



Jouko Ritola & Sirje Vares

Keräyslasin hyötykäyttö vaahtolasituotteina

Keräyslasin hyötykäyttö vaahtolasituotteina

Jouko Ritola & Sirje Vares

ISBN 978-951-38-7254-0 (nid.)

ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 978-951-38-7255-7 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2008

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 1000, 02044 VTT

puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 7001

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 1000, 02044 VTT

tel. växel 020 722 111, fax 020 722 7001

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland

phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7001

VTT, Kemistintie 3, PL 1000, 02044 VTT

puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 7007

VTT, Kemistvägen 3, PB 1000, 02044 VTT

tel. växel 020 722 111, fax 020 722 7007

VTT Technical Research Centre of Finland, Kemistintie 3, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland

phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7007

Toimitus Anni Repo

Editat Prima Oy, Helsinki 2008

Ritola, Jouko & Vares, Sirje. Keräyslasin hyötykäyttö vaahtolasituotteina [Recycling of Waste Glass in Foam Glass Production]. Espoo 2008. VTT Tiedotteita – Research Notes 2458. 51 s. + liitt. 2 s.

Avainsanat glass reuse, foam glass, frost insulation, lightening structures, traffic tunnels, road structures

Tiivistelmä

Esiselvityksen tavoitteena oli tutkia ja arvioida vaahtolasin tuotantoedellytyksiä Suomessa kattavaan vaahtolasituotantoon soveltuvan lasiraaka-aineen saatavuuden ja määrän, tuotantopotentiaalin ja vaahtolasin käyttösovellukset. Potentiaalisista tuotesovelluksista etsittiin ratkaisuja erityisesti vaahtolasituotteiden soveltamisesta kallio-tilojen ja tunnelien kuivatus- ja eristerakenteisiin sekä väylärakenteiden kevennerakenteisiin ja routaeristykseen. Esiselvityksen mukaan Suomessa jää uusiokäyttämättä vuosittain noin 40 000 t sellaista lasimateriaalia, joka soveltuisi vaahtolasituotantoon. Keskkokokoisen tuotantolaitoksen raaka-ainetarve on noin 15 000–20 000 t/v ja tuotantomäärä noin 75 000–100 000 m³ vaahtolasia/v. Pohjoismaissa vaahtolasin potentiaalisia käyttökohteita ovat väylärakenteiden kevennerakenteet ja routaeristeet sekä tunnelien ja kallio-tilojen palamattomat routaeristeet. Norjassa liikennetunneleihin on jo koerakennettu valettuja vaahtolasibetonista valmistettuja routaeristeitä. Ruiskutettavia vaahtolasibetonieristeitä ei toistaiseksi ole kokeiltu, mutta niistä on kylläkin jo keskusteltu. Vaahtolasituotteiden ympäristökelpoisuutta on tutkittu erityisesti Ruotsissa ja Norjassa. Norjassa valmistettaville vaahtolasituotteille on määritetty ympäristökelpoisuus ja esimerkiksi tierakenteissa käytettävälle vaahtolasille on määritetty mm. raskasmetallipitoisuuksien raja-arvot.

Ritola, Jouko & Vares, Sirje. Keräyslasin hyötykäyttö vaahtolasituotteina [Recycling of Waste Glass in Foam Glass Production]. Espoo 2008. VTT Tiedotteita – Research Notes 2458. 51 p. + app. 2 p.

Keywords glass reuse, foam glass, frost insulation, lightening structures, traffic tunnels, road structures

Abstract

The goal of the feasibility study was to research and assess the production conditions of foam glass in Finland, including among other aspects the availability and quality of raw material for foam glass production, production potential and the product applications of foam glass. From the potential product applications, solutions were investigated especially for the utilize of foam glass products for drainage and frost insulation of structures with underground spaces and tunnels as well as use as light filling and frost insulation materials in road structures. The feasibility study results showed that Finland is producing about 40 000 tons of such glass material, which is not reused and which could be used in foam glass production. The raw material use of a mid-sized foam glass production factory is about 20 000 tons per year and foam glass production is about 80 000–100 000 m³ per year. In the Nordic countries the potential objects for utilizing foam glass are lightweight filling materials and frost insulation materials for roads as well as both fire insulation materials and frost insulation materials for tunnels and underground spaces. In Norway foam glass coated concrete elements for frost insulation have been experimentally built in traffic tunnels. Sprayed foam glass concrete frost insulation has not yet been tried in tunnel construction though the idea has already been discussed. The environmental validity of foam glass has been investigated especially in Sweden and Norway. The foam glass products used in road structures in Norway has had defined environmental validity and limiting values for special contents, for instance for heavy metals.

Alkusanat

Tämän esiselvityksen tavoitteena oli selvittää käytössä olevat potentiaalisimmat vaahtolasin tuotantoteknologiat ja käytetyt tuotesovellukset lähinnä kirjallisuuden avulla. Tavoitteena oli myös arvioida yhdessä toimijoiden kanssa vaahtolasin tuotantoedellytyksiä Suomessa kattaen mm. raaka-aineen saatavuuden, potentiaaliset tuotantomäärät ja käyttösovellukset. Potentiaalisista tuotesovelluksista etsittiin ratkaisuja erityisesti vaahtolasituotteiden soveltamisesta kalliotilojen ja tunneleiden kuivatus- ja eristerakenteisiin sekä väylärakenteiden kevennerakenteisiin ja routaeristykseen.

Esiselvityksen tulokset luovat pohjaa vaahtolasituotannon käynnistämiseksi Suomessa. Pohjoismaissa vaahtolasituotantoa on Norjassa ja Ruotsin ensimmäinen tuotantolaitos käynnistyi elokuussa 2008. Suomessa vaahtolasituotantoa ei toistaiseksi ole.

Esiselvitys toteutettiin julkisena yhteisrahoitteisena projektina, ja sitä rahoittivat seuraavat organisaatiot: Helsingin kaupungin geotekninen osasto, Lassila & Tikanoja Oy, Skanska Oy, Suomen Keräyslasiyhdistys ry ja VTT.

Kiitämme kaikkia kohde- ja taustatietojen antajia sekä erityisesti hankkeen johtoryhmään kuuluneita henkilöitä:

- Suomen Keräyslasiyhdistys ry, Erik Berghem, puheenjohtaja 17.4.2008 saakka
Kari Hyrkäs, puheenjohtaja 17.4.2008 alkaen
- Helsingin kaupungin geotekninen osasto, Vesa-Matti Matikainen
- Lassila & Tikanoja Oy, Mikko Talola
- Skanska Oy, Bjarne Liljestrand.

VTT:ssä esiselvitykseen osallistuivat erikoistutkija Jouko Ritola, joka toimi esiselvityksen projektipäällikkönä, ja tutkija Sirje Vares, joka vastasi seuraavista osista ja niiden raportoinnista: Luku 2. Vaahtolasin raaka-aineen määrä ja saatavuus Suomessa sekä Luku 6. Vaahtolasituotteiden ympäristökelpoisuus ja ympäristövaikutukset.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	4
Alkusanat.....	5
1. Johdanto.....	8
1.1 Lähtökohta ja tausta.....	8
1.2 Esiselvityksen tavoite.....	9
2. Vaahtolasin raaka-aineen määrä ja saatavuus Suomessa.....	11
2.1 Pakkauslasi Suomessa.....	11
2.2 Ikkunalasi.....	12
2.3 Tasolasin valmistus Suomessa – Pilkington.....	14
2.4 Lasitavaran tuonti- ja vientitilastot.....	14
2.5 Autojen lasit.....	16
2.6 Hehkulamput, loisteputket.....	18
2.7 Televisiot ja kuvaputket.....	19
2.8 Yhteenveto lasimateriaalin saatavuudesta vaahtolasin käyttöön.....	20
3. Vaahtolasin tuotantoteknologiat ja tuotteet.....	22
3.1 Vaahtolasin tuotantoprosessi.....	22
3.2 Vaahtolasin valmistus ja tuotteet.....	23
3.3 Vaahtolasin käyttökohteet.....	24
3.4 Vaahtolasin tuotantolaitoksia Euroopassa.....	25
3.5 Vaahtolasin teknisiä ominaisuuksia.....	27
3.6 Vaahtolasin epäpuhtaudet.....	30
4. Vaahtolasin käyttösovellukset ja toiminnalliset vaatimukset infrarakenteissa.....	32
4.1 Vaahtolasin käyttömahdollisuudet.....	32
4.2 Vaahtolasin käyttö tierakenteissa.....	32
4.3 Vaahtolasin käyttö tunnelirakenteissa.....	35
4.3.1 Vaahtolasin käyttö muissa infrarakenteissa.....	37
5. Vaahtolasin tuotantokustannukset.....	38
6. Vaahtolasituotteiden ympäristökelpoisuus ja ympäristövaikutukset.....	39
6.1 Kelpoisuus käyttöön.....	39
6.1.1 Lainsäädäntö.....	39
6.1.2 Jätelasin koostumus.....	40

6.1.3	Vaahtolasin koostumus	43
6.1.4	Vaahtolasin haitta-ainepitoisuudet	44
6.2	Vaahtolasin ympäristövaikutukset.....	45
6.2.1	Rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset.....	46
7.	Yhteenveto	49
	Lähdeluettelo	50

Liitteet

Liite A: Vaahtolasin, vaahtolasibetonin ja vertailtavien tuotteiden ominaisuudet

Liite B: Betonimurskeen ja vaahtolasituotteen mitattuja liukoisuusarvoja

1. Johdanto

1.1 Lähtökohta ja tausta

Lasin ominaisuudet mahdollistavat usein sen hyödyntämisen uusien tuotteiden valmistuksessa. Kierrätyslasi onkin jo pitkään ollut tärkeä raaka-aine esimerkiksi lasipakkaus-ten ja lasivillan valmistuksessa. Kierrätyslasi korvaa tuotannossa neitseellisiä raaka-aineita ja vähentää energiantarvetta sulatuksessa, minkä lisäksi sen käytöstä saadaan muita hyötyjä. Kansainvälisesti ottaen merkittävin kierrätyslasin hyödyntäjä on perinteisesti ollut pakkauslasiteollisuus. Sen osuus kierrätyslasin hyötykäytöstä on monissa maissa yli 50 %. Kierrätyslasin käyttöä voitaisiin alalla kuitenkin edelleen selvästi lisätä edellyttäen, että lasi täyttää teollisuuden edellyttämät laatuvaatimukset mm. värin ja puhtauden suhteen. Lasivillan valmistus on toinen teollisuudenala, jossa kierrätyslasia on käytetty merkittäviä määriä.

Muiden kuin edellä lueteltujen käyttökohteiden osuus kierrätyslasin hyödyntämisessä on ollut vähäinen, joskin vähitellen se on ollut kasvamassa. Tämä johtuu lähinnä siitä, että on syntynyt kierrätyslasierä, joiden hyödyntäminen perinteisiin tarkoituksiin on ollut vaikeaa. Tämä puolestaan johtuu siitä, että monet keräysjärjestelmät ovat lasin hyödyntämisen näkökulmasta puutteellisia, koska ne eivät pysty riittävän tehokkaasti estämään vieraiden epäpuhtauksien joutumista lasin joukkoon. Yhteiskunnallinen paine kierrätys-ten tehostamiseen yleisesti on niin ikään kasvattanut kierrätyslasin sisältämien epäpuhtauksien määrää. Uusien käyttökohteiden löytäminen kierrätyslasille tulee tärkeäksi myös Suomessa. Tehostuva lasinkeräys tulee kasvattamaan talteen otetun kierrätyslasin määrää, eivätkä nykyiset hyödyntäjät, pakkaus- ja kuitulasiteollisuus, oletettavasti pysty lisäämään sen käyttöä ainakaan merkittävästi.

Vuoden 2006 virallisten tilastojen mukaan Suomen markkinoille tuli uudelleen hyödynnettäväksi 67 000 t pakkauslasia (<http://www.pyr.fi/tilastot/pakkausmaat.html>). Tästä määrästä lasia hyödynnettiin noin 51 800 t. Suomessa pakkauslasin keräystä voidaan huomattavasti tehostaa. Vuosina 2005–2006 toteutettiin YTV:n, Suomen Keräyslasiyhdistys ry:n, Lassila & Tikanoja Oy:n ja VTT:n toimesta lasipakkausten keräystehokkuusprojekti, jossa koealueelta kerättiin lasipakkauksia talteen noin 4 kg/asukas/vuosi, mikä on yli 3,5 kertaa enemmän kuin aluekeräysjärjestelmän saanto on ollut tähän saakka. Tämän mukaan olisi realistista kerätä lisälasia talteen ainakin noin 20 000–30 000 t/v. (Vares et al. 2005, Vares & Lehtinen 2007a ja 2007b.) Kuitenkin optimaalinen keräysmäärä riippuu siitä, kuinka paljon lasiraaka-ainetta pystytään hyödyntämään lisää. Osa kerättävästä määrästä, jos puhtausvaatimukset täyttyvät, voidaan hyödyntää perinteiseen tapaan (lasivillan valmistus ja uusien pullojen valmistus), mutta lisähyödyntämiskapasiteetti näissä prosesseissa on rajallinen, ja sen takia tarvitaan uusia hyödyntämiskohteita.

Myös EU-määräykset pakottavat lisäämään lasipakkausten hyödyntämistä. EU:n mukainen pakkauslasin hyödyntämistavoite Suomelle on 60 %. On odotettavissa, että hyödyntämistavoite tulee vieläkin kasvamaan.

Lajittelemattomasta kierrätys-, keräys- ja jätelasista valmistettava **vaahtolasi** olisi Suomessa uusi houkutteleva uusiotuote, jota ei toistaiseksi vielä valmisteta. Euroopassa tuotantolaitoksia on ainakin Belgiassa, Norjassa, Ruotsissa, Saksassa, Sveitsissä, Tšekissä ja Unkarissa. Myös Englannissa on tutkittu vaahtolasin taloudellisia tuotantoedellytyksiä (Hurley 2003).

Vaahtolasituotannon houkuttelevia puolia on, että valmistukseen käytettävälle lasille ei aseteta juurikaan laatuvaatimuksia. Vaahtolasin valmistukseen soveltuu lähes kaikki kierrätys-, keräys- ja jätelasi, joka jää muussa kierrätyksessä hyödyntämättä, esimerkiksi lajittelematon pakkauslasi, tasolasi, kuvaputket, loisteputket, tuulilasit, puretut lasivillakeristeet jne. Raaka-aineen käsittelyprosessissa lasiraaka-aineesta voidaan poistaa mm. raskasmetallit. Myöskään pienet määrät epäpuhtauksia, esim. keraamiset aineet, eivät aiheuta vaahtolasin valmistusprosessissa ongelmia. Tämä mahdollistaa lasin kierrätyksen lisäämisen ilman suuria lisäinvestointeja keräys- ja lajittelujärjestelmän kehittämiseen.

Kalliotilojen ja tunneleiden eristerakenteisiin (vesi-, lämpö-, routa- ja paloeristeet) pyritään kehittämään paloturvallisia ja nykyistä edullisempia materiaaliratkaisuja, jotka tulisi voida toteuttaa komposiittirakenteina ruiskutustekniikalla. Erityisesti Pohjoismaissa pyritään kehittämään liikennetunneleihin uusia vesi- ja routaeristeratkaisuja, koska nykyisin käytössä olevat rakenteet ovat huomattavan kalliita. Potentiaalisina eristeratkaisuuina mm. Norjassa tutkitaan ruiskutettavia kevytbetonirakenteita ja vaahtolasin käyttömahdollisuuksia tunnelirakenteissa joko asennettavana levyeristeenä tai ruiskutettavana eristerakenteena. Ruiskutettavassa eristerakenteessa murskatulla vaahtolasilla tai vaahtolasipelletillä on tarkoitus korvata osaksi ruiskubetonin kiviainesta, jolloin ruiskutettu tuote on eristävä kevytbetoni. Norjassa on toteutettu pilottikohteissa ensimmäisiä tunnelieristyskiviä vaahtolasieristelevyillä. Myös ruiskutettavien vaahtolasieristeiden toteuttamista pidetään hyvin potentiaalisena mahdollisuutena.

1.2 Esiselvityksen tavoite

Esiselvityksen tavoitteena oli selvittää lähinnä kirjallisuuden avulla ja valituilla kohdekäynneillä potentiaalisimmat vaahtolasin tuotantoteknologiat sekä käytetyt tuotesovellukset. Edelleen tavoitteena oli arvioida yhdessä toimijoiden kanssa vaahtolasin tuotantoedellytyksiä Suomessa kattaen mm. raaka-aineen saatavuuden, potentiaaliset tuotantomäärät ja käyttösovellukset. Potentiaalisista tuotesovelluksista etsittiin ratkaisuja erityisesti vaahtolasituotteiden soveltamisesta kalliotilojen ja tunneleiden kuivatus- ja eristerakenteisiin sekä väylärakenteiden kevennerakenteisiin ja routaeristykseen.

Tutkimuksen tavoitteet jaettiin seuraaviin osatehtäviin:

- vaahtolasin raaka-aineen määrä ja saatavuus Suomessa
- vaahtolasin tuotantoteknologiat ja tuotesovellukset
- vaahtolasin käyttösovellukset ja toiminnalliset vaatimukset infrarakenteissa (tunnelit, tiet, radat, kunnallistekniset johdot ja mahdolliset muut infrarakenteet)
- vaahtolasituotteiden ympäristökelpoisuus ja ympäristövaikutukset.

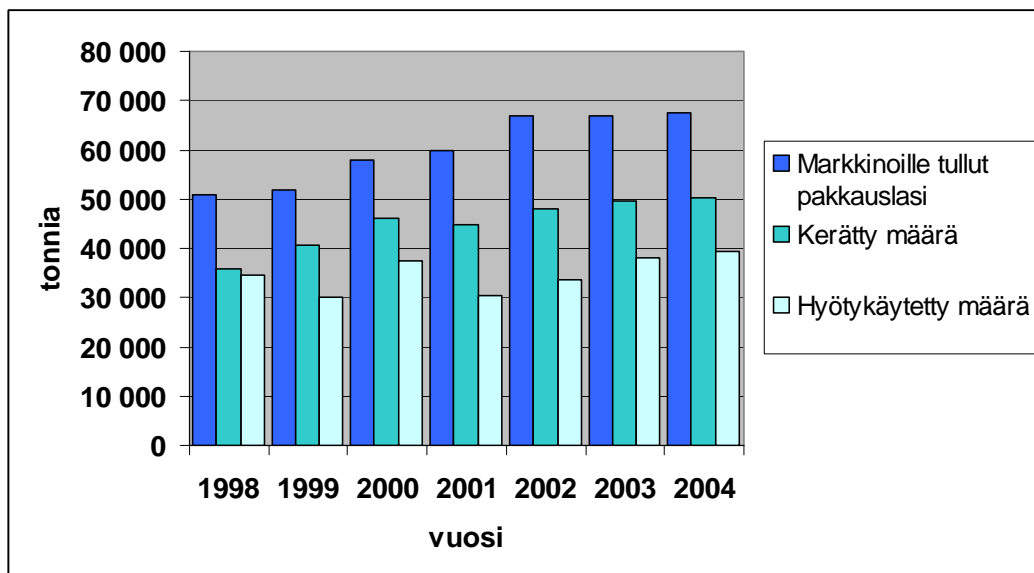
2. Vaahtolasin raaka-aineen määrä ja saatavuus Suomessa

Oletuksena oli, että vaahtolasin pääraaka-aineeksi kelpaa melkein kaikenlainen käytöstä poistettu lasitavara. Lasiraaka-aineen saatavuus Suomessa selvitettiin lasipakkausten, ikkunalasin, autoissa käytettyjen tuuli- ja sivulasien, valaisimissa käytettyjen lamppujen ja loisteputkien, televisio- (TV) sekä tietokoneiden (PC) kuvaputkien osalta.

2.1 Pakkauslasi Suomessa

Suomen vuoden 2006 virallisen tilaston mukaan (<http://www.pyr.fi/tilastot/pakkausmaat.html>) pakkauslasia käytetään vuodessa 288 000 tonnia ja suurin osaa siitä kierrätetään uudelleen täyttämällä (77 %). Näin lasipakkaus voi kiertää useita kertoja lasipakkausmarkkinoilla, ennen kuin se rikkoontuu tai vaihdetaan uuteen. Esimerkiksi olut- ja virvoitusjuomapullot kiertävät tyypistä ja koosta riippuen 30–70 kertaa ennen kuin ne poistetaan kierrosta (Vuoksimaa 1998).

Muuhun hyötykäyttöön kuin uudelleentäyttöön jäi 67 000 t (vuosi 2006), ja siitä lasimäärästä suurin osaa hyödynnettiin lasivillan valmistuksessa, uusien lasipakkausten valmistuksessa tai maatäytöissä (51 800 t/a). Joka vuosi osa lasipakkauksista jää hyödynnettämättä. Toisaalta kaikkea pakkauslasia on mahdotonta saada talteen, mutta myöskään kaikkea talteen otettua lasia ei ole pystytty käyttämään vuositasolla hyödyksi (kuva 1).



Kuva 1. Lasipakkausten keräys ja hyötykäyttö (1998–2003).

Suomessa lasipakkauksia valmistaa O-I-Manufacturing Finland Oy, Karhula. Sen tuotantokapasiteetti on vuositasolla noin 90 000–100 000 t pakkauslasia. Karhulan tuotantolaitos ei käytä enää värillistä lasia.

Monissa maissa, myös Suomessa, vihreän lasin osuus kierrätyslasivirrasta on selvästi suurempi kuin sen osuus kyseisen maan tuotannosta. Tästä seuraa, että toisaalta laatuvaatimukset myös väriltään täyttävää kierrätyslasia ei ole riittävästi saatavilla ja että toisaalta osaa kierrätyslasista ei voida lainkaan hyödyntää pakkauslasituotannossa (Vares & Lehtinen 2007a ja 2007b).

Toinen pakkauslasin hyödyntäjä Suomessa on lasivillan valmistaja Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy. Hyvinkään tehtaassa maksimituotantokapasiteetti nykyisellä laitteistolla on noin 46 000 t/a ja Forssan tehtaassa sulatuskapasiteetti on noin 18 000 t/a. Tehtaitten tuotantokapasiteetti on ollut jo nyt melkein täydessä käytössä. Keräyslasin lisäkäyttöä rajoittaakin tehtaiden sulatuskapasiteetti. (Vares & Lehtinen 2007a ja 2007b.)

Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy:n Forssan tehtaassa käytettiin lasivillan valmistuksessa kierrätyslasia vuonna 2005 vähän yli 80 %. Tämä määrä on jo nyt niin suuri, että sen osuutta ei voida enää merkittävästi kasvattaa ilman, että tuotteen laatu heikkenee. Sen sijaan Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy:n Hyvinkään tehtaalla kierrätyslasin käyttö oli vähäisempää, vuonna 2005 vähän yli 70 %, joten siellä on lisäkäyttöpotentiaalia kierrätyslasille. (Vares & Lehtinen 2007a ja 2007b.)

2.2 Ikkunalasi

Yksi vaihtoehtoinen lasiraaka-aine vaahtolasin tuotannossa voisi olla ikkunakorjauksissa poistettu vanha ikkunalasi. Hemmilän ja Saarnin (2002) mukaan vuonna 1990 ikkunoita oli Suomessa noin 40 miljoonaa m².

Ikkunoissa on keskimäärin 2,5 lasikerrosta ja lasin paksuus on 3, 4 tai jopa 4,5 mm. Jos ikkunassa käytettäisiin esimerkiksi 4 mm:n lasia, jonka tilavuuspaino on 2500 kg/m³, ikkunoissa käytetyn lasimateriaalin määrä olisi

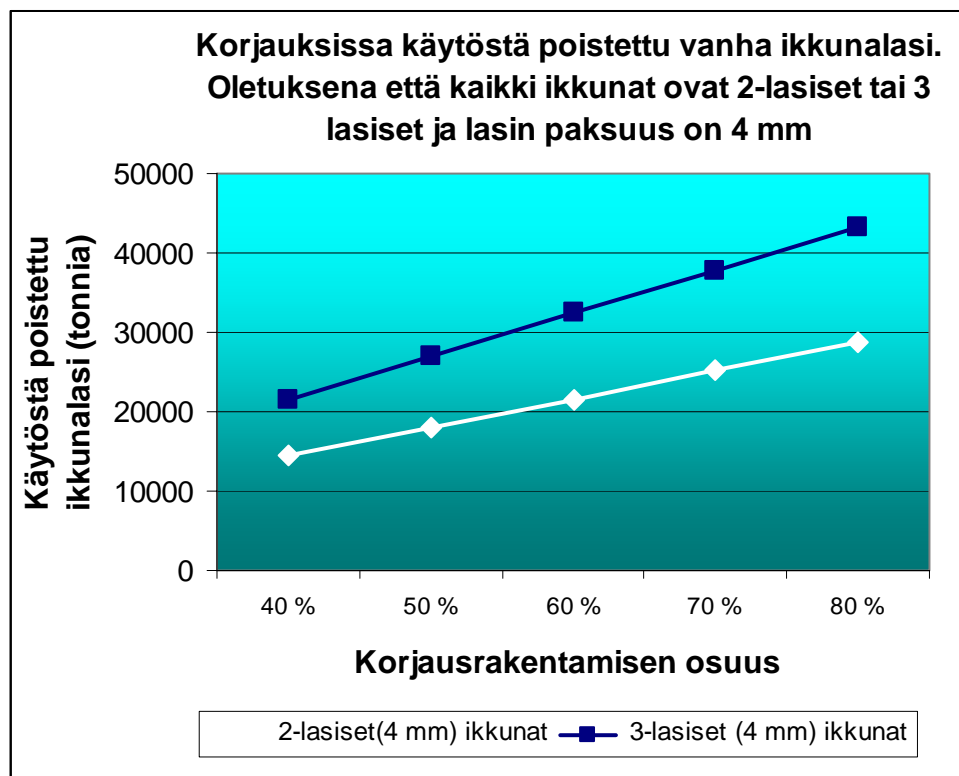
$$40 \text{ milj. m}^2 \times 0,004 \text{ m} \times 2,5 \text{ kpl} \times 2,5 \text{ t/m}^3 = 1\,000\,000 \text{ t.}$$

Ikkunatehtaissa valmistetaan vuosittain noin 1,5 miljoonaa m² ikkunoita. Ikkunoita tuotetaan sekä uudisrakentamisen että korjausrakentamisen tarpeisiin ja niiden keskinäinen osuus vaihtelee vuosittain rakentamisen suhdanteiden mukaan. Jos oletetaan, että tarkasteltavana vuonna korjausrakentamisen ja uudisrakentamisen osuus olisi yhtä suuri, silloin esim. korjauspuolelle tarvitaan 0,75 miljoonaa m² ikkunaa, mutta yhtä paljon ik-

kunalasia pitäisi myös poistua käytöstä. Jos lasin keskimääräinen paksuus on noin 4 mm ja oletetaan, että ikkunat ovat 3-lasisia ja lasimateriaalin tilavuuspaino on 2500 kg/m^3 , saadaan korjausrakentamisessa käytetyn lasin massaksi

$$0,75 \text{ milj.} \times 0,004 \times 3 \times 2,5 \text{ t/m}^3 = \text{noin } 22\,500 \text{ t/a.}$$

Jos oletetaan, että rakentamisen volyyymi on kasvanut vuodesta 1990 vuoteen 2007 noin 20 %, korjauslasin määrän pitäisi olla noin 27 000 t/a.



Kuva 2. Vuosittain käytöstä poistettu ikkunalasi, kun korjausrakentamisen osuus on 40–80 % ja ikkunat ovat joko 2- tai 3-lasiset ja 4 mm:n paksuiset.

Jätteeksi jäävästä ikkunalasista Suomen Usioaines Oy keräsi vuonna 2004 talteen noin 23 000 t, jota hyödynnettiin lasivillan valmistuksessa. Jos korjausrakentamisen osuus on 50 %, joka vuosi ikkunalasia jää hyödyntämättä noin 4000 t. Toisaalta korjausrakentamisen osuus on ollut kasvussa ja kasvaa edelleen, joten sen mukaan ikkunalasia myös poistuu käytöstä vuosittain yhä enemmän (15 000–40 000 t).

Ikkunakorjauksissa poistetun lasin lisäksi lasijätettä syntyy myös lasin leikkauksesta. Ikkunatehtaissa käytetään tavallisesti lasilevyä, jonka koko on 18 m^2 ($3 \times 6 \text{ m}$). Yleensä leikkaukset pyritään optimoimaan, mutta siitä huolimatta leikkausjätettä syntyy arvion

mukaan noin 5–6 % per levy (arvio: Lasikolmio Oy), joten yhdestä levystä syntyy 10 kg jätettä: $18 \text{ m}^2 \times 0,0045 \text{ m}$ (paksuus) $\times 2500 \text{ kg/m}^3$ (tilavuuspaino) $\times 0,05$ (leikkausjäte).

Oletetaan että ikkunoita valmistetaan nykyään vuodessa noin 1,8 milj. m^2 (1,5 milj. $\text{m}^2 \times 1,2$). Tätä varten tarvitaan 100 000 kappaletta 18 m^2 :n lasilevyä ja, kun yhdestä levystä syntyy 10 kg leikkausjätettä, koko tuotannon leikkausjätteen määrä on 1000 t.

2.3 Tasolasin valmistus Suomessa – Pilkington

Liiketoimintalinjat Suomessa ovat tasolasin valmistus ja varmuuslasien valmistus hyötyajoneuvoteollisuudelle sekä varaosamarkkinoille (www.pilkington.fi).

Suomessa on kolme varaosalaseja ja hyötyajoneuvojen laseja valmistavaa tehdasta:

- Ylöjärven tehdas valmistaa henkilöautojen ja kuorma-autojen tuulilaseja.
- Laitilan tehdas valmistaa linja-autojen tuulilaseja.
- Tampereella valmistetaan karkaistuja laseja.

Tasolasituotanto keskittyy Suomessa Lahden tehtaaseen – kirkkaan ja vihreän float-lasin valmistukseen pääasiassa autolasiteollisuuden tarpeisiin ja Micro-floatin valmistukseen vientimarkkinoille. Lahden lasitehtaan vuosituotanto on noin **60 000 t** (tieto: Mauri Riikonen).

Nivalan ja Forssan jatkojalostustehtas toimittaa karkaistuja ja eristyslasi tuotteita rakennusteollisuudelle. Pilkington Marine Suomessa keskittyy luksusristeilijöiden lasirakenneratkaisuihin (<http://www.pilkington.com/europe/finland/finnish/about+pilkington/default.htm>).

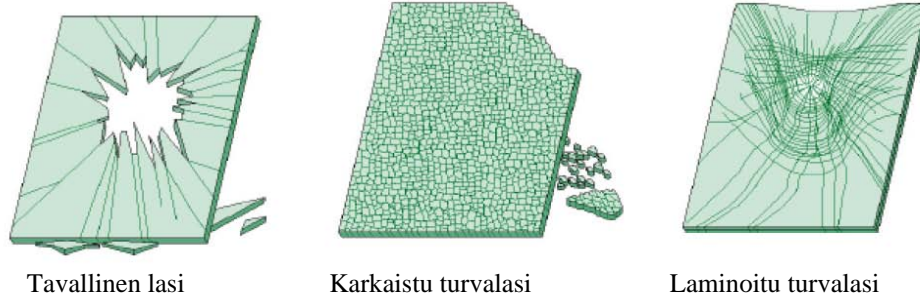
Pilkingtonin tehtaissa ei synny valmistusaikaista lasijättekertymää, sillä kaikki hylkylasi käytetään hyväksi omassa prosessissa.

2.4 Lasitavaran tuonti- ja vientitilastot

Lasin ja lasitavaroiden tuonti ja vienti vuonna 2006 tullitilastojen (tavararyhmät 7003–7009) mukaan esitetään taulukossa 1 (yhteenvedo esitetty Lasirakentaja 2/07 -lehdessä).

Taulukko 1. Tasolasin materiaalivirrat Suomessa (tullitilaston mukaan).

Lasi tai lasijaloste	Tuonti (kg)	Vienti (kg)
Float- ja muu tasolasi		
700312xx	50 194	272
700319xx	822 810	31 357
700420xx	22 118	563
700490xx	168 330	2700
700510xx	23 735 326	6 924 012
700521xx	20 319 596	3 032 167
700529xx	70 522 009	30 331 879
Tasolasi yhteensä	124 640 383	40 322 950
Karkaistu lasi		
700711xx	1 268 399	6 146 870
700719xx	3 511 695	812 601
Karkaistu lasi yhteensä	4 780 094	6 959 471
Laminoitu lasi		
700721xx	1 747 748	34 031 012
700729xx	6 792 202	2 339 207
Laminoitu lasi yhteensä	8 539 950	36 370 219
Eristyslasi		
700800xx	5 055 541	5 174 968
Eristyslasi yhteensä	5 055 541	5 174 968
Peilit		
700910xx	208 675	213 564
700991xx	3 855 656	417 604
700992xx	870 148	26 169
Peilit yhteensä	4 934 479	657 337
Lankalasi		
700320xx	210 862	18 428
700530xx	178 257	19 983
Lankalasi yhteensä	389 119	38 411
Lasiprofiilit		
700330xx	350 624	619
Lasiprofiilit yhteensä	350 624	619
Muut		
700600xx	1 417 716	49 552
Muut yhteensä	1 417 716	49 552
KAIKKI LASI YHTEENSÄ	150 107 906	89 573 527



Kuva 3. Esimerkkejä tasolasiyyppeiden rikkoutumisriskeistä: tavallinen tasolasi, karkaistu tai laminoitu turvalasi (http://www.tasolasiyhdistys.fi/nayta_uutinen.php).

Ottaen huomioon tasolasin valmistuksen Suomessa sekä tuonti- ja vientitilat lasia jää vuosittain Suomeen noin 120 000 tonnia (150 100 t + 60 000 t – 89 600 t). Toisaalta ei ole tietoa siitä, paljonko tästä määrästä jää uusiokäyttöön.

2.5 Autojen lasit

Suomen Autokierrätys Oy on tuottajayhteisö, joka koordinoi romuautojen vastaanoton, käsittelyn ja kierrätyksen EU:n romuajoneuvodirektiivissä määriteltyjen vaatimusten mukaisesti. Suomen Autokierrätyksellä yhteistyökumppaneineen on jopa 200 romuautojen vastaanottopistettä, ja verkosto kattaa koko Suomen. Kuusakoskella on kaikkiaan 105 romuautojen vastaanottoaikkaa, joista 84 on sopimussuhteisia purkamoja ja 21 Kuusakosken omia palvelupisteitä. Valtuutetut romuautojen vastaanottoaikat löytyvät seuraavasta tietokannasta: <http://www.suomenautokierratys.fi/fi/>.

Autojen kierrätyslainsäädännön mukaan vuonna 2006 romuauton painosta piti hyödyntää ja uudelleen käyttää 85 %. Vuoteen 2015 mennessä hyödynnettävyytsvaatimus tulee olemaan **95 %**.

Vuonna 2006 Suomessa oli Tilastokeskuksen ja AKEn mukaan noin 2,9 milj. autoa (taulukko 2) ja henkilöautojen keskimääräinen romutusikä oli 18,4 v (taulukko 3). Romutettavan auton keskimääräinen materiaalisältö kuvataan taulukossa 4.

Taulukko 2. Autokanta Suomessa (lähde: Tilastokeskus/AKE).

Autokanta			
<i>Number of automobiles in use</i>			
	2006	2005	Muutos % Change %
Henkilöautot / Passenger cars	2 489 287	2 414 477	3,1
Pakettiautot / Vans	281 407	273 278	3,0
Kuorma-autot / Trucks	90 925	86 690	4,9
Linja-autot / Buses	11 147	10 878	2,5
Muut autot / Other vehicles	13 590	14 054	-3,3
Kaikki Yhteensä / Total	2 886 356	2 799 377	3,1

Poislukien Ahvenanmaa
Excluding Åland

Lähde: Tilastokeskus/AKE
Source: Statistics Finland/AKE

Taulukko 3. Autokannan keskimääräinen romutusikä Suomessa (lähde: AKE – Autoalan faktat).

Autokannan keskimääräinen romutusikä					
<i>Average age of vehicles in use when scrapped</i>					
	2006	2005	2004	2003	2002
Henkilöautot / Passenger cars	18,4	18,3	18,1	18,5	18,3
Pakettiautot / Vans	18,1	17,7	17,2	17,1	16,7
Kuorma-autot / Trucks	14,9	15,1	14,8	15,7	15,5
Linja-autot / Buses	17,9	18,1	18,0	19,7	18,7

Lähde: AKE
Source: AKE

Taulukko 4. Romuauton keskimääräinen materiaalisältö (lähde: <http://www.suomenautokierratys.fi/fi/>).

Metallit yht.		Orgaaniset osa-aineet yht.		Muut osa-aineet yht.	
75,5 %		19 %		5,5 %	
Teräslevy	41 %	Muovit	9,1 %	Lasi	2,8 %
Teräs	18 %	Kumi	6 %	Nesteet	0,8 %
Valurauta	7 %	Tekstiilit	0,9 %	Sekalaiset osa-aineet	1,9 %
Ruostumaton teräs	1 %	Liimat, maalit	3 %		
Alumiini	7 %				
Sinkki, kupari, lyijy	1,5 %				

Lähteiden (Tilastokeskus/AKE ja AKE – Autoalan fakta) mukaan autoja tulee joka vuosi romutuskuntoon noin 160 000 kappaletta ($2\,886\,356 / 18,4 = 156\,867$ kpl). Hyödyntämistavoitteen (95 %) mukaan keräysmäärän pitäisi olla 149 000 kpl/a (olettaen että autokanta ei lisäänty).

Kuusakoski Oy:n mukaan autossa käytettyjen tuulilasien paino on 1,6 % ja Autokierrätys ry:n mukaan koko lasimäärä autossa on noin 2,8–3 %. Jos oletetaan, että auto painaa keskimäärin noin 1000 kg, siinä on lasia jopa 30 kg. Kaikissa vuositasolla romutuskuntoon tulevissa autoissa on ikkunalasia yhteensä noin 4700 tonnia ($156\,867 \text{ kpl} \times 0,030 \text{ t} = 4706 \text{ t/a}$). Jos 95 % kaikista romutuskuntoon joutuvista autosta otetaan talteen, saadaan lasia kerättyä noin 4400 tonnia ($149\,000 \text{ kpl} \times 0,03 = 4470 \text{ t/a}$).

Autokierrätys ry:n mukaan autoja poistetaan käytöstä 100 000 kpl/a. Lasimäärä niissä on noin 3000 tonnia ($100\,000 \text{ kpl} \times 0,03 = \text{noin } 3000 \text{ t/a}$).

Ennen auton joutumista romutuskuntoon useista autoista on vaihdettu rikkoutumisen vuoksi etu- sekä takalaseja, jotka myös kartuttavat jätemäärää.

2.6 Hehkulamput, loisteputket

FLIP ry on Suomen markkinoilla toimivien lampputuottajien tuottajayhteisö. Yhdistys vastaa lampputuottajien puolesta jätelaissa (1072/1993, muutos 452/2004) ja valtioneuvoston asetuksessa (852/2004) säädettyjen velvoitteiden täyttämisestä.

Laissa määritellyn tuottajavastuun piiriin kuuluvat valonlähteistä kaikki loiste- ja kaasupurkauslamput. Lamputa ainoastaan hehku-, halogeeni- ja autolamput ovat tuottajavastuun ulkopuolella.

Tällä hetkellä Suomessa loisteputkia ottaa vastaan Ekokem. Ekokem ottaa loisteputkista talteen lasin raaka-aineen ja toimittaa sen lasivillan valmistukseen. Vuositasolla loisteputkista syntyy noin **700 t** lasiraaka-ainetta.

ELCF:n (European Lamp Companies Federation) mukaan EU:n alueella syntyy joka vuosi 15 000 rekkakuormaa loisteputkia, 800 rekkakuormaa energiansäästölamppuja ja 700 rekkakuormaa kaasupurkauslamppuja. Suomen vastaavia lukuja ei ole tiedossa.

Seuraavan laskennan avulla on arvioitu hehkulamppujen jätemäärää:

- Kotitalouksia on Suomessa noin 2,4 milj. kpl.
- Jos jokaisessa kotitaloudessa on vain kymmenen hehkulamppua, hehkulamppujen määrä olisi 24 milj. kpl.

- 100 W:n hehkulampun käyttöikä on noin 1000 h (energiänsäästölamppujen käyttöikä on 6000 h).
- Airamien mukaan kotitalouksissa käytetään valaistusta 4 h/vrk ja työkäytössä 10 h/vrk (vuodessa $365 * 4 \text{ h} = 1460 \text{ h}$, ja hehkulampun käyttöiän mukaan lamppuja kuluu vuodessa $1460 / 1000 = 1,5 \text{ kpl}$), lampun paino on 25–30 g ja siinä lasia on noin puolet (15 g). Tällöin lamppujen lasimateriaalia kertyy vuodessa noin $(24 \text{ milj. kpl} \times 15 \text{ g} \times 1,5) 540 \text{ t}$.

2.7 Televisiot ja kuvaputket

Näyttölaitteet, televisiot ja tietokoneen näytöt sekä keskusyksiköt sisältävät komponentteja, jotka ovat ongelmajätettä. Tällaisia komponentteja ovat muun muassa käynnistyskondensaattorit, kuvaputkien sisäpinnan fluorisoiva pinnoite sekä itse kuvaputket, jotka ovat lyijylasia. Tällä hetkellä käytöstä poistettujen ja talteen otettujen kuvaputkien optinen etulasi ja kuvaputkien takaosan lyijylasi on toimitettu hiottuna murskeena hyötykäytettäväksi uusien kuvaputkellisten tuotteiden valmistukseen. Lyijy ja muut raskasmetallit eivät estä optisen ja lyijylasin käyttöä vaahtolasin valmistuksessa, jos nämä aineet voidaan erottaa ja poistaa ennen lasimateriaalin käyttöä vaahtolasin raaka-aineena.

Vuosi 2007 oli kuvaputkien keräyksen osalta ennätysellinen sen takia, että televisiolähetykset siirtyivät digitaalisiin lähetyksiin, minkä johdosta useat kuluttajat vaihtoivat vanhat televisiot digitaalisiksi televisioiksi. Kuitenkin pitkällä aikavälillä vanhojen kuvaputkien (TV ja PC) keräys loppuu, koska uudet näytöt on toteutettu joko plasma- tai nestekide- (LCD) tekniikalla.

Tilastokeskuksen mukaan 96 % kotitalouksista omistaa väritelevisioita ja 58 % tietokoneen (Tilastokeskuksen tilasto koskien vuotta 2003) ja kotitalouksien määrä on noin 2,38 miljoonaa kappaletta (Tilastokeskuksen tilasto koskien vuotta 2001, (<http://www.tilastokeskus.fi/til/index.html>). Näiden tilastojen perusteella ja lisäksi olettamalla, että kaikissa kotitalouksissa olisi vain yksi TV, televisioitten määrä Suomessa olisi vain 2,29 miljoonaa kappaletta. Todellisuudessa kotitalouksissa on enemmän televisioita. Varovainen arvio on, että kussakin kotitaloudessa olisi keskimäärin noin kaksi televisiota, jolloin Suomessa olisi noin 4,5 miljoonaa kappaletta televisioita ($2 \times 2,29 \text{ milj. kpl} = 4,49 \text{ milj. kpl}$). Tietokoneita kotitalouksissa on 1,4 miljoonaa kappaletta ($2,29 \times 0,58 = 1,38 \text{ milj. kpl}$).

TV:n ja kuvaputken paino on noin 23,5 kg, ja siitä lasia on arvion mukaan noin 57 %. Tämän mukaan yhdessä laitteessa on lasia noin 13 kg ($23,5 \text{ kg} \times 57 \% = 13 \text{ kg lasia}$). Jos kaikki edellä mainitut TV:t ja PC:t olisivat kuvaputkellisia, niissä olevan lasin määrä olisi 77 000 tonnia ($5,96 \times 13 = 77 480 \text{ t}$).

Todellisuudessa tietokoneiden ja televisioiden määrä on kuitenkin huomattavasti isompi ja sen mukana myös lasimateriaalin määrä, koska arviosta puuttuu toimistokäytössä olevien tietokoneiden määrä. Toisaalta siirtyminen lasisten kuvaputkellisten televisioiden ja tietokoneiden näytöistä plasma- ja nestekidenäyttöjen (LCD) käyttöön vähentää jätelasimateriaalin osuutta. Arvio on, että kotitalouksien käyttämistä televisioista ja tietokoneista noin yksi miljoona olisi jo uusia laitteita. Vanhojen kuvaputkellisten televisioiden ja tietokoneiden vaihto uusiin aiheuttaa ja on jo aiheuttanut tämän jäteljakeen kasvua, mutta kuitenkin jo muutaman vuoden päästä käytöstä poistettujen vanhojen TV- ja PC-näyttöjen lasimateriaalin saatavuus loppuu kokonaan.

CRT-Finland Oy on TV-kuvaputkien ja PC-monitorien kierrättämiseen erikoistunut yritys. Tällä hetkellä valtaosa tuotteista käsitellään tämän yrityksen toimesta. CRT-Finland sijaitsee Forssan alueella, ja sen käsittelykapasiteetti on 200 000 kpl vuodessa. Olettaen että lasia on tuotteessa noin 13 kg ja että CRT-Finland toimii maksimikapasiteetilla, lasia kertyy vuodessa noin 2600 tonnia (200 000 kpl x 13 kg => noin 2600 t).

Myös Kuusakoski Oy käsittelee käytöstä poistettuja kuvaputkia ja televisioita. Sen käsittelemissä tuotteissa lasimateriaalin osuus on ollut noin 1500 t/a. Näin ollen CRT-Finland Oy:n ja Kuusakoski Oy:n toimesta Suomessa kerätään vuodessa talteen yhteensä noin 4100 t tietokonenäyttöjen ja televisioiden lasimateriaalia.

Televisioiden ja tietokoneiden kuvaputkilasia voitaisiin näillä käsittelykapasiteeteilla kerätä vielä noin 16 vuotta. Kotitalouksista on saatavissa PC:n ja TV:n lasimateriaalia yhteensä $(5,96 - 1) \times 13 \text{ kg} = \text{noin } 64\,500 \text{ tonnia}$. Jos lasimateriaalia kerätään talteen vuodetasolla noin 4100 t, kaikki mahdollinen lasi olisi kerätty $64\,500 / 4100 = 15,7$ vuodessa.

2.8 Yhteenveto lasimateriaalin saatavuudesta vaahtolasin käyttöön

Taulukossa 5 on karkea arvio käytöstä poistetun lasimateriaalin saatavuudesta Suomessa. Yhden keskikokoisen vaahtolasitehtaan keskimääräinen lasiraaka-ainetarve on noin 15 000–20 000 t/v.

Taulukko 5. Käytöstä poistetun lasimateriaalin saatavuus Suomessa.

Lasityyppi	Määrä Suomessa	Käytetty määrä	Lasijäte
Pakkauslasi	82 000 t/a mahdollista hyödyntää muuhun käyttöön kuin uudelleentäyttöön.	Hyödynnetään 53 000 t/a (uudet lasipakkaukset ja lasivillan valmistus).	29 000 t/a olisi saatavana, jos keräys järjestetään ja kaikki kerätään talteen.
Ikkunalasi	Käytetään ikkunoissa noin 1,5 milj. m ² /a, mikä on noin 60 800 t. Korjausrakentamisesta syntyy noin 10 000–40 000 t/a.	Uusioaines on kerännyt ja hyödyntänyt 23 000 t/a.	Korjausrakentamisesta syntyvä lasijätteen määrä on, jos syntymäärä olisi 27 000 t, 4000 t/a ja lisäksi leikkausjätteen määrä on 1000 t/a.
Autojen lasit	Romutettujen autojen lasimäärä on noin 4700 t/a.		Mahdollisuus olisi kerätä 4400 t vuodessa ja lisäksi rikkinäisten lasien vaihdosta syntyvä jätelasi. Tällä hetkellä noin 3000 t/a menee kaatopaikalle.
Valaisimet		Loisteputket 700 t/a. Kaikki on käytetty lasivillan valmistukseen.	Hehkulamput 540 t/a. Nykyinen sijoitus on kaatopaikka.
Kotitalouksien TV:t ja PC:t	Kuvaputkellisia televisioita ja tietokoneita on yhteensä jäljellä noin 52 000 t.	Aikaisemmin kaikki on mennyt uusien kuvaputkien valmistukseen.	1500 t/a Kuusakoski Oy ja 2 600 t/a CRT-Finland Oy. Nykyinen käyttö/sijoitus ei ole tiedossa.
Toimistojen PC:t			?
		Yhteensä	Noin 43 000 t/a

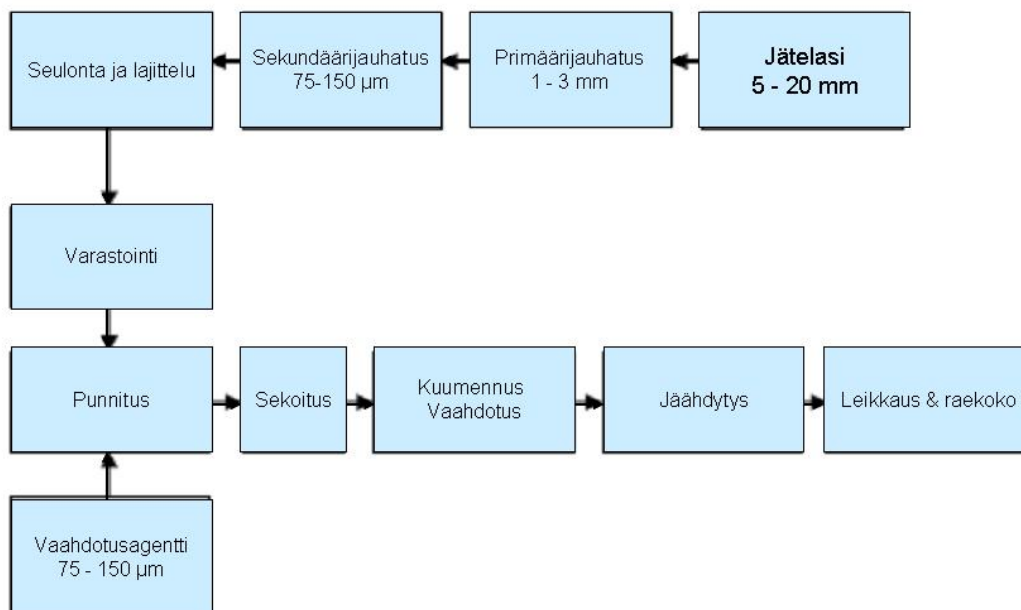
3. Vaahtolasin tuotantoteknologiat ja tuotteet

3.1 Vaahtolasin tuotantoprosessi

Vaahtolasi valmistetaan murskatusta keräyslasista. Jauhettu lasipulveri kuumennetaan ja paisutetaan vaahdotusagentin avulla noin viisinkertaiseksi alkuperäisestä tilavuudesta. Tuotantoprosessissa lasijauhe muodostaa 700–900 °C:n lämpötilassa viskoosin nesteen, jossa vaahdotusagentti hajotessaan muodostaa kaasua, joka puolestaan muodostaa kuplia.

Vaahtolasin tuotannon optimoinnissa kuumennusvaiheen hallinta on yksi tärkeimmistä tekijöistä. Lasilla tulee olla riittävä viskositeetti, jotta kaasukuplat eivät pääse nousemaan lasinesteen läpi, vaan jäävät nesteeseen vaahdotuksen lämpösyklin ajaksi. Jos lämpötila on liian korkea, kuplat kohoavat pintaan ja vaahdotettu materiaali sortuu muodostamatta vaahtolasia. Nopea kuumennus voi aiheuttaa vaahtolasikuplien murtumisen. Hidas kuumennus voi johtaa kaasun liian aikaiseen vapautumiseen vaahdotusagentista ennen kuin lasin viskositeetti on riittävän alhainen, jotta se mahdollistaisi lasin laajentumisen.

Periaatekaavio vaahtolasin tuotantoprosessista esitetään kuvassa 4.



Kuva 4. Vaahtolasin tuotantoprosessin periaatekaavio.

Tuotannossa peruslasijauhe sekoitetaan vaahdotusagentin kanssa, ja näin muodostuu syöte vaahdotusuuniin. Sopiva vaahdotusagentti on joko kalsiumsulfaatti (CaSO₄) tai kalsiumkarbonaatti (CaCO₃). Raportin (Hurley 2003) mukaan lämmönjohtavuus jää alhaisemmaksi, jos käytetään kalsiumsulfaattia, toisaalta kalsiumkarbonaatin käyttö tuo-

tantoprosessissa on helpompaa. Tämä johtuu kalsiumsulfaatista vaahdotusprosessin aikana syntyvästä rikkidioksidista, sillä SO₂:lla on alhaisempi lämmönjohtavuus kuin CO₂:lla. Toisaalta SO₂:n muodostuminen tarvitsee enemmän valvontaa, koska se on myrkyllinen kaasu.

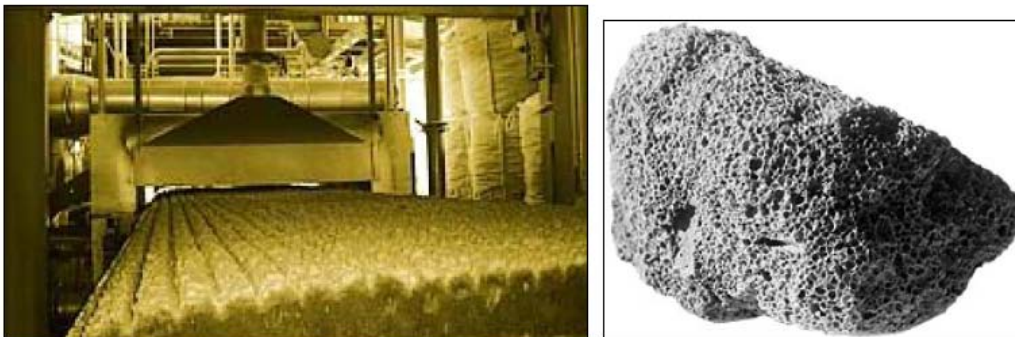
Kalsiumsulfaatille kipsi on sopiva raaka-aine ja kalsiumkarbonaatille kalkkikivi on sopiva raaka-aine. Jos ilma korvataan uunissa vaahdotusvyöhykkeellä joko rikkidioksidilla tai hiilidioksidilla, tämä heikentää vaahtolasin lämmönjohtavuutta.

3.2 Vaahtolasin valmistus ja tuotteet

Vaahtolasia ja vaahtolasituotteita voidaan valmistaa ainakin kolmella eri tavalla:

- Vaahtolasilevytuotanto jatkuvatoimisessa tasouunissa – Valmistusmenetelmä tuottaa vaahdotettua tasolevyä, josta voidaan valmistaa mm. routa- ja lämpöeristelevyjä eri tarkoituksiin, tai valmistusprosessi voi tuottaa myös vaahtolasimursketta. Valmistus tapahtuu tasouunissa. Kun tuote tulee uunista, se murtuu nopean jäähtymisen seurauksena pienempiin palasiin, jotka voidaan edelleen murskata haluttuun rakeisuuteen esim. 10–50 mm, ks. kuvat 5 ja 6.
- Vaahtolasiblokkien ja muotoeristeiden valmistus muoteissa – Yleensä jatkuvatoiminen tuotanto eri muotoja, jotka sitten leikataan ja muotoillaan. Voidaan valmistaa myös annosprosessina vastakohtana jatkuvalla tuotantoprosessille.
- Pelletointi – Jatkuvatoiminen pyörivä vaakauuni tuottaa vaahtolasipellettejä, joista voidaan valmistaa mm. harkkoja, paneeleita ja muotoeristeitä, ks. kuva 7.

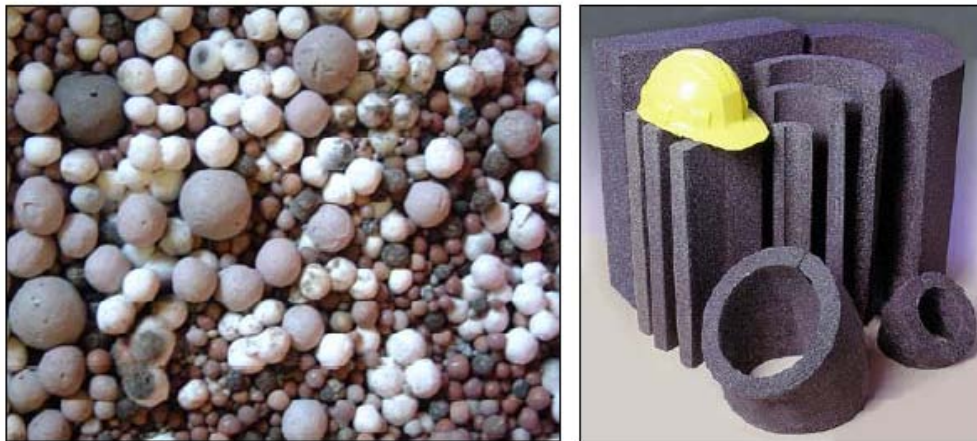
Kuvassa 5 on jatkuvatoiminen tasouuni ja kuvassa 6 sillä tuotettua vaahtolasimursketta. Kuvassa 7 on jatkuvatoimisella pyörivällä uunilla valmistettua vaahtolasipellettiä ja siitä valmistettuja muotoeristeitä. (Hurley 2003.)



Kuva 5. Millcellin jatkuvatoiminen tasouuni (Hurley 2003).



Kuva 6. Jatkuvatoimisella tasouunilla valmistettua vaahtolasimursketta (10–60 mm, [®]HASOPOR).



Kuva 7. Vaahtolasipellettiä ja siitä valmistettuja muotoeristeitä (Hurley 2003).

3.3 Vaahtolasin käyttökohteet

Vaahtolasin tiheys on noin 200–300 kg/m³ ja lämmönjohtavuus noin 0,1 W/m, K. Vaahtolasin pääasialliset käyttöalueet ovat kevennerakenteet, lämpö- ja routaeristerakenteet ja kuivatusrakenteet, mutta vaahtolasia voidaan käyttää laajemminkin koko rakennussektorilla esimerkiksi eriste- ja salaojitusrakenteissa sekä estämään kapillaarista vedenousua maarakenteissa. Vaahtolasia voidaan käyttää myös eristävän kevytbetonin valmistukseen korvaamalla betonin runkoaines vaahtolasimurskeella tai vaihtoehtoisesti vaahtolasipelletillä.

Vaahtolasituotteet soveltuvat hyvin mm. eristeiksi betonirakenteisiin talonrakentamisessa, kunnallisteknisiin eristettäviin rakenteisiin sekä tunneli- ja väylärakenteisiin.

Esimerkiksi liikennetunneleiden ruiskutettavat eristerakenteet voisivat olla yksi uusi tuotealue, mikäli eristerakenteille asetetut tekniset ja toiminnalliset laatuvaatimukset täyttyvät ja materiaalin saatavuus ja hintakilpailukyky ovat riittävän hyvät.

Eri maissa olevissa tuotantolaitoksissa valmistetaan lajittelemattomasta pakkaus- ja jätelasista murskattua tai pelletoitua vaahtolasia erilaisiin eriste- ja kevennerakenteisiin mm. infrarakentamisen tarpeisiin. Esimerkiksi Norjassa Hasopor valmistaa lajittelemattomasta keräys- ja jätelasista murskattua vaahtolasia, jonka rakeisuus on 10–60 mm, suunnittelu- tiheys 350–400 kg/m³ ja kuivan materiaalin lämmönjohtavuus noin 0,10 W/m, K. Vaahtolasia on käytetty Norjassa jonkin verran betonirakenteissa lämmöneristeenä. Materiaalia käytetään myös tierakenteissa kevenne- ja routaeristerakenteena. Tarkoitusta varten tierakenteiden pilottikohteissa on tutkittu ja testattu usean vuoden ajan murskatun vaahtolasin toimintaa kevennysrakenteina sekä routa- ja lämmöneristerakenteina. Tutkimustulosten mukaan materiaali soveltuu käytettäväksi tierakenteissa, jos vain materiaalin hinta osoittautuu kilpailukykyiseksi muiden vaihtoehtojen kanssa (Aabøe & Øiseth 2005).

3.4 Vaahtolasin tuotantolaitoksia Euroopassa

Pittsburg Corning, Englanti

Tuotenimi FOAMGLAS®, jota Euroopassa valmistetaan ainakin Belgiassa, Saksassa ja Tšekin tasavallassa.

Tuotenimi kattaa ainoastaan muototuotteita putkieristeistä muotolevyihin ja harkkoihin, joita käytetään hyvin monenlaisiin sovelluksiin, mm. maanpäällisiin ja maanalaisiin putkieristeisiin sekä infrarakenteisiin.

Misapor AG, Sveitsi

Yrityksellä on Sveitsissä Dagmersellenissä uusi tuotantolaitos, joka prosessoi jätelasia 10 000 t/v (tuotanto n. 50 000 m³/v vaahtolasia). Prosessi pystyy käsittelemään boorilasia, CRT-lasia ja keraamisia pitoisuuksia ja voi erottaa mm. metallit, raskasmetallit ja muovit.

Misapor AG tuottaa irtonaista vaahtolasimurskettä raekoosta 50–75 mm aina 5–10 mm:n raekokoon saakka. Misapor AG on kehittänyt myös rakenteellisen kevytbetonin nimeltään ”Alwac”. Siinä käytetään suhteutettua vaahtolasia korvaamaan luonnon kiviaines betonissa, jolloin syntyy eristävää kevytbetonia (Hurley 2003).

Geofil, Unkari

Geofil tuottaa vaahtolasipellettejä erilaisista jätelasijakeista, jotka saattavat sisältää huomattavan määrän epäpuhtauksia, kuten pullonkorkkeja yms. Erilaisia pellettityyppejä on kehitetty yli 80 eri tuoteryhmiin.

Hasopor, Norja

Hasopor käyttää sveitsiläisen Misapor AG:n patentoitua prosessia.

Hasoporin tuotanto:

- Norjassa Hasoporin vaahtolasin tuotanto on kasvanut voimakkaasti, ja sen arvioitiin olevan v. 2006 yli 50 000 m³/v kahdella uunilla (Boom i skumglass: <http://www.adressa.no/nyheter/okonomi/article599413.ece>).
- Hasoporilla on myös Saksassa tuotantolaitos, jonka kapasiteetti on noin 40 000 m³/v.

®HASOPOR-vaahtolasi on teollisesti valmistettu tuote, jossa tuotanto tapahtuu valvoituissa olosuhteissa. Raaka-aine muodostuu keräyslasista, ja tuote on rakeisuudeltaan 10–60 mm:n mursketta. Vaahtolasimursketta on käytetty Norjassa ja Ruotsissa tienrakentamisessa ja talonrakentamisessa vuodesta 1988 alkaen.

Norjan Meråkerissa sijaitseva Hasoporin vaahtolasitehdas tarvitsee noin 10 500 t lasia/v turvatakseen täyden vaahtolasituotannon. Se vastaa noin 3–4 %:a Ruotsin ja Norjan (v. 2007) keräyslasin kokonaismäärästä. Norjassa vaahtolasin tuotantoon käytetään joka vuosi yli neljä miljoonaa elohopealamppua, ja tarkoituksena on kierrättää loisteputkista noin 40 %. Tuotantoprosessissa loisteputket ja muu myrkyllinen lasijäte puhdistetaan tarkoituksena erottaa raskasmetallikomponentit ja muut ympäristölle haitalliset aineet.

Keräyslasista erotetaan tehtaassa paperi, muovi, keramiikka ja metallit, minkä jälkeen se jauhetaan hienoksi pulveriksi. Lasijauheeseen lisätään ja sekoitetaan aktivaattori, minkä jälkeen lasijauhe syötetään teräshihnalle ja sisälle tunnelitasouuniin. Jauhe kuumenee ja laajenee 4–5-kertaiseksi alkuperäisestä tilavuudestaan. Kun levymäinen tuote tulee uunista, se murtuu pienemmiksi kuutiomaisiksi paloiksi nopean jäähtymisen seurauksena. Syntynyt tuote voidaan tarvittaessa murskata tai jauhaa myös hienompaan raekokoon, esimerkiksi 4–8 mm ja 8–12 mm, joita on käytetty runkoaineena korvaamaan kiviainesta eristävässä vaahtolasibetonissa.

Glasopor, Norja

Norsk Glassgjenvinning AS valmistaa Glasopor-tuotenimellä vaahtolasipellettiä ja erilaisia muototuotteita vaahtolasista. Myös Glasoporin vaahtolasin vuosituotanto on noin 50 000 m³/v.

Millcell AG, Sveitsi

Millcell tuottaa samantyyppistä vaahtolasia kuin Misapor eli irtonaista vaahtolasimurskettä, jonka raekoko riippuu käyttökohteesta. Vaahtolasin tuotantomäärä on noin 40 000–60 000 m³/v, ja raaka-aineena käytetään pakkauslasista syntyvää jätelasia. Liiketalouslaitteiden takia tuotantoprosessista on saatavissa tietoa vain hyvin rajallisesti (Hurley 2003).

Liaver, Saksa

Liaver, joka on osa Liapor-ryhmää, on tuottanut kevytsoragranulaattia rakennusteollisuudelle 1960-luvulta alkaen. Yritys tuottaa myös vaahtolasigranulaattia. Liaver käyttää pakkauslasista syntyvää jätelasia, sekoittaa siihen sideaineen muodostaakseen pellettiä ja sitten sintraa pelletit pyörivässä uunissa 750–900 °C:n lämpötilassa. Tarkoituksena on tuottaa sintrattuja huokoisia granulaattirakeita, joilla on suljettu pintarakenne.

Liaverin lasigranulaattia käytetään levyeristeiden valmistukseen. Lasigranulaatit peitetään sintrausagentilla ja sintrataan levytuotteiksi. Levyjä voidaan käyttää seuraaviin tuotesovelluksiin:

Kohde	Tuote
• meluntorjunta	meluneristyspaneelit
• lämpösuojaus	lisäeristys
• palosuojaus	palosuojauspaneelit
• korkealämpötilaeristykset	kuumakaasusavuhormien eristys
• ajoneuvojen rakenteet	törmäysvaimennukset

3.5 Vaahtolasin teknisiä ominaisuuksia

Taulukossa 6 esitetään Hasoporin valmistamien vaahtolasituotteiden teknisiä ominaisuuksia ja taulukossa 7 maarakenteissa käytettävän vaahtolasimurskeen lämpöteknisiä ominaisuuksia.

Taulukko 6. Hasoporin valmistamien vahtolasituotteiden teknisiä ominaisuuksia (lähde: HASOPOR Lightweight Foamglass Aggregate, <http://www.hasopor.com/>).

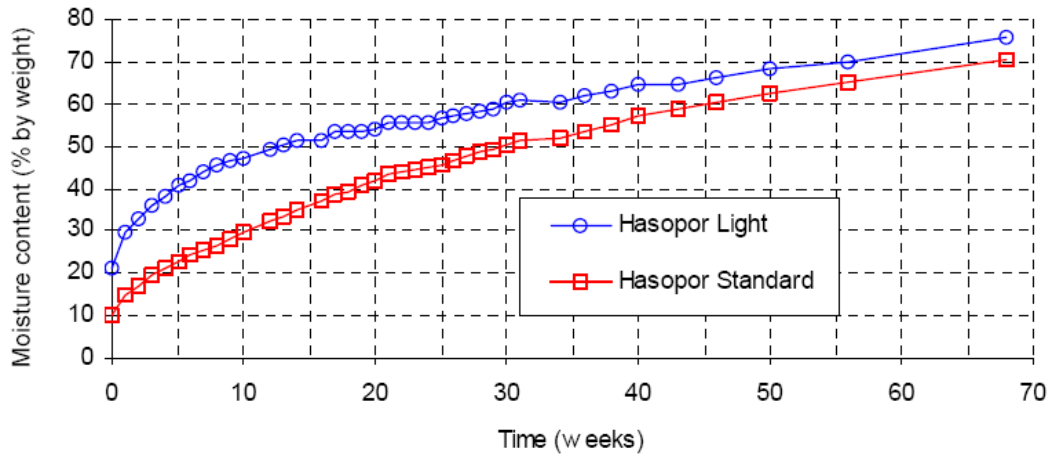
Qualities of [®] HASOPOR	[®] HASOPOR light			[®] HASOPOR standard
Grain size	10-50 mm [EN 933-1/EN 933-2]			10-50 mm [EN 933-1/EN 933-2]
Dry loose bulk density	180 kg/m ³ [EN 1097-3]			225 kg/m ³ [EN 1097-3]
Density for dimensions, γ^*	3,5 kN/m ³			4,0 kN/m ³
Density for dimensions, γ^{**}	2,7 kN/m ³			3,4 kN/m ³
Angle of friction, ϕ for vertical loads \geq 120 KPa. Tested in a giant oedometer apparatus.	44.5°			-
* Density for dimensions – Roads. Ref. to Road Manual 018 (NPRA)				
** Density for dimensions – Density, wet, moisture content 30% by weight (28 days of immersion in accordance with EN 12087). Compaction 1.15.				
Dedared thermal conductivity, [λ_D], Dry and compressed.	0,102 W/mK 15% compressed [EN 12667 & EN 10456]			0,110 W/mK 25% compressed [EN 12667 & EN 10456]
Corrected thermal conductivity [λ], Wet and compressed, moisture content 25 % by weight.	0,129 W/mK 15% compressed [EN 12667]			0,145 W/mK 25% compressed [EN 12667]
Capillary water suction after 50 weeks. Compressed 30%	3,9 kg/m ² [EN 1097-10]			12,3 kg/m ² [EN 1097-10]
Capillary water suction height.	< 120 mm [EN 1097-10]			< 170 mm [EN 1097-10]
Water absorption after 28 days of total immersion.	31 % by weight [EN 12087]			30 % by weight [EN 12087]
Long term (68 weeks) water absorption by total immersion.	40 weight % [EN 12087]			50 weight % [EN 12087]
Settlement and creep strain at different stress levels based on prENV 1997-2, giant oedometer apparatus. Instant deformation day 1: Creep strain day 1 to 50 year:	80 KPa 2.4 % 0.17 %	150 KPa 5.1 % 0.31 %	250 KPa 9.0 % 0.60 %	The creep strain for [®] HASOPOR standard is assumed to be equal or better than for [®] HASOPOR light.
Crushing resistance at 20% deformation. [The test started on specimens in unpacked state]	0.77 N/mm ² [EN 13055-1]			0.92 N/mm ² [EN 13055-1]
Resistance to freezing and thawing. - Reduction in the oedometer modulus. - Visual observation of cracks or disintegration.				No No [EN 12091]
Behaviour under cyclic load.				E-module \geq 90% of a sub base layer. Max. dynamic vertical load on top of [®] HASOPOR \geq 75 KPa [prEN 13286-7]

Taulukko 7. Maarakenteissa käytettävän vaahtolasimurskeen lämpöteknisiä ominaisuuksia (Skogstad et al. 2006).

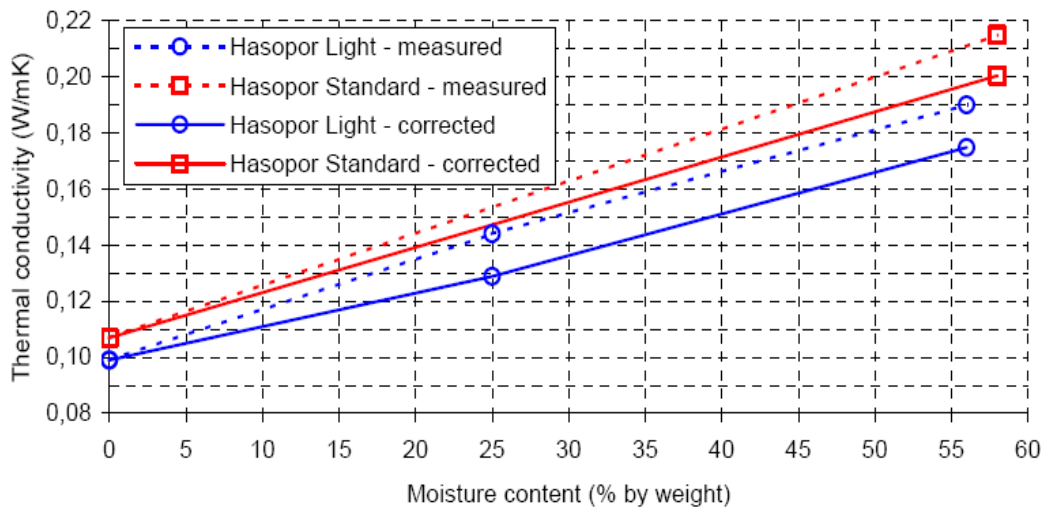
Property		Unit	Hasopor Light			Hasopor Standard	
Thermal conductivity EN 12667	Measured values, λ	W/mK	0.099	0.144	0.190	0.107	0.215
	Corrected values, λ^*	W/mK		0.129	0.175		0.200
	Number of tests	-	6	2	1	6	1
	Compaction degree	-	1.15	1.00	1.00	1.25	1.00
	Dry density, compacted	kg/m ³	210	205	169	280	237
	Moisture content	kg/kg	0	0.25	0.58	0	0.56
Water absorption by total immersion EN 12088	Water absorption, 68 weeks	kg/kg	0.75			0.70	
	Compaction degree	-	1.0			1.0	
	Dry density, loose bulk	kg/m ³	170			240	
	Water absorption, 4 weeks	kg/kg	0.31			0.30	
	Compaction degree	-	1.0			1.0	
	Dry density, loose bulk	kg/m ³	180			220	
Capillary suction height EN 1097-10	Capillary suction height	mm	<120			<170	
	Water absorption	kg/m ²	3.9			12.3	
	Number of specimens	-	3			3	
	Compaction degree	-	1.3			1.3	
	Dry density, compacted	kg/m ³	240			330	
Water absorption coefficient, A_w	Week no. 0-1	kg/(m ² s ^{0.5})	0.003				
	Week no. 2-50	kg/(m ² s ^{0.5})	0.0004				
	Week no. 0-50	kg/(m ² s ^{0.5})				0.002	
Moisture diffusivity, D_w	Week no. 0-1	m ² /s	4E-10				
	Week no. 2-50	m ² /s	8E-12				
	Week no. 0-50	m ² /s				2E-10	
Resistance to freezing and thawing EN 12091	Water absorption during 300 freeze-thaw cycles	kg/kg				0.40	
	Compressive stiffness	-				No reduction	
	Cracks or disintegration	-				No visible	
Oedometer modulus prENV 1997-2	Oedometer modulus / strain at different stress levels						
	25 kPa	MPa / %	4 / 0.4			10 / 0.25	
	50 kPa	MPa / %	3 / 1.2			8 / 0.5	
	80 kPa	MPa / %	2.5 / 2.3			7 / 0.9	
	100 kPa	MPa / %	2.5 / 3.1			6.5 / 1.2	
	Compaction degree	-	1.25			1.25	
	Dry density, compacted	kg/m ³	225			290	
Creep strain	Creep strain day 1 / day 1 to 50 years at different stress levels						
	80 kPa	% / %	2.4 / 0.16				
	150 kPa	% / %	5.1 / 0.36				
	250 kPa	% / %	9 / 0.47				
Crushing resistance EN 13055-1	Crushing resistance at different compressions						
	20 %	MPa	0.77			0.92	
	30 %	MPa	1.09			1.35	
	40 %	MPa	1.50			1.96	
	50 %	MPa	2.04			3.01	

Kuvassa 8 esitetään testitulokset pitkäaikaisesta vedenimukokeesta vesiupotuksessa. Tuloksista voidaan todeta, että vuoden upotus vedessä johtaa yli 60 paino-%:n kosteuspitoisuuteen. Kosteuspitoisuuden kasvu puolestaan johtaa vaahtolasin lämmönjohtavuusarvojen kasvuun ja eristyskyvyn heikkenemiseen, kuten voidaan havaita kuvasta 9.

Noin puolen vuoden vesiupotuksessa vaahtolasin kosteuspitoisuus kasvaa noin 50 paino-%:iin ja samanaikaisesti lämmönjohtavuusarvot lähes kaksinkertaistuvat eli lämmöneristyskyky lähes puoliintuu.



Kuva 8. Vaahtolasin (®HASOPOR) vedenimeytyminen pitkäaikaisessa vesiupotuksessa (Skogstad et al. 2006).

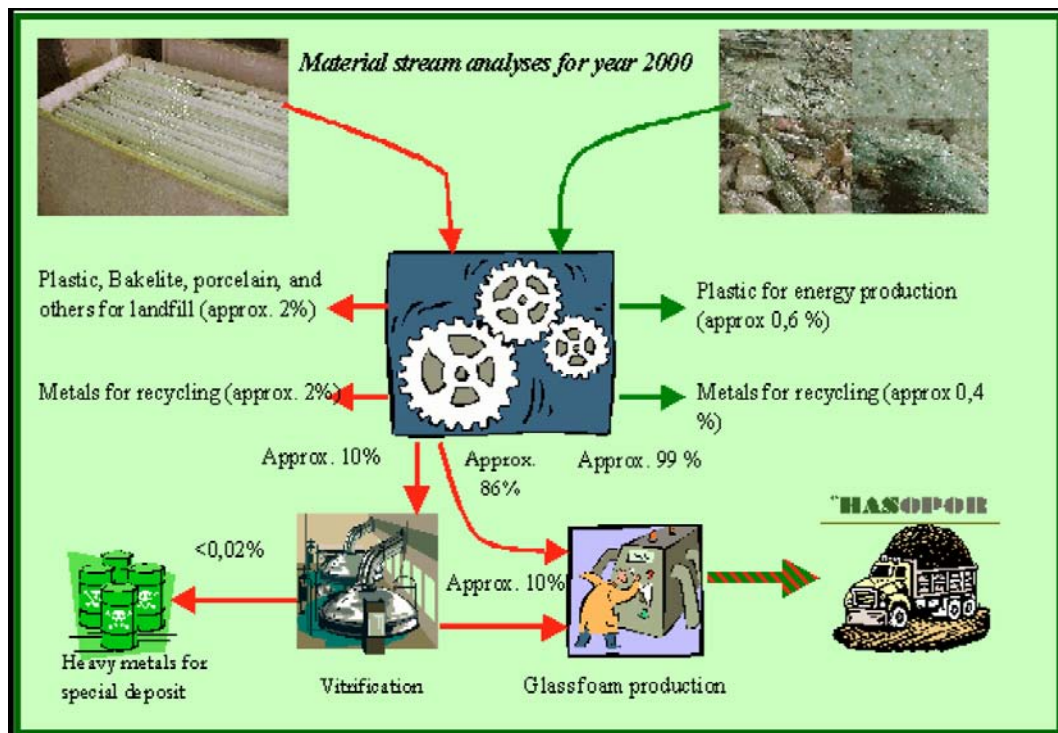


Kuva 9. Vaahtolasin (®HASOPOR) lämmönjohtavuus kosteuspitoisuuden funktiona (Skogstad et al. 2006).

3.6 Vaahtolasin epäpuhtaudet

Vaahtolasin valmistuksessa käytettävä keräyslasi sisältää jossain määrin epäpuhtauksia, jotka pyritään poistamaan murskaus- ja jauhatusprosessin yhteydessä. Tällaisia aineita ovat mm. bakeliitti, porsliini, muovit ja raskasmetallit. Kuvassa 10 esitetään Hasoporin

tuotantoprosessin materiaalivirta ja prosessista poistettavien aineiden suhteelliset määrät vuoden 2000 tuotannossa.



Kuva 10. Hasoporin vahtolasituotantoon käytetyn jätelasin materiaalivirrat ja niiden suhteelliset määrät.

4. Vaahtolasin käyttösovellukset ja toiminnalliset vaatimukset infrarakenteissa

4.1 Vaahtolasin käyttömahdollisuudet

Vaahtolasi on kevyt eristävä materiaali, jossa on noin 8 % huokoista lasia ja noin 92 % ilmaa. Materiaalin tiheys on noin 200–300 kg/m³ ja kuivan materiaalin lämmönjohtavuus noin 0,1 W/m, K. Kostean materiaalin (kosteus > 50 paino-%) lämmönjohtavuus on noin 0,2 W/m, K.

Infrarakenteissa vaahtolasia on käytetty mm. seuraaviin tarkoituksiin:

- tierakenteissa kevenne- ja routaeristemateriaalina sekä kuivatusrakenteina; voidaan käyttää myös katkaisemaan kapillaarista veden nousua ja tärinän vaimentajana maarakenteissa
- paaluperustuksissa eristys- ja kuivatusrakenteina
- routa- ja paloeristerakenteena tunneleissa ja kalliotiloissa
- kaivantotäytteinä, joilta edellytetään suurta puristuslujuutta sekä eristys- ja kuivatusominaisuuksia.
- liukuvan maan stabiloinnissa kevennemateriaalina, jolla on suuri kitkakulma (36–45°)
- urheilualueiden eristerakenteina.

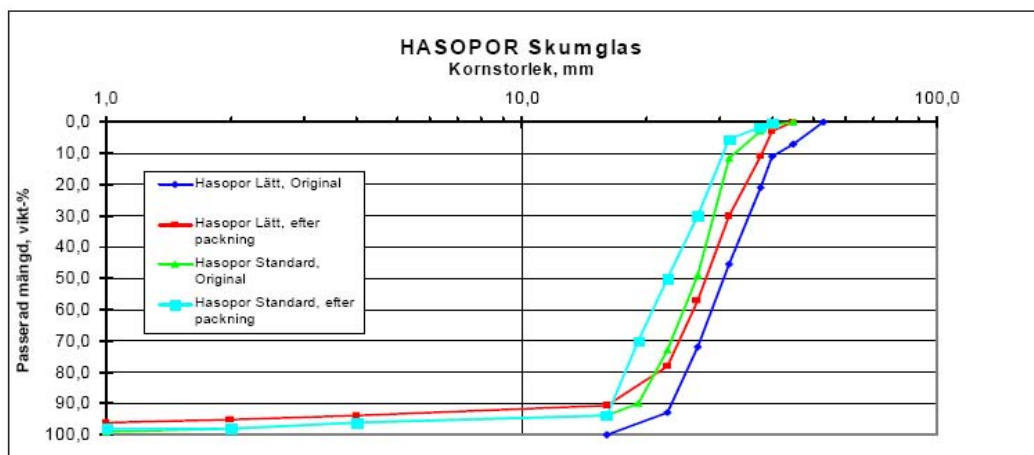
Lisäksi vaahtolasia on käytetty talonrakentamisessa mm. seuraavanlaisissa rakenteissa:

- rakennuseristeinä mm. betonirakenteissa ja eristävänä runkoaineena eritebeteineissa
- uima-altaiden eristysrakenteissa
- kattoeristyksenä.

4.2 Vaahtolasin käyttö tierakenteissa

Vaahtolasin pääasiallinen käyttötarkoitus tierakenteissa on käyttö kevennerakenteena ja routaeristemateriaalina. Muita käyttöalueita ovat salaojitus- ja kuivatusrakenteet ja käyttö kapillaarisuuden katkaisukerroksena sekä myös tärinänvaimentajana.

®HASOPOR- murskatulla vaahtolasilla on kuutiomainen raemuoto, ja se on huokoinen materiaali, jossa on noin 8 tilavuusprosenttia lasia ja 92 tilavuusprosenttia ilmaa. Murskatun vaahtolasituotteen rakeisuus on noin 10–60 mm. Muoto ja pintahuokoisuus antavat materiaalille sen geotekniset ominaisuudet, esimerkiksi suuren kitkakulman 36–45°, joten materiaali soveltuu geo- ja infrarakenteisiin kevenne- ja eristerakenteeksi routasuojauksiin sekä kapillaarikerrokseksi katkaisemaan kapillaarista vedennousua. Huokosten suuri suhteellinen osuus antaa pienen tiheyden ja hyvän eristyskyvyn. Kuvassa 11 esitetään tuotteen rakeisuuskäyrät sekä tiivistetylle että tiivistämättömälle materiaalille.



Kuva 11. Hasaporin vaahtolasituotteiden rakeisuuskäyrät tiivistämättömänä ja tiivistettynä (Eriksson & Hägglund 2007).

Tiivistettäessä vaahtolasirakenne tiivistyy 10–25 %. Mitoittavana pohjapaineena vaahtolasille voidaan käyttää 100 kPa. Vaahtolasin sisäistä kitkakulmaa (36–45°) voidaan verrata murskemateriaaleihin (Lindgren 2007). Näin ollen vaahtolasikerroksen luiskakaltevuus voi olla 1:1 tai loivempi riippuen luiskan varmuuskertoimesta. Raemuodon takia vaahtolasitäyterroksella on niin hyvä kantavuus, että sen päällä voidaan ennen tiivistystä ajaa täysin lastatulla kuorma-autolla, ks. kuva 12.

Koerakennuskohteissa Norjassa tierakenteiden vaahtolasikerroksista mitattu pitkäaikaisdeformaatio on ollut 1,0 % ja lyhytaikainen deformaatio 1,5 %.

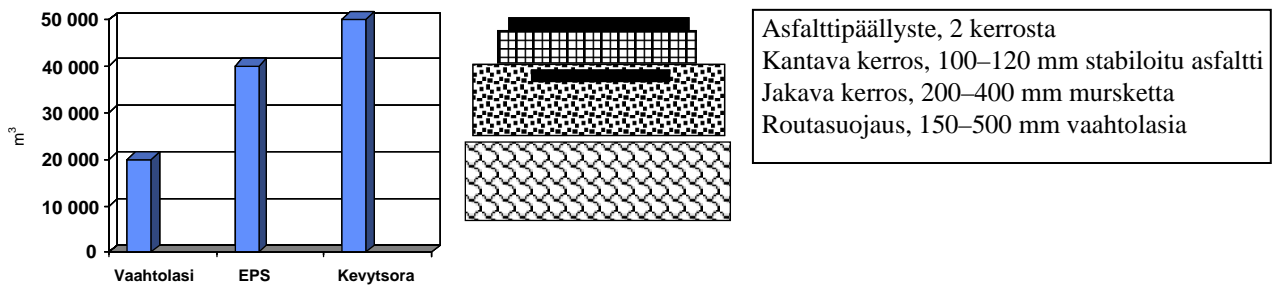
Liitteeseen A on koottu vaahtolasin sekä eräiden muiden infrarakenteissa käytettävien eristävien materiaalien lämpöteknisiä ym. tuoteominaisuuksia.



Foto: Jörgen Hägglund, HAS CONSULT AS

Kuva 12. Kuorman purku tiivistämättömällä vaahtolasimurskepenkalla.

Norjassa vaahtolasia (@HASOPOR) on käytetty tierakenteisiin 25 kohteessa kevenne- ja routaeristemateriaalina. Vuosittainen käyttö tierakenteisiin on noin 20 000 m³/v. (Ks. kuvat 13 ja 14.)



Kuva 13. Vaahtolasin vuotuinen käyttö Norjassa tierakenteiden kevenne- ja routaeristeisiin sekä tyypillinen vaahtolasilla routasuojattu päällysrakenne.



Kuva 14. Vaahtolasieristeen asennus tien routaeristeeksi.

Lämmönjohtavuuden mitoitusarvona jäätyneelle vaahtolasille voidaan käyttää ruotsalaisen ohjeen (Eriksson & Hägglund 2007) mukaan seuraavaa:

$$\lambda_{\text{jäätynyt}} = 0,15 \text{ W/mK ja}$$

$$\lambda_{\text{sula}} = 0,13 \text{ W/mK.}$$

Vaahtolasi kantavana kerroksena

Tierakenteissa vaahtolasista ei normaalisti voida tehdä kantavaa kerrosta murtumisriskin takia. Rakenteissa, joissa pinnalle tulee vain vähäisiä kuormituksia, kuten jalankulku- ja pyöräilytiet ja urheilulaitokset, voidaan vaahtolasitäyttö tehdä suhteellisen korkeina kerroksina ilman murtumisriskiä.

Vaahtolasi alusrakenteena

Tavallisin vaahtolasin käyttöalue alusrakenteissa on kevyenä täyttömateriaalina kaduissa, teissä ja satamissa tai tasausperustana rummuissa, silloissa ja erilaisissa rakennuksissa.

Vaahtolasin muita sovelluksia

Muita toiminnallisia funktioita, joissa vaahtolasia voidaan käyttää tierakenteissa, ovat

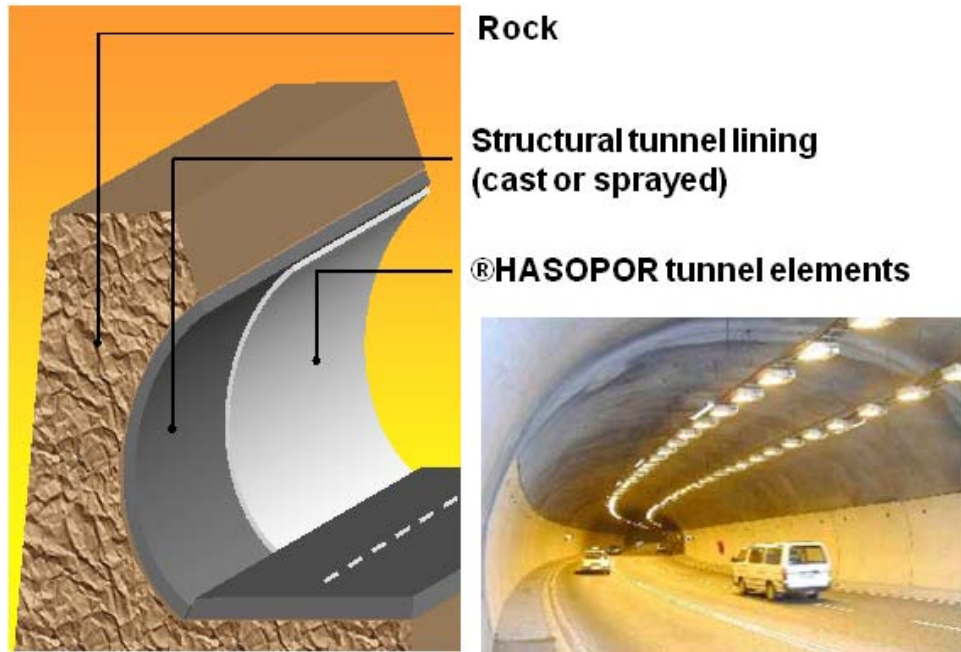
- tierakenteen salaojitus, luiskien salaojitus
- kapillaarisuuden katkaisu
- värinän vaimennus.

4.3 Vaahtolasin käyttö tunnelirakenteissa

Norjassa on tehty määrätietoisesti tutkimustyötä, testejä ja kokeita vaahtolasin soveltuvuudesta liikennetunneleiden routa- ja paloeristeeksi. Vaahtolasibetonin valmistamiseksi ®HASOPOR-vaahtolasirunkoaineella on kehitetty resepti ja valettuja vaahtolasibetonielementtejä on jo valmistettu ja testattu tietunnelikohteissa.

Reseptikehityksen tuloksena voidaan ®HASOPOR-vaahtolasirunkoaineella valmistaa kevytbetonia lujuusluokkaan LB 12 (12 MPa), jonka tiheys on D 1,4 (1400 kg/m³) ja lämmönjohtavuus noin 0,5 W/m, K. Vaahtolasibetonissa käytetään sementtiä 420 kg/m³ ja silikaa 0,5 % sementin painosta (Fluge 2006).

Norjassa on koerakennettu vaahtolasibetonista valmistettuja elementtejä tunneleiden routa- ja paloeristeiksi (kuva 15). Vaahtolasibetonin runkoaineeksi Hasopor on toimittanut vaahtolasia tavallista hienommaksi jauhattuna raeko'oissa 0–4 mm, 4–8 mm ja 8–12 mm.



Kuva 15. Vaahtolasibetonielementtien käyttö tunnelieristeenä (Hasopor).

Vaahtolasibetonille on kehitetty seuraava suhteutusresepti, jolla on saavutettu vaahtolasta valmistettavalle eristebetonille asetetut toimivuusvaatimukset tunnelirakenteissa: lujuusluokka LB 12, tiheysluokka D 1,4 ja lämmönjohtavuus 0,5 W/ m, K (Fluge 2006).

Vaahtolasibetonin suhteutusresepti per m³

Teollisuussementti	420 kg
Silika (5 %)	21 kg
Hiekkaa 0–8 (kuiva paino)	500 kg *)
Hasopor 4–8 (kuiva paino)	160 kg *)
Hasopor 8–12 (kuiva paino)	100 kg *)
Vettä	<u>169 kg</u>
	1367 kg

Lisäaineina on käytetty lähtökohtaisesti samoja aineita kuin Leca-betonilla:

Mape air	0,5 kg
Mape LWA	3,0 kg
Mape pumppuöljyä	3,0 kg
RN 15	7,0 kg (määrä vaihtelee riippuen halutusta painumaluvusta)
Polypropeenikuituja	2,0 kg

Kehitetyllä reseptillä vaahtolasibetonin 28 vrk:n lujuudeksi tulee noin 20 MPa.

*) ®HASOPOR standard -vaahtolasista jauhetut jakeet:

0–4 mm	partikkelitiheys	noin 1300 kg/m ³
4–8 mm	partikkelitiheys	noin 520 kg/m ³
8–12 mm	partikkelitiheys	noin 520 kg/m ³

Kehitetystä vaahtolasibetonista on tutkittu tuoreen massan ominaisuudet, palonkestävyys, lämmönjohtavuus, kestävyys kloridien tunkeutumista vastaan, kosteusominaisuudet, tiheys ja lujuus.

Tunneleiden palo- ja routasuojaustudkimuksessa (Buvik 2007) vaahtolasi on todettu olevan palamaton standardin ISO 1182 mukaan. Norjassa vaahtolasi on hyväksytty kaikissa tunneliluokissa routaeristeeksi betonielementtien taakse. Tutkimuksen mukaan vaahtolasieristystä on tarkoitus testata mahdollisimman pian täydessä mittakaavassa isommassa tunneliasennuksessa. Laajuuden tulee olla sellainen, että sillä saadaan selville tuotteen todellinen markkinahinta, joka sisältää tuotannon sekä kuljetuksen ja asennuksen.

Tunnelieristykseen valmistaminen ruiskutettavasta vaahtolasibetonista on mielenkiinnon kohteena kalliorakentamisessa. Asiasta on keskusteltu sekä Suomessa että Ruotsissa, mutta toistaiseksi ruiskutuskokeita ei ole toteutettu.

4.3.1 Vaahtolasi käyttö muissa infrarakenteissa

Vaahtolasia käytetään jonkin verran myös johtokaivannoissa salaojitus- sekä lämpö- ja routaeristerakenteina, ks. kuva 16.



Kuva 16. Vaahtolasi eristävänä täyteenä johtokaivannoissa.

5. Vaahtolasin tuotantokustannukset

Vaahtolasin tuotantokustannuksiin vaikuttaa voimakkaasti suunniteltavan tuotantolaitoksen kapasiteetti. Siihen vaikuttavat ensisijaisesti raaka-aineen (keräyslasi) alueellinen saatavuus ja keräyskustannukset sekä valmistettavan tuotteen ominaisuudet. Merkittävä tuotantokustannukseen vaikuttava tekijä ovat tuotantoprosessin valinta ja siitä syntyvät investointikustannukset. Näitä ei tässä vaiheessa ole vielä määritelty.

Vaahtolasin raaka-aineen saatavuudesta ja määrästä tehdyn selvityksen perusteella Suomessa olisi kohtuullisesti eri raaka-ainelähteistä kerättävissä nykyisten lasimäärien lisäksi noin 40 000–50 000 t sellaista lasia, joka soveltuisi vaahtolasin valmistukseen. Tämän perusteella johonkin taajamaan logistisesti keskeiselle paikalle olisi mahdollista perustaa vaahtolasin tuotantolaitos, joka voisi käyttää noin 15 000–20 000 m³ keräyslasia/v ja tuottaa noin 60 000–80 000 m³ vaahtolasia/v.

Englantilaisessa markkinatutkimuksessa (Hurley 2003) päädyttiin tulokseen, jonka mukaan Englannin markkinoille optimaalinen tuotantolaitos tuottaisi 225 000 m³ vaahtolasia/v ja käyttäisi vastaavasti 50 000 t jätelasia/v. Irtonaisen vaahtolasingelin tuotantokustannukseksi laskettiin 30 £/m³, kustannustasoksi 2003 (41 €/m³) ja investoinnin takaisinmaksuajaksi 4 v (IRR 30 %). Samassa tutkimuksessa vaahtolasin tuotantokustannuksiksi arvioitiin yleisemmin seuraavaa:

- irtonainen vaahtolasi 30–65 £/m³ (41–90 €/m³)
- muotoon esipuristetut vaahtolasituotteet 200 £/m³ (278 €/m³).

Tutkimuksen mukaan tuotantolaitoksen tulisi sijaita alle 100 km:n etäisyydellä raaka-aineen (jätelasi) päälähteistä.

Norjassa Hasoporin vaahtolasin hinta asiakkaalle noin 100 km:n kuljetusetäisyydellä on 410 NK/m³ (ALV = 0) (48,50 €/m³, lokakuu 2008, 1 NK = 0,1185 €).

Vastaava Hasoporin tuote maksaa Ruotsin tehtaalta Tukholman alueelle asiakkaalle toimitettuna 470 Sk /m³ (ALV = 0) (48,50 €/m³, lokakuu 2008, 1 Sk = 0,1033 €).

Kuljetusetäisyys 100–250 km ei vaikuta kovin paljon hintaan: kuljetusautojen kapasiteetti on Norjassa 120 m³/auto ja Ruotsissa 140 m³/auto.

Vertailun vuoksi esimerkiksi kevytsoran hinta Suomessa asiakkaalle toimitettuna noin 100 km:n kuljetusetäisyydellä on noin 35 €/m³ (ALV = 0) ja kuorman maksimitilavuus on 120 m³.

6. Vaahtolasituotteiden ympäristökelpoisuus ja ympäristövaikutukset

6.1 Kelpoisuus käyttöön

6.1.1 Lainsäädäntö

Jättemateriaalista valmistetun tuotteen käyttö kantavana, jäykistävänä tai pintamateriaalina esim. tie- tai pihojen rakennuksessa edellyttää ympäristölupaa (86/2000). Toisaalta tarkoitus on kuitenkin edistää jätteiden hyödyntämistä, ja sitä varten valtioneuvosto on laatinut asetuksen ”Eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa” (591/2006). Asetuksessa määritellään edellytykset, joiden täytyessä jätteiden käyttöön maarakentamisessa ei tarvita ympäristösuojelulain mukaista lupaa.

Valtioneuvoston asetuksen mukaan jätteen hyödyntämisessä on huolehdittava siitä, että jätteen haitallisten aineiden pitoisuus ja liukoisuus eivät saa ylittää niille säädettyjä raja-arvoja eikä jäte saa sisältää epäpuhtauksina haitallisia aineita siten, että sen hyödyntämisestä voi aiheutua vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle.

Asetus ottaa kantaa myös tapaukseen, jossa jätettä käytetään kalkin, sementin tai vastaavan muun sideaineen kanssa: tällöin haitallisten aineiden liukeneminen ja muut ympäristölle tai terveydelle haitalliset päästöt jätteestä eivät saa lisääntyä sekoittamisen seurauksena.

Tärkeimmät maarakentamisessa hyötykäytettävien, pääosin epäorgaanista ainetta sisältävien jätteiden ympäristövaikutuksia kuvaavat ominaisuudet ovat haitta-aineiden liukoisuus ja haitta-aineiden kokonaispitoisuudet. Liukoisuuden perusteella pystytään arvioimaan jätteestä ympäröivään maaperään sekä pohja- ja pintavesiin kulkeutuvien haitta-aineiden määriä. Ympäristökelpoisuuden osoittaminen perustuu kolmitasoiseen menettelyyn, johon kuuluvat perusmäärittely, laadunvalvonta ja vastaanottotarkistus.

Haitallisten aineiden liukoisuuden määrittämisessä (valtioneuvoston asetuksen 591/2006 mukaan) on käytettävä standardiluonnoksen prCEN/TS 14405 mukaista läpivirtaustestiä. Laadunvalvonnassa voidaan myös käyttää standardin SFS-EN 12457-3 mukaista kaksivaiheista ravistelutestiä.

Haitallisten aineiden pitoisuus uuttoliuoksissa on määritettävä standardien SFS-EN 12506 (pH, As, Ba, Cd, Cl-, Co, Cr, CrVI, Cu, Mo, Ni, NO₂-, Pb, kokonais-S, SO₄²⁻, V ja Zn) ja (ammonium, AOX, sähkön johtavuus, Hg, fenoli-indeksi, TOC, helposti vapautuva CN- ja F-) mukaisesti (valtioneuvoston asetus 591/2006).

Metallien määrittämisessä on käytettävä standardoituja menetelmiä (ICP-MS, ICP-AES tai AAS). Niiden sijasta voidaan käyttää muita menetelmiä, jos tulosten vastaavuus mainittujen menetelmien tulosten kanssa tunnetaan (valtioneuvoston asetus 591/2006).

Valtioneuvoston asetuksen (591/2006) soveltumisalaan kuuluvat jätteet ovat tällä hetkellä

- betonimurske (jätenimikkeet 10 13 14, 17 01 01 ja 19 12 12)
- kivihiilen, turpeen ja puuperäisen aineksen polton lentotuhkat (jätenimikkeet 10 01 02, 10 01 03 ja 10 01 17) ja pohjatuhkat (jätenimikkeet 10 01 01, 10 01 15).

Vaahtolasin yhtenä käyttökohteena voisi olla sen käyttö ruiskubetonin runkoaineen osana, jolloin syntyy kevyttä eristävää betonia. Tällöin betonimurskeelle esitetyt raja- arvot voisivat olla tässä vertailukohteena. Valtioneuvoston asetuksen (591/2006) liitteessä 1 esitetään betonimurskeen käytölle maaperässä raja-arvot. Tätä taulukkoa on täydennetty vaahtolasista mitatuilla arvoilla (Hasopor-tuote) ja uusi taulukko esitetään liitteessä B.

6.1.2 Jätelasin koostumus

Lasin kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet samoin kuin muovausominaisuudet riippuvat lasimassan koostumuksesta. Lasityypeinä eristetään

- alkalikalkkilasia
- lyijylasia
- boorisilikaattilasia.

Yleisin niistä on alkalikalkkilasi, ns. natronkalkki- eli soodalasi. Sen pääkomponentit ovat

- kvartsihiekkä (piidioksidi) noin 75 %
- sooda (natriumkarbonaatti, Na_2CO_3 (Na_2O) n. 15 %
- kalkkikivi (kalsiumkarbonaatti, CaCO_3) n. 10 %.

Näiden lisäksi alkalikalkkilasi sisältää myös pieniä määriä kalium-, magnesium- ja alumiinioksideoita.

Natronkalkkilasista valmistetaan mm. tasolasia, talouslasia ja pakkauslasia, kuten pulloja ja purkkeja. Myös hehkulamput ovat ns. natronlasia.

Jos soodan sijasta käytetään potaskaa (kaliumkarbonaattia), saadaan kirkkaampaa ns. böömiläistä kristallilasia. Lyijylasin eli lyijykristallilasin pääraaka-aineet ovat kvartsihiekkä, kaliumkarbonaatti ja lyijyoksidi. Lyijyoksidia sisältävä kristalli soveltuu taidelaseiksi ja linssien valmistukseen.

Boorisilikaattilasissa osa piidioksidia on korvattu alumiini- ja boorioksidoilla. Koostumuksen johdosta boorisilikaattilasi kestää erinomaisesti lämpötilan vaihteluita ja on lisäksi sekä mekaanisesti että kemiallisesti kestävä. Yleisesti tunnettuja boorisilikaattilaseja ovat Jena- ja Pyrex-lasit.

Eri lasityyppien koostumuksia esitetään myös IPPC 2001 -raportissa (Best Available Techniques in the Glass Manufacturing Industry) (taulukko 8).

Taulukko 8. Lasituotteiden koostumukset (IPPC 2001).

Material	CRT Glass		Glass Tube		Borosilicate Glass e.g. chemical glass ware	Other Lighting Glasses		Glass Ceramic	Quartz Glass	Optical Glass		Others e.g. Diodes	Waterglass a)Na silicate b)K silicate
	Panel	Funnel	Earth alkaline	Borosilicate		Opaque Glass	Lamp Bulb			Boron Crown	Fluorine Crown		
SiO ₂	60 - 63	53 - 55	70	70 - 81	70 - 81	67.5	73 - 75	60 - 64	99.9	61.7		35	66 - 88
Al ₂ O ₃	2 - 3.4	1 - 5.2	4	2.3 - 5.5	2.3 - 5.5	5	1 - 4	10 - 20	0.005	0.3 - 3.0	15		0.1
Fe ₂ O ₃				0.01 - 0.03	0.01 - 0.03	0.15							0.03
CaO	0 - 3.2	0.9 - 3.8	4	0.01 - 1	0.01 - 1	9.4	0.5	0.5 - 7.0	0.001	0 - 3.0			0.008
PbO		21 - 23										60	<0.0002
MgO	0 - 1.2	0.6 - 2.2	2	0.01 - 0.5	0.01 - 0.5		0.5	0.0 - 1.0	0.001				0.008
Na ₂ O	6.6 - 9.4	5.8 - 6.7	12.5	3.5 - 6.5	3.5 - 6.5	13.6	3 - 4	0.5 - 10	0.001	0 - 5.0			20 - 34(a)
K ₂ O	6.6 - 8.4	7.8 - 8.1	2.5	0.5 - 1.5	0.5 - 1.5	1.8	1.5 - 2.5			12 - 18		5.0	27 - 32(b)
SO ₃						0.2							0.015
F						4.0					35		
B ₂ O ₃			1	8 - 13	8 - 13		12 - 17			6 - 20			
BaO	8.3 - 13	0 - 2.5	4					1.0 - 2.0		0 - 10	20		
ZnO								0.5 - 6.0					
SrO	2.2 - 8.8	0 - 0.5											
ZrO	0 - 2.3	0 - 0.2		0.01 - 1	0.01 - 1			1 - 2.0					
P ₂ O ₅											20		
LiO ₂								3.0 - 4.0					
TiO ₂				0.01 - 5	0.01 - 5			1.5					

Jätelasin jatkokäytön suhteen on tärkeä selvittää, mistä käyttökohteesta lasi on peräisin ja mitä muita aineita lasituote sisältää. Jätelasi voidaan luokitella tuotteen alkuperäkäytön osalta esimerkiksi seuraavasti:

- pakkauslasi
- tasolasituotteet (ikkunalasi)
- lämmöneristeenä käytetty lasikuitu
- valaisimet (hehkulamput, loisteputket)
- televisioiden ja tietokoneiden näytöt (CRT-lasi)
- lasiastiat sekä
- lämpölasituotteet.

Raudan, metallien ja keramiikan osuudesta pakkauslasissa ja tasolaseissa voidaan päättää teollisuuden käyttövaatimusten mukaan. Esimerkiksi taulukossa 9 esitetään vaatimukset pakkauslasin käytölle pakkauslasiteollisuudessa ja taulukossa 10 vaatimukset lasin käytölle tasolaseiteollisuudessa.

Taulukko 9. Kierrätyslasille tyypillisesti asetettuja vaatimuksia pakkauslasiteollisuudessa (Enviros 2004).

	Vaatus	Tyypillinen taso
rauta	< 50 g/t	kirkas 20–40 g/t ruskea 20–35 g/t vihreä 20–35 g/t
muut metallit	< 20 g/t	< 1 g/t
keramiikka ja kivet	< 20 g/t	kirkas 20–40 g/t ruskea 20–35 g/t vihreä 20–35 g/t
orgaaninen aines	< 3000 g/t	kirkas 1000–1500 g/t ruskea 1000–1800 g/t vihreä 1200–1800 g/t
partikkelikoko	< 50 mm	< 50 mm
väri:		
• kirkas	ruskea < 2 % vihreä < 2 %	ruskea olematon vihreä 0,5 %
• ruskea	vihreä < 10 % kirkas < 12 %	vihreä 0–10 % kirkas 2–8 %
• vihreä	ruskea < 10 % kirkas < 12 %	ruskea 0–10 % kirkas 0–10 %

Taulukko 10. Kierrätyslasille tyypillisesti asetettuja vaatimuksia tasolasiteollisuudessa (Enviros 2004).

	Vaatus
rauta	partikkelit > 0,5 g: ei yhtään partikkelit < 0,5 g: 2 g/t
muut metallit	partikkelit > 0,1 g: ei yhtään
keramiikka / tulenkestävä materiaali	partikkelit > 0,2 mm: ei yhtään
orgaaninen aines	partikkelit > 2 g: ei yhtään partikkelit < 2 g: 45 g/t

Käytettyjä tietokoneiden ja televisioiden CRT-kuvaputkia ottaa Suomessa vastaan CRT-Finland. Käytetyistä televisioista ja tietokoneista jalostetaan tällä hetkellä raaka-aineita uusien tuotteiden käyttöön. Lyijypitoinen kartiolasi erotetaan kuvaputken etuosasta automaattisella lasertekniikalla ja laitoksen ERP-tekniikalla erotetaan laitteen metallipitoisista osista myös puhtaita metallijakeita.

6.1.3 Vaahtolasin koostumus

Vaahtolasia voidaan valmistaa levytuotteena (tasolevy, esim. routa- ja lämpöeristelevyjä), vaahtolasimurskeena (10–60 mm), blokkeina ja muotoeristeenä sekä pellettinä (harkkojen, paneelien ja muotoeristeiden raaka-aineeksi). Lisäksi vaahtolasia voidaan käyttää myös eristävän kevytbetonin valmistukseen korvaamalla osa betonin runkoainesta vaahtolasipelletillä tai vaihtoehtoisesti vaahtolasimurskeella. Vaahtolasituotteet soveltuvat hyvin eristeiksi betonirakenteisiin, kunnallisteknisiin eristettäviin rakenteisiin sekä tunneli- ja väylärakenteisiin.

Vaahtolasista valmistettujen tuotteiden koostumus esitetään taulukossa 11.

Taulukko 11. Vaahtolasi ja tuotteet.

Tuote	Raaka-aine	Koostumus	Määrä kg/m ³
Tasolevy vaahtolasista			
Lasijäte	Boorilasi, CRT-lasi, loisteputket ym. lasi	Epäpuhtaudet erotettu (epäpuhtauksia voivat olla paperi, metalli, muovi, raskasmetallit). Hasoporin mukaan lasijätteestä 96 % saadaan vaahtolasikäyttöön.	
Aktivaattori	Kalsiumsulfaatti (CaSO ₄) tai kalsiumkarbonaatti (CaCO ₃)		
Vaahtolasipelletti			
Lasijäte	Boorilasi, CRT-lasi, loisteputket ym. lasi		
Aktivaattori	Kalsiumsulfaatti (CaSO ₄) tai kalsiumkarbonaatti (CaCO ₃)		
Vaahtolasibetoni (tiheys 1400 kg/m³)			
Sementti			420
Silika			21
Hiekka	Hiekkaa 0–8 mm		500 (kuivapaino)
Vaahtolasigranulaatti	Hasopor 4–8 Hasopor 8–12	160 kg 100 kg	260 (kuivapaino)
Lisäaineet	Mape air Mape LWA Mape pumppuöljyä RN 15 PP-kuituja	0,5 kg 3,0 kg 3,0 kg 7,0 kg 2,0 kg	15,5
Vesi			169

6.1.4 Vaahtolasin haitta-ainepitoisuudet

Norjan tielaitos on määritellyt haitta-ainepitoisuuksille raja-arvot Hasoporin tuotteiden hyväksymiseksi tierakenteisiin. Nämä raja-arvot pohjautuvat mm. liukoisuustesteihin, koloniatesteihin ja täysimittakaavaisiin kenttäkokeisiin (Statens vegvesen 2006).

Taulukossa 12 esitetään ympäristölle haitallisten metallien maksimikokonaismäärät ja liukoisuusarvot, jotka on Hasoporin vaahtolasituotteille mitattu akkreditoitulla analyysillä, ja raja-arvot, jotka voidaan hyväksyä Hasoporin vaahtolasituotteille tierakenteissa Ruotsissa ja Norjassa (Eriksson & Hägglund 2007). Mitatut vaahtolasin metallipitoisuudet ja liukoisuus on määritetty käyttämällä yleisesti hyväksytyjä menetelmiä.

®HASOPOR on CE-merkitty (ETA-05/0187). Materiaalin koostumus on samantapainen kuin lasilla eli amorfinen ja muodostuu pääasiassa pioksidista (kvartsi).

Taulukko 12. Ympäristölle haitallisten aineiden kokonaismäärä ja liukoisuusarvot, jotka on määritetty hyväksymistestissä (Hasopor, Erikson & Hägglund 2007), sekä Norjan ja Ruotsin tielaitoksen määrittämät raja-arvot vaahtolasille.

Kemiallinen nimi	Koostumus analysoitu XRF tai ICP-AES (mg/kg)	Liukoisuus – EN 12457-3 (mg/kg)	Raja-arvot Hasoporin vaahtolasin haitta-ainepitoisuuksille tierakenteissa (Norja, Ruotsi) (mg/kg)
As	< 30 (ICP-AES)	2	40
Cd	2 (ICP-AES)	< 0,005*	2
Cr	< 400 (XRF)	0,05	550
Cu	< 150 (XRF)	0,1	200
Hg	< 0,15 (ICP-AES)	0,002	1
Pb	< 1000 (XRF)	0,05	1000

* (<) tarkoittaa, että liukoisuusarvo on pienempi kuin määräysraja.

Tämän mukaan vaahtolasin haitallisten aineiden pitoisuudet alittavat Norjassa ja Ruotsissa niille määritetyt sallitut raja-arvot.

Suomen valtioneuvoston asetuksen (591/2006) raja-arvot betonimurskeelle ovat liitteessä B. Niiden mukaan vaahtolasin lyijyn (Pb) pitoisuus (< 1000 mg/kg) on suurempi kuin valtioneuvoston asetuksessa esitetty raja-arvo betonimurskeelle (300 mg/kg). Liukoisuustestissä arseenin (As) pitoisuus (2 mg/kg) on suurempi kuin valtioneuvoston asetuksessa (591/2006) esitetty raja-arvo betonimurskeelle (0,5 mg/kg).

6.2 Vaahtolasin ympäristövaikutukset

Jätelain (3.12.1993/1072) tavoitteena on tukea kestävästä kehityksestä edistämällä luonnonvarojen järkevää käyttöä sekä ehkäisemällä ja torjumalla jätteistä aiheutuvaa vaaraa ja haittaa terveydelle ja ympäristölle.

Tuottaja on velvollinen edistämään 18 b §:ssä tarkoitetun tuotteen uudelleenkäyttöä sekä järjestämään jätteenä käytöstä poistettavan tuotteen tai sen osan uudelleenkäytön, hyödyntämisen ja muun jätehuollon sekä vastaamaan siitä aiheutuvista kustannuksista, jollei jäljempänä toisin säädetä.

Jätelain (4.6.2004/452) 18 b §:ssä mainitun tuottajavastuun piiriin kuuluvat tuotteet, jotka sisältävät lasia, ovat pakkaukset, henkilöautot, pakettiautot, ajoneuvot (niiden tuottajat, maahantuojat) sekä sähkö- ja elektroniikkalaitteet (tuottajat, valmistajat, maahantuojat).

Lasia voidaan hyödyntää uuden lasituotteen valmistuksessa rajattomasti. Hyödyntämällä lasijätettä voidaan vähentää luonnon raaka-aineiden käyttöä ja valmistuksessa käytettyä energiamäärää. Lasijätteen hyötykäytön vaikutusta vaahtolasituotteisiin ja ympäristöön voidaan arvioida ns. elinkaariarvointi (LCA) -menetelmän avulla. Menetelmä käsittelee resurssien käyttöä ja haitallisten päästöjen vaikutusta ympäristöön johtuen raaka-aineiden hankinnasta, tuotantoprosesseista, kuljetuksista, asennuksista, rakentamisesta ja rakennuksen huollosta, loppusijoituksesta, uusio- tai toistokäytöstä. Tuotteen ympäristövaikutusten selvityksen tulokset voidaan ilmoittaa rakennustuotteen ympäristöselosteena, jossa eritellään energian käyttö, päästöt ilmaan ja veteen sekä luonnon resurssien käyttö tuotteelle, joka on valmiina tehtaan portilla.

Vaahtolasin ympäristövaikutukset riippuvat lasituotteen valmistamisesta. Vaahtolasin elinkaarivaiheet voidaan jakaa seuraaviin vaiheisiin: jätelasin keräys, lasin murskaus, lasin jauhaus, lasijauheen aktivointi, massan sekoitus, massan sulatus- ja jäähdytys.

Elinkaariarvioinnin mukaan jätteelle ei kohdenneta ympäristövaikutuksia, vaan jätteen käyttäjä saa tuotteen ns. ”puhtaana”. Jätteen keräykseen ja prosessointiin liittyvät toiminnot kohdennetaan kuitenkin uuden tuotteen valmistukselle. Vaahtolasin valmistuksessa lasimassan sulatus tapahtuu korkeassa lämpötilassa, joten sulatuksen energiankulutus ja siihen käytetty tekniikan taso ja energian laatu vaikuttavat ympäristövaikutusten suuruuteen.

Lasin sulatukseen käytetty energia riippuu lasimassan laadusta, sulatustekniikasta, laitteiden koosta ja iästä, lämpöhäviöistä jne. Seuraavan taulukon mukaan lasin sulatus voi olla esim. 3800–8300 kJ/kg lasia (IPCC 2001), tämä kuitenkin ei sisällä esilämmitystä (taulukko 13).

Taulukko 13. Lasimassan sulatuksen energiankulutus (IPPC 2001).

Tank furnace type	Glass type	Melting area *) m ²	Glass bath depth Melting end mm	Tank capacity Melting end metric t	Length/width ratio of the tank bath	Output metric t/d	Specific output metric t/m ² d	Specific energy consumption **) kJ/kg glass
Cross-fired furnace with regenerative air preheating	Container glass or water glass	15 – 155	1200 – 1700	50 – 500	1.9 – 3.0 : 1	40 – 500	2.5 – 4.0	4200
Regenerative end fired furnace	Container glass	15 – 140	1200 – 1700	50 – 500	1.9 – 2.5 : 1	40 – 450	2.5 – 4.0	3800
Recuperative furnace	Container glass	up to 250	1100 – 1600	50 – 650	2.0 – 2.8 : 1	40 – 450	2.0 – 3.0	5000
Fuel-oxygen-fired furnace ***)	Container glass	110 – 154	1300 – 1700	390 – 600	2.0 – 2.4 : 1	350 – 425	2.3 – 3.5	3050 – 3500
Cross-fired furnace with regenerative air preheating	Flat glass	100 – 400	1200 – 1400	300 – 2500	2.1 – 2.8 : 1	150 – 900	2.3 – 2.7	6300
Cross-fired furnace with regenerative air preheating	Television tube glass (screen)	70 – 300	900 – 1100	160 – 700	2.0 . 3.0 : 1	100 – 500	1.1 – 1.8	8300
Furnace with recuperative air preheating	Tableware	15 – 60	1100 – 1300	40 – 180	1.8 – 2.2 : 1	15 – 120	1.0 – 2.0	6700
Furnace with recuperative air preheating	Glass fiber	15 - 110	800 - 1500	50 - 200	2.8 : 1	30 - 350	3.4	4300

6.2.1 Rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset

Taulukossa 14 esitetään muutamien rakennustuotteiden tiheys, energiankulutus ja hiilidioksidipäästö (CO₂) määritettynä tuotteelle, joka on valmiina tehtaan portilla.

Taulukko 14. Muutamien rakennustuotteiden tiheys, energiankulutus ja CO₂-päästö (tuote tehtaan portilla).

	Tiheys kg/m ³	Energiankulutus MJ/kg	CO ₂ kg/kg
Lasi (ikkunalasi)	2500		
Vaahtolasi	noin 200		
Solupolyuretaani	30–60	105*	3,8
Solupolystyreeni	15–100	83*	2,5
Vuorivilla	20–250	14	0,97
Kevytsora	280–320	6	0,37
Sementti	3100	4,2	0,68
Betoni	2400	1,3	1,04
Kevytsorabetoniharkko	650		
Kevytbetoni, karkaisematon	300		

* ja * sisältävät myös tuotteen oman energian sisällön (tuotteen poltosta saatavan potentiaalisen energian).

Tuotteiden vertailua varten ei voida käyttää kg-perusteisia ympäristövaikutustuloksia. Vertailua varten tuotteiden täytyy olla toiminnallisesti tasavertaisia ja tuotteiden vaikutukset täytyy esittää käyttämällä samaa funktionaalista yksikköä. Ulkoseinärakennuksien tasavertainen yksikkö ovat esimerkiksi samaa u-arvoa tuottavat rakenteet. Vaahtolasin

vertailua varten täytyy ensin määrittää tuotteen käyttökohde ja sen mukaan tasavertainen toiminnallinen yksikkö, jota kohden ympäristövaikutukset ilmoitetaan ja vaihtoehtoiset tuotteet verrataan keskenään.

Vertailtava tuote, joka vastaa granuloitua vaahtolasia, voisi olla esimerkiksi kevytsora. Toisaalta vaahtolasista tehdyn levytuotteen osalta vertailtavana tuotteena voisi olla solupolystyreeni tai solupolyuretaani.

Ruotsissa on tehty vertaileva ympäristöanalyysi (Pettersson 2004) kolmelle erilaiselle tierakenteissa käytettävälle kevennysmateriaalille. Vertailtavat materiaalit olivat Lecasora, ®HASOPOR-vaahtolasi ja kumirouhe. Kevennysrakenteet tierakenteeseen mitoitettiin toiminnallisista perusteista, jolloin rakennepaksumetrit voivat olla erilaiset riippuen kevennysmateriaalien eri ominaisuuksista tierakenteesta.

Taulukossa 15 on yhteenveto ympäristövaikutuskategorioista systeimirajaukselle 1, jossa tien kevennerakenne toteutetaan Lecasoralla, ®HASOPOR-vaahtolasilla tai kumirouheella. Plusmerkkien suurempi määrä tarkoittaa, että materiaali on ympäristöominaisuuksiltaan parempi: kolme plusmerkkiä tarkoittaa parempia ympäristöominaisuuksia kuin kaksi jne. Suluissa olevat plusmerkit tarkoittavat, että lähtöaineisto on epävarma.

Taulukko 15. Yhteenveto ympäristövaikutuskategorioista systeimirajaukselle 1 (Pettersson 2004).

Ympäristövaikutusmäärittäminen	Lecasora	®HASOPOR	Kumirouhe
Kasvihuonevaikutus	+	+++	++
Happamoituminen	+	+++	++
Rehevöityminen	+	+++	++
Vaikutus ihmisiin	(+)	(+++)	(++)
Fotokemiallinen otsoni	++	+++	+
Ekotoksisuus	(+++)	(++)	(+)
Energiankulutus	+	++	+++

Taulukossa 16 esitetään suhteelliset ympäristövaikutukset systeimirajaukselle 2, jossa tarkastellaan kolmea eri vaihtoehtoa:

- Vaihtoehto 1: Lecasoraa käytetään tierakenteen kevennystäytteenä, kumirouhe poltetaan energiakäyttöön ja lasi varastoidaan.
- Vaihtoehto 2: ®HASOPORin vaahtolasia käytetään tierakenteen kevennysmateriaalina ja kumirouhe poltetaan, kevytsoraa ei valmisteta.

- Vaihtoehto 3: Kumirouhetta käytetään tierakenteen kevennystäytteenä, lasi varastoidaan ja kivihiiltä polttamalla kompensoidaan energianmenetykset, jotka syntyvät, kun kumirouhetta ei käytetä energiatuotantoon.

Taulukko 16. Yhteenveto ympäristövaikutuskategorioista systeimirajaukselle 2 (Pettersson 2004).

Ympäristövaikutusmäärittely	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2	Vaihtoehto 3
Kasvihuonevaikutus	++	+++	+
Happamoituminen	++	+++	+
Rehevöityminen	+	+++	+
Vaikutus ihmisiin	(+)	(+++)	(++)
Fotokemiallinen otsoni	++	+++	+
Ekotoksisuus	(++)	(+++)	(+)
Energiankulutus	+	+++	++

Tämän ympäristövaikutusanalyysin mukaan tutkituista vaihtoehdoista ®HASOPORin vaahtolasista valmistetulla kevennerakenteella olisi vähiten haitallisia ympäristövaikutuksia tierakenteissa.

Tehdyn ympäristövaikutusanalyysin mukaan ®HASOPOR-vaahtolasirakenteella on vähiten haitallisia ympäristövaikutuksia viidessä seitsemästä kategoriasta, mutta ekologisessa toksisuudessa ja energiankulutuksessa vaahtolasilla on huonommat arvot kuin jommallakummalla muulla tutkitulla materiaalilla. Ekologinen toksisuus saa tutkimuksen mukaan paremmat arvot, jos tierakenteessa käytetään Lecasoraa, ja energiankulutus vähenee, jos kevennysmateriaalina käytetään kumirouhetta.

7. Yhteenveto

Esiselvityksen tavoitteena oli tutkia ja arvioida vaahtolasin tuotantoedellytyksiä Suomessa kattaen mm. vaahtolasituotantoon soveltuvan lasiraaka-aineen saatavuuden ja määrän, tuotantopotentiaalın ja vaahtolasin käyttösovellukset. Potentiaalisista tuotesovelluksista etsittiin ratkaisuja erityisesti vaahtolasituotteiden soveltamisesta kalliotilojen ja tunneleiden kuivatus- ja eristerakenteisiin sekä väylärakenteiden kevennerakenteisiin ja routaeristykseen. Tehtyjen tutkimusten valossa pyrittiin selvittämään myös vaahtolasirakenteiden ympäristökelpoisuutta ja ympäristövaikutuksia.

Esiselvityksen mukaan Suomessa jää uusiokäyttämättä vuosittain noin 40 000 t sellaista lasimateriaalia, joka soveltuisi vaahtolasituotantoon. Keskikokoisen tuotantolaitoksen raaka-ainetarve on noin 15 000–20 000 t/v ja tuotantomäärä noin 60 000–80 000 m³ vaahtolasia/v. Norjassa on toiminnassa ainakin kaksi tuotantolaitosta: Hasoporin ja Glasoporin tuotantolaitokset. Ruotsissa on juuri otettu käyttöön ensimmäinen tuotantolaitos Hasoporin käyttämällä tuotantotekniikalla. Suomessa vaahtolasia ei toistaiseksi valmisteta.

Pohjoismaissa vaahtolasin potentiaalisia käyttökohteita ovat väylärakenteiden kevenne- ja routaeristerakenteet sekä tunneleiden ja kalliotilojen palamattomat routaeristeet. Norjassa liikennetunneleihin on jo koerakennettu valettuja, vaahtolasibetonista valmistettuja routaeristeitä. Ruiskutettavia vaahtolasibetonieristeitä ei toistaiseksi ole kokeiltu, mutta niistä on kylläkin jo keskusteltu. Vaahtolasituotteiden ympäristökelpoisuutta on tutkittu erityisesti Ruotsissa ja Norjassa. Norjassa valmistettaville vaahtolasituotteille on määritetty ympäristökelpoisuus ja raja-arvot tiettyjen pitoisuuksien, mm. raskasmetallien, suhteen väylärakenteissa.

Tien kevennysrakenteissa käytettäville vaihtoehtoisille materiaaleille (Lecasora, ®HASOPOR-vaahtolasi ja kumirouhe) Ruotsissa tehdyn ympäristövaikutusanalyysin (Pettersson 2004) mukaan ®HASOPORin vaahtolasista valmistetulla kevennerakenteella olisi tutkituista vaihtoehdoista vähiten haitallisia ympäristövaikutuksia tierakenteissa. Tehdyn ympäristövaikutusanalyysin mukaan ®HASOPOR-vaahtolasirakenteella on vähiten ympäristövaikutuksia viidessä seitsemästä kategoriasta, mutta ekologisessa toksisuudessa ja energiankulutuksessa vaahtolasilla on huonommat arvot kuin jommallakummalla muulla tutkitulla materiaalilla. Ekologinen toksisuus saa tutkimuksen mukaan paremmat arvot, jos tierakenteessa käytetään Lecasoraa, ja energiankulutus vähenee, jos kevennysmateriaalina käytetään kumirouhetta.

Lähdeluettelo

- Aabøe, R. & Øiseth, E. 2005. Foamed glass – An alternative lightweight and insulating material. Nordic Road & Transport Research, No. 1, 8 s. <http://www.vti.se/nordic/1-05/foamedglass.htm>.
- Banverket. 2007. Banverkets och Vägverkets förteckning över miljöbedömda produkter, byggvaror. Revideringsdatum 2007-01-31. Ersätter tidigare 2006-11-30. <http://www.banverket.se>.
- Buvik, H. 2007. FoU Tunnelutvikling. Slutrapport Fase 1: Brann- och frostsikring. Teknologirapport Nr. 2489. Oslo: Statens vegvesen. 33 s.
- Enviros. 2004. Recycled Glass Market Study & Standards Review – 2004 Update. Oxon, Iso-Britannia: The Waste & Resources Action Programme. 89 s.
- Eriksson, L. & Hägglund, J. 2007. Handbok. Skumglas i mark- och vägbyggnad. Information 18:1. Lindköping: Statens geotekniska institut.
- Fluge, F. 2006. Lettebetong til tunnelhjelv. Skumglassbetong med Hasopor som lett tilslag. Teknologirapport Nr. 2471. Oslo: Statens vegvesen. 22 s. + liitteet.
- Hemmilä, K. & Saarni, R. 2002. Ikkunaremontti. Helsinki: Rakennustieto Oy. 115 s.
- Hurley, J. 2003. A UK Market Survey for Foam Glass. WRAP Final Report: GLA-0015. <http://www.wrap.org.uk/downloads/AUKMarketSurveyForFoamGlass.bb0e550c.pdf>. 14 s.
- Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). 2001. Reference Document on Best Available Techniques in the Glass Manufacturing Industry. Brussels: European Commission.
- Jätelaki 3.12.1993/1072, muutos 452/2004.
- Kim, S., Hwang, T. & Overcash, M. 2001. Life Cycle Assessment Study of Color Computer Monitor. Int. J. LCA, Vol. 6, No. 1, s. 35–43.
- Lindgren, Å. (Ed.) 2007. Alternativa material i väg- och järnvägsbyggnad. Publikation 2007:110. Borlänge: Vägverket. 88 s.
- Pettersson, A. 2004. Miljösystemanalys för alternativa lättfyllnad i vägar. Examarbete TRITA-KET – IM 2004:9. Stockholm: Kungliga Tekniska högskolan. 83 s.

prCEN/TS 14405. Characterization of waste – Leaching behaviour tests – Up-flow percolation test (under specified conditions).

SFS-EN 12457-3. Jätteiden karakterisointi. Liukoisuus. Jauhemaisten tai rakeisten jätemateriaalien ja lietteiden liukoisuuden laadunvalvontatesti. Osa 3: Kaksivaiheinen ravistelutesti uuttoliuoksen ja kiinteän jätteen suhteessa 2 ja 8 l/kg jätteille, joiden kiinteä osuus on suuri ja raekoko alle 4 mm (raekoon pienentäminen tarvittaessa). 2002-12-02 en. 31 s.

SFS-EN 12506. Jätteiden karakterisointi. Uuttoliuosten analysointi. Määritykset: pH, As, Ba, Cd, CL-, Co, Cr, Cr VI, Cu, Mo, Ni, NO₂, Pb, total S, SO₄ 2-, V ja Zn. Vahvistettu 2003-11-10. 22 s.

Skogstad, H. B., Geving, S. & Hägglund J. 2006. Hygrothermal material properties for granulated cellular glass used in ground constructions. Stockholm: Kungliga Tekniska högskolan. 8 s.

Statens vegvesen. 2006. Miljøpåvirkning fra gjenbruksmaterialer i vegbygging. Prosjektrapport nr 14 fra Gjenbruksprosjektet. Teknologirapport 2432. Oslo: Statens vegvesen, Vegdirektoratet.

Valtioneuvoston asetus sähkö- ja elektroniikkalaiteromusta. 852/2004. Helsinki, 9.9.2004. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2004/20040852>.

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. 591/2006. Helsinki, 28.6.2006.

Vares, S. & Lehtinen, J. 2007a. Lasipakkausten keräysjärjestelmän tehostaminen ja lasin hyötykäytön ympäristövaikutukset. VTT Tiedotteita – Research Notes 2404. Espoo: VTT. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2404.pdf>. 122 s.

Vares, S. & Lehtinen, J. 2007b. Lasipakkausten keräysjärjestelmän tehostaminen ja lasin hyötykäytön ympäristövaikutukset. Yhteenveto. VTT-R-05030-07. Espoo: VTT.

Vares, S. et al. 2005. Lasipakkausten nykyisten keräysjärjestelmien kustannusvaikutukset ja tehokkuus. Espoo: VTT.

Vuoksima, H. 1998. Lasipakkausten kierrätysjärjestelmät ja niiden kustannukset Suomessa: keräysjärjestelmien kustannustehokkuusvertailua. Suomen ympäristö 56. Helsinki: Suomen ympäristökeskus.

Liite A: Vaahtolasin, vaahtolasibetonin ja vertailtavien tuotteiden ominaisuudet

OMINAISUUS	TUOTE		Leca-sora	Leca-betoni KSB400	Lämpöbetoni LB 400 (EPS-betoni)	Rengasrouhe	Ruisku-betoni
	Vaahtolasi	Vaahtolasi-betoni					
Raekoko, mm	@HASOPOR Light	@HASOPOR Standard					
Kuiva irtotiheys	10–50 mm	10–50 mm	290–320 kg/m ³	400 kg/m ³ ?	530 kg/m ³	450 kg/m ³	2400 kg/m ³
Kuiva tiheys	180 kg/m ³	225 kg/m ³			1,5 MPa (lieriö)		> 30 MPa
Puristuslujuus, MPa	> 0,6 MPa (SS-EN 13055-1)	12 MPa			0,6 (palkki)		
Taivutusvetolujuus, MPa	(36–45) ⁵⁾					21–38	
Kitkakulma						0,2	
Lämmönjohtavuus, kuiva	0,102 W/m, K	0,11 W/m, K	0,17–0,21 W/m, K	0,19 W/m, K	0,10 W/m, K	W/m, K	1,7 W/m, K
Lämmönjohtavuus, märkä	15 % tiivistetty	25 % tiivistetty			0,15 W/m, K		
tiivistetty, kosteus < 25-paino-%	0,129 W/m, K	0,145 W/m, K			830 J/kg, K		
Ominaislämpökapasiteetti	(15 % tiivistetty)	(25 % tiivistetty)					840 J/kg, K
Pakkasenkestävyys	Ei muutoksia	(EN 12091)			> 530 (SFS 5447)		
Kapillaarinen nousukorkeus	< 120 mm	< 170 mm					
Vedenimukyky	31 paino-%	30 paino-%			32 %		
Vedenimukyky (28 vrk täysin upotettuna veteen)	40 paino-%	50 paino-%					
Vedenimukyky (68 vrk upotettuna veteen)							
Palotekninen luokitus, DIN 4102 Part 1					B2		
Palamattomuus, SFS-ISO 1182 E			1)	1)	Palava ³⁾	5)	2)
Lähde	4)	4)					

Lähteet

1) Kivikoski, H. 2007. Talonrakennuksen routasuojausohjeet. Helsinki: Rakennustiето Oy.

2) VTT (Ritola & Vuopio).

3) Sarja A. Lämpöbetoni ja sen rakennesovellukset.

5) Eriksson, L. & Häggglund, J. 2007. Handbok. Skumglass i mark ock vägbyggnad. Lindköping: Statens geotekniska institut.

Liite B: Betonimurskeen ja vaahtolasituotteen mitattuja liukoisuusarvoja

Betonimurskeen liukoisuus, mg/kg (jätenimikkeet¹ 10, 13, 14, 17 01 01 ja 19 12 12) (valtioneuvoston asetus 591/2006, liite 1), täydennetty ®HASOPOR-tuotteen mitatuilla arvoilla.

	Perustutkimukset, raja-arvot betonimurskeelle, mg/kg kuiva-ainetta			Laadunvalvonta, raja-arvo, mg/kg kuiva-ainetta			®HASOPOR-tuote, mitatut arvot mg/kg kuiva-ainetta	
	Pitoisuus	Liukoisuus, (L/S = 10 l/kg) Peitetty rakenne	Liukoisuus, (L/S = 10 l/kg) Päälystetty rakenne	Pitoisuus	Liukoisuus, (L/S = 10 l/kg) Peitetty rakenne	Liukoisuus, (L/S=10 l/kg) Päälystetty rakenne	Pitoisuus	Liukoisuus
PCB*	1			1				
PAH**	20							
TOC***	30 000							
DOC****		500	500					
Antimoni (Sb)		0,06	0,06					
Arseeni (As)	50	0,5	0,5	50			< 30	2
Barium (Ba)		20	20					
Kadmium (Cd)	10	0,02	0,02	10	0,02	0,02	< 2	< 0,005
Kromi (Cr)	400	0,5	0,5	400	0,5	0,5	< 400	0,05
Kupari (Cu)	400	2,0	2,0	400	2,0	2,0	< 150	0,1
Elohopea (Hg)		0,01	0,01				< 0,15	0,002
Lyijy (Pb)	300	0,5	0,5	300	0,5	0,5	< 1000	0,05
Molybdeeni (Mo)		0,5	0,5					
Nikkeli (Ni)		0,4	0,4					
Vanadiini (V)		2,0	2,0					
Sinkki (Zn)	700	4,0	4,0	700				
Seleeni (Se)		0,1	0,1					
Fluoridi (F ⁻)		10	10					
Sulfaatti (SO ₄ ²⁻)		1 000	3 000		1000	3000		
Kloridi (Cl ⁻)		800	800					

* Polyklooratut bifenyylit, kongeneerien 28, 52, 101, 118, 138, 153 ja 180 kokonaismäärä.

** Polyaromaattiset hiilivedyt, yhdisteiden (antraseeni, asenafteni, asenaftyleeni, bentso(a)antraseeni, bentso(a)pyreeni, bentso(b)fluoranteeni, bentso(g,h,i)peryleeni, bentso(k)fluoranteeni, dibentso(a,h)antraseeni, fenantreeni, fluoranteeni, fluoreeni, indeno (1,2,3-cd)pyreeni, naftaleeni, pyreeni, kryseeni) kokonaismäärä.

*** Orgaanisen hiilen kokonaismäärä.

**** Liuennut orgaaninen hiili.

¹ Yleisempien jätteiden sekä ongelmajätteiden luettelosta annetun ympäristöministeriön asetuksen (1129/2001) mukainen jätenimike.

Tekijä(t) Ritola, Jouko & Vares, Sirje		
Nimeke Keräyslasin hyötykäyttö vaahtolasituotteina		
Tiivistelmä Esiselvityksen tavoitteena oli tutkia ja arvioida vaahtolasin tuotantoedellytyksiä Suomessa kattavaan mm. vaahtolasituotantoon soveltuvan lasiraaka-aineen saatavuuden ja määrän, tuotantopotentiaalin ja vaahtolasin käyttösovellukset. Potentiaalisista tuotesovelluksista etsittiin ratkaisuja erityisesti vaahtolasituotteiden soveltamisesta kalliotilojen ja tunneleiden kuivatus- ja eristerakenteisiin sekä väylärakenteiden kevennerakenteisiin ja routaeristykseen. Esiselvityksen mukaan Suomessa jää uusiokäyttämättä vuosittain noin 40 000 t sellaista lasimateriaalia, joka soveltuisi vaahtolasituotantoon. Keskikokoisen tuotantolaitoksen raaka-ainetarve on noin 15 000–20 000 t/v ja tuotantomäärä noin 75 000–100 000 m ³ vaahtolasia/v. Pohjoismaissa vaahtolasin potentiaalisia käyttökohteita ovat väylärakenteiden kevennerakenteet ja routaeristeet sekä tunneleiden ja kalliotilojen palamattomat routaeristeet. Norjassa liikennetunneleihin on jo koerakennettu valettuja vaahtolasibetonista valmistettuja routaeristeitä. Ruiskutettavia vaahtolasibetonieristeitä ei toistaiseksi ole kokeiltu, mutta niistä on kylläkin jo keskusteltu. Vaahtolasituotteiden ympäristökelpoisuutta on tutkittu erityisesti Ruotsissa ja Norjassa. Norjassa valmistettaville vaahtolasituotteille on määritetty ympäristökelpoisuus ja esimerkiksi tierakenteissa käytettävälle vaahtolasille on määritetty mm. raskasmetallipitoisuuksien raja-arvot.		
ISBN 978-951-38-7254-0 (nid.) 978-951-38-7255-7 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Projektinumero 21093
Julkaisuaika Joulukuu 2008	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 51 s. + liitt. 2 s.
Projektin nimi Vaahtolasi 07		Toimeksiantaja(t) Suomen Keräyslasiyhdistys ry, Helsingin kaupungin geotekninen osasto, Lassila & Tikanoja Oy, Skanska Oy, VTT
Avainsanat glass reuse, foam glass, frost insulation, lightning structures, traffic tunnels, road structures		Julkaisija VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4520 Faksi 020 722 4374

Author(s) Ritola, Jouko & Vares, Sirje		
Title Recycling of Waste Glass in Foam Glass Production		
Abstract The goal of the feasibility study was to research and assess the production conditions of foam glass in Finland, including among other aspects the availability and quality of raw material for foam glass production, production potential and the product applications of foam glass. From the potential product applications, solutions were investigated especially for the utilize of foam glass products for drainage and frost insulation of structures with underground spaces and tunnels as well as use as light filling and frost insulation materials in road structures. The feasibility study results showed that Finland is producing about 40 000 tons of such glass material, which is not reused and which could be used in foam glass production. The raw material use of a mid-sized foam glass production factory is about 20 000 tons per year and foam glass production is about 80 0000–100 000 m ³ per year. In the Nordic countries the potential objects for utilizing foam glass are lightweight filling materials and frost insulation materials for roads as well as both fire insulation materials and frost insulation materials for tunnels and underground spaces. In Norway foam glass coated concrete elements for frost insulation have been experimentally built in traffic tunnels. Sprayed foam glass concrete frost insulation has not yet been tried in tunnel construction though the idea has already been discussed. The environmental validity of foam glass has been investigated especially in Sweden and Norway. The foam glass products used in road structures in Norway has had defined environmental validity and limiting values for special contents, for instance for heavy metals.		
ISBN 978-951-38-7254-0 (soft back ed.) 978-951-38-7255-7 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (soft back ed.) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Project number 21093
Date December 2008	Language Finnish, English abstr.	Pages 51 p. + app. 2 p.
Name of project Vaahtolasi 07		Commissioned by Suomen Keräyslasiyhdistys ry, The City of Helsinki Real Estate Department, Lassila & Tikanoja, Skanska, VTT
Keywords glass reuse, foam glass, frost insulation, lightening structures, traffic tunnels, road structures		Publisher VTT Technical Research Centre of Finland P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4520 Fax +358 20 722 4374

VTT Tiedotteita - Research Notes

- 2441 Bioenergy in Europe. Implementation of EU Directives and Policies relating to Bioenergy in Europe and RD&D Priorities for the Future. Ed. by Crystal Luxmore. 2008. 59 p.
- 2442 Operational decision making in the process industry. Multidisciplinary approach. Ed. by Teemu Mätäsniemi. 2008. 133 p. + app. 5 p.
- 2443 Hänninen, Markku & Ylijoki, Jukka. The one-dimensional separate two-phase flow model of APROS. 2008. 61 s.
- 2444 Paiho, Satu, Ahlqvist, Toni, Piira, Kalevi, Porkka, Janne, Siltanen, Pekka, Tuomaala, Pekka & Kiviniemi, Arto. Roadmap for ICT-based Opportunities in the Development of the Built Environment. 2008. 58 s. + app. 33 p.
- 2445 Lahdenperä, Pertti. Financial analysis of project delivery systems. Road projects' operational performance data revisited. 2008. 58 p.
- 2447 Mahlberg, Riitta, Hellstedt, Maarit, Jauhiainen, Pekka, Kuisma, Risto, Kymäläinen, Hanna-Riitta, Määttä, Jenni, Salparanta, Liisa, Sjöberg, Anna-Maija & Ritschkoff, Anne-Christine. Helposti puhdistettavat lattiamateriaalit lypsykarjatiljoissa. 2008. 66 s. + liitt. 2 s.
- 2448 Koljonen, Tiina, Lehtilä, Antti, Savolainen, Ilkka, Flyktman, Martti, Peltola, Esa, Pohjola, Johanna, Haavio, Markus, Liski, Matti, Haaparanta, Pertti, Ahonen, Hanna-Mari, Laine, Anna & Estlander, Alec. Suomalaisen energiateknologian globaali kysyntä ilmastopolitiikan muuttuessa. 2008. 63 s. + liitt. 8 s.
- 2449 Bäck, Asta, Melin, Magnus, Näkki, Pirjo, Vainikainen, Sari, Sarvas, Risto, Seppälä, Lassi & Vihavainen, Sami. Tags and tagging: Creating meanings, organizing, and socializing with metadata. Report on the Täky project. 2008. 86 p. + app. 4 p.
- 2450 Viljakainen, Anna, Bäck, Asta & Lindqvist, Ulf. Media ja mainonta vuoteen 2013. 2008. 95 s. + liitt. 46 s.
- 2451 Ruotsalainen, Laura. Data Mining Tools for Technology and Competitive Intelligence. 2008. 63 p.
- 2452 Paappanen, Teuvo, Lindh, Tuulikki, Kärki, Janne, Impola, Risto, Rinne, Samuli, Lötjönen, Timo, Kirkkari, Anna-Maija, Taipale, Raili & Leino, Timo. Ruokohelven polttoaineketjun kehittäminen liiketoimintamahdollisuuksien parantamiseksi. 2008. 158 s. + liitt. 9 s.
- 2453 Ekholm, Tommi, Soimakallio, Sampo, Höhne, Niklas, Moltmann, Sara & Syri, Sanna. Assessing the effort sharing for greenhouse gas emission reductions in ambitious global climate scenarios. 2008. 75 p. + app. 3 p.
- 2454 Ahlqvist, Toni, Bäck, Asta, Halonen, Minna & Heinonen, Sirkka. Social media roadmaps. Exploring the futures triggered by social media. 2008. 78 p. + app. 1 p.
- 2455 Nykänen, Esa, Porkka, Janne, Aittala, Miika, Kotilainen, Helinä, Räikkönen, Outi, Wahlström, Mikael, Karesto, Jarmo, Yli-Karhu, Tiina & Larkas-Ipatti, Eija. HospiTool. Käyttäjälähtöinen sairaalatala. 2008. 66 s.
- 2456 Pietikäinen, Elina, Reiman, Teemu & Oedewald, Pia. Turvallisuuskulttuurityö organisaation toiminnan kehittämisenä terveydenhuollossa. 2008. 70 s. + liitt. 6 s.
- 2457 Rinne, Tuomo, Hykkyrä, Hanna, Tillander, Kati, Jäntti, Jarkko, Väisänen, Timo, Yli-Pirilä, Pasi, Nuutinen, Ilpo & Ruuskanen, Juhani. Jätekeskusten paloturvallisuus. Riskit ympäristölle tulipalotilanteessa. 2008. 125 s. + liitt. 39 s.
- 2458 Ritola, Jouko & Vares, Sirje. Keräyslasin hyötykäyttö vahtolasituotteina. 2008. 51 s. + liitt. 2 s.

Julkaisu on saatavana

VTT
PL 1000
02044 VTT
Puh. 020 722 4520
<http://www.vtt.fi>

Publikationen distribueras av

VTT
PB 1000
02044 VTT
Tel. 020 722 4520
<http://www.vtt.fi>

This publication is available from

VTT
P.O. Box 1000
FI-02044 VTT, Finland
Phone internat. + 358 20 722 4520
<http://www.vtt.fi>