



## RAKENNUSTIETO >

# Rakennusalan täyden palvelun tietotalo

Rakennustieto Oy edistää hyvää rakennustapaa ja tuottaa rakentamisesta luotettavaa tietoa. Puolueettoman ja asiakaslähtöisen Rakennustieto Oy:n tuotteet kattavat rakentamisen koko elinkaaren suunnittelusta ylläpitoon. Yhtiön omistaa Rakennustietosäätiö RTS.

Tutustu palveluihimme

> [rakennustieto.fi/rk/palvelut](https://rakennustieto.fi/rk/palvelut)

### Rakentajain kalenterin artikkelit

Tämä artikkeli on julkaistu alun perin Rakentajain kalenterissa, jota ovat julkaisseet Rakennustietosäätiö RTS sr ja Rakennusmestarit ja -insinöörit AMK RKL ry.

Julkaisu oli rakennusalan ammattilaisten ja opiskelijoiden käsikirja, joka yhdisteli teoriaa ja käytäntöä sekä kannusti hyvään rakentamiseen. Artikkelin vasemmassa reunassa olevasta vesileimasta näkee ko. Rakentajain kalenterin vuosikerran.

> [Artikkeliarkisto, kokoelma vuosien 1997–2018 Rakentajain kalenterissa julkaistuista artikkeleista](#)

## Uudenaikainen lasirakentaminen Lasirakentamisen State-of-the-art

Jorma Vitkala

Asiakaspalvelupäällikkö, Glaston Oy

GPD Glass Performance Days järjestelytoimikunnan puheenjohtaja

GII Glass Innovation Institute, hallituksen jäsen

Lasin käyttö kasvaa rakentamisessa mikä johtuu ennen kaikkea materiaalin myönteisistä ominaisuuksista ja muokattavuudesta sekä sen tuomista rakennusten käyttökuvuutta lisäävistä mahdollisuuksista muotoilijoille, suunnittelijoille ja rakennuttajille. Rakennuksen käyttäjille lasi tarjoaa yhteyden ulkomaailmaan ja tuo lisää päivänvaloa huoneistoon. Rakentajille lasi on peruskomponentti kuten muut rakennustarvikkeet. Uuden pinnoitusteknologian avulla lasirakenteiden lämmöneristysominaisuudet ovat parantuneet huomattavasti. Läpinäkyvillä pinnoitteilla lämpö saadaan pidettyä joko sisällä tai ulkona.

Lasin käytön mahdollisuuksien täysimääräinen hyödyntäminen edellyttää sen ominaisuuksien ja kehityksen seuraamista. Vaikka rakennusten lasitusratkaisut useimmiten jätetään arkkitehtien ja rakennusuunnittelijoiden huoleksi myös rakennuttajilla, rakennuksen käyttäjillä ja rakentajilla on hyvä olla alan perusasiat hallinnassaan.

Rakennusten käyttöikäsi arvioidaan 35–50 vuotta ja monissa tapauksissa jopa enemmänkin. Tästä syystä esimerkiksi ikkunoiden modernisointi korjausrakentamisen yhteydessä vaatii paljon tuote- ja saatavuustietoutta sekä nyt että tulevina vuosina. Lasirakenteiden tuoma hyöty koskee monia rakennuksen käyttötalouteen vaikuttavia osa-alueita, kuten energiatehokkuutta. Rakennusten osuus yhteiskunnan koko energiankäytöstä liikkuu 40–50 %:n tasolla, mikä tekee rakennusten ja sen lasirakenteiden energiaominaisuuksista erittäin keskeisiä.

Ikkunoiden uusimisella saavutetaan nopeita ja huomattavia energiansäästöjä koska ikkuna on tyypillisesti ollut lämmöneristyskyvyltään kymmenen kertaa huonompi kuin seinä. Ikkunoiden lämmöneristys on kuitenkin parantunut huomattavasti ja tyypillinen ikkunan energianläpäisyä kuvaava U-arvo onkin tänä päivänä noin 0,6–0,7 W/m<sup>2</sup>. Erikoisratkaisuilla päästään jopa 0,3–0,4 W/m<sup>2</sup>:n U-arvoon.

Lasialan sovellukset kehittyvät jatkuvasti vaikka materiaali sinänsä on vanha. Dynaaminen julkisivu, uudet ikkuna- ja seinäelementtien vakuimirakenteet, erilaiset geometriset muodot ja taivutusmenetelmät, erikoisesti kylmätaivutus haluttuun muotoon, ovat uusia suuntauksia. Kylmätaivutusta

tehdään jo nyt melko yleisesti. Lasin kehitys koskee ennen kaikkea lasin fyysisiä ominaisuuksia ja niiden energiavirtojen hallintaa ja jossa erityisesti eri pinnoitteilla on ratkaiseva merkitys. Karkaisu ja lamiointi lisäävät turvallisuutta. Dynaamisuutta edustavat esimerkiksi elektrokromaattiset lasit, joiden läpinäkyvyyttä voidaan muuttaa ja näin saavuttaa huomattavia energiasäästöjä jäähdytyksessä.

Tämä kirjoitus on lasirakentamisen tilannekatsaus sellaisena kun se hahmottui Tampereella kesäkuussa 2015 pidetyssä Glass Performance Days-konferenssissa. Siellä kuultiin 140 asiantuntijaesitystä, käytiin keskusteluja 500 maailman parhaimpiin kuuluvien lasiasiantuntijoiden kesken ja kokoonnuttiin erikoisaiheiden työseminaareihin, workshoppeihin käsittelemään rajattuja konkreettisia aiheita kuten esimerkiksi korkealle rakentamista. Voitaisiin puhua State-of-the-art -katsauksesta, lasirakentamisen nykytilasta.

Asiantuntijoiden tiedonvaihdoissa korostui se, että kun osaamisen näyttämönä ja parhaiden käytäntöjen soveltamisen areenana on koko maailma, jäävät yksittäiset maakohtaiset markkinat liian suppeiksi koko tarjonnan kattamiseksi. Vaikka rakentaminen on aina paikallista, ovat osaamisen ja liiketoiminnan toimintaympäristöt täysin globaaleja. Jossain päin energiatehokkuutta sovelletaan esimerkiksi lämmön pitämiseksi rakennuksen sisällä, jossain taas sen pitämiseksi ulkopuolella. Perusongelma on silti sama, lämpötalous. Yleistäen tilanteen voisi summata kahteen pääteekijään: energiavirtojen hallintaan ja mahdollisimman tehokkaaseen päivänvalon hyödyntämiseen.

Lasirakentamisen kokemuksia ja tilannekuvia käsitellään tässä kirjoituksessa aihepiireinä seuraavasti:

- Lasirakenteet
- Lasialan innovaatiot ja energiatehokkuus
- Lasi ja kestävä kehitys
- Turvalasi
- Ikkunateknologia ja eristyslasi
- Arkkitehtuurin erikoishaasteita
- Taivutettu lasi
- Markkinanäkymät ja tulevaisuuden haasteet.

Aihepiirit käydään läpi rakentamisen näkökulmas-  
ta tavoitteena tarjota alan toimijoille mahdollisuus  
omaksua lasirakentamisen uusia ratkaisuja ja kä-  
sitteitä sekä mahdollistaa lisätietojen hankkimi-  
sen suoraan alan parhailta osaajilta. Kehittyvä lasia-  
la tarjoaa paljon sellaisia uusia ajatuksia ja aiheita,  
jotka eivät voi olla välittömästi kaikkien rakentajien  
ulottuvilla. Tässä artikkelissa annetaan uutta tietoa  
lasirakentamisesta, ajankohtaisista puheenaiheista  
sekä alan tarjoamista tietolähteistä. Painopiste  
on asetettu uuteen teknologiaan ja uusiin käsittei-  
siin. GPD-lasikonferenssin asiantuntijapuheenvuo-  
rot löytyvät osoitteista [www.gpd.fi](http://www.gpd.fi) ja [www.glass-  
files.com](http://www.glass-<br/>files.com). Konferenssien esitykset on myös koottu  
konferenssi-kohtaisiksi kirjoituksia, joista on mahdolli-  
sta ammentaa oman kiinnostuksen kohteena olevia  
yksityiskohtia ja lisätietoja.

Kahden vuoden välein järjestettävä lasialan joh-  
tava kansainvälinen foorumi Glass Performance  
Days tarjoaa lasialan parhaan tietämyksen suoma-  
laisille toimijoille.

## Lasirakenteet

Rakennuslasin kestävyys ja tuvallisuu-  
den kannalta keskeisintä on raaka-lasin eli tasolasin jalos-  
tus turvalasiksi joko lämpökäsittelyllä eli karkaisul-  
la, taivutusarkaisulla ja/tai laminoinnilla. Kun lasi  
jalostetaan edelleen eristyslaselementiksi myös  
liitokset, kehykset ja lämmöneristysomaisuudet  
joutuvat arvioitaviksi. Lasijulkisivut rakennetaan  
useimmiten eristyslaselementeistä mikä nostaa  
myös julkisivun tiiveyden painoarvoa. Laselemen-  
tin lämmönjohtavuus on keskeinen tekijä, mutta  
myös koko julkisivun tiiveys on ratkaisevaa. Lasele-  
menttien käyttö kantavana rakenteena on yleisty-  
nyt ja monille rakennuksille rakennetaan lasiset vai-  
pat, joilla pyritään näyttävyyteen, läpinäkyvyyteen  
ja tyylikkyyteen sekä huollon helpottamiseen. Täl-  
laisten rakennusten ulkoiset vaipat ovat parhaim-  
millaan hyvin kustannustehokkaita ja sallivat käy-  
tettyjen elementtien erittäin kustannustehokkaan  
sarjaluovutuksen. Alvar Aalto käytti tätä periaatetta  
Suomessa jo vuonna 1952 Rautatalo-projektis-  
saan.

Korkealle rakentaminen moninkertaistaa raken-  
tamisen haasteet. Kansainvälisesti korkeaksi raken-  
nukseksi, high-rise, katsotaan 24–30 metriä  
(Yhdysvalloissa 75 jalkaa) korkea rakennus. Pilven-  
piirtäjiksi luetaan yli 100:n metrin korkuiset raken-  
nukset. Maailman tämän hetken korkein pilven-  
piirtäjä on yli 800 metriä. Tällaisten rakennusten  
julkisivuun kohdistuu poikkeuksellisia vaatimuksia.  
Tuuli, sade, lumi ja jää koskettavat korkeaa raken-  
nusta eri tavalla kuin matalaa ja rakennuksen hei-  
luminen koettelee rakenteita ja tiivyyttä. Asiantun-



Kuva 1. Laselementit on yhdistetty kuutioksi Applen  
Manhattanin myymälässä New Yorkissa Yhdysval-  
loissa. Toteutus yhdistää tilaajan yritysimageon liitty-  
vät tavoitteet edistyneen lasirakentamisen ja suurten  
lasikokojen tuomiin mahdollisuuksiin. (Lähde: James  
O'Callaghan, [www.gpd.fi](http://www.gpd.fi), Eckersley O'Callaghan).

tija-arvion mukaan julkivisun kustannukset voivat  
nousta jopa 25 %:iin korkean rakennuksen koko in-  
vestointikustannuksesta.

Arkkitehdit ja rakennesuunnittelijat määräävät  
ikkunaelementtien rakenteen ja koon. Elementtien  
mitat ovat kasvaneet nopeasti viime vuosina. Tällä  
hetkellä ne ovat suurimmillaan jopa 3 x 18 metriä,  
ja niiden hankinnat ratkaistaan yleensä kansainväli-  
sellä tarjouskilpailulla. Esimerkiksi Applen pääkont-  
torissa Kaliforniassa ja Manhattanilla sijaitsevan  
the Cube -myymälän suuret lasielementit toimitet-  
tiin Saksasta, ilman että kuljetuskustannukset oli-  
sivat olleet ratkaisevia. Asiakkaan omien tavoittei-  
den ohella valmistusteknologia ja laatu ratkaisivat  
valinnan. Asiantuntija-arvioiden mukaan koot eivät  
tule enää juurikaan suuremmiksi. Suunnittelijat et-  
sivät aktiivisesti uusia keinoja, joilla saataisiin lisät-  
tyä uusia muotoja ja erilaisia toimintoja lasihin ja  
julkisivuihin.

Suurissa kohteissa pyritään usein siihen, että jo-  
kaisessa toimistossa tai asunnossa olisi avattava  
tuuletusikkuna tai parvekelasi. Vaikka rakennusau-  
tomaatiolla tavoitellaan energiatalouden optimoin-  
tia ja liiallisen tuuletuksen välttämistä on avatta-  
vuus silti piirre joka on haluttu säilyttää. Esimerkiksi  
Helsingin Kalasatamaan tulevien asuintornien jo-  
kaiseen 283:n asuntoon tulee avattava ikkuna.

## Lasialan innovaatiot ja energiatehokkuus

Energiatehokkuus ja päivänvalon maksimaalinen  
hyödyntäminen ovat nousseet avainasemaan itse  
lasimateriaalin ja siihen perustuvien rakenteiden

kehittämisessä. Ikkunat ovat aina olleet energia-taloudessa etusijalla. Samalla kun on haluttu käyttää hyväksi ikkunoiden yhdistäviä ja erottavia ominaisuuksia yhteyden säilyttäjinä ulkomaailmaan ja lämmön pitämiseksi sisällä tai ulkona rakennusten suurimmat energivuodot liittyvät nimenomaan ikkuna-aukkoihin. On luonnollista että lasirakenteiden kehittäjät ovat kiinnittäneet erityistä huomiota sekä lasin energiaominaisuuksiin sellaisenaan että lasista tehtyjen erikoistuotteiden energiatehokkuuden lisäämiseen. Tänä päivänä ikkuna onkin monessa uudessa pohjoisen kohteessa energiataseeltaan positiivinen, kun mukaan lasketaan ikkunasta tuleva lämpö ja keinovalon käytön vähentäminen. Rakennuksen säätölaitteilla vaaditaan uusia ominaisuuksia ja edistynyt teknologiaa, jotta valaistus saadaan säädettyä automaattisesti.

Lasin valmistus on energia-intensiivinen prosessi. Tasolasin ja siitä jalostettujen erikois-, karkaistujen-, taivutettujen- ja laminoitujen lasien valmistusprosessi kuluttaa paljon energiaa. Valmistuksessa käytettävien koneiden energiatehokkuutta on kehitettävä voimakkaasti. GPD-konferenssissa korostui erityisesti tarve vaikuttaa hiilidioksidipäästöihin. Vaikka lasin prosessointi onkin hyvin energia-intensiivistä, kokonaisarvioinnissa on otettava huomioon, että vanhan yksiläislasin ikkunan vaihtaminen uuteen pinnoiteteknologialla käsiteltyyn ikkunaan johtaa hiilidioksidipäästöjen osalta takaisinmaksu-aikaan joka Keski-Euroopassa on vain 3,5 kuukautta. Kallis pääomia ja energiaa vaativa valmistus ei jätä sijaa laatuvirheille eikä hukkatuotannolle joten koko valmistusketju on pitkälle automatisoitu ja optimoitu tuotannonohjauksen ja tietotekniikan avulla. Onnistuneen ja laadukkaan valmistuksen toistettavuus lasikoneoperaattorista riippumatta on varmistettu edistynein automaattoratkaisuin.

Suomesta löytyy turvalasivalmistustekniikan ja sen tuotantolinjojen johtavaa kansainvälistä osaamista mikä edesauttaa tiedonsiirtoa kotimaisille ja kansainvälisille rakentajille. Vaikka lasirakenteiden suunnittelu ja määrittäminen kuuluuakin rakentamisen erikoisosaajille arkkitehdeille ja rakennesuunnittelijoille, lasia käyttävien tahojen on hyvä olla tietoisia erityisesti lasin laatuun ja sen käsitteilyyn liittyvistä reunaehdoista.

Lasin lämmöneristysominaisuuksia vahvistetaan erilaisin pinnoittein. Niiden tehtävänä on kylmissä olosuhteissa heijastaa lasiin kohdistuvia energivirtoja takaisin huonetilaan ja lämpimissä olosuhteissa liiallinen lämpökuorma on pidettävä rakennuksen ulkopuolella. Pinnoitteita käytetään karkaistujen ja laminoitujen turvalasien energiatehokkuuden lisäämiseksi. Pinnoitemateriaaleja kehitetään omia tuotteinaan ja niiden kiinnittäminen

lasin pintaan erilaisina läpinäkyvinä kerroksina vaatii erikoisosaamista.

Seuraavassa käsitellään eräitä lasi-innovaatioiden ajankohtaisia ainalueita ja niiden nykytilaa kansainvälisessä kehityksessä. Lasiteknologia ja sen ympärille muodostunut liiketoimintakokonaisuus ovat luonteeltaan täysin globaaleja ja uudet tekniikat ja sovellukset siirtyvät nopeasti ja tehokkaasti eri markkina-alueille. Lasirakenteiden hankintaketju on maailmanlaajuisen ja valittavat ratkaisut perustuvat kilpailukykyyn ja edistyskellisyteen, jossa erikoistuotteiden kuljetuskustannuksilla ja maantieteellisillä etäisyyksillä on hyvin vähäinen osuus. Lasi on kuitenkin painava tuote, joten tavalliset, ei-korkealle jalostetut tuotteet hankitaan yleensä paikallisilta valmistajilta. Lasiliiketoiminta onkin samanaikaisesti luonteeltaan sekä maailmanlaajuisia että paikallista. Tuotevalinnat ratkaisevat myös rakennuskohteen elinaikaisen kannattavuuden, joten suorituskykyisten osaratkaisujen hinta- ja laatusuhteen on oltava rakennuksen spesifikaatioiden mukainen myös pitkällä aikavälillä.

## Lasi ja kestävä kehitys

Ikkunoille suunnitellaan yhtenäistä kuluttajille käytännön työkaluksi tarkoitettua energiamerkintää energiaominaisuuksien arvioimiseen. Ajatus on vastaavanlainen kuin jääkaapeissa tai pesukoneissa käytössä olevat erilaiset energiatehokkuutta ilmaisevat merkinnät. EU:n päivitetty energiamerkintä-direktiivi syntyi vuonna 2010 ja vuosiksi 2012–2014 laadittu toimintaohjelma määrittelee ikkunat kehitystyön yhdeksi painopistealueeksi. Tarkoitus on synnyttää uusia Ecodesign-menetelmiä energiankäyttöön liittyvillä tuotealueilla (MEERp). Virallisten ikkunoiden koskevien EU-suositusten arvioidaan syntyvän vuoden 2016 kuluessa ja vuoteen 2018 mennessä energiamerkintäratkaisu on tarkoitus ottaa käyttöön. Uudet suositukset kattaisivat uudisrakentamisen, kaupallisia rakennuksia ja merkittäviä korjauskohteita. Kuluttajille toimitettavien asuinrakennusten ikkunoiden osalta merkinnän tulisi olla aukoton ja yhdenmukainen.

Integroidut julkisivut yhdistävät eristyslaserakenteet ja valaistuksen ohjauksen tehokkaaksi kokonaisuudeksi. Laboratorio-olosuhteissa Kaliforniassa on mittauksen mukaan energian käytössä voitu tällä tavoin säävuttaa 39–48 prosentin säästöt, energian huppukuormituksessa noin 22–35 prosentin vähennyksen ja valaistuksen kokonaisenergiankäytössä 91 prosentin säästöt. Tavoitteena on julkisivuratkaisu joka johtaa energian nolla-nettokulutukseen. Monet itse rakentamiseen liittyvät käytännön ikkunaratkaisut edistävät näitä tavoitteita. Suuremman valon läpäisykyvyn ikkunat sijoit-



Kuva 2. Rakennesuunnittelijoiden palkitsema lasirakennerratkaisu Istanbulin Zorlu Lantern -rakennuksessa Turkissa. Neljästä isosta lasista tehdyt seinät toimivat kantavina elementteinä ja liittyvät saumattomasti muihin materiaaleihin edustaen aikamme lasirakennusteknologian ehdotonta kärkeä. (Lähde: James O'Callaghan, [www.gpd.fi](http://www.gpd.fi), Eckersley O'Callaghan).

tetaan korkeammalle huonetilaan, heijastavilla erikoiskaihtimilla sekä katto- ja hyllyratkaisuilla valoa voidaan ohjata peremmälle sisätilaan, kattoikkunoiden sijoittelulla voidaan tuoda enemmän valoa sisään valittuihin paikkoihin, lasista tehdyt väliseinät mahdollistavat lisää valaistusta sisätiloihin, seinät ja sisäkatot voidaan varustaa paremmilla heijastusominaisuuksilla.

Korkeat sermirakenteet, liian pienet ikkunat ja heijastusten torjuminen keinovalolla heikentävät energiatehokkuutta. Sen sijaan säädettävä valaistus tehostaa energiankäyttöä (perusvaatimus Kaliforniassa) ja dynaaminen auringonvalon säätö elektrokromaattisella lasilla (älykkäällä lasilla) parantaa energiataloutta. Älykkään lasin uusien ominaisuuksien ja aurinkopaneelien integroiminen ikkunarakenteisiin ja rakennuksen vaippaan, langaton säätö, yhteydet mobiililaitteisiin ja kaikkien säätöohjauksen toteuttaminen ilman kaapelointia ovat kaikki energiatalouteen liittyviä innovatiivisia tehostuskeinoja.

Tavaroiden Internet (Internet of Things, IoT) toteutuu älykkäissä julkisivuissa ja on tulossa myös lasitehtaiden tuotannon ohjaukseen sekä rakennusten tietokantoihin. Päivänvalo, valaistus sekä ilmastointiratkaisut integroidaan yhteiseen ohjaukseen ja valvontajärjestelmään. Ongelmana on usein se että kokonaisuudessa on liian paljon liikkuvia osia, liian paljon vaihtoehtoja ja liian monta integroitavaa osajärjestelmää. Internet-protokollan tuo-

ma standardointi on yhdenmukaistanut käytäntöjä ja lisännyt ymmärrystä yhteisen ohjauksratkaisun mahdollisuudesta. Tavoitteeksi on otettu jokaisen ikkunan ja valaistuspisteen kytkeminen yhteiseen älykkääseen ohjauksjärjestelmään Internet-teknologiaa hyväksi käyttäen. Laboratorioissa on päästy tämän avulla jopa 80 prosentin energiasäästöihin ja myös tehokkaaseen sopeutukseen päivä-/yökäyttöön. Laboratoriokokeilujen ulottamiseksi täyden mittakaavan rakennukseen valmistaudutaan ja koeikäyttöön uskotaan päästävän vuosina 2016–2017. IoT-sovelluksilla uskotaan päästävän paljon nopeampiin ja suurempiin tehokkuussäästöihin kuin perinteisillä kehitysmenetelmillä. Kun rakennusten eri komponenttien ja toimittajien tiedot on tulevaisuudessa tallennettu yhteiseen tietokantaan myös huolto ja ylläpito helpottuvat.

## Turvalasi

Karkaisuprosessilla vahvistetaan lasin kestävyyttä ja tuotetaan turvalasiksi luokiteltuja lopputuotteita rakennus-, ajoneuvo- ja sisustusteollisuuden tarpeisiin. Jo pitkään käytössä olleelle karkaisuteknologialle syntyy uusia haasteita rakennusteollisuuden käyttöön kehitetyn ohuen lasin prosessoinnissa.

Karkaisussa lasista tehdään turvalasia lämmitämällä sitä uunissa 610–630 Celciusasteessa, jonka jälkeen lasi siirretään jäädytysosastoon, jossa karkaisuvaiheessa aikaansaadaan 120 asteen lämpötilaeron pinnan ja lasin keskiosan välille. Lasimolekyylit järjestäytyvät uudelleen mikä aiheuttaa voimakkaan puristusjännityksen lasin pintaan ja vahvistaa sen iskukestävyyttä. Normaalisti karkaitun lasin paksuus on 4–12 mm, mutta myös 3 mm:n, 15 mm:n ja 19 mm:n lasipaksuudet soveltuvat hyvin karkaisuun. Erikoistapauksissa on karkaitu jopa 24 mm:n lasia. Tyypillisimmät karkaistavat lasikoot ovat leveydeltään 2,4–2,8 metriä ja pituudeltaan 4–8 metriä, suurimmat 3,2 x 18 metriä.

Ohuet lasirakenteet ovat nykyisten EN-standardien 3–25 mm rakenteita ohuemmat. EN 572 ottaa jo huomioon 2 mm:n lasit, mutta muut standardit koskevat paksumpia laseja. Ohuella lasilla tarkoitetaan 1–3 mm:n paksuista lasia jota voidaan karkaista ja laminoida ja jolla voidaan rakentaa huoneen korusia ikkunoita. Ohuiden lasituotteiden kysyntä on nousussa muun muassa seuraavista syistä: rakennustuotteiden energiakulutuksen ja niiden valmistuksen yhteydessä syntyvien hiilidioksidipäästöjen vähennystarve, materiaali- ja kuljetuskustannusten vähentäminen, lasituotteiden painon vähennystarve sekä uusien tuotteiden ilmaantuminen. Uusia tuotteita ovat muun muassa vakuumeristyslasit ja kylmätaivutettujen julkisivujen yhä edistyneemmät



muodot. Myös aurinkopaneelien varustaminen yhä ohuemmalla lasilla vaikuttaa tähän suuntaukseen.

Ohuen lasin etuja ovat

- raaka-ainesäästöt, jotka voivat olla eristyslaseielementissä 15–25 %
- kevyempi käsittely
- kylmätaivutukseen soveltuvuus
- läpinäkyvyyden paraneminen eristyslaseielementissä
- kevyemmät julkisivurakenteet
- korjausrakentamisen helppous ja
- parempi U-arvo.

Karkaistu, yksinkertainen ohut lasi on helposti taitutettavaa. Laminoituna tai osana eristyslaseielementtiä rakenne vahvistuu edelleen ja kestää taivutusta ja iskuja paremmin.

Mitä ohuempi lasi, siitä suuremmat vaatimukset asetetaan jäähdytysprosessille. Paksuudeltaan 2 millimetrin lasin karkaisussa tarvitaan huomattavasti suurempaa jäähdytystä eli konvektiolämmön siirtoa. Tämä voidaan aikaansaada lisäämällä ilmapainetta ja sen määrää, vähentämällä ilman lämpötilaa tai nostamalla lasin lämpötilaa. Energiatallisuuden kannalta karkaistavan lasin lämpötilan nosto on tehokkain keino mutta silloin lasin lämmitys vaatii uutta ilmatyynyilämmitysmenetelmää jota viime vuosien aikana on kehitetty muun muassa Glastonilla Tampereella. Esimerkiksi 2,0 millimetrin lasissa ja 2,3 millimetrin lasissa ovat jo merkittävästi erilaiset jäähdytysvaatimukset.

Maailman karkaisukonekannan kapasiteetti toimittaa 2,0 millimetrin lämpövahvistettua tai karkaistua lasia on hyvin rajallinen. Ensimmäiset ohut lasia vahvistavat laitteistot otettiin käyttöön jo noin 10 vuotta sitten mutta läpimurto saavutettiin kun karkaisuprosessoinnissa siirryttiin keraamisista telakuljettimista ilmatyynyalustaan. Tässä prosessissa lasi voidaan lämmittää 50 astetta korkeampaan lämpötilaan jolloin jäähdytyksessä säästetään jopa 40 % karkaisuprosessin energiakuluista perinteisiin menetelmiin verrattuna. Ilmatyynytuotannon käyttöönotto edellyttää valmistajilta investointeja uuteen tuotantokalustoon. Nyt ohuen lasin ilmatyyny-pohjaisia tuotantolinjoja on Euroopassa käytössä noin 10.

Lämpölujitetun ja karkaistun lasin käytön yhteydessä on jouduttu ottamaan kantaa ilmiöön jota kutsutaan anisotropiaksi. Tällä tarkoitetaan karkaistun lasin jälnite-eroja, jotka tietyissä olosuhteissa esimerkiksi polarisoidussa valossa tulevat lasissa näkyviin esimerkiksi värieroina. Anisotropiaan on suhtauduttu kaksijakoisesti. Toisaalta on katsottu, ettei asialle voi tai tarvitse tehdä mitään ja että kyseessä on lähinnä visuaalinen ilmiö joka on luonnollinen seuraus karkaisuprosessista. Toisen näkökannan mukaan kyseessä on laatuasia johon pitäisi



Kuva 3. Lasirakenteilla voidaan lisätä valoisuutta ja tuoda enemmän päivänvaloa sisätiloihin. Lasiportaat toimivat myös struktuurisena materiaalina. Kuva on Kööpenhaminasta Tanskasta. (Lähde: Stig Mikkelsen, [www.gpd.fi](http://www.gpd.fi), Mikkelsen Architects).

tarttua. Vallitsevien standardien tai spesifikaatioiden mukaan anisotropia ei ole tunnistettu ongelma. Silti voidaan arvioida että vaatimukset "anisotropia-vapaasta" turvalasista voivat tulevaisuudessa voimistua.

Lasin laminoinnilla tavoitellaan turvallisuutta. Laminoitu lasi ei pirstoudu vaarallisiksi sirpaleiksi rikkoutuessaan vaan laminaatti pitää sen koossa myös särkyneenä. Vaikka laminoitu lasi on selvästi turvallisuutta lisäävä tuote tällä hetkellä alle 10 %, eli noin 300 miljoonaa neliometriä, maailmanmarkkinoilla myydyistä yhteensä noin 7 miljardista neliometristä tasolasia laminoidaan. Tämä tarkoittaa toisaalta selvää kasvua. Mikäli turvallisuusmääräykset tiukentuvat esimerkiksi Saksan mallin mukaisesti, on mahdollista että laminoidusta lasista tehdään pakollinen viranomaisuusositus siellä missä ihmiset liikkuvat.

Akustisessa lasituksessa käytetään useita eri PVB-laminaatteja (Polyvinyl Butyral-polivinyylibuturaaali). Akustisten kalvojen valmistajia on jo useampia ja kalvoja käyttämällä voidaan valmistaa erilaisia akustisia ominaisuuksia omaavia tuotteita. Lasin akustisen vaimennuksen suoritusarvot mitataan Rw-indeksillä jolla lasi luokitellaan. Paksummalla lasilla on korkeammat Rw-vaimennusarvot. Kahdella laminoidulla lasilla varustetulla kolminkertaisella eristyslasiella on paras Rw-äänenvaimennusarvo.

Useimmiten akustisia tekijöitä mietitään vasta rakennusten valmistamisen jälkeen, vaikka äänen vaimennuksen tarve tiedetään olevan jo etukäteen suuri. Akustisten lasin käyttökohteita ovat erityisesti lentokentät, hotellit, oppilaitokset ja maanteiden sekä rautateiden läheisyydessä, kulkuväylien varrella sijaitsevat asuintalot.

Rakennuksen suunnittelijoille ja erityisesti arkitehdeille akustisesta lasituksesta saadaan useita etuja.

- lasin vaimennuskyky paranee ilman lasin paksuuden lisäämistä
- päivänvaloa voidaan hyödyntää ilman akustisuudesta luopumisesta
- vaikeissa paikoissa sijaitsevien rakennusten akustisia ominaisuuksia voidaan parantaa
- turvallisuusmääräykset täyttyvät
- lasi voi toimia osana kantavaa rakennetta
- muotoilua voidaan edistää erivärisillä ja vaihtoehtoisilla kalvoratkaisuilla ja
- ultravioletisäteilyn pääsy sisätiloihin voidaan ehkäistä.

Ikkunalasien aurinkosuojapinnoitteella estetään auringon säteilystä johtuvan liiallisen lämmön pääsyä rakennuksen sisälle. Pinnoitteella voidaan estää myös kylmissä olosuhteissa ulospäin virtaavaa energiaa hukkaa, jolloin kyseessä on selektiivinen lasitus. Rakennuslasi pinnoitetaan erillisessä pinnoitusprosessissa joko lasin teon yhteydessä, niin sanotulla on-line pinnoitteella, mutta suurimmaksi osaksi nykyään heti lasin valmistuksen jälkeen erillisellä tyhjiöpinnoitemenetelmällä, niin sanotulla off-line pinnoitteella.

Hyvin energiataloudelliset, matala-emissiiviset lasit, niin sanotut Low E -lasit, ovat hyvä malliesimerkki lasin prosessoinnista energiatehokkuutta lisääväällä pinnoitteella.

Älykkäät ikkunat on kehitetty optimoimaan energiataloutta rakennuksissa, joiden osuus yhteiskunnan koko energiankäytöstä on Euroopassa yli 40 %. Yhdysvalloissa luku on samaa luokkaa ja siellä rakennusten osuus sähkönkulutuksesta on jopa 71 %. Suurimman energiahukan aiheuttavat vanhan teknologian ikkunat. Käyttämällä älykkäitä ikkunoita Yhdysvalloissa on laskettu voitavan säästää 20–40 % rakennusten sähkönkulutuksesta. Älykkään lasin markkinapotentiaali on huomattava ja arvioiden mukaan nykyiset noin 2 miljardin dollariin vuosimarkkinat saattavat jopa kolmin- tai nelinkertaistua parissa vuodessa mikäli nykyistä hintatasoa saadaan painettua merkittävästi alas. Älykkäiden ikkunoiden valmistusteknologioita on useita, partikkeli- (Suspended Particle Device), nestekide- (Liquid Crystal) tai sähkökromaattiset ikkunat (Electrochromatic). Älykkäisiin ikkunoihin liittyy tässä kehitysvaiheessa myös heikkouksia. Yksi niistä on hidas siirtyminen tilasta toiseen mutta vielä suurempi käytön este on vielä vallitseva kallis hintataso.

Älykäs lasi on lupaavaa teknologiaa, jolla voidaan vähentää energianhukkaa ja liiallisesta auringonsäteilystä ikkunoiden kautta johtuvaa lämpökuormaa. Elektrokromaattinen teknologia soveltuu

parhaiten ikkunoiden käyttöolosuhteisiin sopeuttamiseen, mutta nykyisellä teknologialla elektrokromaattisten ratkaisujen käyttö on usein liian kallis vaihtoehto korjausrakentamiseen. Tekniikan kehityksessä kustannukset alenevat ja sovellusmahdollisuudet kasvavat.

## Aurinkoenergian hyödyntäminen

Lasialalla syntyy jatkuvasti uusia sovelluksia joilla valmistajat vastaavat arkkitehtien ja muotoilijoiden luoviin ratkaisuihin. Käytetään uutta teknologiaa josta BIPV (Building Integrated Photovoltaics), on yksi ajankohtaisimmista. BIPV-lasielementissä kahden lasilevyn välissä oleva ohutkalvotekniikalla tai Pii-kiekolla tehty aurinkopaneeli muuttaa auringonsäteilyn suoraan sähköenergiaksi. Tähän liittyvät sovellukset ovat rakentajille uusia mutta tuovat myös lukuisia mahdollisuuksia rakennuksen energiatehokkuuden ja -omavaraisuuden lisäämiseen. Paneelien kirjo on melkoinen josta johtuen standardisointi ja sähköliitännät saattavat tuntua monimutkaisilta.

BIPV-rakenteiden kytkentäyksiköt kiinnitetään jossain tilanteissa itse lasipintaan mutta joskus myös näkymättömästi itse alumiinikehykseen. Paneeliin suunniteltavien kuvioiden valikoima on käytännössä rajoittamaton.

## Ikkunateknologia ja eristyslasi

Lasiteollisuus on reagointu kasvaviin energiatehokkuusvaatimuksiin kehittämällä erilaisia edistyneitä lasielementtiratkaisuja. Kolminkertaiset tai nelinkertaiset lasitukset, uudentyypiset pinnoitetut lasit, karkaistut tai laminoidut lasit sekä kehittyneet välilistamateriaalit parantavat eristyslasin U-arvoa.

U-arvon minimointi on moninkertaistanut eristyslasi-ikkunoiden energiatehokkuutta. Lämmönjohtavuutta mitataan sisältä ulos lasin läpi joko U- (Euroopassa) tai R-arvolla (Yhdysvalloissa). Eristyslaselementin välitilassa olevan jalokaasun käyttö vaikuttaa merkittävästi arvoihin. Kaasupitoisuus ikkunoiden välissä on useimpien standardivaatimusten mukaan yleensä vähintään 90 %. Kaasupitoisuuden mittaaminen eristyslaselementin liimaussaumaa rikkomatta oli pitkään ongelma mutta uudella teknologialla mittaaminen onnistuu nykyään joko kannettavalla mittauslaitteella tai jo eristyslasin tuotantolinjoille asennettavalla ja tuotannonohjaukseen kytkettävällä laitteistolla.

Lasipintojen välissä käytettävä jalokaasu vaikuttaa merkittävästi lasielementin lämmönjohtavuuteen. Ilman lämmönjohto kyky on 0,024, argonin 0,016, siis 67 % ilmasta, ja krypton-kaasun 0,0088, puolet argonin lämmönjohtokyvystä. PPG Glass

Education Centerin mittausten mukaan lämmön-eristyskykyä mittaava U-arvo pienenee noin 16 % argonin käytöllä ja jopa 27 % kryptonin käytöllä. Argonista on kuitenkin tullut suosituin vaihtoehto kaasutätetyille eristyslaseille sen edullisuudesta johtuen. Eristyslaselementin raaka-ainekustannusten on laskettu nousevan ainoastaan 1 % siinä missä argonia suositaa ennen ilmaa eristävänä aineena. Valmistusprosessoinnin yhteydessä lasien liittäminen toisiinsa tiiviiksi elementiksi on erittäin tärkeä laatutekijä. On kuitenkin laskettu että noin 1 %:n kaasuvuoto eristyslaseissa vuodessa on normaali menetys vaikka tuotanto olisikin korkeimpien laatuvaatimusten mukainen. Yksi selittävä tekijä on lasielementtien sisäisen ja ulkoilman välinen paine-erovaihtelu. Mikäli kaasun vuoto muodostuu suuremmaksi kuin tuo prosentti vuodessa se saattaa johtaa lasin U-arvon ja laadun heikkenemiseen ja pahimmassa tapauksessa eristyslaselementin vuotamiseen. Tällöin elementin sisälle muodostuu kondenssivesihöyryä, jolloin läpinäkyvyys huononee ja U-arvo muuttuu oleellisesti.

Uusimmissa tuotteissa, niin sanotussa vakuumilasissa, lasipintojen väli on imetty tyhjiöön kuten termospullossa eikä niissä ole tarvetta käyttää eristävää jalokaasua kuten eristyslasirakenteissa yleensä. Tällä ratkaisulla päästään erittäin pieniin U-arvoihin. Euroopassa tällaisen lasin tuotantoa ei vielä ole mutta Japanissa ja Kiinassa kylläkin. Vakuumilasi on edelleen voimakkaan tutkimuksen ja kehityksen kohteena. Alan uranuurtajana toimii Sydneyn yliopisto Australiassa.

Tavanomaisten kaksin- tai kolminkertaisten eristyslasiin lämmönjohtavuutta vähentää eristävän ilman tai kaasun lisäksi lasilevyjen välistä vuotamista. Välistä vuotamista on paras mahdollinen vaikutus.

Lasin läpi kulkeutuvan säteilyn vähentämiseksi käytetään erilaisia pinnoitteita. Suurin osa kirkkaan eristyslasiin energiavuodosta tapahtuu säteilyn vaikutuksesta, kun taas pinnoitetun lasin elementissä se johtuu suurimmaksi osaksi konvektiosta. Kolminkertainen lasitus on kaksinkertaista vakaampi ulkoisten olosuhteiden muuttuessa.

Vaativien ja erityisesti korkeiden rakennusten julkisivurakentamisessa rakennusspesifikaatioiden tarkkuus ratkaisee asiantuntijoiden mukaan kaiken. Väärillä lähtötiedoilla ja oletuksilla virheet moninkertaistuvat. Oikeat ja sovitut standardit, kuormitustiedot, tarjoukset, suunnittelun laatu, yhteensopivat tiivistysaineet ja huolelliset materiaalivalinnat ovat ratkaisevia. Ilman riittävän tarkkoja määrittelytietoja syntyy jälkikäteen helposti riittoa. Myös spesifikaatiot itse lasille, kuten paksaus, pinnoituksen väri jne. on tärkeää määrittellä.

Tulevaisuuden eristyslasirakenteiden valon läpäisyä kehitetään EU:n rahoittamassa projektissa



Kuva 4. Lasijulkisivu tarjoaa avarat ja upeat näkymät Helsingin uudesta keskuskirjastosta eduskuntataloon päin. (Lähde: ALA Arkkitehdit, [www.gpd.fi](http://www.gpd.fi), Helsinki).

MEM4WIN. Niin sanotuissa älykkäissä lasissa voidaan

- säättää valoa ja varjoa
- vaikuttaa energiantuotantoon
- hyödyntää integroituja valaistusratkaisuja
- alentaa painoa ja kustannuksia
- vaikuttaa ulkonäkötekijöihin sekä
- vähentää ikkunoiden läpi menevää energiavirtaa. Käytössä olevia teknologioita ovat nelinkertaiset eristyslasi, jotka parantavat oleellisesti U-arvoa kolminkertaiseen lasitukseen verrattuna, ohutlasiteknologian soveltaminen ja reunalistan eristyksen kehittäminen. Näissä ratkaisussa
- rakenteen paino vähenee
- valmistuksessa käytettävän energian määrä pienenee
- lasi voi toimia kantavana rakenteena
- erillisiä kehyksiä ei enää tarvita.

## Arkkitehtuurin erikoishaasteita

Monimuotoiset lasitusratkaisut muodostavat haasteen arkkitehdeille ja rakennesuunnittelijoille. Visuaalinen laadukkuus on yhdistettävä turvallisuuteen, mukavuuteen ja myös kuormitettavuuteen. Kaareva lasi sallii monenlaisia mielikuvituksellisia toteutuksia ja edistynyttä muotoilua. Monimuotoiset lasitusratkaisut ovatkin nousseet suunnittelijoiden suosioon. Muutamia esimerkkejä:

Tyypillinen esimerkki on maailmanpyörät ja niiden koriratkaisut. Turvallisuusmielessä lasi voi kallistua joko ulos- tai sisälle päin, lasipinnat ovat lämpölujuutettuja ja laminoituja, käyttömukavuutta on testattava ja kaatumisriski estettävä.

Louis Vuittonin lasihissin kuilu on 15 metriä korkea ja sen halkaisija 2,4 metriä. Hydraulikäyttöisen hissien kori pyörii noustessaan. Lattia on lasirakenteinen ja hissillä ympäröi halkaisijaltaan 3.80 metrin lasikehä.



Hampshiren Laverstokissa sijaitsevan entisen Englannin keskuspankille seteleitä toimittaneen paperitehtaan käyttötarkoituksen uudistamisen yhteydessä sen päätyyn jokipenkalle, rakennettiin kasvihuonerakennelma jossa on kaksi huonetilaa, toinen korkeudeltaan 15 metriä ja halkaisijaltaan 11 metriä ja toinen vastaavasti 10 metriä korkea ja halkaisijaltaan 9 metriä, molemmat kaarevia rakenteita. Isomman rakennuksen sisäilma vastaa Väli-meren olosuhteita. Lämmitystä on vain sen verran, ettei pakkaneen pääse puremaan. Pienemmän tilan ilmapiiri on trooppinen, lämpötila ylittää 26 Celcius-astetta ja kosteus 80 %.

Lasi taipuu moneen muotoon ja tuo uusia mahdollisuuksia kaupunki-ilmeen ja rakennusten kehittäjille. Vielä tällä hetkellä 98 % julkisivuelementeistä on tasolaseja, mutta suuntaus on selvästi kohti uusia muotoja.

## Taivutettu lasi

### Taivutusmetelmät

Kylmätaivutuksessa tasolaselementti taivutetaan mekaanisesti rakennuksen rungon muotoon, tällöin taivutus on aina rajoitettu pienehköihin taivutuksiin ja laajaan kaareen. Kylmätaivutettujen elementin kestosta on vain noin vuosikymmenen kokemus.

Karkaisutaivutus on 630 Celcius-asteen lämpökäsitellyllä suoritettu taivutus, joka yleensä sallii sylinterimäisen taivutuksen ja jonka minimitaivutussäde on 3000 millimetriä. Tällaisella taivutetulla lasilla on hyvä mekaaninen lujuus ja lämpötilavaihteluiden kesto.

Lämpötaivutuksessa lasi taivutetaan uunissa 580–600 asteen lämpötilassa oikeaan muotoon ja jäähdytetään hitaasti. Tällä tekniikalla voidaan aikaansaada erilaisia muotoja, jotka vaativat aina laminoinnin. Kuumataivutettu lasi saa muotonsa lasiprosessoinnin yhteydessä. Taivutus tapahtuu joko painovoimaisesti muottiin laskemalla tai puristuksessa, jolloin lasin lämpötila on taivutustarpeita vastaava. Lämpötaivutus ei lisää lasin mekaanista lujuutta tai lämpötilavaihteluiden kesto.

Laminointi taivutus tehdään laminointiprosessissa, jossa yleensä karkaistu tai lämpölujitettu lasi taivutetaan mekaanisesti ennen autoklaavausta. Autoklaavissa lasin välissä oleva laminointikalvo ja mekaanisesti taivutettu lasi liitetään yhteen 120–140 asteen lämpötilassa ja noin 12 barin ilmapaineessa. Lasit jäähdytetään klaavausprosessissa, jolloin laminaattikalvo liimaa lasit tietyyn haluttuun muotoon. Mekaanisen taivutuksen poistussa lasi palautuu osittain (ns. spring effect ilmiö). Laminointi taivutus vaatii hyvän ja pitkän prosessiosaamisen ja sallii ainoastaan pienehköjä taivutuksia, ei liian tiuk-

koja kaaria. Tällä lasityypillä on hyvä lämpötilojen vaihtelujen kestävyys ja lujuus karkaisun ansiosta.

Lasirakenteen kiinnitys rakennuksen vaippaan on tärkeässä asemassa. Lasirakenteet voi kiinnittää joko mekaanisesti tai erilaisilla liimausmenetelmillä. Esimerkkeinä ovat puitteettomat liimattavat ratkaisut jotka lisäävät muotoilumahdollisuuksia, tyylikkyyttä ja myös parantavat energiatehokkuutta. Niin sanotut struktuurisilikonikiinnitykset ovat tehokas kiinnitystapa ja ne tarjoavat optimaalisen ratkaisun lasin ja alumiinin lämpötilavaihtelujen ja tuulikuormien joustavaan tasaamiseen. Euroopassa nämä ratkaisut on normitettu ETAG002-standardin mukaan. Silikonikiinnitys kykenee myös vastaanottamaan ja joustamaan äkillisissä kuormituksissa, kuten räjähdystilanteissa tai maanjäristyksissä ja estämään siten lasirakenteen rikkoutumisen. Myös suuret tuulikuormat edellyttävät suurempaa lasirakenteiden kestävyyttä. Silikoniliimaus optimoi sekä kestävyyttä että liikkumiskykyä ja sillä on hyvä auringonsäteilyn ja lämmön kestokyky.

Lasirakenteen pistekiinnitykset lisäävät ilmaavuutta ja läpinäkyvyyttä. Kiinnityspisteiden aiheuttamaan rasitukseen vaikuttavat muun muassa kiinnityskulma ja käytetty läpivientekniikka tai viimeisin liimaustekniikka. Jäykempi liimausaine vahvistaa lasia paikallisesti ja vähentää rasituksesta mahdollisesti johtuvaa lasin rikkoutumista.

Käytettävissä olevista monista eri kiinnitystavoisista löytyy seikkaperäistä tietoa Glass Performance Days -tapahtuman Proceedings-kirjasta.

Lasitiiliä käytetään rakenteissa, jossa lasin painekestävyyttä (noin 10 kertaa suurempi kuin taivutuskestävyys) halutaan hyödyntää. Lasitiiliä käytetään muun muassa rakennusten vaippamateriaalina. Näin voidaan saavuttaa läpinäkyviä kantavia rakenteita sekä luovilla ratkaisuilla voidaan saavuttaa erittäin jäykkiä ja näyttäviä rakennusratkaisuja. Lasitiilien valmistus sallii monenlaisia ja vaihtelevia muotoiluratkaisuja. Tiilisovelluksilla on saavutettu näyttäviä tuloksia myös entisöintihankkeissa, joiden alkuperäisissä rakenteissa on käytetty vanhaa tiilimateriaalia. Saumausaineella on suuri vaikutus tiilirakenteiden kestävyteen.

Lasipalkeja käytetään kantavina rakennuselementteinä. Joissain tapauksissa ne varustetaan palkin valmistuksen jälkeen lasin alapintaan liimatulla teräsjäniteellä, jonka jälkeen palkit esijännitetään kestävyden varmistamiseksi. Teräsjänne varmistaa lasin koossapysymisen mahdollisen rikkoutumisen varalta. Lasipalkeille on myös käyttöä kattorakenteiden ja lattioiden kannattajina ja julkisivujen jäykittäjinä, kuten myös erilaisissa porraskäytävissä.

Kantavat puusta ja lasista muodostuvat komposiittirakenteet ovat uusi keino hyödyntää lasin kestävyyttä näyttävällä tavalla. Testeissä on todet-



Kuva 5. Lasirakenteet toimivat lasin perinteisessä roolissa, valon tuomisessa sisätiloihin ja näkymien avaajana ulospäin. Terrassinäkymä on Helsingin uudesta keskuskirjastosta. (Lähde: ALA Arkkitehdit, [www.gpd.fi](http://www.gpd.fi), Helsinki).

tu lasin kestävän painetta puuta paremmin näissä rakenteissa. Tämän johdosta puu-lasi komponentit ovat hyvin käyttökelpoisia myös muissa käyttötarkoituksissa kun yleistyneissä näyttelypaviljonkiratkaisuissa. Myös lasi/teräs tai pelkkiä lasipalkejä käytetään jo runsaasti.

## Markkinanäkymät ja tulevaisuuden haasteet

Rakennuslasin markkinoilla toimivien on otettava huomioon monia uusia lasin kysyntään ja käyttöön vaikuttavia kehitystrendejä. Monet näistä nousivat esiin GPD 2015 -tapahtumassa.

Vuodet 2013–2014 ovat olleet tasoliasialalla voimakkaiden muutosten aikaa. Uusia tuotantolinjoja on käynnistetty mutta myös vanhoja suljettu. Kansainväliset näyttelyfoorumit Glasstec Saksassa ja China Glass Kiinassa ovat yhä enemmän muodostuneet lasikoneteollisuuden toimittajien näyttelyiksi oltuaan aiemmin suuremmissa määrin lasin valmistajien esittelypaikkoja. Kansainvälinen GPD ja GlassCon Yhdysvalloissa ovat vahvistaneet asemiaan asiantuntijafoorumieina.

Materiaalina lasi on säilyttänyt kilpailukykyensä muihin rakennusmateriaaleihin nähden. Tasolasin hintakehitys on ollut vakaa jo vuosikymmenen ajan ja valmistajat ovat joutuneet puristamaan tehokkuutta tuotantolaitteistoistaan rationalisoimalla ja uudistamalla. Tasolasin vakaa hintakuva on tietyksi etu myös lasia jalostaville, sitä prosessoiville yrityksille ja luonnollisesti myös rakennuttajille ja rakentajille. Tasolasi valmistajien kannalta katsottuna tuotannon ylikapasiteetti jatkuu, kannattavuus on edelleen heikko ja kustannusleikkaukset jatkuvat. Tilanne muistuttaa terästeollisuuden joidenkin vuosien takaista tilaa.

Lasin maailma on muodostunut täysin kansainväliseksi mikä tarkoittaa tarjoustoiminnan ulottumista globaaliksi. Monia nykyisiä lasiteollisuuden tuotteita on vain paranneltu ja suuret läpimurrot puuttuvat kokonaan. Julkisivurakenteet muuttuvat yhä monimutkaisemmiksi ja ne ovat nykyään kaukana perinteisestä lasiteollisuudesta.

Yhä useammat valmistajat ilmoittavat pystyvän sä ohuen 2 mm:n lasin tuotantoon ja kylmätaivutetut julkisivurakenteet lisääntyvät myös Euroopan ulkopuolella. Myös erityisen ohuen 0,25 mm:n lasin tuotanto tietoliikenneteollisuudelle on käynnissä Yhdysvalloissa, Euroopassa ja Kiinassa. Lasi on säilyttänyt asemansa älypuhelimien kuorena, vaihtoehtoisesti kehityshankkeet eivät ole onnistuneet. Corning on tuomassa tätä naarmuttamatonta uutta lasitekniikkaa myös rakennusteollisuuteen, mutta tällä hetkellä hinta ja kokojen saatavuus rajoittavat sen yleistymistä

Dynaamisella lasituksella pyritään energian käytön osalta nolla-julkisivuihin. Yhdysvalloissa dynaamisen lasituksen vaikutuksia on seurattu vuodesta 2005. Tässä on otettu huomioon sekä varjostimien että elektrokromaattisen lasin vaikutukset. Dynaamiseksi lasilla tarkoitetaan ikkunaratkaisua, joka pystyy automaattisesti muuttamaan suorituskykyään. Myös vihreän rakentamisen uusia standardeja ja säännöstöä on kehitteillä. Niihin sisältyy vaatimuksia sekä päivänvalon hyödyntämisen että näkyvyyden osalta. Dynaamisella lasituksella pyritään ja pystytään myös täydelliseen kvanttihiippyyden rakennusten energiankäytössä.

Rakennukset suunnitellaan kestävämmän, sopeutumaan ja muuntumaan eri käyttötarkoituksiin. Kun päädytään täysin palvelleen rakennuksen purkamiseen ja uuden pystyttämiseen samalle todennäköisesti arvokkaalle tonttimaalle tulee rakennusmateriaalien kierrätettävyydestä etu. Lasi on rakennuskomponentti, joka on 100 %:sti kierrätettävä. Myös useimmat muut rakennuskomponentit sopivat kierrätykseen. Rakennuksille tulisikin jo etukäteen suunnitella kierrätysohjelmia, kuten autoalalla on tapana.

Niin sanottujen vihreiden rakennusten osalta ympäristöstävällisyys näkyy niin kaavoituksessa kuin rakentamisessa ja käytössäkin. Pyritään puistomaisiin käytäviin rakennusten yhteydessä, energiakäytöltään nollanetokulutusta edustaviin kohteisiin jotka generoivat saman verran energiaa kuin kuluttavat ja esimerkiksi sadeveden talteenottoon ja kierrättämiseen eri käyttötarkoituksiin, kuten jäähdyttämiseen ja kasteluun. Vihreät rakennukset ja erityisesti vihreät pilvenpiirtäjät ovat hyvin ajankohtaisia sellaisilla alueilla, joilla viljelyskelpoisesta maasta on pulaa ja käytettävissä olevan tonttimaan kaavoitus on siksi poikkeuksellisen tärkeää.

Kiina on esimerkki maasta, jonka olosuhteet puhuvat voimakkaasti vihreän rakentamisen puolesta. Sama koskee tietysti monia muita väkirikkaita maita ja erityisesti niiden taajamia.

Aurinkoenergian tuotanto on kansainvälistynyt oltuaan alun perin eurooppalainen ilmiö. Markkinat kasvoivat jonkin verran vuonna 2014 ja olivat noin 40 GW. Euroopan osuus aurinkoenergiainvestoinneista oli vuonna 2014 noin 17,5 % kun vastava luvu vuonna 2010 oli 80 % ja vuonna 2012 enää 53 %. Lasiteollisuus näyttää vähentävän panostuksiaan kehittyneissä maissa investointien suuntautessa Euroopan ulkopuolelle.

Raakalasin maantiekuljetukset ovat erikoistuneet ja tehostuneet. Rakentaminen on kuitenkin aina paikallista joten tuotteiden saaminen rakennuspaikalle vaatii uusia kustannustehokkaita kuljetusratkaisuja. Lasikokojen kasvaessa ja valmistajien erikoistuessa pitkälle hiottu logistiikka auttaa voittamaan etäisyyksien ja kuljetuskustannusten muodostaman haasteen.

Kuljetuskaluston painon vähentäminen on ollut eräs trendi. Neljän viimeksi kuluneen vuoden aikana on tutkimusten mukaan tyypillisesti päästy seuraaviin tuloksiin. Ajoneuvon paino 40 000 kiloa (aiemmin sama), vetoauto 6 700 kiloa (8 000 kiloa), perävaunu 6 450 kiloa (8 000 kiloa), muu ajoneuvopaino 1 500 kiloa (1 500 kiloa), lasikuorma 25 200 kiloa (22 400 kiloa) ja kokonaispaino 39 850 kiloa (39 700). Lasipakkausten määrä on nostettu kahdeksasta yhdeksään. Nämä tehokkuusvoitot johtuvat suurelta osin myös kuormaustehokkuudesta ja parannetusta ajoneuvoteknologiasta. Tulevaan kehitykseen sisältyy toimitettavien lasipakkausten määrään nostaminen kymmeneen sekä rekkakuljetusten polttoainekulutuksen ja hiilidioksidipäästöjen vähentäminen edelleen.

## Aktiivisella asenteella kasvuun

Lasirakentaminen on kasvavaa mutta vaativaa liiketoimintaa. Se edellyttää osapuolilta sekä osaamista että aktiivista asennetta. Uutta tietoa on hankittava maailmanmarkkinoilta ja sitä on osattava hyödyntää. On hyvä muistaa maailman johtavan korkeiden rakennusten suunnittelutoimiston johtajan neuvo vaativan rakentamisen yhteydessä: "Hoida jokainen projektisi kuin se olisi viimeinen" (Keith Boswell, SOM, San Francisco).

## Lasialan käsitteitä

### Tasolasi (Float glass)

Sulan tinan päälle vedetty tasomainen lasilevy. Tyypillinen ikkunalasi – rakennuslasi.

### Karkaistu lasi (Tempered glass)

Noin 4–5 kertaa kestävämpää luin normaali lasi. Puristusjännitys lasin pinnassa saadaan aikaan lämpökäsittelyllä lasin taivutuslujuutta oleellisesti kasvattavassa karkaisuprosessissa.

### Laminoitu lasi (Laminated glass)

Kaksi tai useampia lasilevyjä liitetty liimaamalla yhteen yleisimmän pvb- tai eva-kalvolla.

### Dynaaminen lasi (Intelligent glass)

Sähköisellä ohjauksella toimiva lasi, jossa valon läpäisyä ja täten läpinäkyvyyttä voidaan muuttaa käytössä sähköisesti.

### Eristyslasi (Insulated Glass Unit-IGU)

Kahdesta tai useammasta lasilevystä valmistettu elementti, jossa lasilevyjen ja listakehien muodostamat tilat on liimattu ilmatiiviisti yhteen elastisilla massoilla. Lasien välitilaa laitetaan eristyskykyä parantavaa jalokaasua, useimmiten argonia.

### Vakuumilasi (Vacuum glass)

Tyhjiölasissa kaksi lasia on liimattu erikoisliimalla korkeassa lämpötilassa reunoistaan yhteen ja erotettu lasikuulilla toisistaan. Noin 0,2 millimetrin väliin imetään liimauksen jälkeen suurehko alipaine.

### Lämpötaivutettu lasi (Hot bent glass)

540–610 Celciusasteen lämpötilassa haluttuun muotoon ja säteeseen taivutettu lasi.

### Kylmätaivutettu lasi (Cold bent glass)

Suurehkolle säteelle asennuksen yhteydessä mekaanisesti taivutettu karkaistu lasi.

### Pinnoitettu lasi (Coated glass)

Lasin pinnassa nanotekniikalla aikaansaatuja ohuita läpinäkyviä pinnoitteita, joilla muutetaan lasin pinnan ominaisuuksia. Lasin pinnassa voi olla muun muassa aurinkoenergian heijastusta, läpäisyä tai pinnan puhdistettavuutta muuttavia metallioksidikalvoja.

### Aurinkopaneeli (Photovoltaic glass)

Laselementti, jossa kahden lasilevyn välissä oleva pinnoite tai piikiekkko muuttaa auringonsäteilyn suoraan sähköenergiaksi.

### Kaareva lasi (Curved glass)

Taivutettu (karkaisu-, lämpö- tai kylmätaivutettu) lasi.

## Rakennuksen vaippa (Curtain wall, Building Envelope)

Rakennuksen rungon ulkopuolelle kiinnitettävä, yleensä lasielementeistä muodostuva ulkoinen julkisivu.

## Anisotropia

Anisotropiolla tarkoitetaan karkaistun lasin jänniteeroja, jotka tietyissä olosuhteissa tulevat lasissa näkyviin esimerkiksi värieroina.

## GPD – Asiantuntijoiden verkosto

Suomessa syntyi parikymmentä vuotta sitten Glasstonissa (ent. Tamglass) ja tämän artikkelin kirjoittajan aloitteesta ajatus maailman lasialan asiantuntijoiden koolle kutsumisesta määrävälein. Yhteistä, neutraalia kehitys- ja sovellustietoa ei juuri ollut millään järjestetyllä tavalla saatavilla. Alussa ohjelmassa olivat vuotuiset seminaarit, jonka jälkeen siirryttiin joka toinen vuosi pidettävään laajaan asiantuntijakonferenssiin ja josta myöhemmin myös sivutuotteena syntyi alueellisia seminaareja keskeisille markkinoille. Alkuperäinen idea oli lasinvalmistuksen koneiden optimaalinen käyttö, mutta myöhemmin asiantuntemuksen monipuolistuessa kuvaan astuivat kaikki lasialan kehitystrendit muo-

toilusta, suunnittelusta, valmistuksesta, tutkimuksesta, kehittämisestä laadunvalvontaan ja itse rakentamiseen. Tavoitteena oli kansainvälinen tiedonvaihto joka varmistaisi parhaiden käytäntöjen siirtymisen tehokkaasti ja maailmanlaajuisesti. Lasiala ja sen materiaalivirrat ovat täysin kansainvälisiä vaikka rakentaminen on paikallista.

Aluksi asiantuntijatapaamisia kutsuttiin nimellä Glass Processing Days, mikä korosti lasinvalmistusta. Myöhemmin, konferenssin asiasisällön kehityttyä, nimeksi tuli Glass Performance Days, joka puolestaan painottaa lasin tuomien ominaisuuksien hyödyntämistä. Kahden vuoden välein Suomessa järjestettävät konferenssit tuovat yhteen maailman parhaita asiantuntijoita, jotka kokoontuvat esittelemään ideoitaan ja uusia kehityspiirteitä, jakamaan tietoa ja verkostoitumaan vuorovaikutuksen ulottamiseksi myös konferenssin ulkopuolelle. Lasialalle keskeisiä tietoja jaetaan nykyään pääosin kolmessa kansainvälisessä tapaamisessa, GPD:ssä Suomessa, Glasstec-messuilla Saksassa ja Glassbuild-tilaisuudessa Yhdysvalloissa. Näiden lisäksi GPD järjestää myös sisartapahtumia Turkissa, Kiinassa, Intiassa ja Etelä-Amerikassa, joissa painopiste on paikallisessa kehityksessä ja viimeisimmän lasiteknologian siirrossa alueellisille toimijoille.