



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND

TTÜ Tartu Kolledž

# POLÜVINÜÜLBUTURAALIST KILEGA LAMINEERITUD MOOTORSÕIDUKITE KLAASIDE ÜMBERTÖÖTLEMISE VÕIMALUSED JA POTENTSIAAL EESTIS

POSSIBILITIES AND POTENTIAL OF RECYCLING PVB LAMINATED  
WINDSHIELDS IN ESTONIA

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane:

Dagny Kungus

Üliõpilaskood:

NAEM 163114

Juhendajad:

Tiina Niine, lektor  
Annely Kuu, dotsent

Tallinn 2018

## **AUTORIDEKLARATSIOON**

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“.....” .....201.....

Autor: .....

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” .....201.....

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....” .....201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

**TTÜ Tartu Kolledž**  
**LÕPUTÖÖ ÜLESANNE**

**Üliõpilane:** Dagny Kungus NAEM163114  
**Õppekava, peeriala:** NAEM06/15, Tööstusökoloogia  
**Juhendajad:** MSc Tiina Niine, lektor, +372 620 4806

PhD Annely Kuu, dotsent, +372 620 4809

**Lõputöö teema:**

(eesti keeles) Polüvinüülbuturaalist kilega lamineeritud mootorsõidukite klaaside  
ümbertöötlemise võimalused ja potentsiaal Eestis

(inglise keeles) Possibilities and potential of recycling PVB laminated windshields in Estonia

**Lõputöö põhieesmärgid:**

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on välja selgitada, kui palju PVB kilega lamineeritud mootorsõidukite klaase Eestis tekib ning milliseid praktikaid lamineeritud klaaside ümbertöötlemisel või taaskasutusse suunamisel rakendatakse.

**Lõputöö etapid ja ajakava:**

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Teemakohase kirjanduse läbi töötamine ja andmete kogumine	23.03.2018
2.	Tulemuste interpreteerimine ja magistritöö vormistamine	01.05.2018
3.	Magistritöö koitmine ning esitamine	28.05.2018

**Töö keel:** eesti keel

**Lõputöö esitamise tähtaeg:** “.....” .....2018 a

**Üliõpilane:** Dagny Kungus ..... “.....” .....201...a

/allkiri/

**Juhendaja:** Tiina Niine ..... “.....” .....201...a

/allkiri/

**Konsultant:** Annely Kuu ..... “.....” .....201...a

/allkiri/

# SISUKORD

SISUKORD .....	4
EESSÕNA .....	6
SISSEJUHATUS.....	7
MÕISTED JA LÜHENDID.....	9
1 KIRJANDUSE ÜLEVAADE.....	10
1.1 Seadusandlus .....	10
1.1.1 Probleemtooteregister.....	11
1.1.2 Jäätmearuandluse infosüsteem.....	12
1.2 Klaasitüübid.....	13
1.2.1 Kuumutatud klaas ( <i>heat strengthened glass</i> ).....	13
1.2.2 Termiliselt karastatud klaas ( <i>tempered glass</i> ).....	14
1.2.3 Klaasi konstruktsiooni tüübid .....	15
1.3 Mootorsõidukite klaasijätmete ümbertöötlemisel saadud materjalide taaskasutamise võimalused .....	17
2 LEHTKLAAS JA SELLE VALMISTAMINE .....	19
2.1 Löömutatud klaas ehk lehtklaas .....	19
2.2 Lehtklaasi tootmine .....	19
3 LAMINEERITUD KLAAS.....	22
3.1 PVB kilega lamineeritud klaaside kasutusvaldkond .....	22
3.2 Autotööstuses kasutatava PVB kile tootmine ja ringlussevõtt.....	23
3.3 PVB kilega lamineeritud klaaside mehhaaniline purustamine ja kile eemaldamine ..	24
3.4 Klaasi ja PVB kile keemiline eraldamine teineteisest .....	26
4 MATERJAL JA METOODIKA.....	28
4.1 Uurimisstrateegia valik.....	28
4.2 Andmekogumise meetodika .....	28
5 TULEMUSED JA ARUTELU .....	30
5.1 Probleemtooteregistri pidamise olulisus .....	30
5.2 Jäätmekäitlejate seisukoht PVB kilega lamineeritud klaasidega seoses .....	31
5.2.1 Ragn-Sells AS seisukoht seoses lamineeritud klaaside probleemaatilisusega .....	32
5.3 Eestis tekkinud klaasijätmete kogused.....	33
5.4 Ragn-Sells AS-is kogutud klaasijätmed .....	36

5.5 Järeldused.....	38
KOKKUVÕTE.....	40
SUMMARY.....	43
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	46
LISAD .....	50

## EESSÕNA

Käesoleva magistritöö ajendiks oli töö autori omahuvi ning soov teada saada, milliseid jäätmekäitlusalaseid praktikaid Eestis lamineeritud klaaside osas rakendatakse. Magistritöö teema sõnastas töö autor iseseisvalt, küsides arvamust töö juhendajatelt Tiina Niine ja Annely Kuu. Magistritöö jäätmekäitlusalast poolt juhendas Tiina Niine ning statistiliste andmete haldamisel juhendas Annely Kuu.

Magistritöö kirjutamiseks ning uurimisvaldkonnas orienteerumiseks läbis töö autor 22.05.2017 kuni 18.06.2017 praktika Ragn-Sells AS-is. Praktika raames tutvuti ettevõtte koostööpartneritega, kellelt lamineeritud klaase vastu võetakse ning uuriti, mida kogutud klaasidega edasi tehakse. Ragn-Sells AS avaldas magistritöö kirjutamiseks aastatel 2014-2017 kogutud klaasijäätmete kogused. Uurimisvaldkonnast tervikpildi saamiseks küsitles töö autor Keskkonaaegntuuri andmehaldusosakonna peaspetsialisti Rain Päären. Intervjuu kaudu saadi teada, kuidas reguleeritakse riiklikul tasemel mootorsõidukite klaasijäätmete statistika kogumist ning millised probleemid statistiliste andmetega esinevad. Samuti pöördus töö autor mootorsõidukite klaasitootja äriüksuse Saint-Gobain Sekuriti ja lamineeritud klaaside ümbertöötaja Uusioaines Oy poole, kuid ettevõtete tegevuse konfidentsiaalsust arvestades, ei olnud neil võimalik tootmisprotsessi kohta informatsiooni jagada. Liiklusregistrist kustutatud romusõidukite hulga teada saamiseks pöördus töö autor Maaneteeameti poole, kes edastas andmed 2012-2017. aasta kohta.

Käesoleva magistritööga saadi teada, et jäätmearuandluse infosüsteemi (JATS) andmetel tekib Eestis ca 500 tonni mootorsõidukite klaasijäätmeid aastas (2016. aasta andmete põhjal), millest ca 90% kogutakse Ragn-Sells AS-i poolt. Kogutud andmete põhjal justkui näib, et mootorsõidukite klaasijäätmete ladestamine prügilasse ei ole Eestis probleem. Samas ei saa JATS-i esitatud andmete õigsuses kindel olla, kuna ettevõtted ei pruugi jäätmearuannete esitamisel õigeid jäätmenimistu koodi kasutada ning prügilasse ladestatavad kogused võivad olla kajastatud teiste jäätmekoodidega (mitte mootorsõidukite klaasi koodiga 16 01 20).

Käesoleva magistritöö autor avaldab tänu juhendajatele Tiina Niine ja Annely Kuu, Ülo Kasema'le, Rain Päären'le, Jane Raamets'le ja Martin Repp'le.

PVB taaskasutamine, jäätmekäitlus, mootorsõidukite tuuleklaaside ümbertöötlemine, probleemtooted, magistritöö

## SISSEJUHATUS

Tänapäeva maailm seisab silmitsi keskkonnaprobleemidega, mis suures osas on põhjustatud liigtarbimise ja tootmise poolt. Toormaterjalide nõudluse kasv, rangemad keskkonnadirektiivid ja prügilatesse ladestamise tasud tekitavad nõudluse keskkonnasõbralike tehnoloogiate arendamiseks ning võimaluste leidmiseks erinevate materjalide taaskasutusse suunamisel.

Euroopa Parlament ja Euroopa Liidu nõukogu võtsid 18. septembril 2000. aastal vastu direktiivi 2000/53/EÜ (inglise keeles *End-of-life of vehicles directive* ehk *ELV*) (edaspidi nimetatud *romusõidukite direktiiv*), millega sooviti vähendada kasutuselt kõrvaldatud sõidukite mõju keskkonnale. Romusõidukite direktiiviga nõutakse, et alates 1. jaanuarist 2015 peab kasutuselt kõrvaldatud sõidukite korduv- ja taaskasutamise määr aastassaavutama vähemalt 95% sõiduki keskmisest massist ning sealjuures peab aastane korduvkasutus ja ringlussevõtt olema vähemalt 85% sõiduki keskmisest massist (Mootorsõidukist ja nende osadest..., 2017). See tähendab, et kõigest 5% romusõidukite massist võib minna kõrvaldamisele. Statistikaameti andmetel omab sõiduautot Eestis iga teine inimene, st et jämedalt võttes 1,3 miljonist inimesest omavad 650 000 inimest Eestis autot (Statistikablogi, 2015). Seega on oluline, et mootorsõidukite osade puhul oleks läbi mõeldud, kuidas oleks neid võimalik taaskasutusse või korduvkasutusse suunata. Maanteeametile tehtud päringu kohaselt kustutati 2017. aastal seoses lammutamisega liiklusregistrist 15 853 M1-M1G (sõiduautod ja bussid) kategooriasse ja 905 N1-N1G (kaubikud ja veoautod) kategooriasse kuuluvat sõidukit (Maanteeamet, 2018).

Polüvinüülbuturaalist (PVB) kilega lamineeritud mootorsõidukite klaasid kuuluvad mootorsõidukite nende osade hulka, mille ümbertöötlemine nõuab spetsiaalset tehnoloogiat ning on jäätmekäitlejatele probleemne materjal. PVB kilega lamineeritud mootorsõidukite klaasid kuuluvad probleemtoodete hulka, mille üle peetakse Eestis eraldi registrit - probleemtooteregister (PROTO). PVB kilega lamineeritud klaasid on oma olemuselt inertsed jäätmed, mis koosnevad kahest või enamast klaasikihist, mida eraldab klaasikihte siduv PVB kile. Klaasi eraldamine PVB kilekihist on kulukas ja keeruline protsess, mis nõuab eritehnoloogiat. Swain *et al.* (2015) ja Tupý *et al.* (2012) töid välja, et lamineeritud klaas moodustab sõiduki kasuliku eluea lõpus kogumaterjalist kuni 3%, milles on ringlussevõtmiseks sobivat PVB kilet ligikaudu 1 kg. Seega on Euroopa Liidu poolt nõutud sihtarvude saavutamiseks lamineeritud mootorsõidukite klaaside taaskasutusse suunamine olulise tähtsusega.

Magistritöö teema on aktuaalne, kuna varasemalt ei ole tehtud Eestis uurimust lamineeritud klaaside tekke ja taaskasutusse suunamise osas. Samuti puudub ülevaade konkreetsetest tehnoloogilistest lahendustest, mida oleks võimalik kasutusele võtta.

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on välja selgitada, kui palju PVB kilega lamineeritud mootorsõidukite klaase Eestis tekib ning milliseid praktikaid lamineeritud klaaside ümbertöötlemisel või taaskasutusse suunamisel rakendatakse. Muuhulgas uuritakse, millised võimalused on ümbertöödeldud lamineeritud klaasijäätmete taaskasutusse suunamisel kogu maailmas. Seoses töö autori tööstusökoloogilise taustaga, ei hõlma käesolev töö majanduslikke arvutusi ega tasuvusanalüüsi konkreetsete tehnoloogiliste lahenduste soetamisel Eestisse.

Käesoleva magistritöö üheks hüpoteesiks on, et Eestis tekkivad lamineeritud klaaside kogused ei ole tervikliku tehnoloogi välja arendamiseks piisavad. Teiseks hüpoteesiks on, et suur hulk lamineeritud klaasijäätmeid ladestatakse prügilatesse.

Käesoleva magistritööga on püstitatud järgnevad uurimisküsimused:

- 1) Kui palju tekib PVB kilega lamineeritud mootorsõidukite klaasijäätmeid Eestis?
- 2) Kui palju mootorsõidukite klaasijäätmeid suunatakse Eestis taaskasutusse ja kui palju ladestatakse prügilatesse?
- 3) Mida tehakse Eestis tekkivate lamineeritud (mootorsõidukite) klaasijäätmega?
- 4) Millised on Eesti jäätmearuandlusega seotud kitsaskohad seoses lamineeritud klaaside statistikaga?

Magistritöö koosneb viiest peatükist, millest esimene annab ülevaate töö temaatikat puudutavast seadusandlusest ning tutvustab Eestis kasutusel olevaid statistilisi andmebaase, kuhu kogutakse infot ettevõtete poolt kogutud, tekitatud ja suunatud jäätmete kohta. Teine peatükk tutvustab lamineeritud klaaside tootmiseks kasutatava lehtklaasi olemust ja tootmist. Kolmas peatükk käsitleb PVB kilega lamineeritud klaaside kasutusvaldkonda, autotööstuse jaoks toodetud PVB kile tootmist ja ringlussevõttu ning toob välja konkreetsed tehnoloogiad lamineeritud klaaside ümbertöötlemiseks. Töö neljas peatükk käsitleb uurimistöö läbiviimiseks kasutatud materjali ja meetodikat. Magistritöö viies peatükk kajastab uuringu tulemusi, kus peatüki esimeses osas kajastatakse intervjuu tulemusi ning teine pool analüüsib Eestis tekkinud jäätmekoguseid. Kuues peatükk on kokkuvõtte.



## MÕISTED JA LÜHENDID

EL – Euroopa Liit

EL-i direktiivid – õigusaktid, mis on kohustuslikud liikmeriikidele, kuid liikmed saavad ise otsustada, kuidas on tagatud nende täitmine (näiteks määruste, seaduste jms) (Euroopa Liidu Infokeskus, 2017)

EL-i määrused – kohustuslikud õigusaktid, mis on täies mahus siduvad ja kohustuslikud kõigis liikmesriikides (Euroopa Liidu Infokeskus, 2017)

EL-i otsused – õigusaktid, mis on siduvad üksikisikutele, ettevõtetele, ühenduste institutsioonidele (Euroopa Liidu Infokeskus, 2017)

JATS – jäätmearuandluse infosüsteem

Jääts - jäätmeseadus

Konvektsioon – *Soojuse edasikandumine koos liikuva ainega* (Eesti keele seletav sõnaraamat, 2018a)

PROTO – probleemtooteregister

PVB – Polüvinüülbuturaal

Taaskasutatav klaasipuru (inglise keeles *cullet*) – kasutuselt kõrvaldatud purustatud taaskasutusse suunatud klaas, mis sarnaneb koostiselt esialgselt toodetud klaasi koostisele (Encyclopædia Britannica, 2018)

Tseoliit – vulkaanilise päritoluga poorne mineraal. Tseoliitidel on mikropoorsed struktuurid, milles on kolmemõõtmelised õõnsused ja kanalid, mis on valminud tetraeediliste  $\text{SiO}_4$  ja  $\text{AlO}_4$  üksuste ühinemisel (Kim *et al.* 2015, 21)

Vahtklaas (inglise keeles *Foam glass*) – *Peene klaasipuru ja vahtu andva aine töötlemisel saadud poorne materjal, mida saab kasutada isolatsioonimaterjalina* (Eesti keele seletav sõnaraamat, 2018b)

# 1 KIRJANDUSE ÜLEVAADE

## 1.1 Seadusandlus

Alates 2004. aasta kevadest kuulub Eesti Euroopa Liidu (edaspidi nimetatud *EL*) liikmeriikide hulka, mis omakorda tähendab, et nii nagu ka teistele liikmesriikidele, kohaldub ka meile EL-i õiguse ülimuslikkuse põhimõte, mille kohaselt peab riigisisene õigus olema kooskõlas EL-i õigusega. EL-i kohustuslikud õigusaktid on määrused, direktiivid ja otsused. (Euroopa Liidu Infokeskus, 2017; Eesistumine, 2017)

Euroopa Parlamendi ja EL-i nõukogu direktiiv 2000/53/EÜ (edaspidi nimetatud *romusõidukite direktiiv*) võeti 18. septembril 2000.a vastu kasutuselt kõrvaldatud sõidukite kohta, millega sooviti ühtlustada erinevaid siseriiklike meetmeid, mis käsitlevad kasutuselt kõrvaldatud sõidukeid selleks, et vähendada romusõidukite mõju keskkonnale ning aidates kaasa keskkonna kaitsele, säilimisele ja kvaliteedi parandamisele ning energia säästmisele (Euroopa Parlamendi ja Euroopa Liidu nõukogu direktiiv 2000/53/EÜ). EL-i liikmesriikides tekib romusõidukite kasutusea lõpus igal aastal kuni üheksa miljonit tonni käitlemist vajavaid jäätmeid. Romusõidukite direktiivi kohaselt peaksid liikmesriigid vastu võtma meetmed, et ettevõtted seaksid sisse kasutuselt kõrvaldatud sõidukite kogumise, töötlemise ja taaskasutamise süsteemid. (*Ibid.*)

Romusõidukite direktiivi kohaselt on EL liikmesriigid kohustatud võtma kasutusele meetmed, mille kohaselt alates 1. jaanuarist 2015 peab kõikide kasutuselt kõrvaldatud sõidukite korduv- ja taaskasutamise määr aastas saavutama vähemalt 95% sõiduki keskmisest massist ning sealjuures peab aastane korduvkasutus ja ringlussevõtt olema vähemalt 85% sõiduki keskmisest massist. Romusõidukite direktiiv täpsustab, et *turule viidud sõidukid peavad olema korduvkasutatavad ja/või ringlussevõetavad vähemalt 85% ulatuses sõiduki massist ning korduv- ja/või taaskasutatavad vähemalt 95% ulatuses sõiduki massist (Ibid.).*

Jäätmeseadus (edaspidi nimetatud *JäätS*) sõnastab probleemtoote järgnevalt: *Probleemtoode on toode, mille jäätmed põhjustavad või võivad põhjustada tervise- või keskkonnaohtu, keskkonnahäiringuid või keskkonna ülemäära risustamist (Jäätmeseadus, 2017).* JäätS-i kohaselt on mootorsõidukid ja nende osad probleemtooted. JäätS ütleb, et *tootja on kohustatud tagama tema turule lastud probleemtootest tekkivate jäätmete kogumise ja nende taaskasutamise või nende kõrvaldamise ja omama selle kohustuse täitmiseks piisavat tagatist.*

*Tootja võib valida, kas ta täidab kohustused individuaalselt, annab need kirjaliku lepinguga üle tootjate ühendusele või ühineb tootjate ühendusega. (Ibid.) JäätS-i kohaselt on tootja isik, kes oma majandus- või kutsetegevuse raames kavandab, projekteerib, valmistab, töötleb, müüb või veab sisse tooteid (Ibid.). Mootorsõiduki tootja on isik, kes valmistab mootorsõidukeid või veab majandus- või kutsetegevuse korras Eestisse sisse mootorsõidukeid (Ibid.). Mootorsõiduki osa tootja on isik, kes sõltumata müügiviisist, müük sidevahendi abil kaasa arvatud, laseb majandus- või kutsetegevuse korras Eesti turule mootorsõiduki osi (Ibid.). JäätS seletab probleemtooteregistrit järgnevalt: Probleemtooteregister on riiklik register avaliku teabe seaduse tähenduses, kuhu koondatakse andmed probleemtoodete tootjate kohta ning kus hoitakse ja töödeldakse Eestis toodetud, Eestisse sisseveetud ja Eestist väljaveetud probleemtoodete ja probleemtoodetest tekkinud jäätmete taaskasutamise andmeid (Ibid.). JäätS kohustab tootjaid registreerima end probleemtooteregistris ja esitama registrisse andmeid (Ibid.).*

### **1.1.1 Probleemtooteregister**

Probleemtooteregistrisse (edaspidi *PROTO*) koondatud andmete põhjal peetakse arvestust EL-i poolt määratud sihtarvude täitmise üle (Keskkonnaministeerium, 2017). Vastavalt JäätS-ile on probleemtoodet järgnevad: „1) patareid ja akud; 2) mootorsõidukid ja nende osad; 3) elektri- ja elektroonikaseadmed ja nende osad; 4) rehvid; 5) põllumajandusplast“ (Jäätmeseadus, 2017).

Keskkonnaministri 14.12.2015. a määruse nr 70 „Jäätmete liigitamise kord ja jäätmenimistu<sup>14</sup>“ (edaspidi *määrus nr 70*) lisa kohaselt on *romusõidukid mitmesugustest liiklusvaldkondadest (sealhulgas liikurmasinad) ning romusõidukite lammutamisel ja sõidukihooldusel tekkinud jäätmed* (Jäätmete liigitamise kord ja jäätmenimistu, 2017), mida tähistatakse koodiga 16 01 ning millest romusõidukite lammutamisel tekkinud klaasi tähistatakse koodiga 16 01 20.

Probleemtoodetele rakendatakse laiendatud tootjavastutuse põhimõtet. Keskkonnaministeerium selgitab laiendatud mõistet järgnevalt: *Laiendatud tootjavastutuse põhimõtte kohaselt peab tootja tagama tema turule lastud probleemtoodetest tekkivate jäätmete kogumise ja nende taaskasutamise, korduskasutamise või nende kõrvaldamise. Nende tegevustega seotud kulud kannab tootja. Tootjal on kohustatud kogudda ja edasisele*

*käitlemisele suunata ka sellest probleemtootest tekkinud jäätmed, mis on turule lastud enne tootjavastutuse rakendamist (nn endiseaegsed ehk ajaloolised jäätmed).* (Keskkonnaministeerium, 2018) Mootorsõidukitele ja nende osadele rakendatakse laiendatud tootjavastutust alates 01.01.2015. a (*Ibid.*).

### **1.1.2 Jäätmearuandluse infosüsteem**

Eesti Vabariigis peetakse Eestis tekkivate ja käideldavate ning sisse- ja väljaveetavate jäätmekoguste üle arvestust jäätmearuandluse infosüsteemis (edaspidi JATS). JATS võimaldab ettevõtjatel ja/ või Keskkonnaametil sisestada jäätmearuanded infosüsteemi, Keskkonnaametil jäätmearuannetega esitatud andmeid kontrollida ja kinnitada, Keskkonnajärelevalve asutusel (näiteks Keskkonnainspeksioonil) esitatud andmete juurdepääsu ja lubatud tegevuse õigsuse kontrollimist ning Keskkonnaagentuuril koostada esitatud andmete põhjal siseriiklikke ja rahvusvahelisi aruandeid (Jäätmearuandluse infosüsteem, 2018).

Määrus nr 70 kehtestab jäätmete liigitamise korra ja jäätmenimistu ning reguleerib jäätmete liigitamist ohtlikeks ja tavajäätmeteks. Määruse nr 70 lisas 1 on toodud jäätmenimistu, mille alusel on erinevatest valdkondadest tekkinud jäätmed jaotatud kindlasse rühma, mis omakorda on tähistatud kindlate koodidega. Jaotise algusega 16 jäätmed kannavad nimetust „Nimistus mujal nimetamata jäätmed“, kus alajaotisesse 16 01 kuuluvad erinevatest liiklusvaldkonadest pärinevad kasutuselt kõrvaldatud sõidukid ning nende lammutamisel ja hooldamisel tekkinud jäätmed. Käesoleva töö uurimisobjektiks olevad mootorsõidukite klaasid on tähistatud alajaotise koodiga 16 01 20. (Jäätmete liigitamise kord ja jäätmenimistu, 2017)

Ettevõtted esitavad JATS-i andmeid jäätmenimistu koodide alusel, kus toovad välja erinevate jäätmeliikide liikumise ühe aasta jooksul. Eraldi märgitakse vastuvõetavate jäätmete kogused ning teistele ettevõtetele antud kogused, taaskasutus ja/ või kõrvaldamise kogused, tekkinud jäätmekogused, import, eksport ning laoseisud aruande perioodi alguses ja lõpus. Seega on võimalik JATS-i esitatud andmete põhjal analüüsida, kui palju mootorsõidukite klaase Eestis tekib, mis nendega tehakse ja kellele üle antakse. Muuhulgas on Keskkonnaagentuuril võimalik teha andmeanalüüsi, mis näitavad kas EL-i direktiividega seotud nõuded taaskasutamise ja korduvkasutuse sihtarvude saavutamisel on täidetud või mitte (Jäätmearuandluse infosüsteem, 2018). Samas toovad Parfitt ja Flowerdew (1997) oma uurimuses välja, et

paljudes arenenud riikides ei ole säästvate jäätmekäitlust hõlmavate lahendustega kaasnenud usaldusväärseid teabesüsteeme, mida oleks võimalik efektiivselt kasutada poliitika kujundamiseks ja seireks.

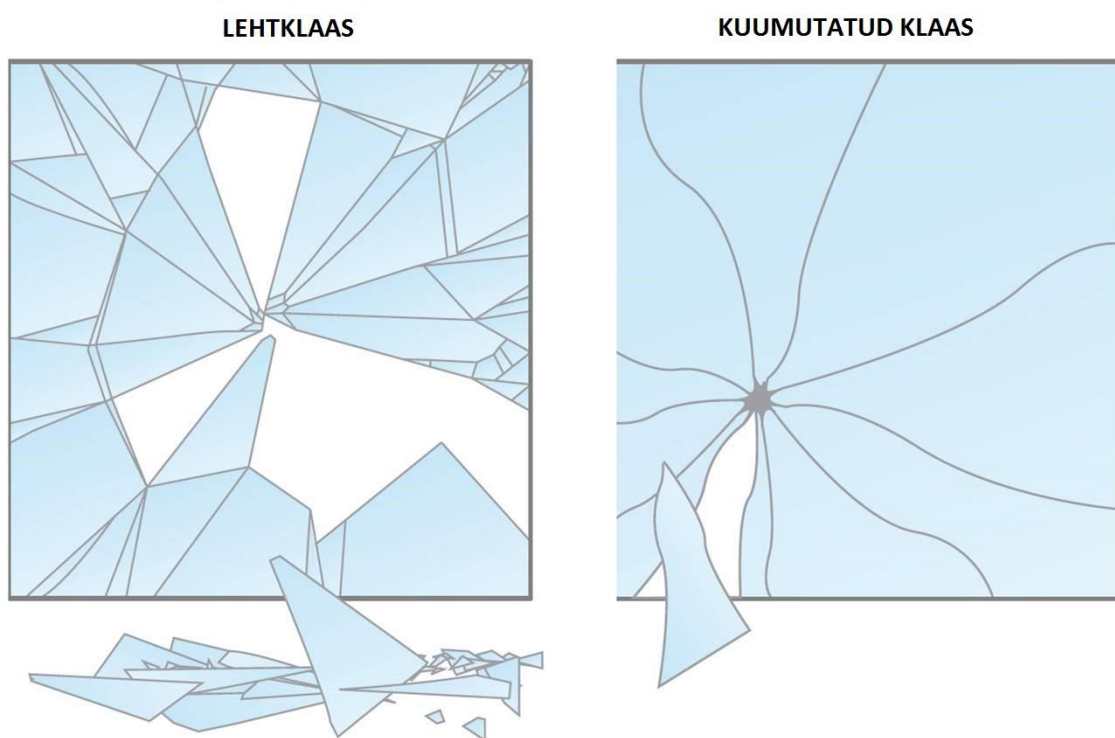
## 1.2 Klaasitüübid

### 1.2.1 Kuumutatud klaas (*heat strengthened glass*)

Kuumtöödeldud (heat-treated glass) klaasitüüpidest on kuumutatud klaas kaks korda tugevam kui tavaline lehtklaas (Vitro Architectural Glass, 2018; John Window Films, 2017; Australian Glass & Glazing Association, 2015). Kuumutatud klaasi valmistamiseks kuumutatakse lehtklaas selle pehmenemise temperatuurini (~ 650 °C), samal ajal seda suunates ja vett kasutades. Vesi jahutab klaasi pealmist pinda rohkem kui sisemist ning sisemise temperatuuri kaudu saavutatakse klaasi pinna tihenemine. Jahtumise suurenemine toob kaasa tugevama pinna tihenemise. Kuumutatud klaas on vastupidavam ning talub kuumuse, tuule ja lendavate objektide suhtes suuremat pinget kui tavaline lehtklaas (John Window Films, 2017 ja Australian Glass & Glazing Association, 2015). Arhitektuurilistes rakendustes on kuumtöödeldud klaasil oluliselt väiksem purunemisvõimalus termiliste ja muude kliimatiliste mõjutuste poolt põhjustatud pingete suhtes. Enamikel juhtudel määrab vastupidavuse juures ka olulist rolli töödeldava klaasi paksus ja kvaliteet. Oluline on meeles pidada, et kuumtöödeldud klaasi ei ole võimalik pärast selle töötlemist lõigata (Vitro Architectural Glass, 2018).

Kõige olulisem erinevus kuumutatud ja karastatud klaasi vahel on nende purunemisomadused. Kuumutatud klaasi purunedes tekivad suhteliselt suured klaasitükid, mis purunedes üldjuhul püsivad konstruktsioonisüsteemi küljes (vt näidet Lisas 6). Oluline on meeles pidada, et kuumutatud klaasi ei saa tema purunemisomaduste poolest pidada ohutusklaasiks (Vitro Architectural Glass, 2018). Seega saab kuumutatud klaasi kasutada seal, kus ohutus ei ole esmatähtis. Kuna kuumutatud klaasil esineb üldiselt vähe optilisi moonutusi, siis kasutatakse seda täiendava tugevdusena lamineeritud klaaside valmistamisel. Sellist kuumutatud lamineeritud klaasi kooslust kasutatakse näiteks arhitektuuris klaasist katuste või kaldseinte

valmistamisel (vt näidet Lisas 1) (Saint-Gobain Glass India, 2018). Seevastu karastatud klaas puruneb paljudeks väikesteks ruumilisteks kildudeks, mis teebki karastatud klaasist ohutusklaasi. Karastatud klaasi purunemisel eemalduvad klaasitükid ka konstruktsioonisüsteemi küljest. Klaasitööstuse standardites on täpsustatud nõuded, millele kuumutatud ja karastatud klaasid vastama peavad. Kuumutatud klaasi puhul peaks klaasi pinnale langev surve jääma vahemikku 24 kuni 52 MPa. Samas ei ole kuumutatud klaasi puhul määratud nõudeid serva kokkutõmbe survele. Lehtklaasi kuumtöötlemisel muutub klaasi tihedus, mis muudab omakorda klaasi purunemisomadusi (Vitro Architectural Glass, 2018). Lehtklaasi ja kuumutatud klaasi purunemise võrdlus on toodud joonisel 1.1.



Joonis 1.1. Lehtklaasi ja kuumutatud klaasi purunemise näide. Allikas: Christal India, 2018

### 1.2.2 Termiliselt karastatud klaas (*tempered glass*)

Termiliselt karastatud klaasi toodetakse kuumutatud klaasiga üsna sarnaselt. Karastatud klaasi puhul toimub klaasipinna jahutamine palju kiiremini, mille tulemusel saavutatakse kõige

suurema tihedusega klaas (Vitro Architectural Glass, 2018). Sellist liiki klaas on 4 kuni 5 korda tugevam kui tavaline lehtklaas (Vitro Architectural Glass, 2018) ning on suure vastupanuvõimega temperatuuri kõikumistele, mis soodustavad mõranemist (John Window Films, 2017). Karastatud klaas puruneb väikesteks klaasitükkideks, mis on ohutumad kui suured teravalõikelised klaasitükid (vt purunenud karastatud klaasi näidet Lisas 7). Karastatud klaas sobib kõige rohkem sinna, kus klaasi purunemine on kõige tõenäolisem ning olulisel kohal ohutus. Nagu näiteks mootorsõidukite külje- ja tagaklaasid ning kaubanduskeskustes kasutatavad klaasid (vt purunenud tagaklaasi näidet Lisas 2) (John Window Films, 2017). Karastatud klaasi puhul peab vastavalt standarditele klaasipinnale avalduma minimaalselt 69 MPa surve ning servadele peab avalduma mitte vähem kui 67 PMa suurune surve (Vitro Architectural Glass, 2018).

### **1.2.3 Klaasi konstruktsiooni tüübid**

Klaasi konstruktsiooni tüübid võib üldisemalt jagada kolmeks: monoliitne klaas, lamineeritud klaas ja isoleeritud klaas. Monoliitne klaas on kõige tavalisem klaasitüüp, kus toote valmistamiseks kasutatakse üksikut klaasilehte. Seda võib valmistada nii lehtklaasist, kuumutatud klaasist kui ka karastatud klaasist. Monoliitne klaas võib olla näiteks duššikabiinide seinteks kasutatav klaas.

Lamineeritud klaas koosneb kahest või enamast klaasikihist, mida eraldavad polüvinüülbutüleenist (PVB) kihid (John Window Films, 2017). PVB asemel on võimalik lamineeritud klaaside vahelihina kasutada ka etüülvinüülatsetaati või polüuretaani. Lamineeritud klaas pakub mitmeid eeliseid võrreldes teiste klaasitüüpidega. Nendest tuntumad on ohutus ja turvalisus. Näiteks autoga avariisse sattudes hoiab polümeerne vahekiht purunenud klaasifragmente koos, vähendades kildudest tulenevat ohtu ning takistades klaasist läbi paiskumist. Eelistena võib välja tuua veel vahekihi poolt pakutavad värvilahendused, müra- ja tuletõkke, ultravioletse filtri ja muud tehnoloogiad, mida saab vahekihti integreerida (soojasensored jms) (Australian Glass & Glazing Association, 2015). Samuti kasutatakse lamineeritud klaasi kaupluste sissepääsu akendel ja ustel, et raskendada sissepääsmist (vt näidet Lisas 3 ja 4) (John Window Films, 2017). Joonisel 1.2 on toodud näitena metsseaga kokkupõrkesse sattunud auto esiklaas.



Joonis 1.2. Metsseaga kokkupõrkesse sattunud auto esiklaas. Allikas: Dagny Kungus, 2017

Isoleeritud klaas on klaasi tüüp, mille korral on kaks klaasikihti eraldatud õhuribaga (vt näidet Lisas 8). Klaaside vaheline õhuriba vähendab soojusülekanne juhtivust ja konvektsiooni, mis on tagatud inertsete gaasidega nagu argoon ja krüptoniit. Need gaasid paigutatakse õhuribasse, et aeglustada konvektsiooni ja vähendada soojusülekanne. Muud ehituslikku tüüpi klaasid on näiteks traatidega, kangaga või mustriaga kaetud. Selliste klaasitüüpide tootmisprotsessides on levinud pinna ja serva vead, mis suurendavad termiliste pingete tõenäosust. Samuti kuulikindlate klaaside tegemisel kasutatakse mitmeid klaasikihte ja polükarbonaadist kihte. Selliste mitmekihiliste klaaside valmimisel võib esineda termilise pinge all murdumist, sest kihte kuumutatakse ja jahutatakse erinevatel temperatuuridel. Selle tõttu ei soovitata kuulikindlatele klaasidele lisada ka päikesekaitsekilesid, kuna need koormavad veel omakorda kogu süsteemi (John Window Films, 2017).



### 1.3 Mootorsõidukite klaasijäätmete ümbertöötlemisel saadud materjalide taaskasutamise võimalused

Tänapäeval on kõige suuremaks loodusressursside tarbijaks ehitustööstus, olles samal ajal ka suurel hulgal jäätmete tekitajaks. Seega otsitakse pidevalt alternatiive, kuidas minimeerida ehitusvaldkonnast tulenevaid mõjutusi keskkonnale. Üks võimalustest on jäätmete taaskasutamine ehitusmaterjalides. Calmon *et al.* (2014) toob näiteks Brasiilia, kus 2011. aastal toodeti hinnanguliselt 3 miljonit tonni klaasi, millest pool moodustas lehtklaas, mida kasutati ehitus- ja autotööstuses. Umbes 10% lehtklaasist kasutatakse lamineeritud tuuleklaaside valmistamiseks. Jäätmeteks muutunud lamineeritud autoklaaside korduvkasutus selle kasuliku tööea lõpus on piiratud, kuna PVB kile eraldamine klaasist on keeruline (Calmon *et al.* 2014, 88). Seega ladustatakse suurel hulgal lamineeritud autoklaase prügilasse (Calmon *et al.* 2014, 88; Kim *et al.* 2015, 20). Munhoz *et al.* (2014) leidsid, et igas kuus tekib Brasiilias hinnanguliselt 1800 tonni autoklaaside jäätmeid, millest enamus ladestatakse prügilasse. Muuhulgas toodi välja, et aastast tekitatakse 21 600 tonni lamineeritud klaasijäätmeid. Samuti on välja toodud, et PVB kile lagunemisajaks on 500 aastat ning klaas ei ole biolagunev. (Munhoz *et al.* 2014, 588)

Calmon *et al.* (2014) toob näiteid mitmetest uuringutest, kus peenestatud klaasijäätmeid lisatakse betooni ja mördi hulka või tsementi. Calmon *et al.* (2014) uuris, kuidas purustatud mootorsõidukite klaasijäätmete fraktsioonide lisamine tsemendi hulka mõjutab tsemendi omadusi. Selgus, et liialt peenestatud fraktsiooni lisamisel suureneb vee tarbimine, millega väheneb tsemendi töövõime. Puhta tsemendiga sama konsistentsi säilitamiseks tuleks lisada superplastifikaatorit (elastsuse suurendamiseks). Muuhulgas leiti, et 5% mördi asendamisel peenestatud klaasiga olid kõige paremad mehaanilised omadused, mis sarnanesid kõige enam õige mördiga. (Calmon *et al.* 2014, 95) Lamineeritud klaasidelt eemaldatud klaasipuru (cullet) kasutatakse erinevate klaasist toodete ja klaasvilla valmistamiseks ning teiste toorainete asendamiseks (Farel *et al.* 2013). Munhoz *et al.* (2014) uurisid klaasipuru kasutusvõimalusi valge keraamika valmistamisel. Uuringuga leiti, et lamineeritud klaasi kasutamisel keraamikas on oluline klaasi ja PVB kile eraldamine teineteisest. Sarnaselt tsemendile selgus, et klaasipuru kasutamisel keraamikas on olulisel kohal purustatud fraktsiooni suurus ning taaskasutatud PVB-d tuleb eelnevalt etanoolis lahustada. (Munhoz *et al.* 2014, 588)

Kim *et al.* (2015) toob oma uurimuses välja, et võrreldes teiste klaasitüüpide ümbertöötlemisega on autoklaaside (lamineeritud klaaside) ümbertöötlemine palju kulukam.

Selleks, et soodustada selliste klaaside ringlussevõttu, tuleb välja töötada kõrge väärtusega ringlussevõetavad tooted, et kompenseerida ringlussevõtu maksumus (Kim *et al.* 2015, 20). Kim *et al.* (2015) toob välja enamlevinud tooted, mille valmistamiseks ümbertöödeldud klaasi taaskasutatakse: ökobeton, tsement, tellised ja erinevad klaaskiud. Teiste seas toodi alternatiivina välja ka tseoliit (looduses vulkaanilise päritoluga mineraal). Tuuleklaasi jäätmed on tseoliidi sünteesiks sobivad, kuna klaasi põhiliseks komponendiks on silikaat, mida pole eelnevalt teistes toodetes kasutatud. Nagu ka tsemendi puhul, mängib tseoliidi sünteesimise puhul olulist rolli ümbertöödeldud klaasi omadused, eelkõige osakeste suurus. Tseoliidi sünteesimisprotsessi alguses on pärast suure energiakuluga jahvatusprotsessi klaasiosakeste keskmine suurus 520 nm ning pärast happega töötlemist on produkti koostises 94% ränidioksiidi (Kim *et al.* 2015, 20). Tseoliite kasutatakse laialdaselt kodumajapidamistes- ja kommertsvee puhastamiseks ning vee pehendamiseks (Kar & Tewari, 2013, 364).

Interface on maailma suurim vaibatootja, kasutades tootmises aina enam keskkonnasõbralikke lahendusi. Tootmisprotsessis kasutatakse vaipade eelkatmise etapis üldjuhul lateksit, kuid Interface on leidnud mooduse, kuidas lamineeritud klaaside ümbertöötlemisel tekkinud PVB jääke saaks kasutada lateksi asemel. Ettevõtte kodulehe põhjal selgub, et lateksi asendamisel ümbertöödeldud PVB kilega vähendatakse süsiniku jalajäge 80% võrra. (Interface, 2018)

Tupý ja Petráněk (2014) on uurinud, kuidas ümbertöödeldud PVB kiht kaitseb betooni ja mörti CO<sub>2</sub> poolt põhjustatud karboniseerimise eest. Uurimusega leiti, et nii uuel PVB kihil kui ka ümbertöödeldud PVB kihil on suurepärane suutlikkus takistada CO<sub>2</sub> läbilaskvust. Tupý ja Petráněk (2014) rõhutasid, et selline ümbertöödeldud PVB taaskasutamine on kasulik rakendus tsiviilehituses ning olulisel kohal on ka keskkonnavaline panus.

Zhou *et al.* (2016) toob samuti välja, et kasutuselt kõrvaldatud sõidukite tuuleklaaside taaskasutamine on nii majanduslikult kui ka keskkonna seisukohalt olulise tähtsusega. *Ibid.* (2016) uuris, kuidas oleks võimalik romusõidukitelt efektiivselt tuuleklaas eemaldada nii, et seda saaks uuesti samal otstarbel kasutada. Muuhulgas leiti, et tuuleklaaside korduskasutusse suunamisel tarbitakse 70% vähem energiat ja 80% vähem toormaterjale võrreldes uue tuuleklaasi tootmisega. *Ibid.* (2016) tõi välja, et praegusele autode lammutustööstusele on omane tuuleklaaside ladustamine prügilasse. Peamise põhjusena toodi välja käsitsi demonteerimise vähene tõhusus, mis ei hüvita lammutamise kulusid ning seda, et demonteerimise järgselt ei ole võimalik ka lamineeritud klaasi puhta materjalina taaskasutusse suunata. (Zhou *et al.* 2016, 1)

## 2 LEHTKLAAS JA SELLE VALMISTAMINE

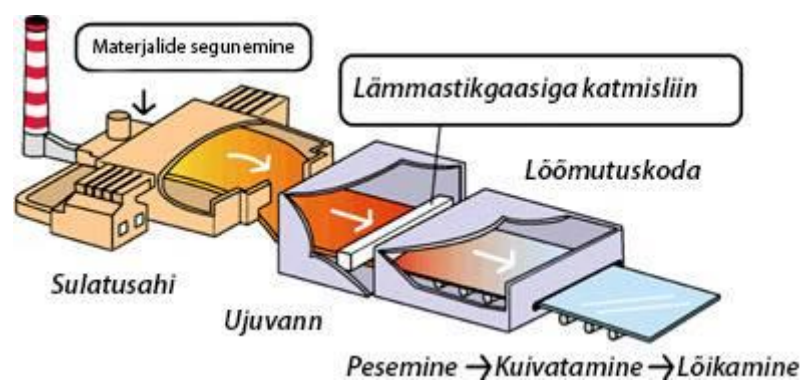
### 2.1 Lõõmutatud klaas ehk lehtklaas

Lehtklaas on tänapäeval kõige tavalisem klaasi tüüp, mida valmistatakse ujuki meetodil vedela tina vannis. Kuna tina sulamistemperatuur on madalam kui klaasil, siis jahtub klaas vedela tina pinnal ning valmib klaasist leht. Klaasi paksust reguleeritakse sulanud klaasivoolu suurendamise või vähendamisega. Kui klaas muutub tahkeks, siis jahutatakse see maha ning üleliigne pinge eemaldatakse spetsiaalses ahjus. Lehtklaas on klaasi tüüpidest kõige nõrgem, sest saab kõige vähem soojust oma pinnale (John Window Films, 2017). Lehtklaas võib puruneda nii suuremateks kui ka väiksemateks ebakorrapärasteks teravate äärtega tükkideks ning on teiste klaasitüüpide lähtematerjaliks, millest valmistatakse näiteks lamineeritud, kaetud või kuumtöödeldud klaasi. Lehtklaas on tuntud oma selguse ja heade optiliste omaduste poolest (Australian Glass & Glazing Associatin, 2015).

### 2.2 Lehtklaasi tootmine

Tööstuslik klaas, mida tänapäeval kasutatakse enamasti auto- ja ehitustööstuses, sai alguse lehtklaasi tootmisest. Erinevates tööstustes kasutatakse erinevate iseloomujoontega klaase, mis algselt on valmistatud lehtklaasist, kuid hilisemalt töödeldud vastavalt tööstusharu vajadustele. Enne 1959. aastat valmistati klaasist plaate sulatatud klaasi venitades või vormides ning hiljem seda pinda poleerides. Uus meetod aitab klaasi ujutada vedelas tina vannis, kuna tina pindpinevus ja klaasi tihedus (võrdne tina tihedusega) takistavad sulanud klaasi segunemist tinaga. Klaas vormib end ühtlaselt vedela tina pinnal ja võtab sama sileda oleku – moodustub lehtklaas. Sellise meetodi kasutamine tagab paralleelse tasapinnalisuse, kristallselge läbipaistvuse ning loob moonutustevaba pinna. Tina on oma omadustel ideaalne tasapinnalise kuju moodustamiseks, kuna see on terve protsessi vedelas olekus ning madala aururõhu tõttu petrei aurustu. Selleks, et vältida tina oksüdeerumist, toimub ujuvprotsess kaitsvas lämmastikgaasiga atmosfääris koos vesiniku lisanditega. (GUARDIAN GlassTime, 2017)

Enne lehtklaasi vormimist vedela tina vannis toimub sulamisprotsess, mis algab toormaterjalide segamisega (GUARDIAN GlassTime, 15.10.2017 ja John Window Films, 2017). Toorme segu koosneb enamasti 60% kvartsist, 20% naatriumist ja sulfaadist ning 20% lubakivist ja dolomiidist. Eelnimetatud materjalid purustatakse ja töödeldakse seguks. Umbes 80% purustatud segust segatakse kokku 20% ringlussevõetud klaasiga ning sulatatakse ahjus ligikaudu 1600 °C juures. Tulemuseks on standardile EN 572-2 naatrium-lubi-ränidioksiidklaas ehk lubisilikaatklaas ehk lehtklaas (GUARDIAN GlassTime, 2017). Enim kasutatavad koostisosad klaasi valmistamisel on ränidioksiid (tavaline liiv), naatriumkarbonaat, lubjakivi, dolomiit, päevakivi (mineraalide rühm silikaatsete kivimite moodustamiseks), naatrium sulfaat, kivisöe tolmu ja purustatud klaas (John Window Films, 2017). Pärast vedela segu klaasistumist jäetakse see jahtuma umbes 1200 °C juurde, enne kui see viiakse üle tinavanni. Lõpuks tõmmatakse vanni otsast välja umbes 3,5 m laiune pikk klaaslint. Sellel hetkel on klaaslindi temperatuur umbes 600 °C ning see jahutatakse maha toatemperatuurile väga täpsete toimingutega, et vältida püsivat pinget klaasis. Ka 250 m pikkuse jahutuslindi lõpus on klaaslindi temperatuuriks veel 50 °C. Jahutuslindi lõpus on laser, mis tuvastab erinevaid defekte nagu näiteks mullid, niidid ja sisselõiked. Vead registreeritakse automaatselt ning eemaldatakse hiljem lõikuse käigus. Eellõiked tehakse umbes 6 m vahega või vähemaga ning tehakse lindiga risti. Mõlemad lindi ääred trimmitakse siledaks ning tavaliselt kujundatakse klaasi lehed 3.21 m x 6 m, mis seejärel koheselt suunatakse töötlusesse või hoiustatakse tulevikus asetleidva töötlemise jaoks. Keskmine lehtklaasi tootmisliin on 600 m pikk, mahutades ligikaudu 70 000 m<sup>2</sup> klaasi, mille paksus on 4 mm. (GUARDIAN GlassTime, 2017) Lehtklaasi valmistamise etapid on toodud joonisel 2.1.



Joonis 2.1. Lehtklaasi valmistamise etapid. Allikas: John Window Films, 2017

Klaasi tootmisprotsessis on oluline roll kuumutamisel ning kuumus määrab otseselt ära, mis liiki klaasi soovitakse toota. Lihtsustatult võib öelda, et mida rohkem kuumust kasutatakse kogu protsessi jooksul, seda tugevam on lõpptoodang. Kõige vähem kuumust kasutatakse lõõmutatud ehk lehtklaasi valmistamisel ja kõige rohkem karastatud klaasi valmistamisel. Klaasi liigid võib jagada üldisemalt kolmeks: lehtklaas, kuumutatud klaas ja termiliselt karastatud klaas. (John Window Films, 2017)

## 3 LAMINEERITUD KLAAS

### 3.1 PVB kilega lamineeritud klaaside kasutusvaldkond

Lamineeritud klaas on oma põhimõttelt kui komposiitmaterjal, mida kasutatakse laialdaselt autotööstuses ja arhitektuuri valdkonnas (Chen *et al.* 2016, 1). Mootorsõidukite tuuleklaas ehk esiklaas koosneb tavaliselt kahest klaasiplaadist, mis on omavahel ühendatud PVB kilega (Lin *et al.* 2018, 79). Tuuleklaaside konstruksioonis on olulisel kohal lamineeritud vahekiht, mis liiklusõnnetuse korral peab vastu võtma kogu löögi energia ning mis vähendab kokkupõrkel kanduvat survet õnnetusse sattunud inimesele või loomale. Muuhulgas jääb enamik klaasikilde PVB kile külge, vähendades seeläbi märgatavalt lenduvatest klaasikildudest tulenevat ohtu inimestele. (Chen *et al.* 2016, 1)

Polüvinüülbuturaal kuulub polüvinüülatsetaadist vaikude klassi. PVB on materjalina soositud mitmetes valdkondades tänu oma suurepärasele omadustele, nagu näiteks klaasi külge kleepumisvõimele, vastupidavusele, stabiilsusele, läbipaistvusele ning mehaanilisele tugevusele ja löögikindlusele. PVB sünteesimine tööstuslikult on odav ja lihtne, kuid tootmise käigus tekkinud happesesi põhjustab seadmete korrosiooni, mis jällegi suurendab tehtavaid kulusi. (Qin & Cheng, 2016, 145) Sünteesitud PVB valmis materjalina on kallis plastik, mida kasutatakse laialdaselt mootorsõidukite tuuleklaasides, turvaklaasides ja ehitusklaasis. Peamine osa PVB kilest kasutatakse ohtusklaaside laminaadina, eriti autotööstuses, kosmoses ja arhitektuurses klaasis. Maailmas kasutatakse 65% PVB kilest autotööstuses. PVB vaikude, kilede ja lehtede turg on aastatega kasvanud ning kasvu nähakse ka edaspidiseks. Nõudluse kasv on enamasti mõjutatud Aasia ja Vaikse ookeani piirkonna nõudlusest, millele järgnevad Põhja-Ameerika ja Euroopa. Kolme piirkonna PVB kile kogunõudlus 2013. aastal oli 69,16% kogu turuosast (Swain *et al.* 2015, 615).

Lamineeritud klaas moodustab sõiduki kasuliku eluea lõpus kogumaterjalist kuni 3%. Iga tuuleklaas sisaldab ligikaudu 1 kg ringlussevõtuks sobilikku PVB kilet. Toormaterjalide nõudluse kasv, rangemad keskkonnadirektiivid ja prügilatesse ladestamise tasu tõus tekitavad nõudluse ka keskkonnasõbralike tehnoloogiate arendamiseks selliste tahkete jäätmete ümbertöötlemisel. (Swain *et al.* 2015, 615; Tupý *et al.* 2012, 133) Swain *et al.* (2015) toob välja oma uurimuses, et valdkonda uurides võib PVB kilega lamineeritud klaaside kohta leida küll mitmeid ülevaateid, poliitilisi analüüse, tööprotsessi või mõju uuringuid, kuid süstemaatilisi

uurimusi autotööstuses tekkinud klaasi ja PVB kile eraldamise kohta leidub vähe. Swain *et al.* (2015) on välja arendanud klaasi ja PVB kile eraldamise meetodi, mida kutsutakse mehhanokeemiliseks eralduseks.

### 3.2 Autotööstuses kasutatava PVB kile tootmine ja ringlussevõtt

Maailma kõigist PVB lehtedest kasutatakse 65% just autotööstuses (Tupý *et al.* 2012). Rahvusvahelise mootorsõidukite tootjate organisatsiooni (International Organization of Motor Vehicle Manufacturers ehk OICA) andmetel toodeti 2017. aastal maailmas mootorsõidukeid kokku ligikaudu 97 miljonit aastas, millest sõiduautosid ligikaudu 73 miljonit ja ühiskondlikult kasutatavaid sõidukeid ligikaudu 24 miljonit (OICA 2017). Eeldades, et üks tuuleklaas sisaldab umbes 1 kg PVB kilet, siis oleks autotööstuses kasutatava PVB kile kogumahuks ligikaudu 97 miljonit kg aastas. Lisaks tuleb veel arvestada PVB kile tootmise ülejääkidega (5%) ja tuuleklaaside tootmisel ära lõigatud äärtega (10%). (Tupý *et al.* 2012, 133) Võttes aluseks Tupý *et al.* (2012) valemi ja OICA 2017. aasta andmed, saame mootorsõidukites kasutatavaks PVB aastaseks kogutoodanguks ligikaudu 110 miljonit kg PVB kilet aastas.

PVB kile tootmisel ülejääv kile on ringlussevõtuks kõige parema kvaliteediga, kuna jäägid ei ole saastunud tolmuaga. Samas võivad esineda mõned ebaühtlased osad, nagu näiteks plastifikaatorid (sünteesilisest vaigust aine, mis soodustab plastilisust ja paindlikkust), valguse ja kuumuse stabilisaatorid, kleepuvuse parendajad, pigmendid ja muud süsteemi elemendid. Kuna jääkidel võib esineda tootmisel tekkinud defekte (paksuse, kareduse, servade jms suhtes), siis tuleb need jäägid uuesti töödelda. Igal juhul tuleb valminud PVB lehtede äärtest lõigata 10-20 cm ribad, kuna lehed, mille laius on 2-3 meetrit, tõmbuvad just äärtest 10-20 cm ulatuses kõige enam kokku. Lõigatud ääred suunatakse tagasi PVB kile tootmisesse. (Tupý *et al.* 2012, 134)

Lamineeritud tuuleklaaside valmistamisel paigaldatakse kõigepealt PVB leht kahe klaasilehe vahele. Selleks, et vähendada võimalike defektide sattumist klaasikihtide alla, paigaldatakse võimalikult suur PVB leht kahe klaasilehe vahele, mis ulatub klaaside äärtest kaugemale. Moodustunud kihid kinnitatakse nipp-rolli eellaminatsiooniprotsessiga, mis võimaldab üleliigsed PVB ääred ära lõigata. Äralõigatav kogus sõltuv toodetava tuuleklaasi geometriast

ja PVB lehe geomeetriast, moodustades autotööstuses vajaminevast PVB kile hulgas 5-10%. (Tupý *et al.* 2012, 134)

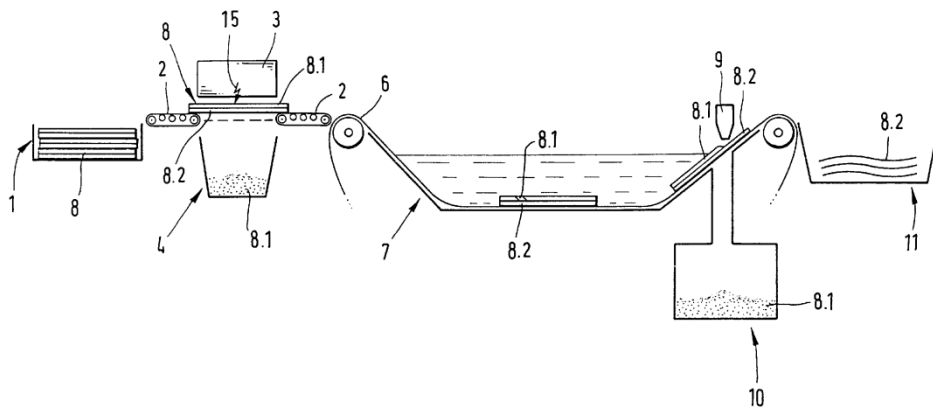
Leidub ettevõtteid, kes tegelevad ümbertöödeldud tuuleklaasidest saadud PVB kile ringlussevõtuga. Olemasolevad ringlussevõtumeetodid toodavad hea kvaliteediga klaasipuru, mida on võimalik täielikult taaskasutada klaasipartiide valmistamisel. Samas, eraldatud PVB jäätmed ei ole taaskasutatavad seoses kõrgele klaasisaldusele, vee sisaldusele ning värviosakestele PVB lehtedel. Selleks, et tuuleklaasidest saadud PVB kilet saaks taaskasutada, tuleks arendada tehnoloogiaid, mis eraldaks efektiivselt PVB kilest klaasi osakesed ning võimaldaks töödelda ringlussevõetud PVB kilet optiliste defektideta PVB kileks. Klaasilehtede vahel olev PVB leht ei puutu üldjuhul kokku UV-kiirgusega (kuni 320 nm), mehaanilise pingega, kõrgendatud temperatuuridega, hapniku ega ka erinevate ainetega. Seega peaks klaasilehtede vahel olev PVB leht säilitama väga sarnased omadused pressitud materjaliga enne lamineerimise protsessi ning seda on võimalik tihendada ja lamineerimisel kasutada uue PVB lehenä. (Tupý *et al.* 2012, 134)

### **3.3 PVB kilega lamineeritud klaaside mehhaaniline purustamine ja kile eemaldamine**

Saksa leiutajad Jürgen Hofmann ja Hans-Otto Demski esitasid 1996. aasta 2. märtsil patenteerimise avalduse lamineeritud klaasilehtede ümbertöötlemise meetodile, millega eraldati klaas kilest. Antud meetodile väljastati 5. jaanuaril 1999. aastal Ameerika Ühendriikide patent nr US5855325A. Joonisel 3.1 on näidatud patenteeritud meetodi etapid klaasi eraldamisel kilest. Kilekihi eraldamine klaasist nõuab järgnevaid samme: lamineeritud klaasilehtede purustamine purustis, purustatud klaasitükkide kuumutamine kuumutusvannis, klaasi eraldamine PVB kilest eraldussüsteemis. Klaasi eraldatakse kilekihist trummelpurusti, hammas-silinder purusti või haamerveskite abil. Selliste eraldusmeetodite abil on võimalik eraldada klaasi kilekihist hinnanguliselt 80% ulatuses. Järgneval etapil kuumutatakse klaasi- ja kilesegust jääki, mis nõrgestab materjalidevahelisi sidemeid. Selle meetodi puuduseks on purusti kulumine ning asjaolu, et kile ise on peenestatud. Samuti on puuduseks klaasitolmu



tekkimine, mis on miinuseks keskkonnasõbraliku ringlussevõtu puhul. (Hofmann & Demski, 1999)



Joonis 3.1. Lamineeritud klaasi eraldusprotsess - klaasi eraldamine kilekihist. Allikas: Hofmann & Demski, 1999

**Protsessi selgitus:**

1. Lamineeritud klaasi konteiner;
2. Konveierliin (suunab materjali edasi);
3. Eelpurusti (peenestaja);
4. Eelpurustatud klaasi kogumismahuti;
5. Kõrgepingeline elektriimpulss;
6. Konveier;
7. Kuumutusvann (eelistatult kuumaveevann);
8. Lamineeritud klaas;
- 8.1 Eelpurustatud klaasi fragmendid;
- 8.2 Kilekiht;
9. Vee kõrgsurvejoaga eraldusseade;
10. Eraldatud klaasi kogumisanum;

11. Eraldatud kile kogumisanum.

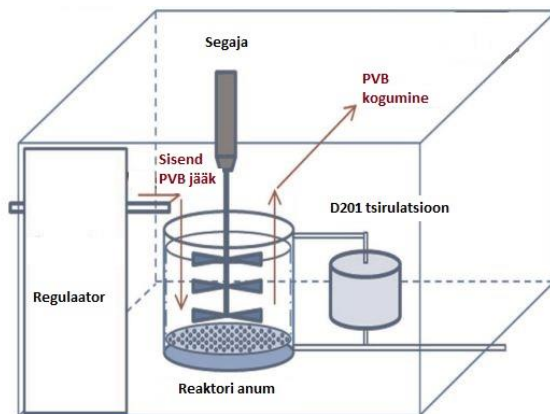
#### **Protsessi kirjeldus:**

Lamineeritud klaasipaneelid (8) viiakse konteinerist (1) konveierliini (2) kaudu eelpurustisse (3), milles antakse klaasipaneelidele kõrgepingeline elektriimpulss (5), vastavalt klaaside parameetritele, et need impulsist ajendatuna puruneks. Samas võib kasutada ka muid peenestamise meetodeid, nagu näiteks silinderpurustid jms. Eelpurustatud klaasipaneelid viiakse konveierite abil (2 ja 6) kuumutusvanni (7) 10 kuni 30 minutiks, milles temperatuur püsib eelistatult 40-70 °C juures. Kuumutusvannis toimuva protsessi tulemusel vähenevad klaasi fragmentide (8.1) ja kilekihi (8.2) vahelised jõud. Kuumutusvannist liiguvad klaasipaneelid eraldusprotsessi (9), milles kõrgsurvevedeliku (rõhk ca 6 baari) abil avaldatakse klaasipaneelidele survet ning eraldatakse klaasifragmendid ja kilekiht. Samuti võib eraldamist teostada kõrgsurve veejoa asemel kaabitsate või selle sarnaste seadmetega või hoopiski kahte protsessi kombineerides. Eraldusprotsessist (9) kukuvad eraldatud klaasi fragmendid otse klaasi kogumisanumasse (10) ja konveieri (6) abil viiakse kile kogumisanõusse 11. Soojendusvannist vesi ja kõrgsurve veejoast pärinev vesi võivad pääseda ka eraldatud klaasi ja kile kogumisanumatesse. Selline vesi eraldatakse imemise või filtrite teel, mida antud juhul protsessi joonisel ei ole näidatud. (Hofmann & Demski, 1999)

### **3.4 Klaasi ja PVB kile keemiline eraldamine teineteisest**

Autotööstuses tekkinud lamineeritud klaasijäätmed on romusõidukite ringlussevõtust ülejäänud jäägid. Lamineeritud klaasi ringlussevõtu käigus purustatakse ja jahvatatakse laminaat, et eraldada omavahel klaas ja kile. Pärast purustamist ja jahvatamist tekib 30% jääki, mis vajab materjalide eraldamiseks spetsiaalset protsessi. Pindaktiivne aine D201 soodustab klaasi ja PVB kilekihi eraldamist teineteisest. Pindaktiivsete ainete omaduseks on koguneda materjalide piirpinnale ja vähendada sellega pinnanergia. (Swain *et al.* 2015, 616) PVB kilet sisaldav segu segatakse mehaaniliselt pindaktiivse ainega D201 kindla aja jooksul, millele järgneb eraldamine roostevabast terasest sõelumisfiltriga. Joonisel 3 on näidatud mehhanokeemiline eraldusreaktor, mis koosneb põhiliselt kahest tähtsast komponendist: 1)

reaktori anum, mis on varustatud pöörleva mehaanilise segistiga ning 2) pindaktiivse aine D201 tsirkulatsiooni anum. Reaktori anumat täidetakse PVB jääkidega käsitsi ning pindaktiivset ainet D201 lisatakse aegajalt segadas tsirkulatsiooni süsteemi kaudu. Pärast lahutusprotsessi eraldatakse tahke klaas, PVB ja D201 vedelik roostevabast sõelumisfiltri abil. Eraldatud klaas, PVB kilega jääklaas ja eraldatud PVB kuivatatakse ja kaalutakse pärast eraldamist. Väljundmaterjalid kaalutakse, et teada saada töötlemisprotsessi efektiivsus. Pärast eraldusprotsessi võrreldakse eraldatud PVB kile omadusi puhta kasutamata PVB kile omadustega. (Swain *et al.* 2015, 616)



Joonis 3.2 Mehhonokeemiline eraldusreaktor. Allikas: Swain *et al.* 2015, 616

## **4 MATERJAL JA METOODIKA**

### **4.1 Uurimisstrateegia valik**

Magistritöö aluseks on 22.05.2017 kuni 18.06.2017 jäätmekäitlusega tegelevas ettevõttes Ragn-Sells AS läbitud praktika, mille eesmärgiks oli teada saada ettevõttesse jõudvad lamineeritud klaaside mahud ning praktikad, mida Eestis antud jäätmeliigi ümbertöötlemisel ja/ või taaskasutusse suunamisel rakendatakse. Praktika jooksul tutvuti Ragn-Sells AS-is rakendatavate praktikatega ning külastati ka autoklaaside tootja äriüksuse Saint-Gobain Sekurit Eesti tootmistehast Elvas. Samuti külastati AS-i Klaasimeister Kose vallas asuvat tootmistehast, kus valmivad pakettaknad, mille valmistamisel kasutatakse samuti PVB kilet.

Käesoleva magistritöö kirjutamisel on kasutatud nii kvalitatiivse kui ka kvantitatiivse uurimistöö põhimõtteid. Kvalitatiivse uurimismeetodiga on kirjeldatud, milliseid maailmas olemasolevaid tehnoloogiaid on võimalik PVB kilega lamineeritud klaaside ümbertöötlemisel kasutusele võtta. Kvantitatiivset uurimismeetodit on rakendatud Eestis tekkinud PVB kilega lamineeritud autoklaaside mahtude välja selgitamisel ning uurimisel, mis tekkinud jäätmetega tehakse.

### **4.2 Andmekogumise meetodika**

Käesoleva magistritöö kvalitatiivse osa täitmiseks on kasutatud andmebaasides olevaid teadusartikleid, ettevõtete kodulehekülgesid ning Eesti seadustes ja EL-i direktiivides toodud nõudeid. Saamaks infot probleemtooteregistriga (PROTO) seotud toimingutest ja murekohtadest, pöördus käesoleva magistritöö autor 03.03.2018 e-kirja teel Keskkonnaministeeriumi haldusalasse kuuluva Keskkonnaagentuuri andmehaldusosakonna peaspetsialisti Rain Pääreni poole. Intervjuu viidi läbi 15.03.2018 e-kirja teel. Spetsialistile esitatud küsimused on toodud Lisas 9.

Samuti koostati küsimustik (vt Lisa 8), millega sooviti jäätmekäitlusettevõtete ja tootjapoolseid arvamusid PVB kilega lamineeritud klaaside problemaatilisuse osas. Küsimustik saadeti 20.03.2018 e-kirja teel Ragn-Sells AS-ile, Eesti Keskkonnateenused AS-ile ja äriüksusele Saint-Gobain Sekurit Eesti. Ragn-Sells AS vastas küsimustikule 20.03.2018. Eesti Keskkonnateenused AS vastas 20.03.2018, et nende ettevõttes on lamineeritud klaasi käideldavad kogused väga väikesed. Äriüksuse Saint-Gobain Sekurit Eesti esindaja vastas 29.03.2018, et nende poolt üle antud klaasijäätmete kohta saab infot Ragn-Sells AS-ilt ning konfidentsiaalsuse põhimõttest lähtuvalt ei ole neil võimalik tootmisprotsessi kirjeldust jagada. Magistritöö autor soovis infot ka ettevõttelt Adelan Klaas OÜ, kuid eelnevalt kokkulepitud kõnedele hilisemalt ei vastatud. Samuti esitati 20.04.2018 e-kirja teel küsimused (vt Lisa 10) Ragn-Sells AS-i koostööpartneri Uusioaines Oy esindajale Katri Pohjola, kes vastas 23.04.2018, et seoses ärisaladusega ei ole neil võimalik ettevõttega seotud protsesside ja tehnoloogia kohta infot avaldada.

Kvantitatiivse uurimisosa rakendamiseks kogus töö auto andmeid JATS-ist. Andmed on kättesaadavad JATS-is kõige hilisemalt alates 2016. aastast ja analüüsi andmeid jäätmekoodiga 16 01 20 (mootorsõidukite autoklaas). Autor esitas 26.04.2018 Maanteeametile päringu seoses Eesti liiklusregistrist kustutatud sõidukitega. Maanteamet edastas soovitud info 16.05.2018. Esitatud andmete põhjal on võimalik hüpoteetiliselt teada saada, kui palju mootorsõidukite klaase Eestis tekib.

Töö autor küsis 15.11.2017 e-kirja teel Ragn-Sells AS-i endiselt müügi- ja klienditeenindusjuhilt Ott Alemaa'lt nende ettevõtte poolt kogutud lamineeritud klaaside koguseid. Andmed esitati ettevõtte poolt aastast 2014-2017. Esitatud andmete põhjal on võimalik ka välja selgitada, kui palju klaasijäätmeid on üle andnud mootorsõidukite klaaside tootja äriüksus Saint-Gobain Sekurit Eesti. Kvantitatiivseid andmeid analüüsi MS Office Excel 2007 programmiga.

## 5 TULEMUSED JA ARUTELU

### 5.1 Probleemtooteregistri pidamise olulisus

Töö autor pöördus Rain Pääreni poole eesmärgiga välja selgitada PROTO pidamise olulisus, registriga seotud probleemid ning murekohad. Samuti sooviti selgitusi JATS-is esitatud andmete tähenduse ja õigsuse kohta. Rain Pääreniga peetud vestlus viidi läbi e-kirja teel.

Intervjuust selgus, et jäätmekäitlusalaste statistiliste andmete kogumine aitab pidada arvestust õigusaktides sätestatud sihtarvude täitmise kohta (kogumise määrad, taaskasutamise sihtarvud jms) ning PROTO-sse kantud andmete alusel esitatakse jäätmealane teave Euroopa Komisjonile. Sarnaselt Partfitt ja Flowedew (1997) uurimusega, milles leiti, et paljudes riikides ei ole töökindlaid infosüsteeme jäätmete kohta käiva statistika kogumiseks, tões ka intervjueeritav, et PROTO kasutamisega esineb nii tehnilisi kui ka sisulisi probleeme. PROTO näol on tegemist praeguseks vananenud infosüsteemiga, mille töös esineb tõrkeid ning mille kasutajamugavus on kehv. Samuti on puudulik riskasutus teiste andmebaasidega, mis tähendab, et ettevõtted peavad korduvalt samu andmeid uuesti sisestama. Teisest küljest on probleeme ka õigusloomega, kus õigusaktid on mitmeti tõlgendatavad või ei ole selgelt sõnastatud. See omakorda aga suurendab halduskoormust ning tihtipeale küsitakse andmeid, mis sisuliselt ei ole vajalikud. Selleks, et PROTO funktsioone efektiivsemaks muuta, on valmimas uus PROTO. Selle kasutusele võtmist takistavad aga õigusaktid, mis ei ole muudatustega järgi veel jõudnud. Õigusaktidega on kavas muuta PROTO andmete esitamise vormid lihtsamaks, millega vähendatakse ettevõtete halduskoormust.

Käesoleva töö eesmärgiks on uurida PVB kilega lamineeritud autoklaaside kasutusvõimalusi, kuid mootorsõidukite autoklaaside hulka kuulub ka karastatud klaas, mida kasutatakse üldjuhul mootorsõidukite küljeklaaside ja tagaklaaside valmistamiseks. Seega uuris töö autor, kas JATS-i esitatavate andmete näol on võimalik eristada lamineeritud ja karastatud klaasi. Rain Päären tões, et PROTO-sse ega ka JATS-i esitatavate andmete näol ei ole võimalik neid klaasiliike eristada.

PROTO-sse ja JATS-i esitatud andmete põhjal on võimalik välja selgitada, kui palju erinevaid probleemtooteid ettevõtted kogusid ja käitlesid. Muuhulgas on võimalik eristada, milliseid toiminguid nendega tehti. Näiteks, kas teatud jäätmeliiki taaskasutati või eksporditi see välisriiki, kui eksporditi, siis kas EL-i liikmesriiki või väljapoole EL-i. Muuhulgas on võimalik

teada saada, kui suur kogus jäätmetest kõrvaldati prügilasse. Seega on võimalik kogutud andmete põhjal kindlaks teha, kui suur hulk jäätmetest suudeti ringlusse suunata ning kas soovitud sihtarvud on täidetud.

Rain Päärenselgitas, et probleemtoodete alla liigituvad M1, N1 ja L2e (sõiduaudod ja kaubikud) kategooria mootorsõidukite klaasid. M1, N1 ja L2e kategooria mootorsõidukite osad on Eesti ise probleemtoodete hulka määranud. Samas on lamineeritud klaasi ka näiteks veoautodel ja teistel mootorsõidukitel, kuid need on reguleerimisalast väljas. Seega ei ole probleemtoote näol küsimus klaasis, vaid mootorsõidukis ja selle osades endas. Muuhulgas kasutatakse PVB kilet aknaklaaside lamineerimisel, kuid JATS-i süsteemis ei ole võimalik ehitus- ja lammutustegevuse käigus tekkinud klaasiliike eristada. Muuhulgas ei liigitu ehitus- ja lammutustegevuse käigus tekkinud klaas ka probleemtoodete alla.

Rain Päären rõhutas käesoleva magistr töö teema olulisust, kuna romusõidukite taaskasutamise ja ringlussevõtu sihtarvud on väga kõrged – romusõidukitest peab vähemalt 95% taaskasutama ja 85% ringlusse võtma. Kõigest 5% romusõidukite massist võib kõrvaldada. Intervjueeritav juhtis tähelepanu ka asjaolule, et mootorsõidukite klaasid moodustavad umbes 2% romusõiduki massist, seega on lamineeritud klaaside taaskasutusse suunamine sihtarvude täitmise juures vajalik.

## **5.2 Jäätmekäitlejate seisukoht PVB kilega lamineeritud klaasidega seoses**

Selleks, et saada terviklikku pilti PVB kilega lamineeritud klaaside arvestuse pidamise ning tekkinud jäätmete problemaatilisuse kohta pöördus töö autor nii PROTO andmehalduri, kui ka Eesti juhtivate jäätmekäitlejate poole. Soovitud informatsiooni saamiseks pöörduti jäätmekäitlusettevõtete Ragn-Sells AS-i ja Eesti Keskkonnateenused AS-i poole ning neile esitati küsimused seoses PVB kilega lamineeritud klaaside ümbertöötlemisvõimaluste kui ka taaskasutusse suunamise kohta. Esitatud küsimused on välja toodud Lisas 8. Lamineeritud autoklaaside valmistajapoolset arvamust küsiti äriüksuselt Saint-Gobain Sekurit ning ümbertöötlemisega seotud informatsiooni sooviti saada Soome ettevõttelt Uusioaines OY.

Käesoleva magistritöö kirjutamiseks saadi klaasijäätmete koguste ja ettevõttes leiduvate praktikate kohta informatsiooni ainult Ragn-Sells AS-ilt. Seoses ärisaladustega ei olnud võimalik äriüksusel Saint-Gobain Sekurit ja Uusioaines OY-l anda sisulisi vastuseid autori poolt esitatud küsimustele. Äriüksusele Saint-Gobain Sekurit esitatud küsimused on toodud Lisas 8 ja Uusioaines OY-le Lisas 10.

### **5.2.1 Ragn-Sells AS seisukoht seoses lamineeritud klaaside problemaatilisusega**

Ragn-Sells AS alustas Eestis tööd 1992. aastal Haapsalus ning oli sellel ajal esimeseks eraomandis olevaks jäätmekäitlejaks. Tänapäeval on ettevõtte jäätmekäitlejana oluline roll nii kohalikus, riiklikus kui ka rahvusvahelises skaalas. Eestis kogutud taaskasutuseks sobivad materjalid eksporditakse üheksasse eri riiki (Ragn-Sells, 2017).

PVB kilega lamineeritud klaaside kohta avaldas arvamust Ragn-Sells AS-i materjalide müügijuht Ülo Kasema. Ragn-Sells AS-i seisukohast lähtuvalt seisneb PVB kilega lamineeritud klaaside problemaatilisus PVB kilekihi eraldamises kahe klaasikihi vahelt – PVB kile eraldamine klaasist on kulukas. Seda kinnitas ka Calmon *et al.* (2014). Ragn-Sells AS on leidnud koostööpartneri Soomes, Uusioaines OY, kes on osaliselt nii lõppkäitleja kui ka ümbertöötaja. Ragn-Sells AS-i jaoks on tegemist usaldusväärse koostööpartneriga, kelle tööd ja tehnoloogiaid on oma silmaga nähtud ning kelle tööprotsesside efektiivsuses võib kindel olla.

Ülo Kasema tõdes, et PVB kilega lamineeritud klaas on juba oma olemuselt probleemne, kuid probleeme tekitavad ka ettevõtetest ärikliendid, kes valikkogumise juures ei kogu tihtipeale puhast lehtklaasi eraldi, vaid ekslikult visatakse lehtklaasi hulka ka lamineeritud klaasi. Puhast lehtklaasi on väärtuslik materjal, mida on võimalik kergesti ümber töödelda ja taaskasutada, kuid kui lehtklaasi konteinerisse satub ka lamineeritud klaasi, siis on ümbertöötaja jaoks nõu puhas materjal rikutud. Samuti on ka elanikele mõeldud jäätmejaamades kogutava klaasi kvaliteet konteinerites halb. Kuna jäätmejaamas kogutud konteinerites on segunenud erinevad jäätmeliigid, siis selliselt kogutud jäätmed tuleb viia inertsete jäätmete ladestuspaika (Ragn-Sells AS-is ca 100 tonni aastas). Sarnaselt Ülo Kasema kommentaarile tõi Zhou *et al.* (2016) oma uurimuses välja, et lamineeritud klaasi puhta materjalina taaskasutusse suunata ei ole võimalik.



PVB kile eraldamine klaasist on väga kulukas ning nõuab spetsiaalset tehnikat. Samas on Eestis tekkivad lamineeritud klaaside jäätmemahud nii väikesed, et eritehnikasse investeerimine ei ole hetkel veel otstarbekas. Arvestades, et lähiriigis Soomes on tehnoloogia juba olemas, siis on mõistlikum Eestis tekkivad lamineeritud klaasi jäätmed sinna suunata. Uusioaines OY teeb sorteeritud klaasimurdu valguskaabli ja klaaspudeli tootmiseks ning iseseisvalt toodetakse kergkruusa. Kuna inertsete jäätmete ladestamine prügilasse on kulukas, siis tuleb jäätmetekitajal kanda ka vastavad kulud, mis tekivad lamineeritud klaasi ümbertöötlemisel ja selle transpordil Soome.

Käesoleva töö autor pöördus e-kirja teel ka Uusioaines Oy teenindusjuhi Katri Pohjola poole, soovides infot nende poolt rakendatavate praktikate kohta. Katri Pohjola vastas e-kirja teel, et autori poolt soovitud info on ettevõtte konfidetsiaalne info ning neil ei ole võimalik jagada informatsiooni protsesside ja tehnoloogia kohta. Samas tõi Uusioaines Oy esindaja oma vastuskirjas välja, et lamineeritud klaas on Soomes maksustatav jääde, mis kogutakse kokku, ümbertöödeldakse ja suunatakse ringlusesse. Töödeldud lamineeritud klaasist saadakse ümbertöödeldud klaas (inglise k *cullet*), mida on võimalik kasutada erinevatel eesmärkidel, näiteks klaasvilla, pakendiklaasi ja vahtklaasi tootmiseks. Lamineeritud klaasi ümbertöötlemisel tekkinud muu materjal suunatakse võimaluse korral ringlusse või taaskasutatakse. Katri Pohjola ütles, et 2017. aastal kogus nende ettevõtte umbes 8000 tonni lamineeritud klaasi. Muuhulgas täpsustati, et Uusioaines Oy on lamineeritud klaaside ümbertöötlemisega tegelenud juba üle 15 aasta.

### **5.3 Eestis tekkinud klaasijäätmete kogused**

Tabelis 5.1 on esitatud 2012-2016. aasta andmed Eestis tekkinud mootorsõidukite klaaside koguste kohta (t/a). Kogutekkelt on aastast aastasse klaasijäätmete kogused suurenenud, samas taaskasutusse suunatavate jäätmete kogused on muutuvad. Kõige suuremad taaskasutuse kogused on olnud aastal 2015 (176 924 t/a) ning väikseim taaskasutuse kogus on olnud aastal 2013 (65 216 t/a). JATS-i esitatud andmete põhjal on näha, et prügilasse ladestatavad kogused on suurenenud. JATS-i statistika kohaselt ladestati 2012. aastal prügilasse 1,342 tonni mootorsõidukite klaase, kuid 2016. aastal on see kogus suurenenud

lausa 149,570 tonnini. Aastatel 2013-2014 ei ole infosüsteemi kohaselt prügilasse ladestatavaid koguseid olnud. Igal aastal esitatakse jäätmearuande kohuslaste poolt JATS-i jäätmearuanne eelneva aasta kohta uue aasta 31. jaanuariks, mille õigsuse üle Keskkonnaamet kontrolli teostab. Seega ei ole võimalik tabelis kajastada 2017. aasta andmeid, kuna Keskkonnaamet teostab veel esitatud andmete üle kontrolli.

Tabelis 5.1 on toodud iga aasta kohta laoseis aruande perioodi lõpus ja alguses. Selgub, et laoseisud eelneva aruande perioodi lõpus ja uue perioodi alguses ei ole omavahel võrdsed. See võib olla tingitud sellest, et ettevõtted võivad esitada andmeid erinevatel aastatel erinevalt või uue aruandeperioodi algseisu on lisandunud need ettevõtted, kes eelnevatel aastatel ei ole aruannet üldse esitanud või ei ole eelnevalt klaasijäätmete kogumist kajastanud. Muuhulgas on tähelepanuväärne asjaolu, et prügilasse ladestamist on aastatel 2012-2013 kajastatud 0 tonni. Tabeli 5.1 andmete põhjal tundub, et prügilasse ladestamine ei ole justkui probleem, kuid 2016. aastal on näha märkimisväärset prügilasse ladestamise tõusu kuni 149,570 tonnini aastas. Samas võivad statistilised andmed olla eksitavad, kuna aruande esitajad võivad mootorsõidukite klaasijäätmeid aruannetes kajastada vale koodiga. Keskkonnaameti spetsialisti sõnul tuleb tihtipeale ette olukordi, kus ettevõtted ekslikult ei kajasta jäätmeliike tekke valdkonna järgi, vaid käsitlevad neid kui jäätmekäitluse tegevusel tekkinud jäätmeid (jäätmenimistu kood 19 12 05). Kui ettevõttele on väljastatud jäätmeluba erinevate klaasiliikide käitlemiseks, siis ei ole põhjust ka aruannete kontrollimisel kahelda, et jäätmekoodid ettevõtete poolt käideldavate jäätmetega ei klapi.

Tabel 5.1. Aastatel 2012-2016 Eestis tekkinud mootorsõidukite klaaside kogused (t/a). Allikas: Jäätmearuandluse infosüsteem, 2018

Aasta	Laoseis aruande perioodi alguses (t/a)	Koguteke (t/a)	Taaskasutus (t/a)	Ladestatud prügilasse (t/a)	Eksport (t/a)	Laoseis aruande perioodi lõpus (t/a)
2012	101,324	81,135	118,631	0	0	61,765
2013	63,565	115,959	65,216	0	0	92,723

Tabel 5.1 järg

Aasta	Laoseis aruande perioodi alguses (t/a)	Koguteke (t/a)	Taaskasutus (t/a)	Ladestatud prügilasse (t/a)	Eksport (t/a)	Laoseis aruande perioodi lõpus (t/a)
2014	90,671	184,640	164,398	0	0	110,373
2015	97,76	233,778	176,924	1,342	0	152,622
2016	152,672	498,077	85,338	149,57	175,08	205,731

Tabelis 5.2 on kajastatud aastatel 2012-2016 Eestis jäätmekäitluse tulemusel tekkinud (jäätmekood 19 12 05) ja olmejäätmete seast välja sortitud (jäätmekood 20 01 02) klaasijäätmete prügilasse ladestamise kogused tonnides. Enamikel aastatel jäävad prügilasse ladestatavad jäätmekogused alla 1 tonni aastas, välja arvatud 19 12 05 koodiga jäätmed 2012. aastal (4,12 tonni) ja 2015. aastal (68,08 tonni). Tabeli 5.2 andmetest on näha, et ka teistes valdkondades tekkinud klaasijäätmete ladestamise kogused ei ole väga suured.

Tabel 5.2. Aastatel 2012-2016 Eestis jäätmekäitluse tulemusel tekkinud ja olmejäätmete seast välja sortitud klaasijäätmete prügilasse ladestamise kogused. Allikas: Jäätmearuandluse infosüsteem, 2018

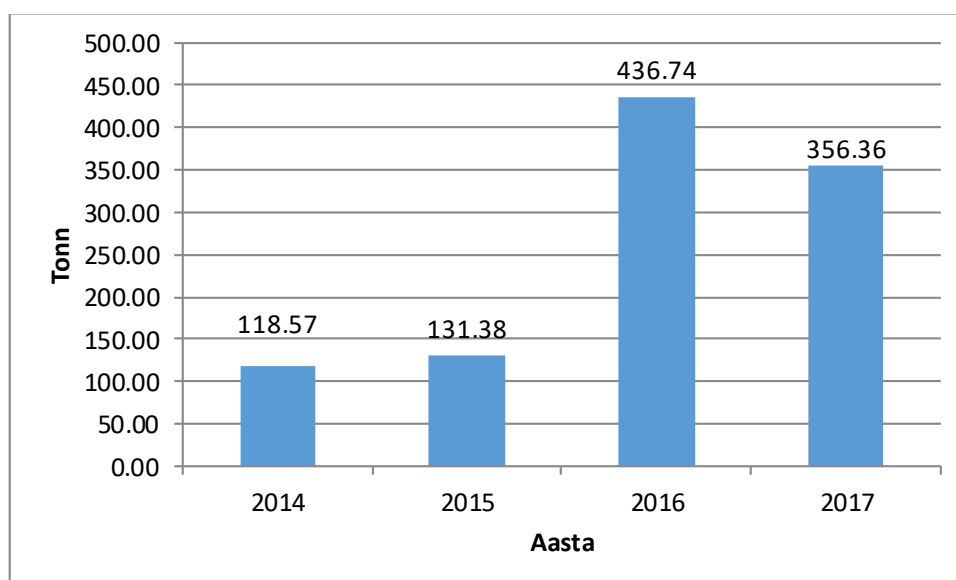
Aasta	Jäätmekäitlusettevõtte tegevuse tulemusel tekkinud klaas (t/a)	Olmejäätmete seast välja sortitud klaasijäätmed (t/a)
2012	4,12	0,32
2013	0	0,02
2014	0,70	0,04
2015	68,08	0
2016	0	0,72

Maanteeametile tehtud päringu kohaselt kustutati 2017. aastal Eesti liiklusregistrist 15 853 M1-M1G (sõiduaudod ja bussid) kategooriasse ja 905 N1-N1G (kaubikud ja veoautod) kategooriasse kuuluvat sõidukit (Maanteeamet, 2018). Tehes üldistatud arvutuse ning võttes arvesse, et keskmine Balti riikide sõiduauto kaalub 1526 kg (Lamine & Lõhmuste, 2014), millest klaas moodustab umbes 3% sõiduki kasuliku eluea lõpus, siis ainuüksi Eestis kõrvaldatud sõidukite kogumass oleks ligikaudu 24 200 tonni, milles leiduks taaskasutatavat klaasi ligikaudu 726 tonni. Tegelikult võib see kogus veel suurem olla, kuna N1-N1G kategooriasse kuuluvad

ka bussid, mille klaasid on võrreldes sõiduautoklaasiga suuremad. Samuti jäid näitlikust arvutusest välja kaubikud ja veoautod, mille klaasid on samuti sõiduauto klaasidega võrreldes suuremad.

## 5.4 Ragn-Sells AS-is kogutud klaasijätmed

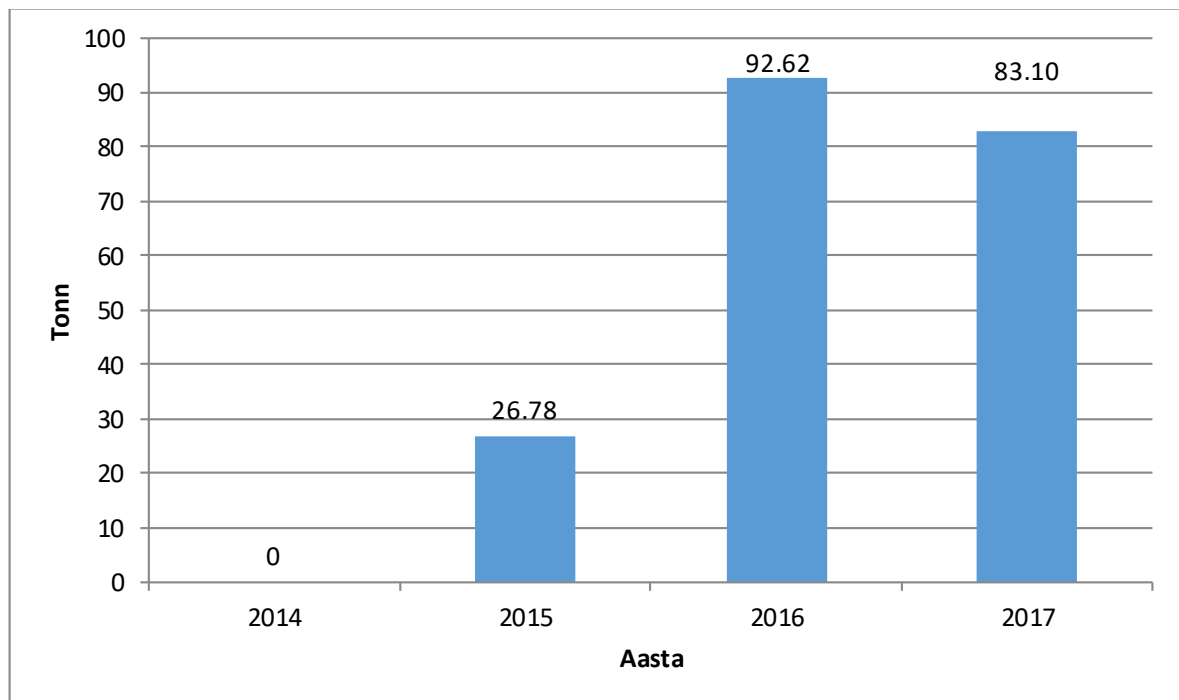
Joonisel 5.1 on toodud Ragn-Sells AS-is 2014-2017 aastal kogutud klaasijätmete kogused. Joonisel 5.1 toodud andmetest on näha, et võrreldes varasemaga (2014 ja 2015. a) on kogutud klaasijätmete kogus umbes kolmekordistunud. Lähiaastatel on kõige enam kogutud mootorsõidukite klaase 2016. aastal (436,74 tonni) ning kõige vähem 2014. aastal (118,57 tonni). Kui võrrelda tabeli 5.1 ja 2016. aasta andmeid joonisel 5.1, siis selgub, et enamik Eestis tekkinud mootorsõidukite klaasijätmetest kogutakse Ragn-Sells AS-is. Aastal 2016 oli mootorsõidukite klaasijätmete koguteke 498,077 tonni ja Ragn-Sells AS-is koguti samal aastal 436,74 tonni mootorsõidukite klaasijätmeid. See tähendab, et kõigest 61,337 tonni mootorsõidukite klaasijätmeid koguti kokku kõikide teiste ettevõtete poolt.



Joonis 5.1 Ragn-Sells AS-is kogutud mootorsõidukite klaasijätmete kogused aastatel 2014-2017 (t/a).

Allikas: Ragn-Sells AS, 2017

Joonisel 5.2 on toodud äriüksuse Saint-Gobain Sekurit Eesti poolt Ragn-Sells AS-ile üle antud mootorsõidukite klaasijäätmete kogused aastatel 2014-2017. Äriüksus Saint-Gobain Sekurit Eesti ei andud 2014. aastal mootorsõidukite klaasijäätmeid Ragn-Sells AS-ile üle. Eeldatavasti tehti koostööd mõne teise jäätmekäitlejaga. Kõige rohkem on mootorsõidukite klaasijäätmeid üle antud 2016. aastal (92,62 tonni) ja kõige vähem 2015. aastal (26,78 tonni). Seega on üle antud klaasijäätmete kogused kolmekordistunud. Samuti anti 2017. aastal üle 83,10 tonni mootorsõidukite klaasijäätmeid.



Joonis 5.2 Äriüksuse Saint-Gobain Sekurit Eesti poolt Ragn-Sells AS-ile üle antud mootorsõidukite klaasijäätmete kogused aastatel 2014-2017 (t/a). Allikas: Ragn-Sells AS, 2017

## 5.5 Järeldused

Käesoleva magistritöö eesmärgist lähtuvalt selgitati uurimistöö käigus välja, et JATS-i esitatud andmete kohaselt tekib Eestis kuni 500 tonni mootorsõidukite klaasijäätmeid aastas. Taaskasutusse suunatavate jäätmete kogused on olnud aastast aastasse erinevad, kuid jäävad vahemikku 80 – 180 tonni aastas.

Analüüsitava statistika põhjal selgus, et aastatel 2012-2014 ei ladestatud mootorsõidukite klaasijäätmeid prügilasse, kuid 2015. aastal ladestati ligikaudu 1,5 tonni ja 2016. aastal ligikaudu 150 tonni. Samas võib esitatud info olla puudulik, kuna ei ole teada, kui suur hulk mootorsõidukite klaasidest suunatakse romusõidukite purustamisel kergfraktsiooni näol prügilasse. Sarnaselt Zhou *et al.* (2016) väidega tõi ka PROTO andmehaldur intervjuus välja, et romusõidukite lammutajad ei pruugi tuuleklaase eemaldada ning need ladustatakse koos purustatud kergfraktsiooniga prügilasse. Prügilasse ladestamise tendentsi kinnitasid ka Calmon *et al.* (2014) ja Kim *et al.* (2015).

Käesoleva magistritööga selgus, et ligikaudu 90% Eestis tekkinud mootorsõidukite klaasijäätmetest kogutakse Ragn-Sells AS-i poolt. Selgus, et Ragn-Sells AS-is ei ole olemasolevat tehnoloogiat, millega oleks võimalik lamineeritud klaasijäätmeid ümbertöödelda. Nende poolt kogutud klaasijäätmed saadetakse koostööpartneri juurde Soome, kes valmistab ka ümbertöödeldud materjalidest vahtklaasi (inglise keeles foam glass). Farel *et al.* (2013) poolt nimetatud ümbertöödeldud materjali taaskasutamise võimalusi rakendatakse ka Soomes taaskasutuse läbinud materjalide puhul (taaskasutamine klaasvilla tootmiseks ning tootmaterjalide asendamisel). Teadaolevalt puuduvad Eestis sellised jäätmekäitlejad, kellele oleks võimalik antud klaasiliiki ümbertöötlemiseks üle anda. Sarnaselt Swain *et al.* (2015) ja Tupý *et al.* (2012) ütles ka Ragn-Sells AS-i poolt intervjuueeritav, et prügilasse ladestamise tasu tõus on suunanud neid otsima alternatiive lamineeritud klaaside prügilasse ladestamisele.

Parfitt ja Flowerdew (1997) poolt välja toodud väide, et paljudes arenendunud riikides ei ole välja töötatud süstemaatilist ja usaldusväärset infosüsteemi sai kinnitust. Töö käigus selgus, et JATS-i esitatud andmed ei kajasta soovitud infot ning pole teada, millise kvaliteediga on esitatud andmed. Kõiki jäätmeliike esitatakse aruandluses kindla koodiga, kus mootorsõidukite klaaside koodiks on 16 01 20. Aruannetes kajastatud 16 01 20 koodiga jäätmekoguste juures ei ole võimalik kindlaks teha, kui suur hulk klaase on lamineeritud ja kui suur hulk karastatud klaasi. Samuti ei ole selge, kas prügilasse ladestamise koguseid on kajastatud õige

jäätmekoodiga (16 01 20). Kuna Eestis ei ole olemasolevat tehnoloogiat mootorsõidukite klaaside ümbertöötlemiseks, siis on antud jäätmeliigiga tegelemiseks hetkel kaks võimalust: eksportida riiki, kus on olemasolev tehnoloogia (näiteks Soome) või prügilasse ladestamine.

Käesoleva magistritöö kirjutamisel selgus, et olemasolevaid uurimusi lamineeritud klaaside ümbertöötlemise kohta Eestis ei leidu. Muuhulgas ei leidu ühtegi dokumenti, milles oleks käsitletud erinevaid tehnoloogilisi võimalusi. Sarnasele olukorrale viitas ka Swain *et al.* (2015), kus töö välja, et valdkonda uurides võib PVB kilega lamineeritud klaaside kohta leida küll mitmeid ülevaateid, kuid süstemaatilisi uurimusi autotööstuses tekkinud klaasi ja PVB kile eraldamise kohta leidub vähe.

## KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö teemaks oli PVB kilega lamineeritud mootorsõidukite klaaside ümbertöötlemise võimalused ja potentsiaal Eestis. Magistritöö eesmärgiks oli välja selgitada, kui palju PVB kilega lamineeritud mootorsõidukite klaase Eestis tekib ning milliseid praktikaid lamineeritud klaaside ümbertöötlemisel või taaskasutusse suunamisel rakendatakse. Töö esimeseks hüpoteestiks oli, et Eestis tekkivad lamineeritud klaaside kogused ei ole tervikliku tehnoloogi välja arendamiseks piisavad ning teiseks, et suur hulk lamineeritud klaasijäätmeid ladestatakse prügilatesse.

Jäätmeseaduse kohaselt kuuluvad mootorsõidukid ja nende osad probleemtoodete hulka, mille arvestuse üle peetakse eraldi probleemtooteregistrit PROTO. Probleemtoodeteks peetakse tooteid, mille jäätmed põhjustavad või võivad põhjustada oma kasutusea lõpus tervise- või keskkonnaohtu või muidu häiringuid, sh keskkonna risustumist. Seega kuuluvad mootorsõidukite klaasid probleemtoodete hulka. PVB kilega lamineeritud mootorsõidukite klaasid on ohutusklaasid, mis kaitsevad avarii korral klaasist läbipaiskumise või väliste objektide sissetungi eest. PVB kilega lamineeritud mootorsõidukite klaasid koosnevad kahest klaasikihist, mida eraldab PVB kile. Lamineeritud klaasid on oma olemuselt probleemsed tooted, kuna kahe erineva materjali eraldamine teineteisest on keeruline ja kulukas ning vajab eritehnoloogiat.

Vastavalt püsitatud uurimusküsimustele selgus, et jäätmearuandluse infosüsteemi kohaselt tekkis Eestis 2016. aastal ligikaudu 500 tonni mootorsõidukite klaasijäätmeid, millest ligikaudu 85 tonni suunati taaskasutusse, ligikaudu 150 tonni ladestati prügilasse ning ligikaudu 175 tonni eksporditi Soome. Samas näitas infosüsteemi tehtud päring, et 2012-2014. aastal ei ladestatud mootorsõidukite klaasijäätmeid prügilasse, mis justkui näitab, et Eestis klaasijäätmete prügilasse ladestamisega probleemi ei esine. Töö autor pöördus statistiliste andmete kogumise ning analüüsimisega seotud küsimustega PROTO andmehalduri Rain Päären'i poole. Rain Päären'iga tehtud intervjuust selgus, et PROTO näol on tegemist iganenud registriga, milles esineb nii tehnilisi kui ka sisulisi probleeme. Samuti on probleeme õigusloomega, kus õigusaktid on mitmeti tõlgendatavad või ei ole selgelt sõnastatud. See omakorda aga suurendab halduskoormust ning tihtipeale küsitakse andmeid, mis sisuliselt ei ole vajalikud. Kuna mootorsõidukite klaaside hulka kuulub lisaks lamineeritud klaasile ka karastatud klaas, siis soovis töö autor teada, kas jäätmearuandlusega seotud registrites on



võimalik eristada, milliste mootorsõidukite klaasijäätmete kohta andmeid esitatakse. Selgus, et JATS-i esitatud andmete põhjal ei ole võimalik eristada, millise konkreetse klaasitüübiga on tegu ning seega ei saa kindel olla, kui palju 2016. aastal tekkinud mootorsõidukite klaasidest olid lamineeritud. Töö autor küsis Rain Päärnen'ilt arvamust JATS-i päringuga saadud tulemuste kohta, mille kohaselt 2012-2014. aastal ei ladestatud mootorsõidukite klaase prügilasse. Andmehaldur tõdes, et jäätmearuande kohuslaste poolt võivad jäätmeliigid olla kajastatud teiste koodidega (mitte mootorsõidukite klaasijäätmete koodiga 16 01 20) ning mootorsõidukite klaasijäätmed võivad olla kajastatud mootorsõidukite kergfraktsiooni all. See tähendab, et romusõidukite lammutuskodades ei ole kasutuselt kõrvaldatud sõidukitelt enne purustamist klaasi eemaldatud ning see saadetakse kergfraktsioonina prügilasse ladestamisele.

Maanteeametile tehtud päringu kohaselt kustutati 2017. aastal Eesti liiklusregistrist 15 853 M1-M1G (sõiduautod ja bussid) kategooriasse ja 905 N1-N1G (kaubikud ja veoautod) kategooriasse kuuluvat sõidukit. Tehes üldistatud arvutuse ning võttes arvesse, et keskmine Balti riikide sõiduauto kaalub 1526 kg (Lamine & Lõhmuste, 2014), millest klaas moodustab umbes 3% sõiduki kasuliku eluea lõpus, siis ainuüksi Eestis kõrvaldatud sõidukite kogumass oleks ligikaudu 24 200 tonni, milles leiduks taaskasutatavat klaasi ligikaudu 726 tonni. Tegelikuses võib on see kogus veel suurem, kuna N1-N1G kategooriasse kuuluvad ka bussid, mille klaasid on võrreldes sõiduautoklaasiga suuremad. Samuti jäid näitlikust arvutusest välja kaubikud ja veoautod, mille klaasid on samuti sõiduauto klaasidega võrreldes suuremad.

Magistritöö autor pöördus Eestis leiduvate lamineeritud klaaside ümbertöötlemise ja taaskasutusse suunamisel kasutatavate praktikate teada saamiseks erinevate jäätmekäitlejate poole, kellest Ragn-Sells AS jagas oma kogemusi. Ülo Kasema selgitas, et PVB kilega lamineeritud klaaside problemaatilisus seisneb ümbertöötlemise protsessi kulukuses. Samuti tõdeti, et Eestis tekkivad lamineeritud klaaside jäätmemahud on liiga väikesed ning eritehnikasse investeerimine ei ole hetkel veel otstarbekas. Ettevõtte saadab kogutud lamineeritud klaasijäätmed usaldusväärse koostööpartneri juurde Soome. Koostööpartner Uusioaines OY teeb sorteeritud klaasimurdu valguskaabli ja klaaspudeli tootmiseks ning iseseisvalt toodetakse ka kergkruusa. Töö autor võttis ühendust Uusioaines OY esindaja Katri Pohjola'ga, kes selgitas, et nende poolt ümbertöödeldud lamineeritud klaasist on võimalik toota klaasvilla, pakendiklaasi ja vahtklaasi. Lamineeritud klaasi ümbertöötlemisel tekkinud muu materjal suunatakse võimaluse korral ringlusse või taaskasutatakse. Katri Pohjola ütles, et 2017. aastal kogus nende ettevõtte umbes 8000 tonni lamineeritud klaasi.

Ragn-Sells AS-i poolt esitatud klaasijäätmete koguste analüüsimisel selgus, et viimase nelja aasta jooksul on ettevõttes kogutud klaasijäätmete kogused suurenenud. Ettevõtte kogus 2016. aastal 436,74 tonni ja 2017. aastal 356,36 tonni mootorsõidukite klaasijäätmel. Eestis tekkinud ja Ragn-Sells AS-is kogutud mootorsõidukite klaasijäätmete võrdlemisel 2016. aasta näitel selgus, et ligikaudu 88% jäätmearuandluse infosüsteemis kajastatud mootorsõidukite klaasijäätmetest on kogutud Ragn-Sells AS-i poolt.

Uurimistöö tulemusel selgus, et jäätmearuandluse infosüsteemi põhjal ei ole võimalik mootorsõidukite lamineeritud klaasijäätmete täpset kogust välja selgitada, kuna süsteemis ei ole võimalik eristada lamineeritud ja karastatud klaasi. Samuti ei pruugi päringutulemused olla täpsed, kuna ettevõtte võivad klaasijäätmete koguseid esitada valede koodidega (mitte 16 01 20 koodiga) ning teadmata hulk mootorsõidukite klaasijäätmel läheb romusõidukite purustamisel kergfraktsiooni näol prügilatesse ladestamisele. Tulevikus tasuks täpsete koguste välja selgitamiseks pöörduda jäätmetekitajate ehk lammutuskodade poole ning uurida, kui palju lamineeritud klaasijäätmel tekib. Samas andis uurimistöö ülevaate suurusjärgust, kui palju mootorsõidukite klaase tekib ning annab võrdluseks Soomes kogutud aastase lamineeritud klaaside mahu (8000 tonni). Võttes arvesse, et lähiriigis Soomes on juba toimiv tehnoloogia olemas, mille ümbertöötlemise tulemusena on võimalik ümbertöödeldud materjale ringlusesse võtta, siis praeguste välja selgitatud koguste põhjal ei ole otstarbekas ettevõtetel terviklikku tehnoloogiat välja arendada. Samale järeldusele on jõudnud ka Ragn-Sells AS-i poolt intervjueritav Ülo Kasema.

Käesolev magistr töö loob eeldused äriplaani koostamiseks ning annab suunitlused edaspidiseks uurimiseks. Käesoleva tööga ei ole uuritud ehitusvaldkonnas tekkivaid lamineeritud klaasijäätmel koguseid, mis on oma olemuselt sarnased mootorsõidukite klaasidega. Seega tuleks äriplaani koostamisel arvesse võtta nii mootorsõidukite klaasijäätmel koguseid kui ka lamineeritud ehitusklaasi koguseid. Oluline on teada, et sarnaselt mootorsõidukite klaasidele, ei ole võimalik jäätmearuandluse infosüsteemis eristada lehtklaasi ja lamineeritud klaasi. Seega tuleks pöörduda otse lamineeritud klaaside tootjate poole tootmisjääkide väljaselgitamiseks ning jäätmekäitlejate poole, et välja selgitada nende poolt kogutud kogused. Samuti oleks soovitatav uurida, kui palju lamineeritud klaasijäätmel tekib Lätis ja Leedus ning mida tekkinud klaasijäätmel kogustega tehakse.

# SUMMARY

## POSSIBILITIES AND POTENTIAL OF RECYCLING PVB LAMINATED WINDSHIELDS IN ESTONIA

Dagny Kungus

The subject of this Master's thesis was to find possibilities and potential of recycling PVB laminated windshields in Estonia. The aim was to find out how much automotive PVB film laminated glass accumulates in Estonia and what practices are applied to the recycling or re-use of this laminated glass. The first hypothesis of the work was that the quantities of laminated glass produced in Estonia are not sufficient to develop a complete technology. The second hypothesis was that a large number of laminated glass waste is deposited in landfills.

According to established research findings from the Waste Information System in 2016 around 500 tons of motor vehicle glass waste was generated in Estonia. About 85 tons of it was re-used, 150 tons used as landfill, and approximately 175 tons was exported to Finland. At the same time the inquiry from the information system showed that in the year 2009 and 2012-2014, no glass waste from motor vehicles was used as landfill which suggests that there is no problem with using glass waste as landfill in Estonia. According to the Estonian Waste Act, the motor vehicles and their parts are considered as products of concern. There is a special register for products of concern called PROTO. Those products are considered as waste which may pollute the environment at the end of their use or cause other disturbances, including environmental degradation. That is why motor vehicle glass is among the products of concern. Polyvinylbutural (PVB) film laminated vehicle glass is safety glass that protects against shattering or external object invasion in case of an accident. The glass consists of two layers of glass separated by a PVB film. Laminated glass is an inherently problematic product since the separation of the two different materials from each other is complicated and costly and requires special technology.

The author interviewed PROTO Data Administrator Rain Päären with questions related to the collection and analysis of statistical data. The interview revealed that PROTO is an outdated registry that has both technical and substantive issues. There are also problems with legislation which is ambiguous or not clearly formulated. This, in turn, will increase the administrative burden and often ask for data that is essentially unnecessary. As the glass of motor vehicles includes tempered glass in addition to laminated glass, the author wanted to

know if it is possible to distinguish different glass waste types in the present data. It turned out that it is not possible to distinguish types of glass based on the data provided by JATS in the registry. Thus it is uncertain how much of the glass waste of motor vehicles generated in 2016 was laminated. The author asked Rain Päärnen for an opinion on the results of the JATS Query. It stated that in the year 2009 and 2012-2014, no glass waste from motor vehicles was deposited in landfills. The Data Manager acknowledged that in the waste report, waste types may be reported by other codes (other than motor vehicle glass waste with the code 16 01 20), and glass waste may be registered under light fraction of motor vehicles which is generated by crushing unused motor vehicles. This means that demolition and dismantling yards may not remove the glass before the vehicles are being crushed and it gets sent as lightweight fraction along with everything else to landfills.

According to a request from the Estonian Road Administration in 2017, 15,853 M1-M1G (cars and buses) and 905 N1-N1G (vans and trucks) were removed from the Estonian Traffic Register. By making a generalized calculation and taking into account that the average passenger car in the Baltic States weighs 1526 kg (Lamine & Cleavages, 2014), of which about 3% is glass at the end of the life of the vehicle, the total mass of vehicles removed in Estonia would be approximately 24,200 tonnes, of which the recyclable glass is about 726 tons. In reality, this quantity can be even higher, as the N1-N1G category also includes buses with glasses larger than the cars glass. Also glasses of vans and trucks were left out of the illustrative calculation.

The author approached various waste handlers to find out the practices used to recycle laminated glasses in Estonia. Ragn-Sells AS was the only waste handler who shared this experience. Ragn-Sells AS contact person Ülo Kasema explained that the problem with PVB film laminated glass is the cost of the recycling process. It was also recognized that the waste volumes of laminated glass in Estonia is too small which makes investment in specialty equipment not feasible at this time. The company sends collected laminated glass waste to a trusted partner in Finland. The author contacted the representative of Uusioaines Oy Katri Pohjola, who explained that it is possible to produce glass wool, glass packaging and foam glass from recycled laminated glass. Other material from the recycling process will be reused or recovered wherever possible. Katri Pohjola said that in 2017, their company received about 8,000 tons of laminated glass

Analyzing the amount of glass waste presented by Ragn-Sells AS revealed that the amount collected by the company over the last four years has increased. The company collected

436.74 tonnes in 2016 and 356.36 tonnes in 2017. Comparing the total glass waste from motor vehicles generated in Estonia and the glass waste from Ragn-Sells AS in 2016 showed that about 88% of the glass waste from motor vehicles recorded in the Waste Information System was collected by Ragn-Sells AS.

As a result of the research, it became clear that the waste management systems information system makes it impossible to determine the precise amount of laminated glass waste from motor vehicles, as it is not possible to distinguish laminated and tempered glass. Similarly, query results may not be accurate, as companies can provide glass waste quantities with false code (not 16 01 20 code), and an unknown number of glass waste from motor vehicles goes into landfill from demolition by presenting it as light-duty fragmentation. In the future, it would be worthwhile to turn to the waste generators or the demolition yards to determine exactly how much laminated glass waste is generated. At the same time, the research gave an overview of the magnitude of how much glass waste of motor vehicles is produced and a comparison with the estimated annual volume of laminated glass (8000 tonnes) collected in Finland. Given that there is already a functioning technology in Finland which results in the recycling of materials, it is not practical for companies in Estonia to develop integrated technology based on the current findings. The interviewed Ülo Kasema from Ragn-Sells AS has come to the same conclusion.

This master's thesis creates prerequisites for the preparation of a business plan and provides guidance for further research. This work does not investigate the amount of laminated glass waste from the construction sector, which is essentially similar to that of motor vehicles. Therefore, the business plan should take into account both the quantities of glass waste from motor vehicles and the quantities of laminated construction glass. It is important to know that, similar to those for motor vehicles, it is not possible to distinguish between flat glass and laminated glass in the waste management information system. Therefore, direct producers of laminated glass should be contacted to find out the production residues and the waste handlers in order to find out the quantities they have collected. It would also be advisable to investigate how much laminated glass waste is produced in Latvia and Lithuania and the amount of total glass waste produced.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

Aolaid, A. (2005). Romusõidukite käitlemine Eestis : magistritöö. Tartu : Tartu Ülikool.

Australian Glass & Glazing Association. (2015). Glass Types. <http://www.agga.org.au/glass-info/glass-types> (15.10.2017)

Calmon, J. L., Sauer, A. S., Vieira, G. L., Teixeira, J. E. S.L. (2014). Effects of windshield waste glass on the properties of structural repair mortars. - *Cement and Concrete Composites*, 53, 55-96. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.04.008>

Chen, S., Z, M., Wang, D., Zheng, Z., Zhao, C. (2016). Finite element modelling of impact damage in polyvinyl butyral laminated glass. - *Composite Structures*, 138, 1-11. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.11.042>

Crystal India. Toughened Glass. <http://www.crystal-india.com/products-page/toughened-glass/toughened-glass/> (25.04.2018)

Dagny Kungus. (2017). Isiklik fotovaramu - jäädvustus ettevõtte Klaasigrupp OÜ tööpäevast.

Eesistumine 2017. Euroopa Liidu direktiivide ülevõtmine. <https://www.eesistumine.ee/et/73-euroopa-liidu-direktiivide-ulevotmine> (27.11.2017)

Eesti keele seletav sõnaraamat. Konvektsioon  
<http://www.eki.ee/dict/ekss/index.cgi?Q=konvektsioon&F=M> (24.05.2018)

Eesti keele seletav sõnaraamat. Vahtklaas  
<http://www.eki.ee/dict/ekss/index.cgi?Q=vahtklaas&F=M> (24.05.2018)

Encyclopædia Britannica. Glassmaking In the Laboratory.  
<https://www.britannica.com/topic/glass-properties-composition-and-industrial-production-234890/Glassmaking-in-the-laboratory#ref608377> (24.05.2018)

Euroopa Liidu Infokeskus. Seadusandlus. <https://elik.nlib.ee/seadusandlus/> (27.11.2017)

Euroopa Parlamendi ja Euroopa Liidu nõukogu direktiiv 2000/53/EÜ, 18. september 2000, kasutuselt kõrvaldatud sõidukite kohta. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/?uri=celex:32000L0053> (27.11.2017)

Farel, R., Yannou, B., & Bertoluci, G. (2013). Finding best practices for automotive glazing recycling: A network optimization model. *Journal of Cleaner Production*, 52, 446-461. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.022>

GSC Glass Ltd. Heat Strengthened Glass. <http://www.gscglass.com/heat-strengthened-glass> (27.04.2018)

GUARDIAN GlassTime. Basic types of Glass. [http://www.sunguardglass.fr/cs/groups/sunguardeurope/documents/web\\_content/prd\\_054769.pdf](http://www.sunguardglass.fr/cs/groups/sunguardeurope/documents/web_content/prd_054769.pdf) (15.10.2017)

Hofmann, J., Demski, H.O. (1999). Method of separating glass from film in the recycling of laminated glass panes : US5855325A US (1). Google Patents (27.04.2018)

Interface. Recycled PVB – From Windscreens to Carpet [http://www.interface.com/EU/en-GB/about/modular-carpet-tile/PVB-en\\_GB](http://www.interface.com/EU/en-GB/about/modular-carpet-tile/PVB-en_GB) (27.04.2018)

John Window Films. Glass Types. [http://www.johnsonwindowfilms.com/dealer/articleView.php?ARTICLE\\_ID=172](http://www.johnsonwindowfilms.com/dealer/articleView.php?ARTICLE_ID=172) (15.10.2017)

John Window Films. History of Glass. [http://www.johnsonwindowfilms.com/dealer/articleView.php?ARTICLE\\_ID=170](http://www.johnsonwindowfilms.com/dealer/articleView.php?ARTICLE_ID=170) (15.10.2017)

Jäätmearuandluse infosüsteem. <https://jats.keskkonnainfo.ee/main.php?public=1> (01.04.2018)

Jäätmeseadus. (Vastu võetud 28.01.2004, muudetud, täiendatud, viimati jõustunud 04.07.2017). – Elektrooniline Riigi Teataja <https://www.riigiteataja.ee/akt/114062013006?leiaKehtiv> (27.11.2017)

Jäätmete liigitamise kord ja jäätmenimistu<sup>1</sup> (Vastu võetud 14.12.2015 määrus nr 70, muudetud, täiendatud, viimati jõustunud 01.01.2016). – Elektrooniline Riigi Teataja [https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1181/2201/5014/KKM\\_m70\\_lisa.pdf#](https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1181/2201/5014/KKM_m70_lisa.pdf#) (27.11.2017)

Kar, S., Tewari, P. K. (2013). Nanotechnology for domestic water purification - *Nanotechnology in Eco-Efficient Construction*, 364-427. DOI:<https://doi.org/10.1533/9780857098832.3.364>

Keskkonnaministeerium. Laiendatud tootjavastutus ja probleemtooted. <http://www.envir.ee/et/laiendatud-tootjavastutus-ja-probleemtooted> (01.02.2018)

Keskkonnaministeerium.

Probleemtooteregister.

[http://proto.keskkonnainfo.ee/?page=pub\\_startup&u=20140528005810](http://proto.keskkonnainfo.ee/?page=pub_startup&u=20140528005810) (17.11.2017)

Kim, J. C., Choi, M., Song, H. J., Park, J. E., Yoon, J. H., Park, K. S., Kim, D. W. (2015). Synthesis of uniform-sized zeolite from windshield waste. - *Materials Chemistry and Physics*, 166, 20-25.

DOI:<https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2015.09.028>

Lamine, B., Lõhmuste, E. (2014). Do the Baltic States need to tax passenger cars more?

Directorate General for Economic and Financial Affairs. DOI:doi:10.2765/91146

Maanteeamet. (2018). Maanteeametile 26.04.2018 teostatud infopäring.

Mootorsõidukitest ja nende osadest tekkinud jäätmete kogumise, tootjale tagastamise ning taaskasutamise või kõrvaldamise nõuded ja kord ning sihtarvud ja sihtarvude saavutamise tähtajad (Vastu võetud 17.06.2010, muudetud, täiendatud, viimati jõustunud 09.07.2010) – Elektrooniline Riigi Teataja <https://www.riigiteataja.ee/akt/13335797> (27.11.2017)

Munhoz, A.H., Faldini, S.B., De Miranda, L.F., Masson, T.J., Maeda, C.Y., Zandonadi, A.R. (2014).

Recycling of automotive laminated waste glass in ceramic. – *Materials Science Forum*, 798 – 799, 588 – 593.

OICA - The International Organization of Motor Vehicle Manufacturers. (2017).

<http://www.oica.net/category/production-statistics/2017-statistics/> (21.03.2018)

O'Rielly Collision Centers. (2017). Auto Glass facts that could save your life.

<http://oriellycc.com/auto-glass-facts-that-could-save-your-life/> (27.04.2018)

Parfitt, J.P., Flowerdew, R. (1997). Methodological problems in the generation of household waste statistics: An analysis of the United Kingdom's National Household Waste Analysis Programme. - *Applied Geography*, 17 (3), 231-244.

Qin, X. X., & Cheng, Z. L. (2016). Application of ionic liquids as a catalyst in the synthesis of polyvinyl butyral (PVB) polymer. - *Chinese Chemical Letters*, 27, 145-148.

Ragn-Sells AS. (2017). Ragn-Sells AS-is kogutud mootorsõidukite klaasijäätmete kogused aastatel 2014-2017.

Saint-Gobain Glass India. Heat Strengthened glass. <http://in.saint-gobain-glass.com/appcommportalchilddetail/855/853/531> (27.04.2018)



Scheuten. Double insulation glass. <https://www.scheuten.com/en/insulation-glass/functionalities/double-insulation-glass> (27.04.2018)

Statistikablogi. (2015). Eestis käib autoga tööl iga teine hõivatu <https://blog.stat.ee/2015/09/17/eestis-kaib-autoga-tool-iga-teine-hoivatu/> (27.11.2017)

Swain, B., Ryang Park, J., Yoon Shin, D., Park, K. S., Hwan Hong, M., Gi Lee, C. (2015). Recycling of waste automotive laminated glass and valorization of polyvinyl butyral through mechanochemical separation. - *Environmental Research*, 142, 615-623. DOI:10.1016/j.envres.2015.08.017

Zhou, Z., Dai, G., Guo, G., Zhang, C., Tan, H. (2016). A Study on Cutting Trajectory Planning for Windshield Reuse of ELV. – *International Journal of Simulation*, 17 (49), 1 – 5. DOI: DOI 10.5013/IJSSST.a.17.49.14

The Window Company. (2017). Laminated Glass Vs Toughened Safety Glass. <https://thewindowco.co.uk/blog/laminated-glass-vs-toughened-safety-glass/> (27.04.2018)

Tupý, M., & Petránek, V. (2014). Use of Recycled PVB as a Protection against Carbonation. - *Engineering and Technology International Journal of Civil and Architectural Engineering*, 8, 541-544. DOI:urn:dai:10.1999/1307-6892/9998525

Tupý, M., Měřínská, D., Kašpárková, V. (2012). PVB Sheet Recycling and Degradation. - *In Material Recycling - Trends and Perspectives*. China : InTech. DOI: 10.5772/36838

Wing Onn Aluminium Decoration. Our Products. <http://www.wingonn.com.my/Products.html> (27.04.2018)

Vitro Architectural Glass. Heat Treated Glass for Architectural Glazing (Tech. No. TD-138). PPG Industries.

**LISAD**

## Lisa 1 Kuumutatud klaasi kasutamine arhitektuuris



Allikas: GSC Glass LTD, 2018.

**Lisa 2 Purunenud karastatud mootorsõiduki tagaklaas**



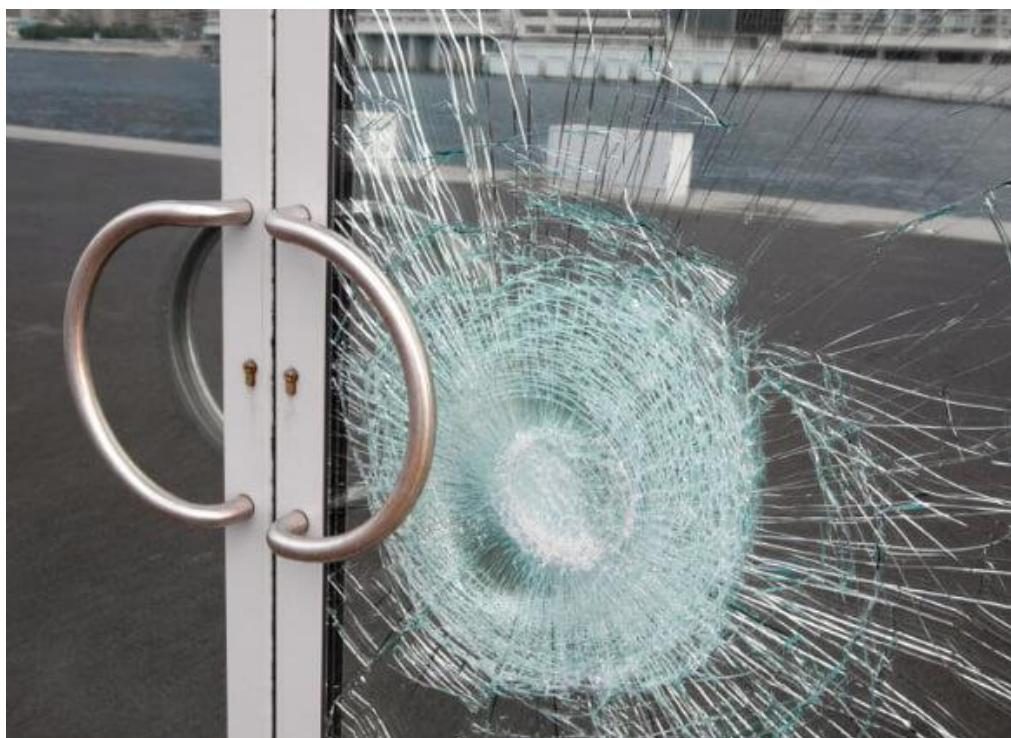
Allikas: O'Rielly Collision Centers, 2018.

**Lisa 3 Karastatud klaasist valmistatud kaubanduskeskustes kasutatavad poodide välisseinad**



Allikas: Wing Onn Aluminium Decoration, 2018.

#### Lisa 4 Lamineeritud klaasist poeuks



Allikas: The Window Company, 2017.

## Lisa 5 Isolatsioonklaasid

Kahekordne  
isolatsioonklaas

Kolmekordne  
isolatsioonklaas



Allikas: Scheuten, 2018.

**Lisa 6 Tüüpiline purunenud kuumutatud klaas**



Allikas: Vitro Architectural Glass, 2018.



**Lisa 7 Tüüpiline purunenud karastatud klaas**



Allikas: Vitro Architectural Glass, 2018.

## Lisa 8 Küsimustik jäätmekäitlejatele ja mootorklaaside tootajale

Tere!

Mina olen Dagny Kungus, Tallinna Tehnikaülikooli Tartu Kolledži tööstusökoloogia magistriõppe tudeng. Valisin oma magistritöö teemaks „Polüvinüülbuturaalist kilega lamineeritud mootorsõidukite klaaside ümbertöötlemise võimalused ja potentsiaal Eestis“. Sellega seoses soovin oma töös käsitleda Eestis leiduvaid lahendusi, mida rakendatakse lamineeritud klaasijäätmete ümbertöötlemisel ja taaskasutusse suunamisel. Vajalike andmete saamiseks vajan ma Teie abi ning olen selle jaoks koostanud alljärgneva küsimustiku.

1. Mis teeb lamineeritud klaasist probleemse toote/ jäätmeliigi?
2. Kirjeldage, millise lahenduse on valinud Teie ettevõtte lamineeritud klaaside taaskasutusse suunamiseks? Palun selgitage, miks olete just sellise lahenduse valinud.
3. Millised on takistused ja murekohad taaskasutusse suunamisel?
4. Kui võimalik, palun tooge välja taaskasutusse suunamise protsent lamineeritud klaaside kogumahust?
5. Milline oleks parim võimalik lahendus, mida saaks rakendada lamineeritud klaaside ümbertöötlemisel ja taaskasutusse suunamisel? Mis on selle Eestis rakendamise takistuseks?
6. Kuidas taaskasutatakse Teie poolt edasi suunatud lamineeritud klaaside jäätmeid?
7. Millised on lähiriikide praktikad, mida oleks võimalik Eestis eeskujuks võtta?
8. Palun selgitage, kas lamineeritud klaaside ümbertöötlemine ja taaskasutamine on ettevõttele mõttekas tegevus (majanduslikult kasulik) või tehakse seda keskkonnanõuete täitmise eesmärgil.

Tänan!

## Lisa 9 Küsimustik probleemtooteregistri haldurile Rain Päären

Tere!

Mina olen Dagny Kungus, Tallinna Tehnikaülikooli Tartu Kolledži tööstusökoloogia magistriõppe tudeng. Valisin oma magistritöö teemaks „Polüvinüülbuturaalist kilega lamineeritud mootorsõidukite klaaside ümbertöötlemise võimalused ja potentsiaal Eestis“. Magistritöö üheks osaks on kajastada Eestis tekkivaid lamineeritud klaasi koguseid ning meetodeid, kuidas statistilisi andmeid kogutakse. Vajalike andmete saamiseks vajan ma Teie abi ning olen selle jaoks koostanud alljärgneva küsimustiku.

- 1) Palun selgitage, miks on probleemtooteregistri pidamine oluline?
- 2) Millised on probleemtooteregistriga esinevad probleemid/ murekohad?
- 3) Kuidas oleks võimalik neid murekohti leevendada?
- 4) Kuidas ja kas eristatakse autoklaaside puhul lamineeritud ja karastatud klaase?
- 5) Milliseid teadmisi/ informatsiooni annavad ettevõtete poolt esitatud andmeid mootorsõidukite klaaside osas?
- 6) Miks mootorsõidukite klaasid on jäätmetena probleemsed, kuid lamineeritud aknaklaasid mitte? Kas lamineeritud aknaklaaside jäätmete koguseid oleks võimalik teada saada?
- 7) Palun avaldage arvamust, kas lamineeritud klaaside ümbertöötlemisvõimalusi ja taaskasutust käsitlev magistritöö on oluline? Kas ja miks oleks oluline leida lahendus lamineeritud klaaside ümbertöötlemisele ja taaskasutamisele?

Tänan!

## Lisa 10 Küsimustik ettevõttele Uusioaines OY

Hello!

My name is Dagny Kungus and I am a student from Tallinn University of Technology. Last summer I was a trainee in Ragn-Sells Estonia where  lo Kasema was my supervisor. In that time  lo sent an email about me to Mr. Tuomas Jaaskelainen, that I am looking for solutions how to separate glass from PVB film. Unfortunately my time of practice went so fast and i couldn't contact with him. Right now I am writing my Master's thesis and purpose of this letter is to get to know is it possible to cooperate with your company. I have compiled the following questionnaire to obtain the necessary information.

- 1) If you can, please describe your recycling processes.
- 2) How many percentages by-waste is produced with recycling?
- 3) What are the main difficulties in this separating procedure?
- 4) How do you valuate laminated glass waste quality that comes from Estonia?
- 5) What are the process outputs? Where the outputs (glass and PVB) are used in future (what companies and what kind of products)?
- 6) Why is the laminated glass problematic product for your opinion?
- 7) How long have you recycled laminated glass?
- 8) Why is recycling this kind of problematic waste important for your company?
- 9) How much laminated glass waste is collected in Finland? How is collecting regulated in Finland? 10) If you can share, then I would like to know how much laminated glass you recycle every year.

Thank you!