvalasina vaatii kemiallisesti karkaistun lasin laminoinnin.

Kemiallisesti lujitetusta lasista käytetään monia eri termejä ja ne saattavat sekoittaa lukijaa. Yleisesti hyväksytyt termit tästä lasilaadusta ovat kemiallisesti lujitettu lasi, kemiallisesti vahvistettu lasi sekä ionivaihdettu lasi. Myös kemiallista karkaisua käytetään laajasti, vaikka se saattaakin olla harhaanjohtava terminä ja voi sekoittaa helposti lämpökarkaistuun lasiin, joka on prosessina ja ominaisuuksiltaan erityyppistä. Kaikilla yllä mainituilla termeillä (pl. lämpökarkaistu lasi) tarkoitetaan samaa asiaa.



*Lasin kemiallinen karkaisulaite - Lasimyynti Tammela*

## Kemiallisesti lujitetun lasin ominaisuuksia

Färm (2010, s. 52) esittää kemiallisesti lujitetun ja lämpökarkaistun lasin eroja taulukossa, joka tässä on mukailtu.

	<b>Lämpökarkaistu lasi</b>	<b>Kemiallisesti lujitettu lasi</b>
<b>Pintajännitys</b>	~100 MPa	100-1000 MPa
<b>Lopputuotteen hinta</b>	\$\$	\$\$\$\$
<b>Muoto</b>	Tasolasi ja yksinkertaiset muodot	Lähes kaikki muodot mahdollisia
<b>Paksuus</b>	Vähintään 2 mm	Vähintään 0.1 mm
<b>Lasin koostumus</b>	Sopii lähes kaikille lasseille	Alkalilasit
<b>Hajoaminen</b>	Äkillinen; hajoaa pieniksi paloiksi	Hajoaa kuten käsittelemätön lasi
<b>Optiset ominaisuudet</b>	Lasissa on usein optisia virheitä	Lasin optiset ominaisuudet pysyvät muuttumattomana
<b>Lasin käsittely</b>	Leikkaaminen ja poraaminen ei ole mahdollista	Leikkaaminen ja poraaminen mahdollista, mutta vahvuus palaa alkuperäiselle tasolle reiän ympäriltä

Käyn vielä läpi hieman tarkemmin muutamia ominaisuuksia seuraavalla sivulla.

## **Pintajännitys = Mekaaninen kestävyys**

Kemiallisesti karkaistu lasi on jopa 15-20 kertaa kestävämpää kuin normaali float lasi, kun taas lämpökarkaistu lasi on vain noin 3-5 kertaa float lasia kestävämpää.

Kemiallisesti karkaistun lasin pintakompressio ylittää jopa 100-1000 N/mm<sup>2</sup> (MPa).

Lämpökarkaistulla lasilla tämä arvo on noin 100N/mm<sup>2</sup>- (MPa). Kemiallisesti lujitettua lasia käytetään monissa kohteissa, joissa lasilta vaaditaan erityistä lujuutta yhdistettynä kevyempään lasiin. Toisin sanoen kemiallisella lujittamisella saavutetaan suurempi kestävyys ohuemmalla lasipaksuudella.

## **Naarmunkestävyys**

Kemiallisella lujittamisella saadaan aikaiseksi myös parempi naarmunkestävyys, joka johtuu juuri lasin pintaan vaikuttavasta kemiallisesta prosessista. Lämpökarkaistu lasi ei ole erityisen naarmunkestävä.

## **Lämpövaihtelun sieto**

Lämpöshokki tai pistemäinen lämpö on lasille hankala ja nopea epätasainen lämmönjako lasilla aiheuttaa helposti sen rikkoutumisen ionivaihdettu lasi kestää suurempia lämpöshokkeja kuin lämpökarkaistu lasi.

## **Optiset ominaisuudet**

Lämpökarkaistu lasi aiheuttaa runsaasti optisia virheitä lasiin, kun taas kemiallisen lujittamisen prosessi säilyttää lasin optiset ominaisuudet ennallaan eli vääristymiä ei synny lainkaan. Monissa, erityisesti tietyissä teollisuuden laitteissa, on lasin optiset ominaisuudet eivät saisi kärsiä samalla kun lasia lujitetaan.

## **Leikattavuus lujittamisen jälkeen**

Lämpökarkaistussa lasissa ominaisuutta on se, että lasin käsittely kuten leikkaus ja poraaminen eivät onnistu enää karkaisun jälkeen. Karkaistu lasi hajoaa pieniksi

lasimuruiksi, jos sitä yritetään porata tai leikata. Kemiallisesti lujitettu lasi taas sietää nämä toimenpiteet. Tällöin pitää kuitenkin huomioida, että lasin vahvuus palaa alkuperäiselle tasolle leikkauskohdan ympäriltä.

## Sovelluskohteita ja pohdintaa muista käyttöpaikoista

Kuten aiemmin tässä työpaperissa on mainittu, niin kemiallisesti lujitetulla lasilla on erityyppisiä ominaisuuksia kuin lämpökarkaistulla lasilla. Näitä ovat esimerkiksi optiset ominaisuudet, lasin rikkoutuminen eri tavoin ja toki yksi tärkeimmistä eli lasin lujuus. Näistä ominaisuuksista hyödytään monissa sovelluskohteissa. Erityisesti se seikka, että kemiallisesti karkaistu lasi voidaan valmistaa ohuemmasta lasista kuin lämpökarkaistu lasi, keventää lasikomponentin painoa oleellisesti. Kemiallisesti karkaistu lasi on kestävämpää ja se ei samalla tavalla taivu sekä aiheuta vääristymiä lujitusprosessin johdosta.

**Lentoteollisuudessa** ohjaamon tuulilaisessa ja myös muissa lentokoneiden laseissa käytetään kemiallisesti lujitettua lasia, joka on laminoitua. Esimerkiksi PPG (<https://www.ppgaerospace.com/Products/Transparencies/Commercial-Aviation/777.aspx>) on tuotteistanut oman kemiallisesti karkaistun lasin lentoteollisuuden tarpeisiin. Täältä löydät lisää teknistä dataa siihen liittyen:

[https://www.ppgaerospace.com/getmedia/16ed6fff-d62d-40cd-a92e-f2fe9ad19d4c/777\\_TD\\_FINAL.pdf?ext=.pdf](https://www.ppgaerospace.com/getmedia/16ed6fff-d62d-40cd-a92e-f2fe9ad19d4c/777_TD_FINAL.pdf?ext=.pdf)

**Kuluttajaelektronikasta** tutuin tuotemerkki kemiallisesti karkaistusta lasista lienee [Corning Gorilla glass](#), joka on laajasti käytetty esimerkiksi älypuhelimien näyttölasina. Tässäkin sovelluksessa lasin ohuus, optiset ominaisuudet sekä lujuus ja naarmunkestävyys ovat muihin lujitusmenetelmiin nähden ylivertaisia. Täältä löytyy taas tuohon tuotteeseen liittyvää teknistä tietoa:

[https://www.corning.com/microsites/csm/gorillaglass/PI\\_Sheets/Gorilla\\_Glass\\_Victus\\_PI\\_Sheet.pdf](https://www.corning.com/microsites/csm/gorillaglass/PI_Sheets/Gorilla_Glass_Victus_PI_Sheet.pdf). Älypuhelimien näyttöjen lisäksi tätä alumiinisilikaattilasista valmistettua tuotetta käytetään kannettavissa tietokoneissa, älyrannekelloissa, kameroissa ja niin edelleen.

**Kaupan alalla** hyvä käyttöesimerkki ovat myyntinäyttöpäätteet sekä muut kuluttajien itsenäisessä käytössä olevat kosketusnäytölliset laitteet myymälöissä tai julkisissa tiloissa. Tällöin korostuu erityisesti lasin kestävyys, kun monentyyppiset käyttäjät laitetta operoivat. Laseihin ei muodostu naarmuja ja näytöt pysyvät kirkkaampina sekä siistimpinä pidempään.

Valaisimien suojalasiset, 3D-tulostimien tulostustasot sekä optiset laitteet ovat myös erittäin sopivia sovelluskohteita ja niissä kemiallisesti lujitettua lasia käytetään jo laajasti.

Kemiallisesti lujitettu lasi siis soveltuu moneen, ja vielä on varmasti tuhansittain sovelluspaikkoja, joissa sitä ei ole osattu ottaa vielä käyttöön. Erityisesti voisi kuvitella, että julkisilla paikoilla käytetyt lasiseinät ja kaiteet voisi olla kannattavaa parantuneen kestävyuden ansiosta toteuttaa kemiallisesti karkaistusta lasista ainakin niin, että kovemmalta kulutukselta joutuva puoli laminoidusta lasista olisi valmistettu kemiallisesti karkaistusta lasista ja toinen puoli lämpökarkaistusta lasista. Tämä myös lisäisi turvallisuutta esimerkiksi kaidelaseissa, jotka nykyisin valmistetaan useimmiten kahdesta yhteen laminoidusta lämpökarkaistusta lasista. Mikäli molemmat lämpökarkaistut lasit rikkoutuvat, niin silloin lasi menettää jäykkyytensä lähes täysin, sillä lämpökarkaistettu lasi hajoaa pieniksi muruiksi. Kemiallisesti lujitettu taas rikkoutuu isompina säröinä normaalin float lasin tapaan. Tällöin molempien lasien rikkoutuessa ne tarjoaisivat edes jonkin verran jäännöslujuuskapasiteettia.

Tämä työpaperi on esitellyt lyhyesti kemiallisen lujittamisen periaatteita ja sovelluskohteita. Kemiallinen lujittaminen ja myös muut lasin kestävyyttä ja lujuutta parantavat tekniikat ovat valtavan mielenkiintoisia tutkimusalueita, koska lasi on niin laajasti käytetty rakennusmateriaali sekä komponentti eri alojen teollisuuden laitteissa kuten tekstissä on mainittu. Tutkimus aiheen ympärillä jatkuu ja tutkijat sekä yritykset pyrkivät jatkuvasti parantamaan lasin ominaisuuksia, jotta sitä voitaisiin hyödyntää entistä laajemmin.



## Lähdeluettelo:

Färm, R. (2016). **"Uuden investointihyödykkeen markkinointimahdollisuudet."** Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto.

Gridi, O., Hamidouche, Z. M., Kermel, C. & Leriche, A. (2020). **Mechanical and sandblasting erosion resistance characterization of chemical strengthened float glass**, Boletin de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, Article in press, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036631752030114X>

Gy, R. (2008). **Ion exchange for glass strengthening**, Materials Science and Engineering, Vol. 149(2), ss. 159-165.

Karlsson, S., Jonson, B. & Stålhandske, C. (2010). **The technology of chemical glass strengthening - a review**, European Journal of Glass Science and Technology, Vol. 51(2), ss. 41-54.

Varshneya, A.K. (2010). **Chemical Strengthening of Glass: Lessons Learned and Yet To Be Learned**, International Journal of Applied Glass Science, Vol. 1(2), ss. 131-142.