



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND



**Eesti Maaülikool**

Estonian University of Life Sciences

---

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

## VANAREHVIDE UTILISEERIMINE EESTIS

DISPOSAL OF OLD TIRES IN ESTONIA  
MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Marten Lillemäe

Üliõpilaskood: 153454AAHM

Juhendaja: Eduard Latõšov

Tallinn 2017

## 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.

“24” mai 2017

Autor: .....  
/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“24” mai 2017

Juhendaja: .....  
/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....” .....2017 .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....  
/ nimi ja allkiri /

# Lõputöö kokkuvõte

<i>Autor:</i> Marten Lillemäe	<i>Lõputöö liik:</i> Magistritöö
<i>Töö pealkiri:</i> Vanarehvide utiliseerimine Eestis	
<i>Kuupäev:</i> 24.05.2017	65 lk
<i>Ülikool:</i> Tallinna Tehnikaülikool	
<i>Teaduskond:</i> Inseneriteaduskond	
<i>Instituut:</i> Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut	
<i>Töö juhendaja(d):</i> Eduard Latõšov	
<i>Töö konsultant (konsultandid):</i>	
<i>Sisu kirjeldus:</i> Antud magistritöö eesmärgiks on uurida vanarehvide probleemi Eestis, vaadelda erinevaid tehnoloogiaid, mida kasutatakse Eestis vanarehvide utiliseerimiseks ning planeerida sobiva tehnoloogia kasutamist Eestisse.  Töö jaguneb viieks jaotiseks. Esimeses jaotises tutvustatakse vanarehvide olukorda – vanarehvidega seonduvat seadusandlust, vanarehvide tekke ja hinnangulist kogust, rehvide tootjavastutusorganisatsioone ning taaskasutustasu suurendamise vajalikust. Teises jaotises uuritakse vanarehvidega kaasnevaid keskkonnamõjusid, seletatakse lahti rehvide koostis, uuritakse rehvimägede tekkimisel kaasnevaid keskkonnamõjusid, keemiliste ainete eraldumist loodusesse ning haiguste levikut rehvimägedes. Töö kolmandas osas uuritakse rehvide utiliseerimiseks kasutatavaid tehnoloogiaid – purustamist, pürolüüsimist, põletamist kütusena, asfaldi – tsemendi valmistamist, devulkaniseerimist ning protekteerimist. Töö neljandas osas antakse ülevaade Eestis tegutsenud ning tegutsevatest ettevõtetest, kes tegelevad ja on tegelenud rehvide ümbertöötlemisega. Töö viimases peatükis planeeritakse vanarehvide pürolüüsijaama rajamist Eestisse, kus antakse ülevaade dimensioneerimisest, asukohast, vaadeldakse sobivat tehnoloogiaid ning pakutakse välja sobivaim tehnoloogia rehvide pürolüüsimiseks. Ülevaade antakse ka vanarehvide pürolüüsijaama produktidest, arvutatakse pürolüüsijaama tasuvusaeg, tehakse KMK analüüs ning tundlikkuse analüüs produktide turu hinna kohta. Antakse ülevaade ka pürolüüsijaama mõjudest Eesti riigile ning lähisriikidele.	

Lõputöö tugineb artiklitele, teaduslikele uuringutele ning artiklitele, rehvide tootjavastutusorganisatsioonide ekspert hinnangule ja informatsioonile.

*Märksõnad:* Vanarehvide ümbertöötlemine, keskkonnamõjud, utiliseerimine Eestis, ümbertöötlemise tehnoloogiad, rehvide pürolüüsimine, rehvide purustamine, rehvipuru.

# Summary of the Diploma Work

<i>Author:</i> Marten Lillemäe	<i>Type of the work:</i> Master Thesis
<i>Title:</i> Disposal of old tires in Estonia	
<i>Date:</i> 24.05.2017	65 pages
<i>University:</i> Tallinn University of Technology	
<i>Faculty:</i> School of Engineering	
<i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Tutor(s) of the work:</i> Eduard Latõšov	
<i>Consultant(s):</i>	
<i>Abstract:</i> The aim of this master thesis is to research the issues around waste tires in Estonia of which technologies are currently applied for the utilization/recycling of tires and what other appropriate technologies can be applied.  The paper is divided into 5 sections. In the first section an overview of the current state of waste tire management is provided: waste tire legislation, waste tire genesis and amount in Estonia, TVO-s and the need of rising recycling fee. In second section the environmental effects of waste tires are investigated with specifically the components of tires, environmental dangers of tire mountains and the resulting extraction of chemicals and diseases. In the third section tire utilization technologies such as: shredding, pyrolysis, burning as fuel, asphalt-cement making, devulcanizing and making new tires from old are discussed. In the fourth section an overview of previously existed and still existing companies who deal with tires recycling is given. In the last section the planning of waste tire pyrolysis plant is discussed with an overview of the optimal dimensioning, location and technologies. Moreover, an overview is provided about pyrolysis plant products, calculation of pyrolysis plant breakeven point, KMK analysis and a elasticity analysis about the products market price. Lastly an overview of the effects of pyrolysis plant to Estonia and neighbouring countries is provided.  The paper is based on scientific articles, research papers, and information from tire manufacture experts.	

*Keywords: Scrap tire recycling, environmental impacts, disposal in Estonia, recycling technologies, tire pyrolysis, tire shredding, tire crumbs*

# Sisukord

<b>Lõputöö ülesanne.....</b>	<b>9</b>
Teema põhjendus: .....	10
Töö eesmärk:.....	10
Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:.....	10
Lähteandmed:.....	10
Lõputöö konsultandid (vajadusel):.....	10
<b>Eessõna .....</b>	<b>11</b>
<b>Sissejuhatus.....</b>	<b>12</b>
<b>1. Vanarehvide olukord Eestis .....</b>	<b>14</b>
1.1 Vanarehvide käitlemise seadusandlik taust.....	14
1.2 Vanarehvide tekke ja hinnanguline kogus .....	14
1.3 Tootjavastutusorganisatsioonid.....	16
1.3.1 MTÜ <i>Rehviringlus</i> .....	16
1.3.2 <i>Rehviliit</i> .....	17
1.4 Taaskasutustasu tõstmise vajalikkus .....	17
<b>2. Vanarehvidega kaasnevad keskkonnamõjud .....</b>	<b>18</b>
2.1 Rehvide koostis.....	18
2.2 Rehvimägede tekkimine.....	19
2.3 Keemiliste ainete eraldumine loodusesse.....	19
2.4 Haiguste levik .....	21
<b>3. Rehvide utiliseerimiseks kasutatavad tehnoloogiad.....</b>	<b>23</b>
3.1 Purustamine.....	23
3.2 Pürolüüsimine .....	25
3.3 Põletamine kütusena .....	26
3.4 Asfaldi - tsemendi valmistamine.....	27
3.5 Devulkaniseerimine .....	27
3.6 Vanarehvide ümbertöötlemine uuteks rehvideks .....	28
<b>4. Utiliseerimine Eestis .....</b>	<b>29</b>
4.1 Eestis tegutsevad suuremad rehvide ümbertöötlejad ja tehnoloogia.....	29
4.2 VKG ja Enefiti katsetused rehvide pürolüüsimiseks.....	29
4.3 Hansa Biodiesel.....	31
<b>5. Rehvide pürolüüsijaama ehitamine Eestisse.....</b>	<b>35</b>
5.1. Pürolüüsijahase dimensioneerimine.....	35
5.1 Pürolüüsijaama asukoht .....	36
5.2 Tehnoloogia valik .....	38
5.3 Produktid.....	39
5.3.1 <i>Pürolüüsiõli</i> .....	40
5.3.2 <i>Carbon black</i> .....	42
5.3.3 <i>Pürolüüsigaas</i> .....	44
5.3.4 <i>Metall</i> .....	44
5.4 Majanduslik tasuvus.....	45
5.5 Pürolüüsijaama mõju Eestile ning lähisriikidele.....	51
<b>Lõputöö kokkuvõte .....</b>	<b>53</b>
<b>Kasutatud kirjandus .....</b>	<b>56</b>

<b>Lisad .....</b>	<b>62</b>
<b>L.1 Raadi rehvimägi.....</b>	<b>63</b>
<b>L.2 Vanarehvide põleng.....</b>	<b>64</b>
<b>L.3 Vanarehvide pürolüüsijaam .....</b>	<b>65</b>



# Lõputöö ülesanne

Lõputöö teema:	<b>Vanarehvide utiliseerimine Eestis</b>
Üliõpilane:	<b>Marten</b> <b>Lillemäe,</b> <b>AAHM153454</b>
Eriala:	<b>Hajaenergeetika</b>
Lõputöö liik:	<b>Magisritöö</b>
Lõputöö juhendaja	<b>Eduard Latõšov</b>
Lõputöö esitamise tähtaeg:	<b>25.05.2017</b>

---

Üliõpilane (allkiri)

---

Juhendaja (allkiri)

---

Instituudi direktor (allkiri)

## **Teema põhjendus:**

Vanarehvide ümbertöötlemise probleem on Eestis olnud väga pikalt, kus Eestis ei ole konkreetset tehnoloogiat probleemi lahendamiseks. Teema käsitus on oluline nii Eesti riigi kui ka inimeste jaoks kuna vanarehvid võivad ohustada nii keskkonda kui ka inimesi. Eestis ei ole hetkel piisavalt ümbertöötlemise võimsust, konkreetset tehnoloogiat, mis suudaks ümber töödelda suures koguses vanarehve. Vanarehvide probleemi aktuaalsus on viimaste aastate jooksul oluliselt tõusnud järjest suurenevate vanarehvide koguste tõttu. Antud töö annab ülevaate tehnoloogiast, keskkonnamõjudest ning pakub välja Eesti jaoks sobiva tehase rajamist

## **Töö eesmärk:**

Töö eesmärgiks on uurida vanarehvide probleemi ning pakkuda välja lahendus vanarehvide ümbertöötlemiseks suures mahus.

## **Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:**

Põhilisteks uurimisülesanneteks on vanarehvide hetkeseis Eestis, keskkonnamõjud, ümbertöötlemis tehnoloogiad ning Eestile sobiva tehnoloogia pakkumine vanarehvide ümbertöötlemiseks

## **Lähteandmed:**

Püstitatud eesmärkide lahendamiseks kasutatakse erinevaid artikleid, teaduslikke uurimustöid ning eksperthinnanguid.

## **Lõputöö konsultandid (vajadusel):**

---

Konsultant nimi (allkiri, kuupäev)

---

Konsultant nimi (allkiri, kuupäev)

## Eessõna

Lõputöö idee on tekkinud koostöös KEMOIL OÜ-ga, kelle abiga on kogutud materjali töö valmimiseks ning saadud hinnapakumisi pürolüüsijaamade rajamise kohta. Kuna Eestis on hetkel murekoht vanarehvide käitlemine ning utiliseerimine, on teema väga aktuaalne. Hetkel kasutatakse vanarehve purustatuna erinevate kummimattide ning laste mänguväljakute valmistamiseks, kuid suurem potentsiaal on vanarehvidel kütusena ning erinevate produktide toormena.

Käesolevaga soovib autor tänada eelkõige oma juhendajat ning teisi, kes on andnud informatsiooni töö valmimiseks.

Autori alaline elukoht on Uue-Eerika 5, Haaslava, Tartumaa.

## Sissejuhatus

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on uurida vanarehvide ümbertöötlemise probleemi Eestis, vaadelda erinevaid tehnoloogiaid, mida kasutatakse Eestis vanarehvide utiliseerimiseks, ning planeerida sobiva tehnoloogia kasutamist Eestis. Töö käigus antakse ülevaade vanarehvide utiliseerimise olukorrast, keskkonnamõjudest, rehvide utiliseerimiseks kasutatavatest tehnoloogiast ning ümbertöötlemisega tegelevatest ettevõtetest Eestis. Töös tehakse ka põhjalikum ülevaade vanarehvide pürolüüsijaama võimalikust ehitamisest Eestisse, antakse ülevaade tehase rajamisest ning vajalikest etappidest tehase ehitamisel.

Eestis toimub rehvide kogumine tootjavastutusorganisatsiooni kaudu, kus rehvide maaletoojad maksavad iga ostetud rehvi pealt utiliseerimistasu tootjavastutusorganisatsioonile, kes kogub vanarehvid kokku ning suunab need ümbertöötlemisse. Hetkel valitseb Eestis vanarehvide turul olukord, kus tootjavastutusorganisatsioonide kogumispunktidesse viiakse illegaalselt rehe, mille pealt ei ole makstud taaskäitlustasu. Kasvavad vanarehvide kogused on viinud tootjavastutusorganisatsioone maksejõuetuseni. Ümbertöötlemisel on Eestis probleemiks ka liialt väike taaskäitlustasu, mis on viinud mõned rehvide ümbertöötledjad maksejõuetuseni. Seetõttu jääb suur osa vanarehvidest hetkel Eestis ümber töötlemata. Töös antakse ka ülevaade taaskäitlustasude tõstmise vajalikkusest ning rehvipurustamise hindadest.

Kuna ümbertöötlemata rehvide kogused kasvavad ning looduses ladestunud rehvimägede hulk suureneb, kaasnevad ka sellega suuremad keskkonnaohud. Üheks suurimaks on rehvimägede põlengud, mis võivad aset leida nii tahtlikult kui ka tahtmatult. Rehvide põlengutest eraldub väga mürgist suitsu, mis tekitab inimestele raskeid tervisekahjustusi ning mõningatel juhtudel võivad rehvipõlengud põhjustada inimeste suremist. Teaduslike uuringute põhjal võivad ladestatud vanad rehvid ning rehvipuru reostada pinnast ning pinnavett. Töös on ka uuritud vanarehvidest valmistatud laste mänguväljakuid, mis võivad rehvide keemilise struktuuri tõttu olla mürgised. Rehvimäed on ka heaks elukeskkonnaks erinevatele kahjuritele ning loomadele, kes võivad levitada erinevaid haiguseid ning viiruseid, mis võivad olla inimestele kahjulikud.

Kuna rehvid on hetkel probleemtoode ning reostavad keskkonda, parendatakse pidevalt tehnoloogiaid ning otsitakse võimalusi vabaneda laiuvatest rehvimägedest ning muuta vanad rehvid väärtuslikeks produktideks. Eestisse tekib aastas hinnanguliselt 10 000 – 15 000 t vanarehve, millest hetkel suunatakse ümbertöötlemisse umbes 7000 - 8000 t. Eestis on kokku hinnanguliselt 30 000 – 50 000 t rehe, mis on ladestatud rehvimägedena ning mis on lihtsalt

loodusesse visatud. Vanarehvide kogus suureneb iga-aastaselt, kuna prognooside kohaselt suureneb ka uute autode hulk ning järjest rohkem tuuakse Eestisse uusi autosid, millega lisanduvad ka rehvid.

Hetkel ümbertöötlemiseks kasutatavatest tehnoloogiatest on kõige vanem ning enim levinud purustamine, kus põhiliselt kasutatakse kolme tüüpi purustamist mehaaniline purustamine, krüoogenpurustamine ning purustamine osooni abil. Purustatud rehvidest valmistatakse kummimatte, mänguväljakute katteid ning neid kasutatakse ka kütusena koostootmisjaamades. Ameerikas ning Kanadas on levinud vanarehvide kasutamine ka tee ehituses. Uuemates tehnoloogiates, milleks on pürolüüsimine ning devulkaniseerimine, saadakse vanadest rehvidest erinevate protsesside käigus mitu uut produkti.

Eestis on tegutsenud ning tegutsevad vanarehvide ümbertöötlemisesektoris paljud ettevõtted, millest enamus on kasutanud purustamise tehnoloogiat ning müünud rehvipuru edasi erinevate kummitoodete valmistamiseks. Ka kasutatakse Eestis vanu rehve kütusena - näiteks Iru jäätmejaamas põletatakse aastas 5000 t vanu rehve. Eesti kahes suures energeetikafirmas -Viru Keemia Grupp (VKG) ning Enefit - on katsetatud vanarehvide pürolüüsimist, kuid katsetustest pole kaugemale jõutud. Veel on Eestis olnud mitmeid ettevõtteid, kes on tegelenud rehvide pürolüüsimisega, näiteks Hansa Biodiesel, kes on mitmetel põhjustel pidanud oma tootmise sulgema.

Tehnoloogiatest on vanarehvide ümbertöötlemiseks hetkel kõige perspektiivikam pürolüüsimine. Kuna Eestis on vanarehvide sektoris olukord, kus ei ole piisavalt ümbertöötlemisvõimsust, pakutakse antud magistritöös välja idee rajada Eestisse vanarehvide pürolüüsamise tehas. Tehases on võimalik toota kolme väärtuslikku produkti, milleks on õli, *carbon black* ning gaas. Töös antakse detailne ülevaade planeeritavast jaamast ning produktidest.

Töö koostamisel on tuginetud erinevatele teaduslikele töödele ning artiklitele, kasutatud on veel eelnevaid uurimistöid antud teemadel. Lisaks on suheldud pürolüüsitehnoloogia erinevate pakkujatega ja arvatud välja pürolüüsijaama tasuvusaeg ning kaalutud erinevaid majanduslikke stsenaariumeid.

Teema valikut võib põhjendada vanarehvide teema aktuaalsusega ning probleemile lahenduse leidmisega, kuna hetkel ei ole Eestis terviklikku lahendust, kuidas lahendada vanarehvide taaskasutuse probleem

# 1. Vanarehvide olukord Eestis

Selles peatükis antakse ülevaade vanarehvide käitlemise seadusandlikust raamistikust, hinnatakse vanarehvide tekkekoguseid ning üldkogust. Eraldi alapeatükis iseloomustatakse nii hetkel eksisteerivaid kui ka varem töötanud vanarehvide utiliseerimisega seotud ettevõtteid.

## 1.1 Vanarehvide käitlemise seadusandlik taust

Jäätmeseaduse paragrahv 25 järgi on vanarehvid probleemtoode, mille jäätmed põhjustavad või võivad põhjustada tervise- või keskkonnaohtu, keskkonnahäiringuid või keskkonna ülemäära-  
risustamist.

Paragrahv 26 märgib seda, et tootja on kohustatud tagama tema valmistatud, edasi müüdud või sisse veetud probleemtootest tekkivate jäätmete kokku kogumise ja nende taaskasutamise või nende kõrvaldamise ja omama selle kohustuse täitmiseks piisavat tagatist. Probleemtoodete käitlemise eest vastutab tootja (maaletootja). [1]

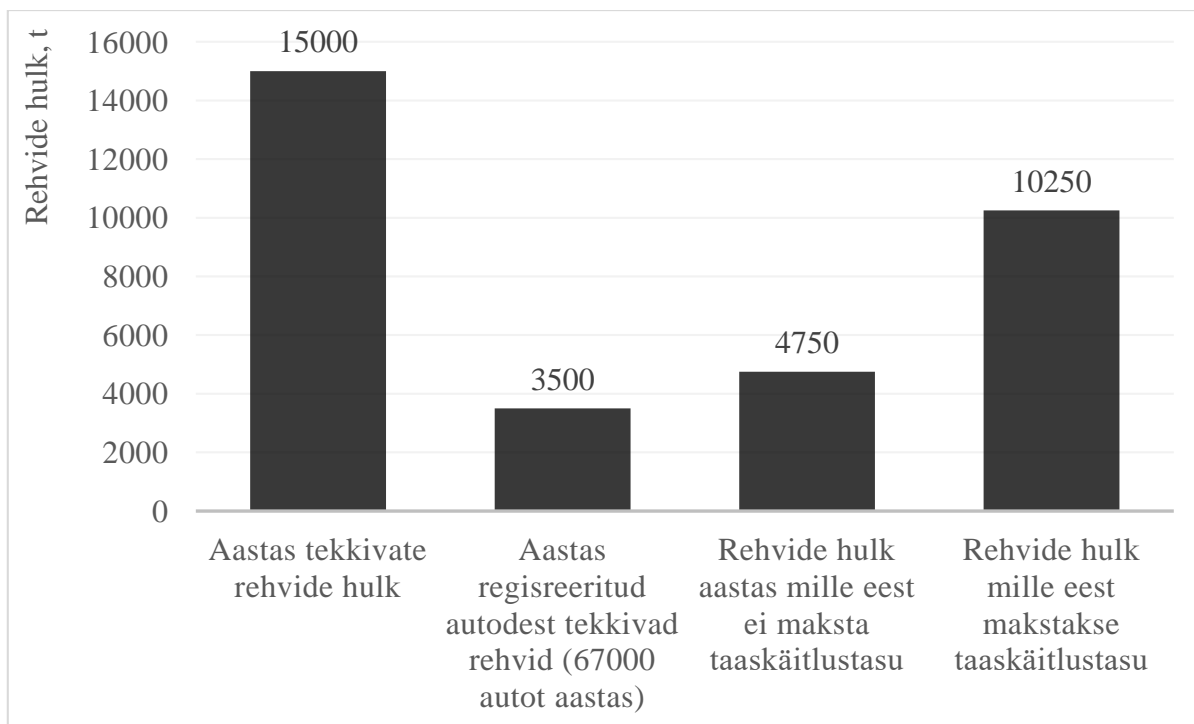
Jäätmeseaduse paragrahv 35 alusel, mis jõustus 11.03.2007, on keelatud ladustada kasutatud rehve prügilasse ning paragrahv 133 alusel ei või prügilatesse ladustada tükeldatud rehve. [1].

Alates 2005. aastast kehtib rehvidele tootjavastutuse põhimõte. Vastavalt Eestis kehtivale jäätmeseadusele, milles kehtestatakse rehvide maaletootjale kohustus maksta taaskasutustasu, sõltub tasu suurus rehvide tüübist - 75 EUR/t kuni 135 EUR/t. [2]

## 1.2 Vanarehvide tekke ja hinnanguline kogus

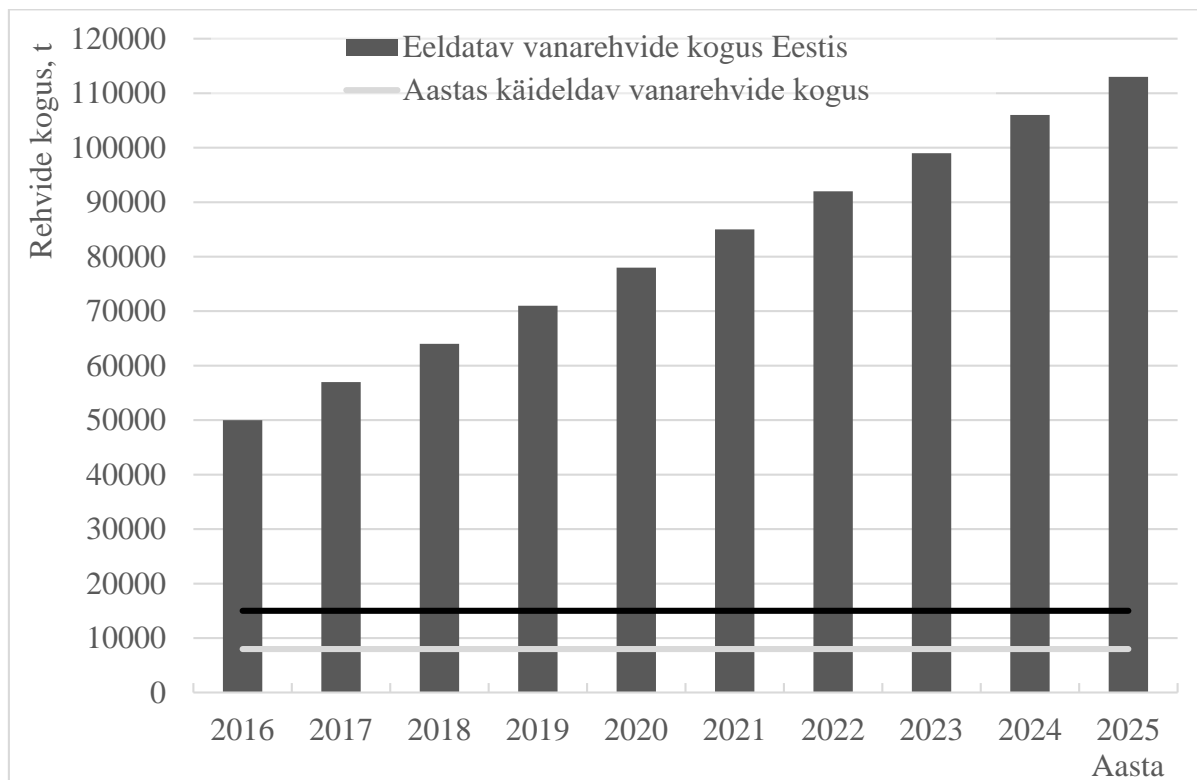
Eestis tekib aastas umbkaudu 10 000 – 15 000 t vanarehve, millest 3000 t rehvide eest pole makstud tasu. Lisaks tuuakse Eestisse rehve välismaalt ostetud autodega, mille pealt jääb saamata taaskasutustasu.

Statistikaameti 2016. aasta andmete põhjal registreeriti Eestis 67 000 sõiduauto. Arvestades, et ühe rehvi kaal on 10-15 kg, teeb see ühe auto kohta keskmiselt 0,052 t ning 67 000 auto kohta moodustub vanarehvide hulk umbes 3500 t. Võttes arvesse seda, et ühe jooksu rehvidega sõidetakse tavaliselt kaks hooaega, teeb see aastas lisaks 1750 t vanu rehve ning kokku 4750 t rehve (vt joonis 1.1), mille pealt ei maksta taaskasutustasu, summaarselt teeb see umbes 500 000 eurot.[3][4]



**Joonis 1.1 Vanarehvide osakaal Eestis, mille pealt makstakse taaskäitlustasu tonni/aastas**

Vanu rehve seisab ka väga suur hulk vaheladustuskohtades - ainult 30 000 t, lisaks veel prügmägedel, metsades ning ülejäänud looduses.



**Joonis 1.2 Eestis tekkivate vanarehvide hinnanguline kogus, tonnides**

Arvatavasti võib see hulk kokku moodustada üle 40 000 - 50 000 t. Vanarehvide hulk suureneb iga aastaselt, kui ei teki juurde uusi tehnoloogiaid ning ümbertöötlejaid, kes suudaks rehvide järjest suurenevat kogust käidelda, joonisel 1.2 on näidatud, kui suureks võivad Eestis vanarehvide kogused minna, kui antud sektoris ei toimu muutuseid. Hetkelise koguse utiliseerimiseks oleks vaja umbkaudselt 8 000 000 EUR, võttes arvesse hetkel asendustäitmise hankes olevat hinda 150 EUR/t eest.

### **1.3 Tootjavastutusorganisatsioonid**

Peatükis 1.1. mainitud seadusandluses kehtib rehvidele tootjavastutuse põhimõte, mille kohaselt vastutavad rehvide valmistajad või maaletoojad, ehk tootjal on kohustus tagada turule toodud rehvide kokku korjamine ning nõuetekohane käitlemine.

2016. aastal tegutses Eestis kaks tootjavastutusorganisatsiooni: MTÜ Rehvinglus (edaspidi *Rehvinglus*) ning Rehviliit, kelle ülesandeks oli korraldada vanarehvide logistika ning suunata need ümber töötlemisettevõtetele käitlemiseks.

30.09.2016 võitis Ragn Sells keskkonnaameti hanke, mis korraldati seoses Rehvingluse ja Rehviliidu suutmatusega käidelda järjest suurenevaid koguseid. Keskkonnaamet korraldas hanke Tartumaal Raadil, Reolas ning Harjumaal Lool olevate rehvimägede taaskasutusse suunamiseks, mille suuruseks hinnatakse 21 000 t vanarehve.

Nimetatud hankes kujunes rehvide käitlemise hinnaks ligikaudu 150 EUR/t. [5]

Allpool on toodud ülalmainitud organisatsioonide üldinformatsioon.

#### **1.3.1 MTÜ Rehvinglus**

Rehvinglus on asutatud rehviettevõtete poolt, kelle tegevuseks on rehvide maaletoomine ning valmistamine. MTÜ Rehvinglus hakkas 2010. aastal oma liikmetelt koguma vanu rehve. 2016. aastal tekkisid probleemid. Esiteks toodi kogumispunktidesse liiga palju rehve, mille eest ei tasutud taaskäitlustasu, teiseks ei suutnud partnerid ümber töödelda nii suurel hulgal rehve.

OÜ Rubronicule suunati MTÜ Rehvingluse poolt 885 t rehve, mille ümbertöötlemise hinnaks kujunes kuni 221 250 EUR. Rehvingluse käive oli antud ajahetkel 154 127 EUR, mis oleks viinud Rehvingluse maksejõuetuseni. Seetõttu pidi keskkonnaamet sekkuma ning korraldama hanke, millest on juttu peatükis 1.3.[5]

Hetkeseisuga tegutseb ainukese tootjavastutusorganisatsioonina Rehvinglus, kuna Rehviliidul tekkisid finantsilised probleemid, millest antakse ülevaade peatükis 1.3.2.



### **1.3.2 Rehviliit**

Rehviliit on 2009 asutatud tootjavastutusorganisatsioon, kelle tööks on koguda liikmetelt vanu rehve. Rehviliit käitles aastas 7000 - 8000 t vanarehve. 29.09.2016 lõpetas Rehviliit oma algse tegevuse seoses liiga suure koguse vanarehvide toomisega Rehviliidu käitlemiseks ette nähtud punktidesse. Suur osa oli kogumispunktidesse ladestatud ilma taaskasutustasu maksmata.

Rehviliidu partnerid, kes tegelesid rehvide ümbertöötlemisega, ei suutnud järjest suurenevaid koguseid antud taaskäitlustasu eest ümber töödelda ning mõningatel ettevõtetel tekkisid ka finantsprobleemid, mis lõppkokkuvõttes viisid Rehviliidu algse olemuse sulgemiseni.

Kindlasti oli üheks mõjuvaks põhjuseks liialt väike taaskäitlustasu, mida on küll tõstetud seoses hankega, mida eelpool mainiti. Samas võrreldes näiteks Soomega, kus makstakse taaskäitlemise eest 200 EUR/t, on Eestis veel arenguruumi. [6]

### **1.4 Taaskasutustasu tõstmise vajalikkus**

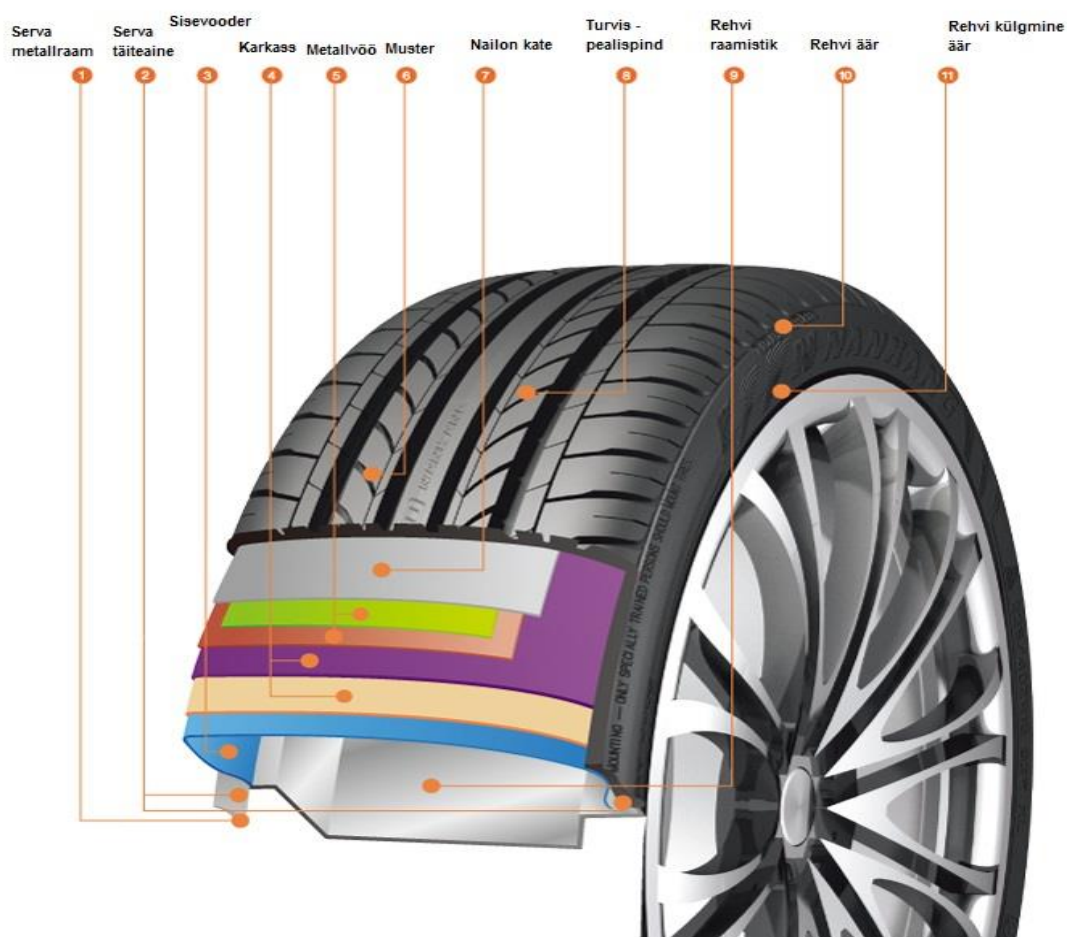
Eestis kehtivas jäätmeseaduses kehtestatakse rehvide maaletoojale kohustus maksta taaskasutustasu, mille suurus on 75 EUR/t kuni 135 EUR/t ning mis sõltub rehvide tüübist. 75 EUR/t on sõiduauto rehvide eest makstav tasu ning 135 EUR/t on veoautode rehvide eest.

Et vanadest rehvidest valmistada uus produkt, on neid vaja purustada. Eestis kõige levinum purustamise viis on mehaaniline purustamine, mille esimese astme purustushind on 45-60 EUR/t. Väiksemate fraktsioonide purustamiseks kasutatakse mitmeastmelist purustamist, mille hind lõppkokkuvõttes on 130-160 EUR/t. Ettevõttele, kes purustab sõiduauto rehve, makstakse 75 EUR/t taaskasutustasu. Väiksemate fraktsioonide puhul jäävad purustamisega tegelevad ettevõtted miinusesse umbes 75 EUR. Antud olukorras oleks vaja tõsta taaskasutustasu vahemikku 160-200 EUR/t eest nagu näiteks Soomes. Toodud andmed on saadud suhtlemisel Rehviliidu juhatuse liikmega.

## 2. Vanarehvidega kaasnevad keskkonnamõjud

### 2.1 Rehvide koostis

Rehvide struktuur peab olema väga vastupidav, kuna rehvid peavad vastu pidama suurtele kiirustele, temperatuuri kõikumistele, hõõrdumisele ning teistele faktoritele. Seetõttu on rehvid valmistatud mitmetest erinevatest kummiühenditest, tahmast (nn “*carbon black*“), täiteainetest nagu räni, erinevatest kemikaalidest ning metallkaablitest, millega tugevdatakse rehvi struktuuri. Kuna rehvide ehitus ning struktuur on tehtud võimalikult vastupidavaks, on ka nende ümbertöötlemine väga keerukas ning kulukas. Joonisel 2.1 on rehvide ehitust iseloomustav joonis.



*Joonis 2.1 Rehvi ehitus [7]*

Rehvide koostisest moodustab 47% kummiühendid, mida kasutatakse rehvide põhja tegemiseks. 21,5% moodustab *carbon black*, mis on suur osa kummisegust ning annab rehvidele tugevuse ning kulumiskindluse. 16,5% rehvi koostisest moodustab metall, millega

tugevdatakse rehvi struktuuri. 5,5% on koostises tekstiili, millest valmistatakse rehvi karkass. Väävlit, tsinki ning teisi kemikaale kasutatakse vulkaniseerimisprotsessis – vulkaniseerimine on keemiline protsess, kus kumm muutetakse vastupidavamaks materjaliks erinevate kemikaalide abiga. 7,5% rehvide koostisest on erinevad täiteained.[8]

Kummiühendites kasutatakse 30 erinevat tüüpi sünteetilist kummi ning 8 erinevat tüüpi loodusliku kummi. *Carbon black* i ühendites kasutatakse 8 erineva klassiga *carbon black* i. Rehvide keemilise poole pealt kasutatakse 40 erinevat kemikaali, õli, vaha ning sidusaineid. [9]

Rehvides sisalduvad väävel, tsink ning erinevad sidusained on väga ohtlikud nii inimestele kui ka loodusele.

## **2.2 Rehvimägede tekkimine**

Eestis on hetkel erinevate andmete põhjal kokku 21 000 t rehve suurte rehvimägedena, hinnanguliselt võib see arv olla veelgi suurem - umbes 30 000 t. Kuna ei ole täit ülevaadet olukorrast, kui palju ladestatakse rehve salaja iga aasta Eesti loodusesse, võib kogu ladestatud rehvide maht küündida kuni 50 000 t. Ainuüksi Tartus Raadil on rehvimäe suuruseks hinnatud 14 000 t (vt lisa 1).

Põhilisteks probleemideks, miks rehvimäed tekivad, on puudulik tehnoloogia, mis suudaks ümber töödelda sellisel hulgal rehve; liialt väike taaskäitlustasu ning taaskäitlustasudest mööda hiilivad inimesed ja firmad.

Linnaäärtes laiuvad rehvimäed on visuaalselt väga silmatorkavad, eriti elamurajoonide läheduses, ning võivad kujutada ka erinevaid ohte nii keskkonnale kui ka inimestele (rehvimägede põlengud ning keemiliste ainete eraldumine loodusesse). Rehvimäed on potentsiaalne koht, kus lapsed võivad käia mängimas ning ennast vigastada varingute tõttu. Rehvimäed on ka heaks elukeskkonnaks erinevatele loomadele ja putukatele, kes võivad inimestele ohtu kujutada ning levitada erinevaid haigusi.

## **2.3 Keemiliste ainete eraldumine loodusesse**

Rehvid sisaldavad õlisid, mis võivad pinnast reostada, raskemetalle ning kemikaale, mis aja jooksul akumulereuvad loodusesse.

Rehvides olevatest kemikaalidest võib esile tuua tsingi, mis rehvidest eraldudes on ohtlik nii loodusele kui ka inimesele. Uuringus "Acute toxicity of leachates of tire wear material" mõõdeti tsingi eraldumist rehvidest. Katse viidi läbi 72 tunni jooksul ning kasutati kahte

anumat. Mõlemasse anumasse oli eraldi paigutatud 0,9 g rehvipuru ehk 0,18 g kokku mõlema anuma peale. Rehvitükkidele tilgutati peale vett, et tekitada loodusega sarnane keskkond. 72 tunni möödudes mõõdeti eraldunud tsingi sisaldust, mis oli 460 µg, tunnis eraldus 6 µg.[10]

Arvutades tervest rehvist eralduvat tsingi sisaldust ning võttes arvesse eelnevas katses mõõdetud tunnis eraldunud tsingi kogust, mis oli 6 µg, ning jagades see 0,18 g-ga, mis oli katses kasutatud rehvipuru kogus, saadi suhtearvu protsent, mis on 0,003%. Autorehv kaalub keskmiselt 12 kg, ehk purustatud autorehvi massist eralduks vihma korral 36 g tsinki tunnis. Antud arvutuste põhjal on aluseks võetud laborikatse, mis reaalses keskkonnas ei pruugi olla täpne, kuna katses oli kasutatud rehvipuru, mille tulemusena on eraldusprotsess intensiivsem.

Võttes arvesse dokumendis „Pinnases ja põhjavees ohtlike ainete sisalduse piirnormid“ (RTL 2004, 40, 662) esitatud veekeskkonnale ohtlike ainete piirväärtusi, kus tsingi sisaldus võib olla 0,2 g/kg kohta pinnases, võime oletada eelneva katsetulemuse ning arvutuste põhjal, et aastas võib eralduda pinnasesse rohkem tsinki, kui Eesti piirnormid ette näevad. See tõendab, et rehvipuru on keskkonnale veel ohtlikum kui terve rehvi.[11]

Erinevaid uuringuid on viidud läbi ka laste mänguväljakutel, mille kattedmaterjalina on kasutatud kummipuru ning kummimatte. Teaduslikus uuringus „Hazardous organic chemicals in rubber recycled tire playgrounds and pavers“, kus uuriti polütsükliiliste aromaatsete süsivesinike (PAH-ide) ning teiste kemikaalide sisaldust laste mänguväljakutel, selgus, et antud kemikaalide sisaldus oli väga kõrge. [12]

PAH-idega kokkupuutest tuleb hoiduda nii palju, kui see on võimalik, sest teadusuuringud on kindlaks teinud, et osad polütsükliilised aromaatsed süsivesinikud on kantserogeensed ning tekitavad elusorganismidele väärarenguid. PAH-ide sisaldus erinevatel mänguväljakutel jäi vahemikku 1 µg – 200 µg ning kõige mürgisemat tüüpi PAHi leiti viies proovis 28st.

Mänguväljakutel, kus oli kasutatud kummipurust valmistatud telliseid, küündis PAH-ide sisaldus 400 µg – 17 000 µg, mis on kriitiliselt kõrge. Nendest kõige mürgisema PAH-i bensopüreeni (B[a]P) sisaldus oli 340 µg.[12]

Uuringus „Hazardous organic chemicals in rubber recycled tire playgrounds and pavers“ viidi katsed läbi toatemperatuuril ning mänguväljakutelt saadud proovid kuumutati 25 kraadini. Selgus, et kuumutamise faasis võivad antud kemikaalid jõuda inimeste hingamisteedesse ja võivad põhjustada väga raskeid tervisekahjustusi ning isegi surma.

Eesti Vabariigi piirmääruse 82, aastast 2001 („Joogivee kvaliteedi- ja kontrollinõuded ning analüüsimeetodid“) järgi ei tohi B[a]p sisaldus näiteks joogivees ületada 0,010 µg/l kohta ning toidus Euroopa Parlamendi ja Nõukogu määrusega nr 2065/2003 kehtestatud piirmäärad ei luba toidus või toidu pinnal kasutatavates suitsustuspreparaatides ületada 20 µg/kg piiri. [13]

Antud teadusliku uuringu põhjal järeldati, et kummipurust mänguväljakute valmistamise vajalikkust peaks tõsiselt kaaluma ning võib-olla mõningates olukordades isegi keelustama, kuna on suur oht, et lapsed võivad mänguväljakutelt kummipurust omastada kemikaale, mis võivad tõsiselt kahjustada tervist.[12]

Ka on rehvides suuremal määral väävlit, mis võib pinnasesse eralduda ning tekitada erinevaid keskkonnakahjusid. Üheks peamiseks ohuks väävli eraldudes pinnasesse on see, et väävel võib jõuda joogiveeni ning seeläbi kujutab see ohtu nii inimestele kui ka loomadele.

Rehvide põlengud on keskkonnale ja inimestele kõige ohtlikumad, kuna sealt eraldub väga palju kemikaale, mis on kantserogeensed. Rehvide põlengud on toksilisemad kui fossiilsete kütuste põletamine, 16 korda mutageensemad, kui põletada kaminas puitu ning 13 000 korda rohkem, kui põletada kivisütt elektrijaamas, kus on erinevad filtrid ning puhastussüsteemid (vt lisa 2). Rehvide põlengud emiteerivad õhku süsinikmonoksiide, vääveloksiide, lämmastikoksiide ning lenduvaid orgaanilisi ühendeid. Lisaks veel dioksiinid, furaanid, vesinikkloriid, benseenid, bifenüülid ning raskemetallid nagu arseen, kaadium, nikkel, tsink, elavhõbe, kroom ning vanaadium. Vaadeldes heitmekoguseid ning kemikaalide hulka tekitavad rehvide põlengud inimestele lühi - ning pikaajalisi tervisekahjustusi. Sõltuvalt põlengu pikkusest ning põlemisel tekkivate ainetega kokkupuutumisest võivad inimestel tekkida nahaärritused, silmade ning limaskesta kahjustused, kesknärvisüsteemi- ja hingamisteede kahjustused ning vähk.[14]

Suur probleem on ka rehvide põlengu peatamine, kuna nagu eelnevalt mainitud, sisaldavad rehvid õlisid, mis teeb rehvide kustutamise veega äärmiselt keeruliseks.

## **2.4 Haiguste levik**

Rehvid ning rehvimäed on väga hea elukeskkond putukatele, roomajatele ning loomadele. Kui rehvidesse koguneb vesi, on see väga hea paljunemiskeskkond näiteks sääskedele, kes võivad levitada viiruseid nagu malaaria. Indias on väga suur keskkonnaprobleem rehvimägedes paljunevad sääsed, kes levitavad malaariat ning surmavad aastas suurel hulgal inimesi. Kuna rehvimäed on ka hea elukeskkond loomadele, annavad sääsed haigused edasi loomadele ning

sealt võivad erinevad haigused edasi kanduda inimestele. Ka närilistele nagu hiired ja rotid ning roomajatele on rehvimäed heaks elukeskkonnaks.[15]

Rehvimägede asukoht linnade lähedal võib suurendada oluliselt näriliste hulka, kes võivad hakata paljunema ning seeläbi inimeste kodudele ohtu kujutada.

## 3. Rehvide utiliseerimiseks kasutatavad tehnoloogiad

Rehvide ümbertöötlemine on protsess, kus väärindatakse vanad rehvid uueks produktideks, mis ei ole enam kõlblikud sõidukitele. Rehvide ümbertöötlemine on energiakulukas, kuna nende struktuur on tehtud väga vastupidavaks. Rehvide ümbertöötlemiseks arendatakse pidevalt uusi tehnoloogiaid, mis on ärilises aspektis järjest kasulikumad, suudavad järjest rohkem vanu rehve ümber töödelda ning seda järjest efektiivsemalt. Uuemateks arendatavateks tehnoloogiatega on devulkaniseerimine ning pürolüüsimine, mille kasutamise tulemusena saadud uutel produktidel on turul suur nõudlus ning väärtus.

Allpool käsitleb autor peamisi rehvide utiliseerimise/taaskasutamise tehnoloogiaid, milleks on purustamine, pürolüüsimine, põletamine kütusena, asfaldi-tsemendi valmistamine, devulkaniseerimine ning protekteerimine.

### 3.1 Purustamine

Purustamine on hetkel kõige levinum tehnoloogia, mida kasutatakse rehvide ümbertöötlemiseks, mida omakorda jagatakse veel nelja tehnoloogia gruppi – mehaaniline purustamine, krüogeentehnoloogia, purustamine osooniga ning märg purustamine.

*Mehaaniline purustamine* on neist tehnoloogiatega kõige levinum ja jaguneb omakorda lõikavaks ning rebitavaks tehnoloogiaks. Mehaaniline purustamine on suhteliselt kallis ühiku kohta, kuna purustajad tarbivad palju elektrit ning purustaja terasid tuleb tihti teritada ning vahetada (rehvides on 16,5% metalli, mis nüratab terasid).

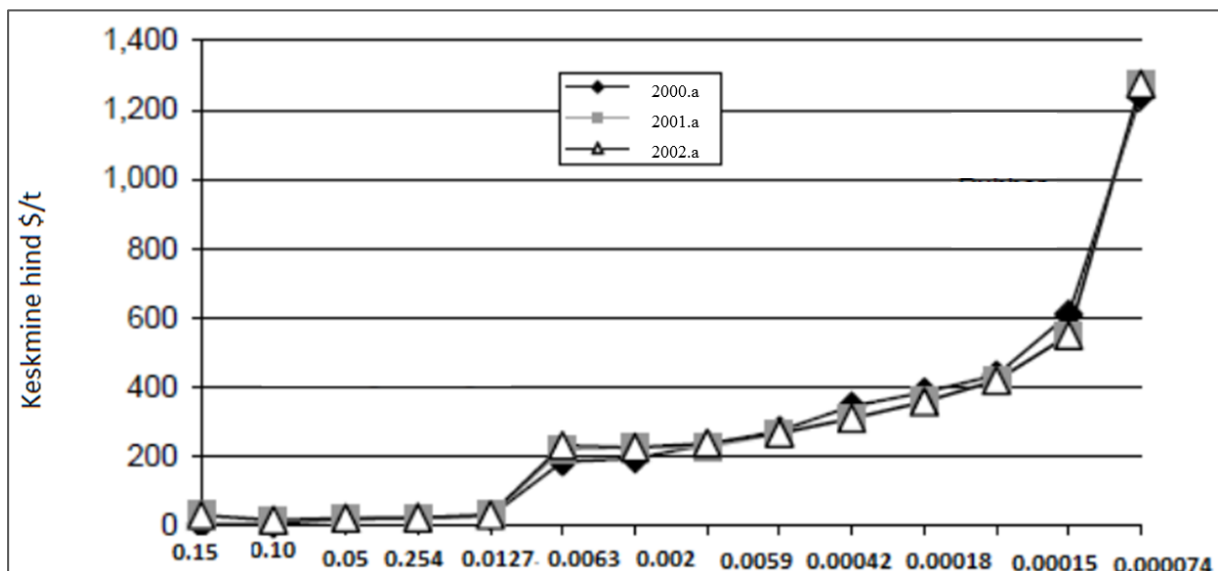


*Joonis 3.1 Rehvipurusti [16]*

Purustaja terasid valmistatakse tavaliselt kõvasulamist legeerterasest. Antud tehnoloogia ehitus on väga lihtne. Konveierlint veab rehve purustajasse ning suured terad purustavad rehvid 20-100 mm suurusteks tükkides olenevalt vajadusele (vt joonis 3.1). Peenemate fraktsioonide saamiseks kasutatakse mitmeastmelist purustamist, kus esimeseks etapiks purustatakse tükid 70-100 mm tükkideks. Järgmises purustusastmes purustatakse rehvid ümber 60 mm tükkideks. Mida väiksema fraktsiooniga rehvipuru on, seda suurem on rehvipuru väärtus. (vt joonis 3.2)

Rehvipuru jagatakse nelja gruppi:

1. suur fraktsioon 100-60 mm;
2. keskmine fraktsioon 7-3 mm;
3. väike 1,6 – 0,7 mm;
4. väga väike fraktsioon 0,6-0,3 mm. [17]



**Joonis 3.2** Rehvipuru hind tüki suurusest [17]

*Krüogeenpurustamisel* kasutatakse vedelat lämmastikku, mis muudab rehvide struktuuri hapraks ning selle tulemusena väheneb kasutatav energiahulk ning terade kulumine. Rehvid liiguvad konveierlindil külmutuskambrisse, kus vedellämmastik külmutab rehvid -80 C kraadini, peale mida liiguvad rehvid purustajasse. Suuremad tükid liigutatakse tagasi külmutuskambrisse ning purustatakse uuesti. Peale purustit kuivatatakse rehvitükid ära ning magnetite abil eemaldatakse rehvipurust metall. Antud tehnoloogia muudab kalliks vedela lämmastiku kasutamise.[18]

*Osoonigaasiga purustamine* on sarnane krüogeenpurustamisele, kuid lämmastiku asemel kasutatakse osooni, millel on lagundav efekt rehvi struktuurile.[19]



Märgpurustamisel asetatakse rehvid vette, millele järgneb purustamine. Antud protsessis kasutatakse purusteid, mis sarnanevad jahu jahvatamisele, kus lähestikku on rattakujulised terad. Märgpurustamisel saadakse väga väike tükisuurus, mis jääb vahemikku 0,1-0,2 mm. Kuna märgpurustamisel kasutatakse vett, on rehvipuru peale purustamist ühtlane ning tolmuvaba.[20]

**Tabel 3.1 Rehvipurustus hinnad 2001. aastal [42]**

Purustamise meetod	Purustamise maksumus
	EUR/t
Mehaaniline purustamine	32 – 90
Krüogeen tehnoloogia	63 – 180
Osooni kasutamine	~67

Tabelis 3.1 on toodud rehvipurustamise hinnad aastal 2001, peatükis 1.4. on välja toodud hetkel olevad rehvipurustamise hinnad, kus esimese astme purustamise maksumus on 45-60 EUR/t. Rehvipurustamise hinnad on lüüdnud odavamaks võrreldes 2001. aastaga 30 EUR/t, see on tingitud purustite efektiivsuse tõusust.

Rehvipuru kasutatakse tavaliselt mänguväljakute ning kunstmurustaadionite katteks, põletamiseks kateldes, asfaldi valmistamiseks lisakomponendina ning kummimattide valmistamiseks. Eestis kasutatakse purustatud kummipuru kõige rohkem mänguväljakute ning kunstmurustaadionite katteks ning kummimattide valmistamiseks (rohkem informatsiooni peatükis 4.1.).

### 3.2 Pürolüüsimine

Pürolüüs on termiline lagunemine, mis toimub hapniku juuresolekuta, protsess on endotermiline ehk vajab täiendavat soojust protsessi toimumiseks. Pürolüüsi protsessi käigus lagundatakse pikkade keeruliste ahelatega süsivesinikud suhteliselt väikeste ahelatega süsivesinikeks. Pürolüüsi tulemuseks on kolm produkti: gaas, vedelik ja *carbon black*. Produktide saagikus pürolüüsil sõltub mitmetest faktoritest – viibeajast, pürolüüsi meetodist, temperatuurist, kuumutuskiirusest, tüki suuruselt ning kütuse koostisest.[21]

Rehvide pürolüüsimisel kasutatakse kahte reaktoritüüpi, milleks on tsükliline liikumatu reaktor, kus kütust antakse sisse tsükliliselt, ning liikuv läbivoolu reaktor, kus toimub pidev kütuse peale andmine. Rehvid purustatakse reaktori jaoks sobiva suurusega fraktsioonideks, peale mida sisestatakse kütus reaktorisse. Kuna protsess toimub ilma hapnikuta, kasutatakse hapniku välja surumiseks lämmastiku. Olenevalt reaktori tüübist kuumutatakse reaktorit kas väljastpoolt või seestpoolt. Väljastpoolt kuumutades kasutatakse gaasipõleteid, mis kuumutavad reaktori kesta ning tõstavad temperatuuri 400-900 kraadini, seestpoolt kuumutamiseks kasutatakse pürolüüsiigaasi, mida tsirkuleeritakse ning kuumutatakse vajaliku temperatuurini. Kuumutamise tulemusena tekivad rehvidest kolm produkti – õli, *carbon black* ning gaas, mida kasutatakse jaama enda tarbeks. Produktide saagikus sõltub eelpool mainitud faktoritest, tavaliselt on saagikus 35-45% õli, 40-50% *carbon black*’i ning 10-15% gaasi ühest tonnist rehvidest.

Pürolüüsiigaas koosneb enamasti vesinikust, süsinikdioksiidist, süsinikmonooksiidist, metaanist, etaanist ja butaanist ning vähemal määral erinevatest süsivesinikgaasidest. Pürolüüsiigaasi kütteväärtus on vahemikus 40-60 MJ/m<sup>3</sup>.

Pürolüüsiõli ehk TPO on sarnane põlevkiviõliga, mida saab kasutada vähem kapriissemates diiselmootorites ning erinevate kemikaalide valmistamiseks, kuna pürolüüsiõli sisaldab piisaval hulgal benseeni, tolueni ning ksüleenit. Pürolüüsiõli kütteväärtus 41 MJ/kg on võrreldav näiteks kütteõliga, mille kütteväärtus on 42 MJ/kg kohta. Suurimaks probleemiks pürolüüsiõlil on suur väävlit hulk, mis on umbes 0,8-1% massist.

*Carbon black*’i on võimalik kasutada erinevate kummitoodete valmistamiseks näiteks rehvide, pukside, tihendite jms. Rehvidest saadav *carbon black* võib tulevikus asendada naftast toodetud *carbon black*’i või vähendada naftast toodetud *carbon black*’i turuosa, mis on sarnane oma omadustelt naftast valmistatud *carbon black*’ile. Antud produktil on turul suur nõudlust.[22]

### **3.3 Põletamine kütusena**

Rehvide kasutamist kütusena on kasutatud väga palju väljaspool Euroopat, USA-s põletatakse 52% vanadest rehvidest energia eesmärgil, kuna rehvide kütteväärtus on suurem kui näiteks kivisöel. Tavaliselt kasutatakse rehve kütusena kas purustatuna või tervete tükkidena sõltuvalt katlast.[23]

Eestis alustas Iru jäätmejaam rehvide põletamist kütusena 2016. aastal, rehvipuru osakaal moodustab 2% kütusest, mis on maksimaalselt 5000 t aastas, ning seda segatakse

olmejäätmetega. Tänu rehvide kõrgele kütteväärtusele, mis on 33 MJ/kg, tõstab see ka niiske prügi kütteväärtust. Rehvide kütteväärtuse ekvivalent on 9,17 kWh/kg rehvidest.[24]

Rehvide põletamisel tuntakse kõige suuremat muret heitmete pärast, kuna rehvid sisaldavad palju keemilisi elemente nagu tsink ja väävel. Tegelikuses ei erine rehvide heitmed põletamisel kateldes väga palju fossiilsetest kütustest, kuna kõik põlemisgaasid läbivad filtreid enne korstnast väljumist. Erinevate uuringute põhjal võib rehvi tuhk sisaldada suuremal määral raskemetalle.

### **3.4 Asfaldi - tsemendi valmistamine**

Tsemendi valmistamiseks vanarehvide kasutamisel on kaks võimalust. Esiteks kasutada rehve tsemendiahjudes, kus on vaja suurt temperatuuri. Kuna rehvidel on suur kütteväärtus ning hetke turuolukorras saadakse rehvid tasuta kätte või makstakse taaskäitlustasu, on rehvide kasutamine tsemendiahjudes väga efektiivne.

Teine võimalus ära kasutada rehve tsemendi valmistamiseks on rehvitükkide segamine tsemendi. Rehvitükkide kasutamine asfaldi-tsemendi segus tõstab materjali elastsust. Sellise seguga asfaldi-tsemendi kasutatakse teede valmistamiseks. Californias on kasutatud sellist tsemendi segu teede valmistamiseks juba 30 aastat. Eeliseks sellisele segule on elastsus, odavus, vastupidavus, müra taseme vähenemine ning keskkonna vähenemine saastamine. Kuna rehvitükid muudavad sellise segu elastsemaks, vähendab see müra taset, mis võib väheneda kuni 80% ning antud segu haardevõime rehvidele on suurem. Uuringute kohaselt on ka antud segu teede ehituses 50% pikema elueaga kui tavaline asfalt. Rehvide osakaal sellises segus on kuni 22%. Arvutuste kohaselt 1,2 km tee rajamine antud segust on 70 000 EUR odavam kui tavalisest asfaldist.[25]

### **3.5 Devulkaniseerimine**

Devulkaniseerimine on protsess, milles polümeeri omadused vulkaniseerimisega on vastupidised. Vulkaniseerimine on keemiline protsess, kus kumm muutatakse vastupidavamaks materjaliks, lisades väävlit või ekvivalentset kõvendit. Devulkaniseerimisel lõhutakse väävlisidemed ilma polümeeri sidemete lõhkumiseta. Devulkaniseerimisel polisulfiit ja disulfiitsidemed muundatakse monosulfiidsidemeteks soojuse abil, mille tulemusena tekib ümbertöödeldud puhas kumm. Devulkaniseerimine on üks uuematest tehnoloogiatest, millel on perspektiivi töödelda vanu rehve ning kummi uueks materjaliks. Devulkaniseerimise lõpp-

produkt on vastupidav kumm, millest saab valmistada erinevaid kummimatte, kilesid jms. Kuna antud tehnoloogia on veel uus, puudub teema kohta detailsem informatsioon.[26][27]

### **3.6 Vanarehvide ümbertöötlemine uuteks rehvideks**

Vanarehvide ümbertöötlemine uuteks rehvideks ehk protekteerimine on tehnoloogia, milles kasutatakse vana rehvi karkassi uute rehvide valmistamiseks. Alguses freesitakse vanalt rehvimantlilt protekteerimisjäädid ning valmistatakse pind ette turviserõnga paigaldamiseks, peale mida paigaldatakse tihenduskuum, mis tugevdab rehvi külgeinu ning aitab neid üles ehitada. Viimane samm on rehvi vulkaniseerimine, mille tulemusena luuakse mantli ja rõnga vahel püsiv ühendus ning lõpp-produktiks on ümbertöödeldud kvaliteetne rehvi.

## 4. Utiliseerimine Eestis

### 4.1 Eestis tegutsevad suuremad rehvide ümbertöötledajad ja tehnoloogia

Peatükis 3 mainitud tehnoloogiatest kasutatakse või on kasutatud Eestis purustamist, protekteerimist, põletamist kütusena ning pürolüüsimeetodeid. Kõige levinum on hetkel purustamine, kus kummipurust tehakse staadionite katteid ning kummimatte.

Kummimatid OÜ purustab vanu rehve ning valmistab lõhkamismatte, mida kasutatakse teede ehitusel pinnase lõhkamisel heli ning lööklaine summutajana ja kummipuru plaate teede katteks.[28]

Kuusakoski purustab rehve, mille rehvipuru kasutatakse Soomes prügilate katteks, põletamiseks ning erinevate kummitoodete valmistamiseks.[29]

Iru jäätmejaam kasutab rehve põletamiseks. Aastas põletatakse maksimaalselt 5000 t rehve keskkonnanõuete pärast. Tegelikult suudaks Iru põletada suuremas koguses rehve.[30]

Oscarrehvid OÜ protekteerib vanu rehve, kus vanadest rehvidest valmistatakse vulkaniseerimise teel uued kvaliteetsed rehvid, mis on samade omadustega nagu enne rehvide protekteerimist.[31]

Nelitäht OÜ valmistab purustatud rehvidest laste mänguväljakute alusmatte, tööstuslikku vibratsiooni summutavaid põrandamatte, murukärgi ja ajutiste liiklusmärkide aluseid.[32]

VKG ja Enefit on katsetanud rehvide pürolüüsimeetodeid koos põlevkiviga.[33]

Hansabiodiisel rajas Eestisse rehvide pürolüüsimeetodeid, kuid ettevõtte läks pankrotti.[34]

Ragn Sells purustab rehve ning antud rehvipuru müüakse kütusena ning erinevate kummitoodete valmistamiseks.[35]

Altum OÜ planeeris Eestisse rajada pürolüüsijaama, ettevõtte taotles ka komplekskeskkonnaluba, kuid jaama ehituseni ei jõutud.

### 4.2 VKG ja Enefiti katsetused rehvide pürolüüsimeetodeid

2001. aasta proovis VKG rehvidest õli toota pürolüüsimeetodeid teel. Nimetatud katsetused olid positiivsed ning näitasid, et rehvidest on võimalik õli toota, kuid kaugemale see projekt ei jõudnud katsetustest. VKG põhjendas seda sellega, et tekkisid tehnoloogilised probleemid ning

majanduslikult ei olnud see otstarbekas. Ka plaaniti rehvipuru segada põlevkiviga 10% ulatuses, kuid ka see plaan ei jõudnud väga kaugele.[36]

1990. aastatel proovis Eesti Energia toota rehvidest õli, kuid see ettevõtmine peatati tehnoloogilistel põhjustel, kuna rehvid sisaldavad metallikiude, mis peavad olema peeneks hakitud, et sobiks õlitootmisseadmetesse. Kuna 1990 ei olnud tehnoloogia rehvide purustamisel ning metalli eraldamisel nii edasi arenenud, jäi projekt katki.

2016. aastal teatas Enefit, et taotlevad keskkonnaluba rehvide pürolüüsamise katsetusteks. 2016. aasta lõpul saadi keskkonnaluba ning hakati tegema katseid, segades rehvipuru põlevkiviga. Kõige olulisem küsimus oli heitmete kogus rehvipuru segamisel põlevkiviga. Kuna heitmete suurenemist ei märgatud, oli antud katsetulemus positiivne. Praeguste andmete kohaselt ei ole uut infot Enefiti katsetustest rehvide pürolüüsimisel ning võib spekuloida, et antud projekt on peatatud.

Sellest tulenevalt võib oletada, et VKG ning Enefiti reaktorid nõudsid liiga väikseid kummipuru fraktsioone (umbes 2-5 mm tükke), mille purustamine oleks läinud majanduslikult liiga kalliks. Kui segada rehvipuru põlevkiviga võib lõpp-produktide keemiline koostis erineda põlevkivist saadavatest produktidest, mis tähendab seda, et lõpp-produkte tuleks erinevate keemiliste protsessidega puhastada, mis on majanduslikult kallis. See võis olla teiseks tõenäoliseks põhjuseks. Ka ei ole põlevkivi pürolüüsireaktorid seadistatud rehvide pürolüüsamiseks, mis võib mõjutada lõpp-produkti koostist. Kuna rehvide pürolüüsamise teel saadav *carbon black* on väga väärtuslik produkt, on seda tehnoloogiliselt raske, kulukas ning võibolla isegi võimatu eraldada põlevkivi poolkoksist, *carbon black* kaotab oma väärtuse produktina.

**Tabel 4.1 Põlevkiviõli ning rehvi pürolüüsiõli võrdlus [37]**

Näitaja	Ühik	Põlevkiviõli	Rehvi pürolüüsiõli <sup>1</sup>
Tihedus 20 °C juures	kg/m <sup>3</sup>	920	945
Tuhasisaldus	%/massist	0,01	0,02
Veesisaldus	%/massist	0,3	0,4
Väävlisisaldus	%/massist	0,8	1,1
Leektäpp	° C	55	48
Hangumispunkt	° C	-24	-15
Kütteväärtus	MJ/kg	38,9	42
Viskoossus 50 ° C	° C	4	10,14

<sup>1</sup> - Kuna rehvi pürolüüsiõli koostis sõltub suuresti toormest, võivad andmed erineda erinevates allikates. Antud rehvi pürolüüsiõli on saadud tehases, mille nime ei avalikustada konfidentsiaalsuslepingu alusel.

Sama on ka õliga. Kuna rehvid sisaldavad palju väävlit ning teisi kemikaale, võib see põlevkiviõli koostist oluliselt muuta, mida on pärast raske destilleerida (vt tabel 4.1). Suurim probleem rehvi pürolüüsiõlil on suur väävlisisaldus, kuna Euroopa etteantud normid väävlisisalduse suhtes on viidud väga madalale tasemele.

### 4.3 Hansa Biodiesel

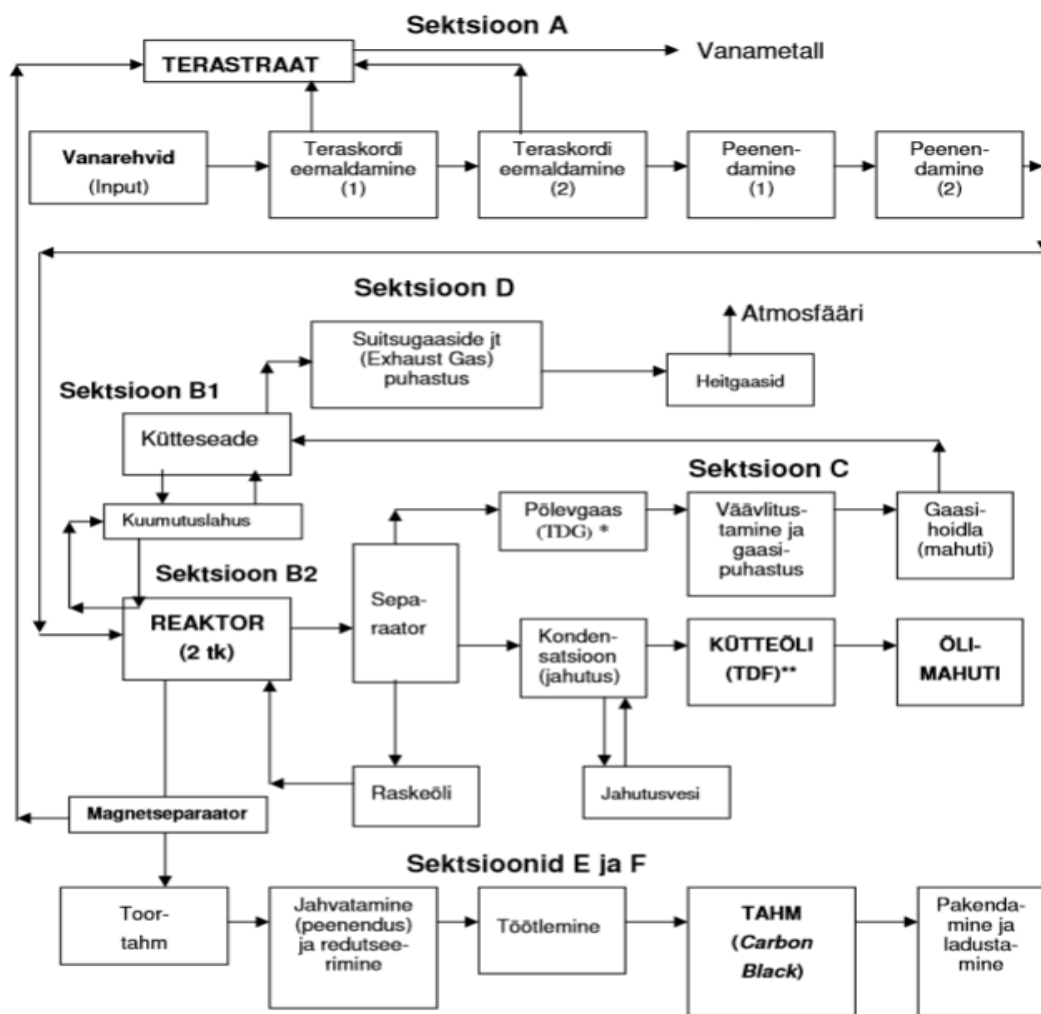
Hansa Biodiesel on esimene ettevõtte Eestis, kes rajas ainult rehvidele mõeldud pürolüüsitehase. Hansa Biodiesel alustas tegevust 2009. aastal ning jaam käivitati 2011. aastal. Antud jaama eesmärk oli aastas töödelda 10 000 t vanu rehve ning saada produktidena ~4000 t pürolüüsiõli, ~4000 t *carbon black*'i ning gaasi jaama omatarbeks. Pürolüüsiõli müüdi erinevatele katlamajadele ning laevafirmadele kütuseks. Ka pakuti välja, et antud õli oleks võimalik kasutada vanematel traktoritel. *Carbon black*'i turg oli suunatud värvitööstustesse pigmendiks, erinevate kummitoodete valmistamiseks ning isegi printeritahmaks. Lisaks korjati välja rehvidest metall, mis müüdi vanametalli kokkuostjatele. [38]

Hansa Biodiesel kasutas Hiina firma Jinan Youbang Hengyu Science and Technology Developmenti tehnoloogiat, mis põhineb madalatemperatuurilise 350-450 °C katalüütilise pürolüüsi tehnoloogial, kus toimub pidev toormaterjali peale andmine reaktorisse. Antud tehnoloogial põhinev jaam pidi andma kõrge saagisega pürolüüsiõli 45-50% tonnist rehvidest, kvaliteetset *carbon black*'i 35-38% tonnist rehvidest ning madalas koguses gaasi kuni 5% tonnist rehvidest. Joonisel 4.1 on näidatud Hansa Biodiesli tehnoloogiline skeem etappide kaupa. Esimeseks etapiks on rehvidelt metalli eemaldamine ning purustamine, peale mida liiguvad rehvid reaktorisse.[39]

Reaktoris termokeemilise protsessi järel separeeritakse tekkinud gaas ning õli, kus kondensatsioonis jahutatakse maha tekkinud kütteõli ning liigutatakse mahutisse. Pürolüüsigas liigub puhastusseadmesse ning suunatakse gaasi hoidlasse, tekkinud gaas suunatakse edasi vajadusel tagasi kütteseadmesse.

Reaktoris tekkinud *carbon black*'i peenestatakse ning jahutatakse, peale mida granuleeritakse *carbon black* ning pakendatakse kottidesse.

Suitsugaasid ning teised heitmed, mis tekkivad kütteseadmes, puhastatakse enne atmosfääri jõudmist.



**Joonis 4.1 Hansa Biodiesli tehnoloogiline skeem [39]**

2011. aastal suutis ettevõtte toota produkte müügiks, mille müügitulu oli aastaaruande järgi 360 658 EUR. 2012. aastal loodeti jaama nimivõimsus saavutada, mis oli 10 000 t vanarehvide ümbertöötlemisest, kuid seda ei suudetud. Müügitulu kasvas küll võrreldes 2011. aastaga 573 984 EUR-ini (vt tabelit 4.2). Antud jaam saavutas 2011. aastal 10 000 tonnist ainult 8% ning aastal 2012 10 000-st ainult 11%. [39]

Tabelis 4.2 on välja arvatud ümbertöödeldud rehvide hulk, toodetud produktide kogus ning produktide umbkaudne müügihind.

Hinnanguliselt suutis Hansa Biodiesel tegutsemisaajal toota vanadest rehvidest 3469,4 t kütteõli, 316,2 t *carbon black*'i ning rehvidest purustamise teel 1352,1 t vanametalli. Aastaaruannete järgi jäi Hansa Biodiesli müügituluks 934 642 EUR tegutsemisaastatel.



**Tabel 4.2 Hansa Biodiesli toodetud produktide müügitulu, müügihind, ümbertöödeldud rehvide kogus ning saagikus.[40]**

<b>Aasta</b>	<b>Raske kütteõli müük EUR</b>	<b>Metallijäätmet e müük EUR</b>	<b>Tahma müük EUR</b>	<b>Kokku müügitulu EUR</b>
2011	264618	66908	29132	360658
2012	429258	135909	8817	573984
<b>Aasta</b>	<b>Õli müügihind EUR/t *</b>	<b>Metalli müügihind EUR/t *</b>	<b>Tahma müügihind EUR/t *</b>	
2011	200	150	120	
2012	200	150	120	
<b>Aasta</b>	<b>Toodetud kütteõli t</b>	<b>Saadud metalli t</b>	<b>Toodetud tahma t</b>	
2011	1323,1	446,1	242,8	
2012	2146,3	906,1	73,5	
<b>Rehvid</b>	<b>Õli saagikus t</b>	<b>Metall</b>	<b>Tahma saagikus t</b>	
10000	4750	1050	3650	
Saagikus, %	0,475	0,105	0,365	
<b>Aasta</b>	<b>Rehvide kogus õli tootmiseks</b>	<b>Rehvide kogus metalli saamiseks</b>	<b>Rehvide kogus tahma tootmiseks</b>	<b>Ümbertöödeldu d rehvide kogus t</b>
2011	628,5	46,8	88,6	763,9
2012	1019,5	95,1	26,8	1141,4

\*Õli, metalli ning tahma hind on saadud arvutuslikul teel ning võivad mõnevõrra erineda tegelikest hindadest.

Hansa Biodieslile kuulutati välja pankrot 2013. Aastal, kuna jaama ei suudetud korralikult tööle saada ning väideti, et turuolukord oli kehv. Ka nõudis EAS tagasi jaamale antud toetuse.

Arvutatud võimsused tegutsemisaastatel jäid kõvasti alla planeeritud aastatootmisest, moodustades ca 8-12% aastatel 2011-2012. Põhjuseid, miks ei saadud jaama tööle, võib olla mitmeid. Esiteks võis antud tehnoloogia realiseeritavuse kvaliteet olla halb ning ei oldud arvestatud Eestis oleva toorme ehk vanarehvide koostisega, sest Aasia riikides toodetud rehvid erinevad mõnevõrra Euroopa jaoks toodetud rehvidest. Seetõttu võis olla ka produktide kvaliteet madal, kuna Aasia maades on antud produktidele seatud normid madalamad kui Euroopas. Ka on küsitav protsessi madal temperatuur, kuna nii madala temperatuuriga protsessi liigitatakse pigem torrefitseerimise alla. Tavaliselt jääb pürolüüsi protsessi temperatuur 400-650 kraadi vahemikku. On küll kaks pürolüüsi protsessi, kus temperatuurid jäävad maksimum 400 kraadini, on karboniseerimine ning vaakumprotsess. Katalüütilist pürolüüsimist pole ka uuritud piisavalt.[21][39]

## 5. Rehvide pürolüüsijaama ehitamine Eestisse

Kasutatud rehvide ladestumine kogumispunktidesse, prügilatesse ning loodusesse on kogu maailmas aktuaalne probleem, samuti ka Eestis, ning kujutab tõsist ohtu keskkonnale. Seega pole rehvide taaskasutamine pelgalt perspektiivikas, vaid hädavajalik tööstusharu, millele hetkel Eestis lahendused puuduvad.

Antud tehnoloogiast on vanarehvide ümbertöötlemiseks hetkel kõige perspektiivikam pürolüüsijaam, kuna saadavad produktid on turul suure nõudlusega ning jaam võimaldab utiliseerida suurema osa Eestis aastate jooksul ladestuvatest vanarehvidest (vt lisa 3).

Antud tehnoloogiat kasutatakse laialdaselt Aasia maades, kuid nende kvaliteet, saastennormid ning produktid ei vasta Euroopa turu nõuetele. Seetõttu Aasias müüdavate pürolüüsijaamade hind on väga atraktiivne Euroopa turul, kuid tavaliselt ei vasta need jaamad ootustele.

Näitlikuna võib öelda, et kui panna tünn lõkkele, teha see hermeetiliseks ning panna rehvid sisse, on võimalik ka sealt saada õli, *carbon black*'i ning gaasi, kuid produktide kvaliteet ei ole see, mida saaks tööstustes kasutada.[41]

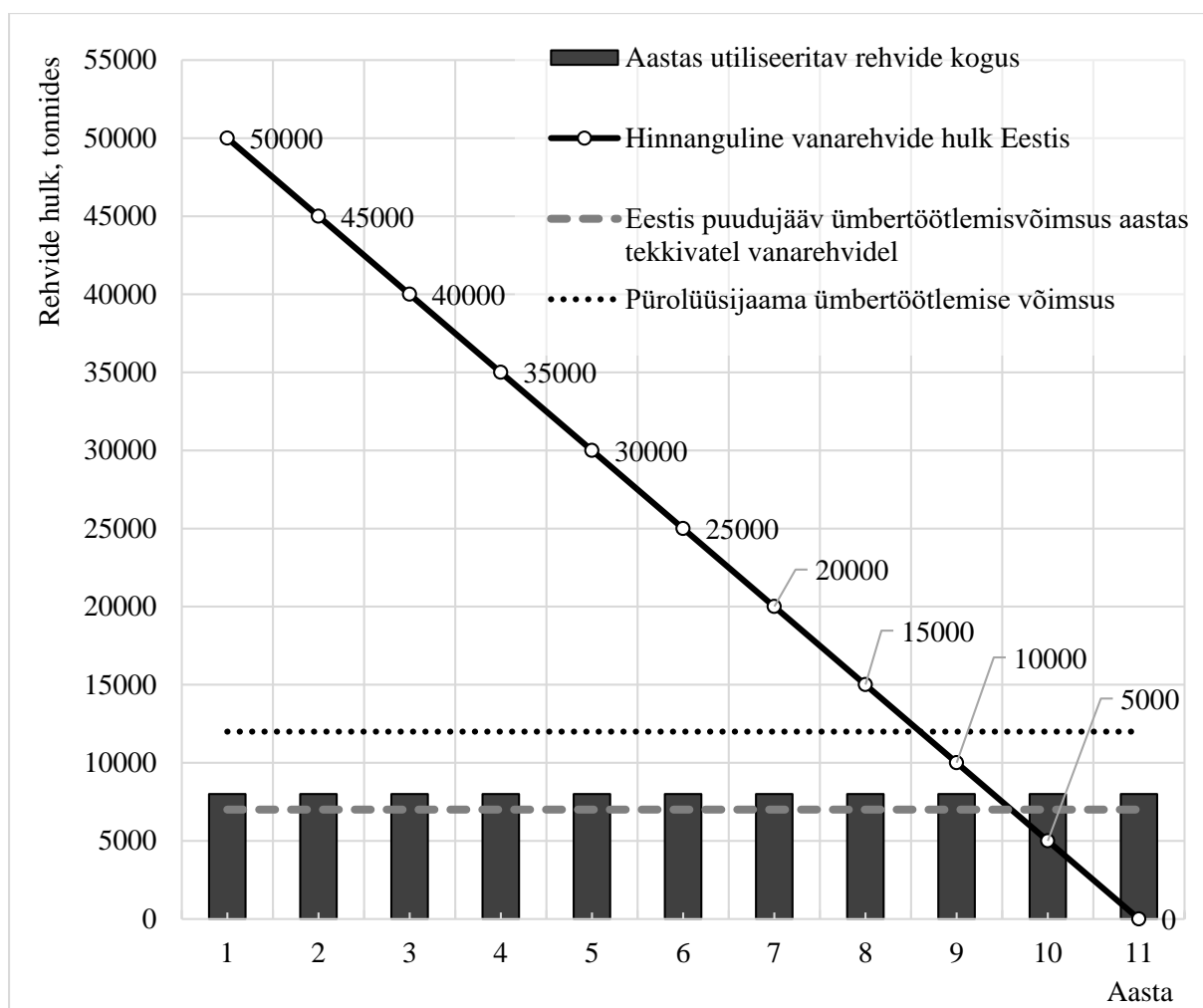
### 5.1. Pürolüüsijahase dimensioneerimine

Eestisse vanarehvide pürolüüsijahast dimensioneerides peaks see katma hetkel puudu jääva ümbertöötlemisvõimsuse ning suutma töödelda ka rehvimägedes ladestuvate rehvide koguse aastate jooksul.

Võttes arvesse, et Eestis jääb hetkel ümbertöötlemise võimsusest puudu umbes 7000 t (Eestis hinnanguliselt töödeldakse hetkel 8000 t vanarehvidest aastas), umbes 30 000 – 50 000 t rehve on rehvimägedena ladestatud ning lihtsalt loodusesse vedelema jäetud, sobiks Eestisse 12 000 t võimsusega pürolüüsijaam.

Jooniselt 5.1 on näha, et sellise võimsusega pürolüüsijaam jõuaks looduses olevad rehvid ümber töödelda umbes 11 aastaga – aastas 5000 t ning lisaks töödelda veel hetkel puudu jääv ümbertöötlemisvõimsus. Dimensioneerimine on tehtud Eesti hetkeolukorras, sest alati on võimalus uute ümbertöötlejate turule tulekuks, mis võib lepingute puudumisel tähendada toormest ehk vanarehvidest ilma jäämist.

Tegelikkuses ei tuleks karta toorme puudumist, sest erinevatel andmetel autode hulk maailmas suureneb igal aastal, mis tähendab, et tekib rohkem vanu rehve ringlusesse.



**Joonis 5.1** 12 000 tonnise ümber töötlemisvõimsusega pürolüüsijaama võimalik mõju rehvide utiliseerimisele Eestis

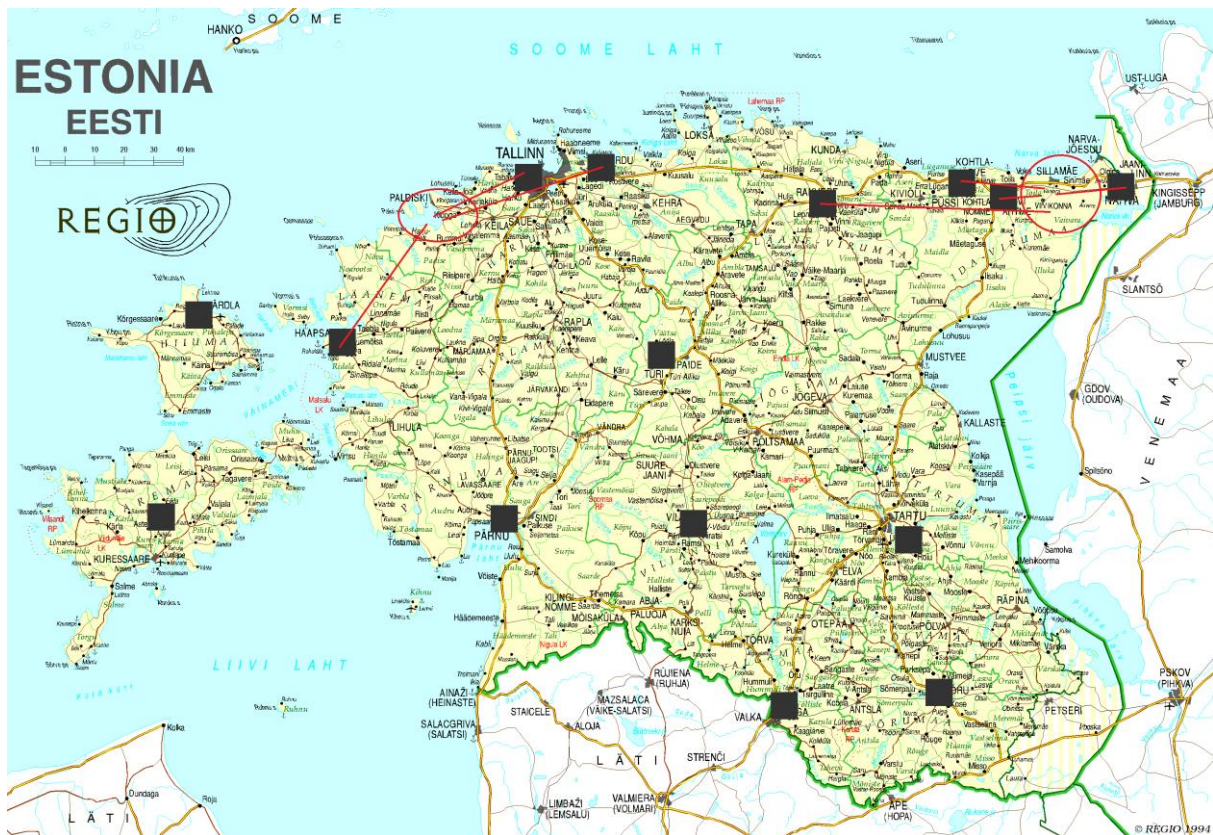
## 5.1 Pürolüüsijaama asukoht

Oluliseks kohaks pürolüüsijaama rajamisel on ka asukoht. Pürolüüsijaama asukoht peab olema strateegiline nii toorme ehk vanarehvide poole pealt kui ka lähtudes produktide transpordi odavusest klientideni jõudmisel.

Eestis on enamikes suurlinnades rehvikogumispunktid, kust viiakse rehvid suurematele ümbertöötlejatele. Logistilisest aspektist peaks rajatav pürolüüsitehas olema sadama läheduses, kus on lihtne ladustada pürolüüsiõli ning seda transportida.

Ida-Virumaa piirkond ning Paldiski on kaks potentsiaalset asukohta, kuhu rajada pürolüüsijaam. Antud piirkondade läheduses on sadam, mis lihtsustab produktide transpordi ning ladustamist. Teiseks on antud piirkondade läheduses rehvikogumispunktid ning ettevõtted, kes purustavad rehve.

Kuna Eestisse planeeritakse rajada Rail Baltic, võib Rail Balticu läheduses olev asukoht olla hea jaama ehitamiseks, kuna see muudaks õli transpordi odavamaks tsisternidega ning üldiselt on raudteetransport odavam võrreldes haagistega.



**Joonis 5.2 Pürolüüsijaama potentsiaalne asukoht[42]**

Joonisel 5.2 on punaste ringidena näidatud potentsiaalsed piirkonnad ning mustade kastidena rehvikogumispunktid.

Ida-Virumaal on hetkel kolm kogumispunkti, kust oleks võimalik vanu rehve saada pürolüüsijaama jaoks, veel on läheduses Rakvere kogumispunkt. Ka on antud piirkonnas Sillamäe sadam, kus on kütuseterminalid ning toimiv laevtransport.

Kuna Ida-Virumaa on kujunenud tööstuspiirkonnaks, on seal olemas kvalifitseeritud töajõud. Arvestades sellega, et nii VKG kui ka Enefiti tehastest koondati viimasel ajal töötajaid, siis antud piirkonnas aitaks jaam leevendada tööpuudust ning elavdada piirkonna majandust. Eesti riigil on ka plaan suunata rohkem raha nimetatud piirkonda ning arendada seal tööstust.

Paldiskis on ka strateegiliselt sobiv paik, kuna piirkonnas asub sadam, läheduses on rehvikogumispunkte ning Tallinnast tulev kvalifitseeritud töajõud.

## 5.2 Tehnoloogia valik

Erinevate ülikoolide uuringute põhjal on selgunud, et vanarehvide ümbertöötlemiseks on pürolüüsimine hetkel olevatest tehnoloogiast majanduslikult kõige kasulikum ning kõige vähem keskkonda saastav.

Rehvide pürolüüsijaama planeerimisel on tähtsaim osa reaktor ning tehnoloogia, kuna saagikus ning produktide kvaliteet sõltub reaktori tüübist ning parameetritest. Kõige tähtsam on temperatuuride vahemik, kus protsess toimub; viibeaeg ning sisse antav fraktsioonide suurus.

Tabelis 5.1 on toodud välja reaktorite tüübid, mis on enim levinud rehvide pürolüüsimiseks.

*Tabel 5.1 Rehvide pürolüüsireaktorite võrdlus [43]*

<b>Reaktori tüüp</b>	<b>Produktide saagikus</b>	<b>Toorme ettevalmistamise nõuded</b>	<b>Võimsus</b>	<b>Hoolduskulud</b>	<b>Temperatuuride vahemik °C</b>
Liikumatu reaktor	Kõrge õli ning gaasi saagikus, väike tahma saagikus	Ei ole otseseid nõudmisi	Väike, maksimum 7 t päevas	Madalad	400-700
Pöörlev reaktor	Keskmine õli ning tahma saagikus, väike gaasi saagikus	Ette nähtud fraktsiooni suurus	Suur, 150 000 t aastas	Keskmsed	400-600
Keevkiht reaktor	Keskmine õli ning gaasi saagikus	Ette nähtud fraktsiooni suurus	Suur, kogus pole piiritletud	Kõrged	500-700

Valikust on kõige optimaalsem pöörlev reaktor, kuna toimub toorme pidev segamine ning ühtlane kuumutamine. Kui toimub pidev toorme segunemine reaktoris, on termokeemiline protsess ühtlasem, mille tulemusena on produktide saagikus suurem ning kvaliteet parem.

Antud reaktori tüüpi hoolduskulud on keskmised ning reaktori eluiga on pikem, kui näiteks liikumatul reaktoril, kuna liikumatul reaktoril kuumutatakse ainult ühte osa reaktorist, põleb reaktori korpus kiiremini läbi.

Liikumatu reaktori sisse antava fraktsiooni suurus võib olla suurem ehk mõnesse antud tüüpi reaktorisse võib sisestada ka terveid rehve, mis aitab kokku hoida purustamiselt, kuid protsess ei ole antud olukorras nii ühtlane.

**Tabel 5.2 Saagikuse suuruse protsent tonni rehvide kohta temperatuuri vahemikus 300-700°C [17]**

<b>Produkt</b>	<b>300 °C</b>	<b>400 °C</b>	<b>500 °C</b>	<b>600 °C</b>	<b>700 °C</b>
Tahm	87.6 ± 7.8	55.9 ± 5.5	44.8 ± 0.6	44.2 ± 0.6	43.7 ± 0.4
Õli	4.8 ± 3.9	24.8 ± 6.0	38.0 ± 1.8	38.2 ± 0.5	38.5 ± 1.2
Gaas	7.6 ± 3.9	19.3 ± 2.2	17.2 ± 1.8	17.2 ± 1.8	17.8 ± 1.2

Tabelis 5.2 on välja toodud temperatuuride vahemik, kus on näidatud saagikuse osakaal sõltuvalt temperatuurist. Kuna 300 °C juures on põhimõtteliselt torrefitseerimise protsess, kus materjal kuivab ning toimub osaline lendosade eraldumine, protsessi põhiprodukt on tahke osa ehk antud olukorras *carbon black*.

Lisaks tahkele jäägile tekivad torrefitseerimisel kondenseeruvad ja mitte-kondenseeruvad gaasid, kus on väike osakaal õlil ning gaasil kondensatsiooni tagajärjel.

Gaasi osakaal jääb suures osas samaks antud vahemikus. Üle 700 °C hakkab juba tekkima gaasistamisprotsess, kus gaasi saagikus suureneb oluliselt, kuid teiste produktide osakaal väheneb.

Kõige optimaalsem temperatuur on 500-600 °C vahemik, kus *carbon black*'i ning õli saagikus on kõige suurem ehk tehnoloogia valikul peaks sihtima antud vahemikku. [22] [43]

### **5.3 Produktid**

Rehvide pürolüüsamise tulemusena tekib kolm produkti: *carbon black*, õli ning gaas. Lisaks on võimalik saada ka metalli, kui rehvid purustatakse jaamas koha peal.

### 5.3.1 Pürolüüsiõli

Pürolüüsiõli on musta pruunika värvusega, keskmise viskoossusega õli, millel on tugev aromaatsne lõhn. Keemiliselt on pürolüüsiõli väga kompleksne, sisaldades üle saja erineva ühendi. Peamised aromaatsed ühendid, mis on pürolüüsiõlist leitud, on benseen, toluen, ksüleen, stüreen ning limoneen. [22]

Katsetuste käigus on täheldatud pürolüüsiõlil, mis on tehtud vahemikus 450 kuni 650 °C, kõrgema temperatuuri tõustes aromaatsete fraktsioonide osakaalu suurenemine ning alifaatsete fraktsioonide osakaalu kahanemine. Umbes 450 °C on alifaatsete fraktsioonide osakaal 51,3% ning aromaatsete 36,7%. 600 °C kraadi juures on alifaatsete fraktsioonide osakaal 36,1% ning aromaatsete 45,6%.

Kuna pürolüüsiõli fraktsioonide suurused sõltuvad suuresti reaktori parameetritest, viibeajast, sekundaarsete reaktsioonide kasutamisest, võib täheldada mõnevõrra erinevaid numbreid õli fraktsioonides. Antud õli parameetrid olid saadud katsetuste käigus liikumatu kihiga reaktoris.[22]

Kuna rehvipürolüüsiõli on keemiliselt sarnane raskekütteõli ning põlevkiviõliga (vt tabel 4.1) on seda võimalik kasutada erinevatel generaatoritel elektritootmiseks ning üldiselt vähem nõudlikumates diiselmootorites.

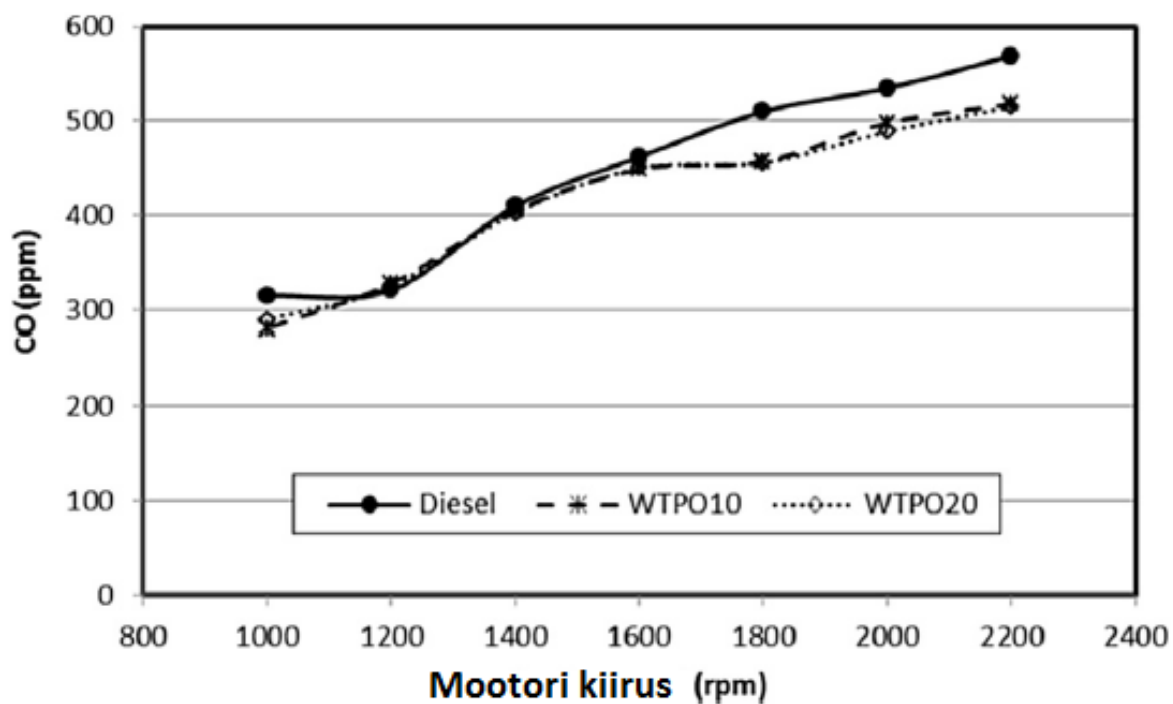
Türgi Cukurova ülikoolis katsetati rehvipürolüüsiõli diiselmootoris segatuna diisliga. Antud katses vaadeldi kahte parameetrit – heitmete koguseid ning mootori võimsust. Katsetused viidi läbi kahte tüüpi õliga, kus WTPO10 on diisli ning pürolüüsiõli segu, kuhu on segatud umbes 10% pürolüüsiõli, WTPO20 sisse segati 20% pürolüüsiõli.

Joonisel 5.3 on näha, CO heitmete kogus, kus WTPO-d kasutades vähenes heitmete kogus umbes 15%.

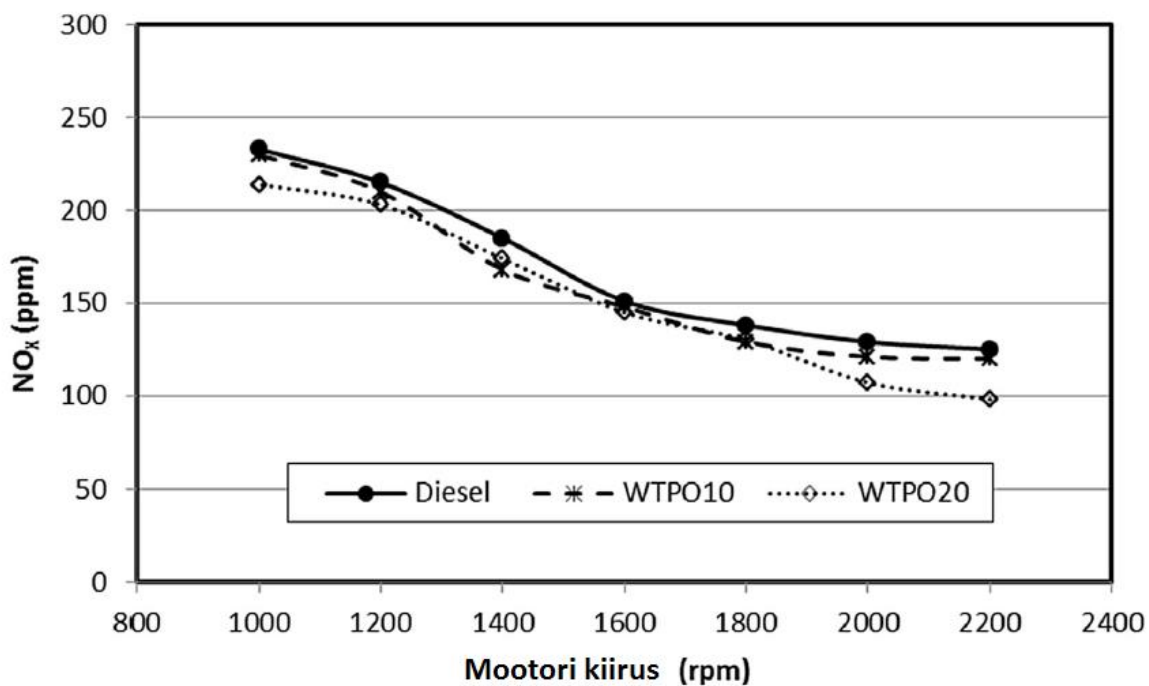
Joonisel 5.4 on vaadeldud NO<sub>x</sub>-ide kogust, mis vähenes 2000-2200 pöörete vahemikus kõige rohkem umbes 12%. Heitmete koguse vähenemine tulenes sellest, et pürolüüsiõlil on väiksem hapnikusisaldus.

Kuna väiksem hapnikukogus põlemisel vähendab põlemise temperatuure, väheneb ka NO<sub>x</sub>-ide kogus.





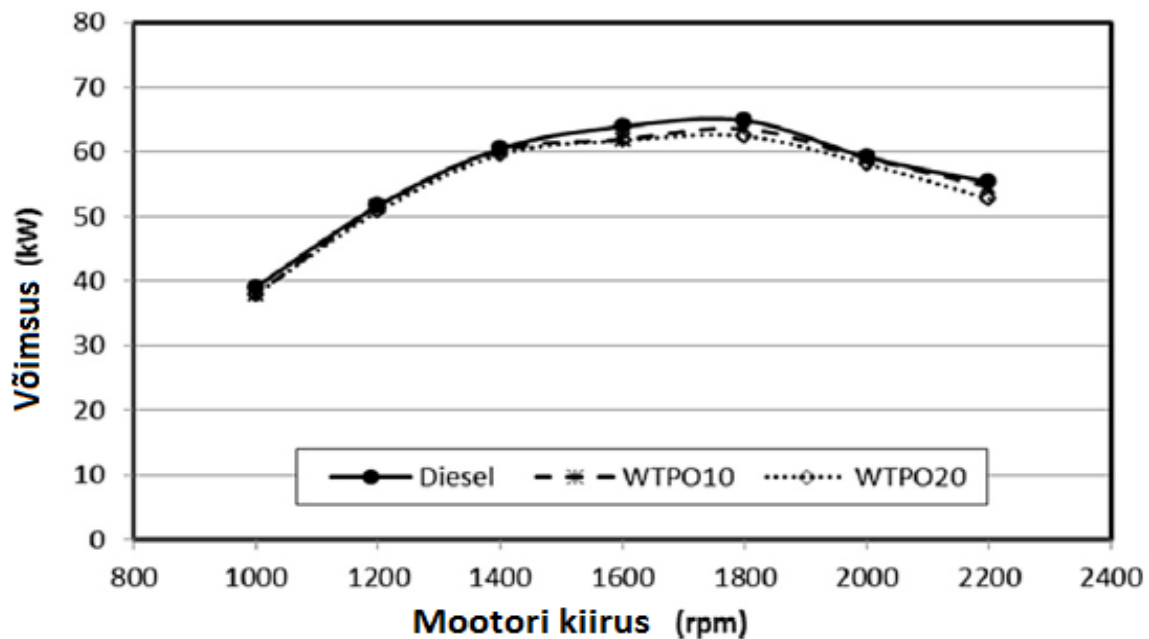
Joonis 5.3 CO heitmete kogus kasutades diisli ning pürolüüsiõli[44]



Joonis 5.4 NOx heitmete kogus diisli ning pürolüüsiõli [44]

Joonisel 5.5 on näha võimsuse parameetreid, kus katse käigus ei märgatud muutusi mootori võimsuse osas. Antud katse kokkuvõttena saab öelda, et pürolüüsiõli on võimalik kasutada

diiselmootorites ilma, et tekiks negatiivseid efekte mootoritöös, pigem vähendab pürolüüsiõli kasutamine mootorites põlemisel heitmete koguseid.



**Joonis 5.5 Mootori võimsus kasutades diislit ning pürolüüsiõli[44]**

Pürolüüsiõli väärtus turul on tavaliselt 20-25% toornafta hinnast, vaadates 2017. aasta toornafta hinda, mis on 350-385 EUR/t, jääb pürolüüsiõli hind vahemikku 200-300 EUR/t [45]. Hind sõltub suuresti ka koostisest ning väävlhulgast.

### 5.3.2 Carbon black

*Carbon black* (teiste nimetustega tahm, poolkoks, süsi) on materjal, mida toodetakse tavaliselt mittetäielikul põlemisel fossiilsetest kütustest. *Carbon black*'i on võimalik valmistada ka taimsetest õlidest toidutööstuse jaoks. Fossiilsetest kütustest valmistatud *carbon black* on parakristalse süsiniku vorm.

*Carbon black*'i valmistamiseks kulub umbes 1,5 kuni 2 kg toornaftat krakkimise teel, et valmistada 1 kg *carbon black*'i. *Carbon black*'i erinevaid tüüpe ning klasse kasutatakse kummitoodetes, rehvide valmistamiseks, plastikutes, värvide pigmentidena, elektroonikas jne. Taimsest õlist valmistatud *carbon black*'i kasutatakse toiduvärvadena. [22][46][47]

Tabelis 5.3 on toodud *carbon black*'i klassifikatsioon parameetrite järgi. Igat *carbon black*'i klassi kasutatakse erinevate kummitoodete valmistamiseks.

Antud klassidest kasutatakse kõige rohkem N330, N550, N660. N550 kasutatakse üldjuhul kummivoolikute, rihmade, rehvi karkassi ning piduri osade valmistamiseks. N330 kasutatakse mootoripatjade ning teistes kummitoodete valmistamiseks, kui on vaja kõrget kulumiskindlust. N660 kasutatakse kaablite isolatsiooni ning sisekummide valmistamiseks, kus kulumiskindlus on keskmine.

**Tabel 5.3 Carbon black'i klassifikatsioon [48]**

<b>Klass</b>	<b>Fraktsiooni suurus nm</b>	<b>Tõmbetugevus Mpa</b>	<b>Laboritingimustes kulumiskindlus</b>	<b>Kulumiskindlus</b>
N110	20-25	25,2	1,35	1,25
N220	24-33	23,1	1,25	1,15
N330	28-36	22,4	1	1
N300	30-35	21,7	0,8	0,9
N550	39-55	18,2	0,64	0,72
N660	49-73	16,1	0,56	0,66
N770	70-96	14,7	0,48	0,6
N880	180-200	12,6	0,22	-
N990	250-350	9,8	0,18	-

Rehvidest valmistatakse *carbon black*'i pürolüüsamise teel, kus rehvi fraktsioonid lagundatakse väikesteks molekulideks, mis vabastatakse gaasina. Selle tulemusena jääb alles tahke süsiniku osa ehk tahm (vt joonis 5.6).



**Joonis 5.6 Carbon black[46]**

Järgmise etapina lagundatakse tahm peenemaks fraktsiooniks ning seejärel muudetakse tahm pelletiteks, lisades sisse erinevaid sidusaineid. Selle tulemusena suureneb tahma mahumass

kolm kuni neli korda. Saadud *carbon black* on parameetritelt sarnane fossiilsetest kütustest valmistatud *carbon black*'ile ning seda on võimalik kasutada samades tootmisharudes.

*Carbon black*'i klass rehvide pürolüüsimisel sõltub suuresti vanarehvidest, kuna rehvitootjad kasutavad erinevaid keemilisi kompositsioone. Suur erinevus on ka suve- ning talverehvidel, kuna talverehvidel on rohkem metalli ning need sisaldavad mõnel määral rohkem väävlit. Näiteks N330 *carbon black*'i saab veoauto rehvidest, kuna seal kasutatakse algainena N330, ning sõiduauto rehvidest saab tavaliselt N550 ning N660.

Kasutades rehvidest saadud *carbon black*'i uute rehvide valmistamiseks, tekib terviklik taaskäitlusring, mis vähendab oluliselt heitmete koguseid, mis tekivad krakkimise teel toornaftast.[22][47]

*Carbon black*'i turg on rahvusvaheline ning terve turu suuruseks 2014. aastal oli 12 miljonit tonni ning prognoositav kasv 2022. aastaks on 16,4 miljonit tonni. 16,4 miljoni tonnise turu väärtus oleks hinnanguliselt 28 miljardit dollarit.[49]

### **5.3.3 Pürolüüsigaas**

Pürolüüsigaas tekib rehvi fraktsioonide lagunemisel väiksemateks molekulideks. Pürolüüsigaasi komponendid sõltuvad suuresti rehvide kompositsioonist nagu ka teised produktid.

Põhikomponendid pürolüüsigaasis on vesinik, metaan, etaan, eteen, propaan, butaan, buteen, süsinikdioksiid, süsinikmonoksiid, vesiniksulfiid. Pürolüüsigaasil on kõrge kütteväärtus, mis on vahemikus 40-65 MJ/m<sup>3</sup>, mis sõltub gaasi kompositsioonist, mis sõltub omakorda pürolüüsi temperatuurist, viibeajast, reaktori tüübist jms.

Tavaliselt puhastatakse pürolüüsigaas kohapeal ära ning kasutatakse reaktori enda kuumutamiseks.[22]

### **5.3.4 Metall**

Kuna enne reaktorisse toorme sisestamist peab rehvid purustama ning metalli eemaldama, on võimalik ka vanametall ära kasutada produktina. Rehvid sisaldavad tavaliselt 16,5% ehk ühes tonnises rehvides on umbkaudu 165 kg metalli.

## 5.4 Majanduslik tasuvus

Majanduslikud arvutused on tehtud pürolüüsijaamade konkreetsete pakkumiste põhjal, kus on võetud kolme pakkumise keskmised kulud ning maksumused. Produktide hinnad turul on hinnatud konservatiivselt ehk madalaimale tasemele.

Arvutuste põhjal on jaama keskmiseks maksumuseks võetud 14 000 000 EUR ning keskmisteks kuludeks 4 176 546 EUR 12 000 t võimsusega jaamal. Tabelis 5.4 on tehtud KMK analüüs, kus on arvutatud minimaalne rehvide kogus, kus vanarehvide pürolüüsijaam on kasumlik.

Arvutustes kasutatud kulud sisaldavad palkasid, mis on võetud üle Eesti keskmise, hoolduskulusid ning kõike ettevõtlusega seotud kulusid.

Produktide hindadeks on võetud: õli 200 EUR/t, *carbon black* 896 EUR/t ning metall 150 EUR/t.

Antud arvutuste kohaselt jookseb piir 6800 t juures, millal jaam jõuab kasumisse. Üle 7000 tonni töötlev pürolüüsijaam teeniks kasumit umbes 180 000 EUR aastas ning 12 500 t jaam teeniks kasumit umbes 2 000 000 EUR aastas.

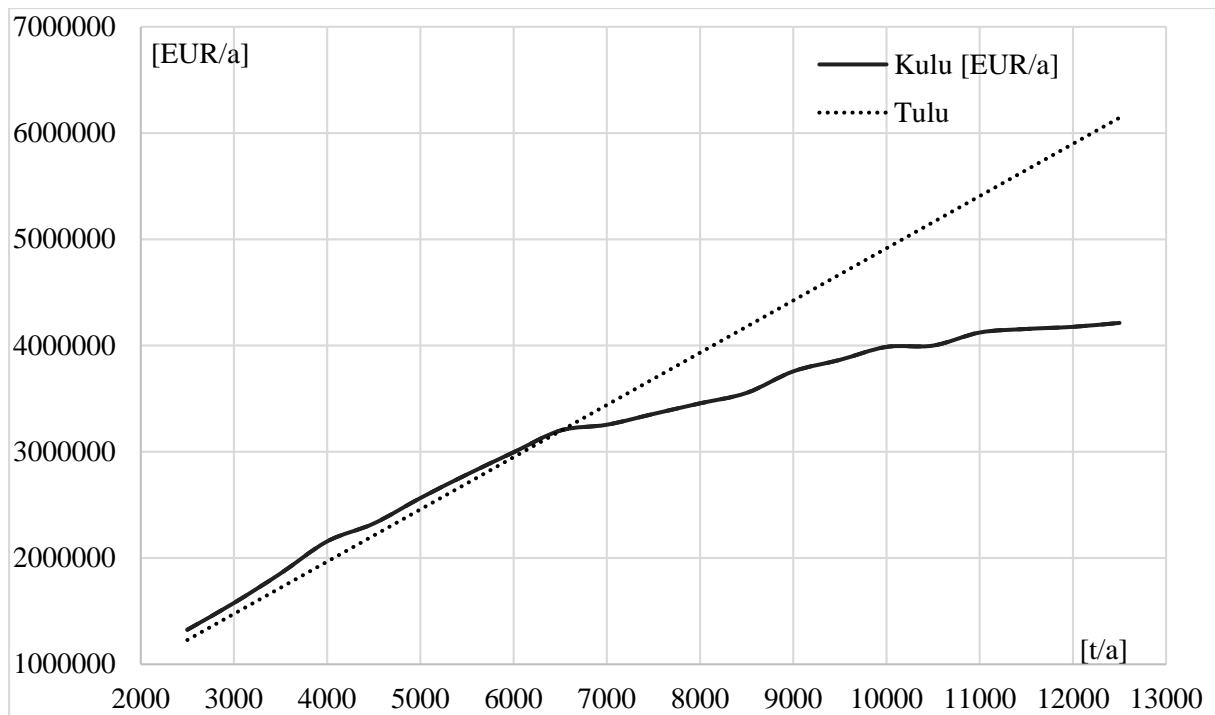
KMK analüüs on üles ehitatud olukorrale, kus rehvid saadakse nullhinnaga kätte ning purustatakse jaamas kohapeal ning rehvide purustamisel saadud metall müüakse kokkuostjatele.

Hetkepakkumiste põhjal on kõik Euroopa tootjate poolt pakutavad lahendused 12 000 t. Aasia maades pakutakse ka madalama nimivõimsusega jaamasid, kuid nende tehnoloogia kasutamine Eestis ning üldiselt Euroopas on kaheldava väärtusega.

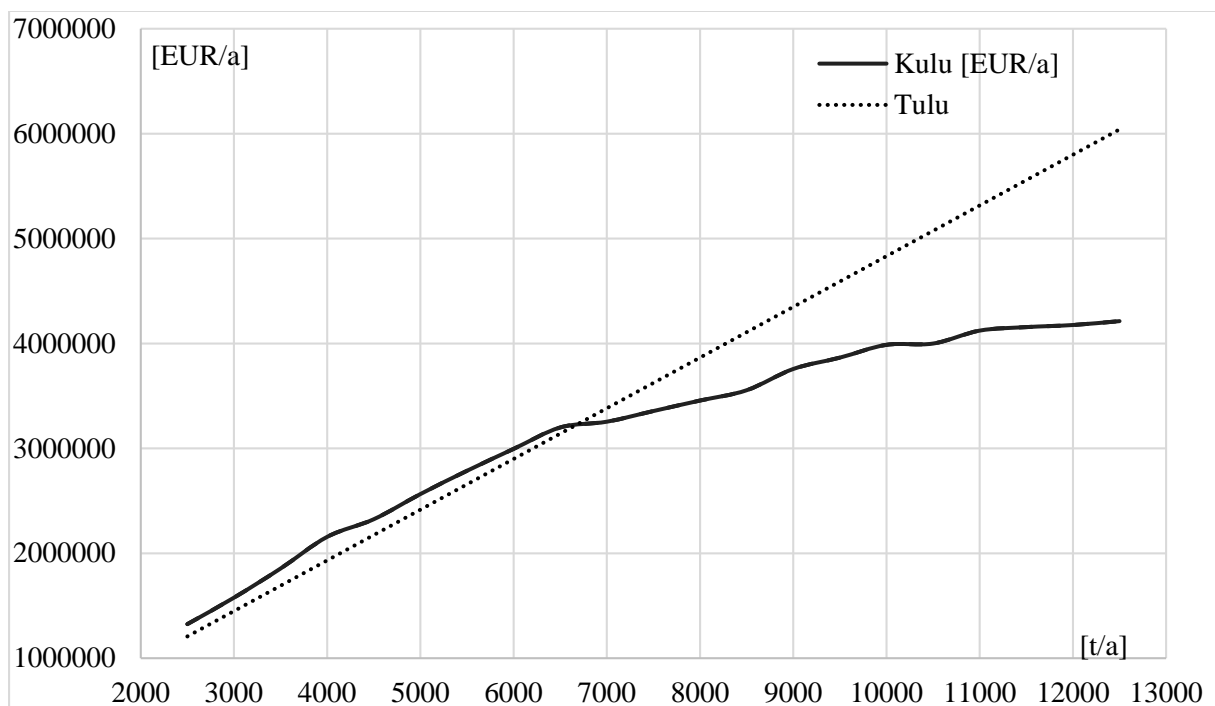
**Tabel 5.4 KMK analüüs**

Rehvide maht [t/a]	Toodang [t]			Tulud [EUR/a]				Kulu [EUR/a]	Kasum [EUR/a]
	Rehvid	Õli	Tahm	Metall	Õli	Tahm	Metall	Kokku	Kokku
<b>2500</b>	1000	1125	250	200000	1008000	20750	1228750	1324576	-95826
<b>3000</b>	1200	1350	300	240000	1209600	24900	1474500	1576542	-102042
<b>3500</b>	1400	1575	350	280000	1411200	29050	1720250	1854654	-134404
<b>4000</b>	1600	1800	400	320000	1612800	33200	1966000	2156456	-190456
<b>4500</b>	1800	2025	450	360000	1814400	37350	2211750	2324654	-112904
<b>5000</b>	2000	2250	500	400000	2016000	41500	2457500	2564564	-107064
<b>5500</b>	2200	2475	550	440000	2217600	45650	2703250	2786546	-83296
<b>6000</b>	2400	2700	600	480000	2419200	49800	2949000	2995465	-46465
<b>6500</b>	2600	2925	650	520000	2620800	53950	3194750	3199765	-5015
<b>7000</b>	2800	3150	700	560000	2822400	58100	3440500	3254740	185760
<b>7500</b>	3000	3375	750	600000	3024000	62250	3686250	3356465	329785
<b>8000</b>	3200	3600	800	640000	3225600	66400	3932000	3456465	475535
<b>8500</b>	3400	3825	850	680000	3427200	70550	4177750	3554654	623096
<b>9000</b>	3600	4050	900	720000	3628800	74700	4423500	3757465	666035
<b>9500</b>	3800	4275	950	760000	3830400	78850	4669250	3865465	803785
<b>10000</b>	4000	4500	1000	800000	4032000	83000	4915000	3987654	927346
<b>10500</b>	4200	4725	1050	840000	4233600	87150	5160750	4000000	1160750
<b>11000</b>	4400	4950	1100	880000	4435200	91300	5406500	4123123	1283377
<b>11500</b>	4600	5175	1150	920000	4636800	95450	5652250	4156467	1495783
<b>12000</b>	4800	5400	1200	960000	4838400	99600	5898000	4176546	1721454
<b>12500</b>	5000	5625	1250	1000000	5040000	103750	6143750	4213546	1930204

Joonisel 5.7 on näidatud graafiliselt piir, millise võimsusega jaam jõuab kasumisse Eesti tingimustes. Eestisse jaama planeerides on arvestatud Euroopa tehnoloogia pakkujatega, kuna fookuseeritakse Eesti tingimustes parimale tehnoloogiale ning seadmete kõrgele kvaliteedile.



**Joonis 5.7 KMK analüüs (metalli, carbon black'i ning õli müügi puhul)**

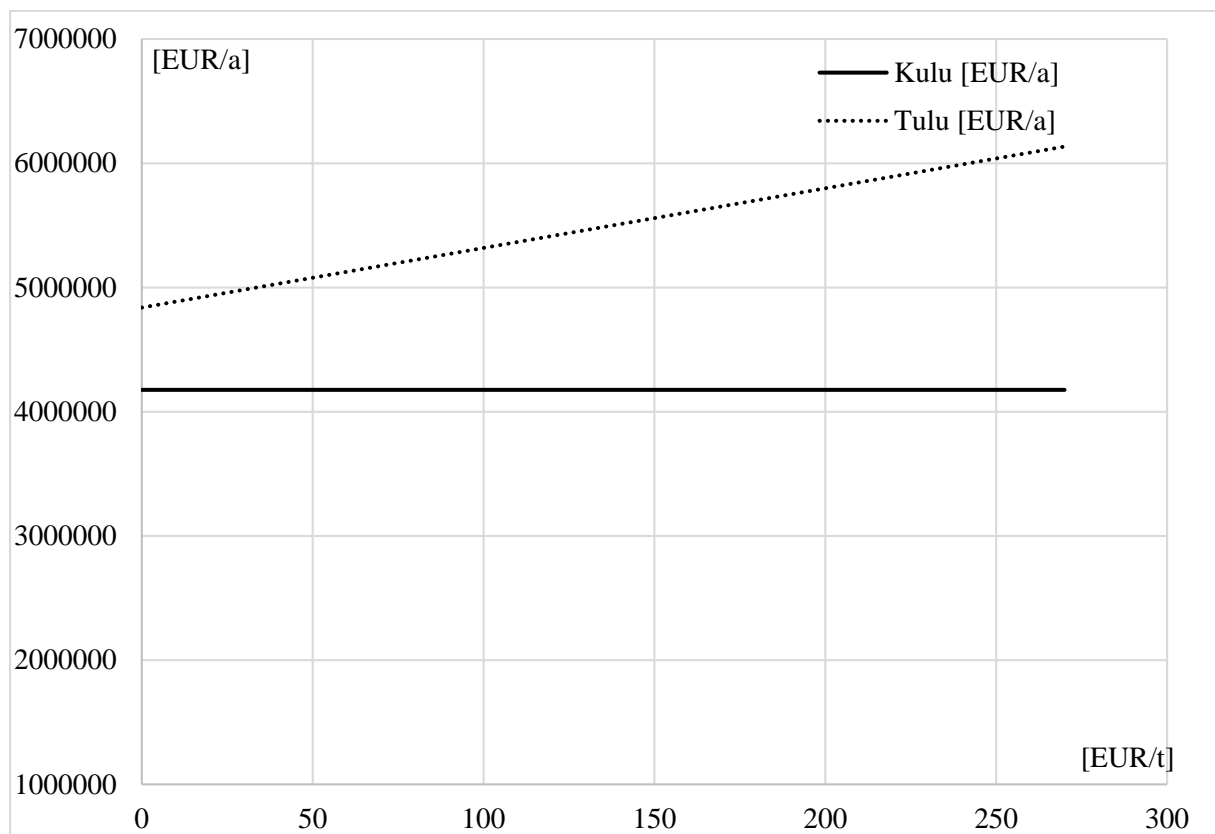


**Joonis 5.8 KMK analüüs (carbon black'i ning õli müügi puhul)**

Joonisel 5.8 on tehtud analüüs olukorras kus metalli müüki ei toimu. Kuna antud turu olukorras on majanduslikult otstarbekam osta juba purustatud vanarehvid sisse null hinnaga (metall tekib vanarehvide purustamisel). Rehvipuru null hind põhineb informatsioonil, mis on

saadud suheldes erinevate vanarehvide käitlejatega. Kuna metalli kogus on umbes 10% purustatud rehvidest ei muuda see ka oluliselt KMK analüüsi.

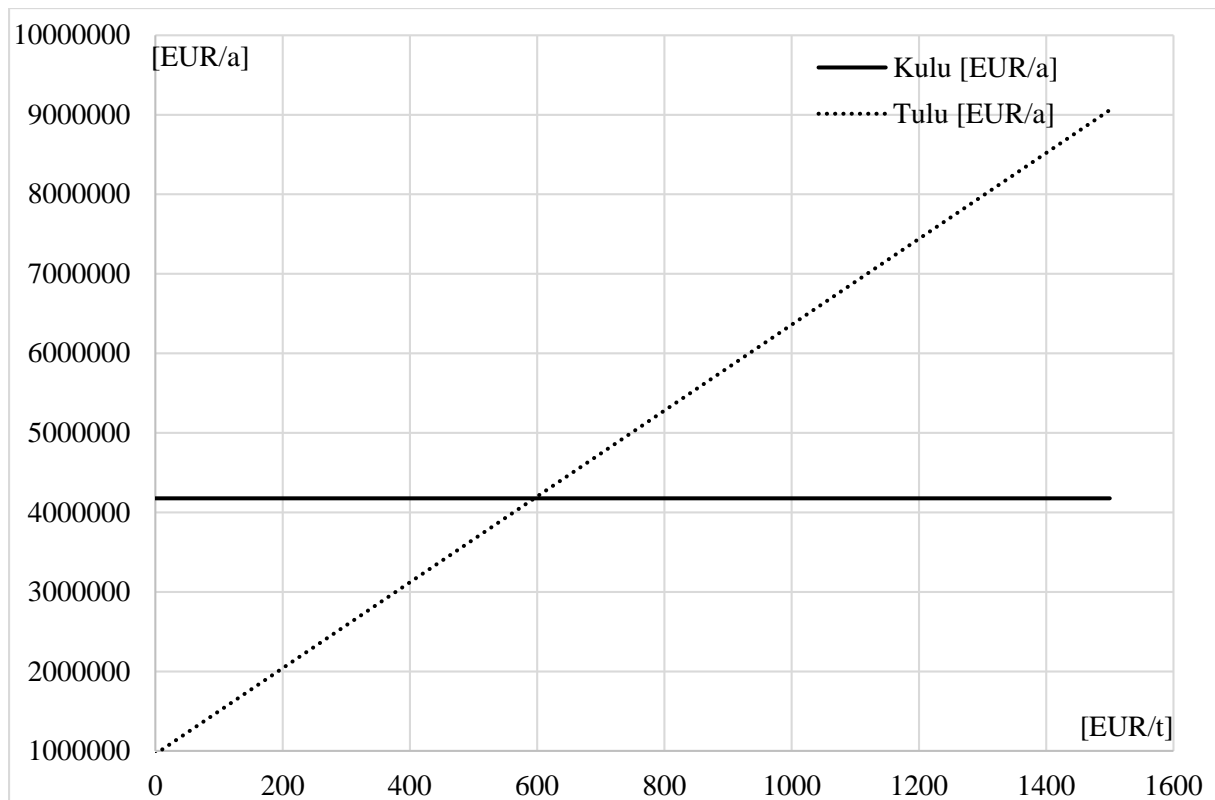
Antud graafikud ning arvutused ei pruugi kajastada 100% turuolukorda, kuna maailmaturu nafta hind on väga volatiivne ning on tihedalt seotud *carbon black*’i ning pürolüüsiõli turuga. Seetõttu on tehtud tundlikuse analüüs 12 000 t jaama õli ning *carbon black*’i erinevate hindade korral. Joonisel 5.9 on tehtud tundlikuse analüüs õli hinna vahemikus 0 EUR/t – 270 EUR/t ning joonisel ning joonisel 5.10 tundlikuse analüüs *carbon black* hindade vahemikus 0 EUR/t – 1500 EUR/t.



**Joonis 5.9 Pürolüüsijaama tundlikkuse analüüs õli hindade korral, kus *carbon black*’i hind 896 EUR/t**

Võimalusel kui õli turg ära kaob on jaam ikkagi kasumis 811 854 EUR-iga ning 270 EUR/t puhul on jaam kasumis 2 107 854 EUR-iga. Volatiivne nafta hind maailmaturul ei mõjutaks antud jaama nii suurel määral, et ebasobiva turu olukorra puhul jääks jaam kahjumisse. Küll aga mõjutab *carbon black*’i maailmaturu hind jaama kasumlikust, mida on näha joonisel 5.10.

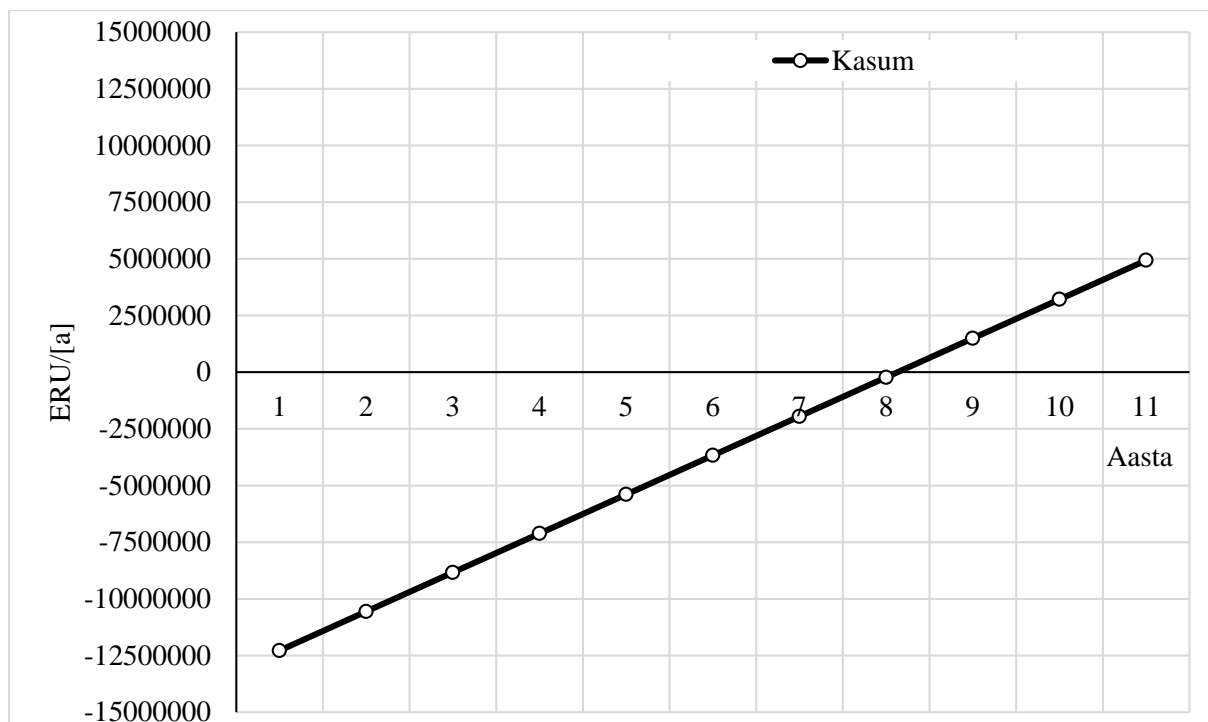




**Joonis 5.10 Pürolüüsijaama tundlikkuse analüüs carbon black'i hindade korral, kus õli hind 200 EUR/t**

Olukorras kus carbon black'i turg kaob oleks jaam miinuses 3 216 546 EUR. Carbon black'i minimaalne turu hind, kus jaam oleks kasumlik on 600 EUR/t. Olukorras kus turu hind carbon black'il on 1500 EUR/t teeniks jaam kasumit 4 883 454 EUR ning käive carbon black'i müügist oleks 9 060 000 EUR.

Reaalsed turuhinnad vanarehvidest pürolüüsimise teel saadud carbon black'il jäävad vahemikku 896 EUR/t kuni 1200 EUR/t, mõningase info põhjal on ka hind küündinud 1586 EUR/t. Reaalne pürolüüsiõli turuhind jääb vahemikku 200 EUR/t kuni 270 EUR/t.



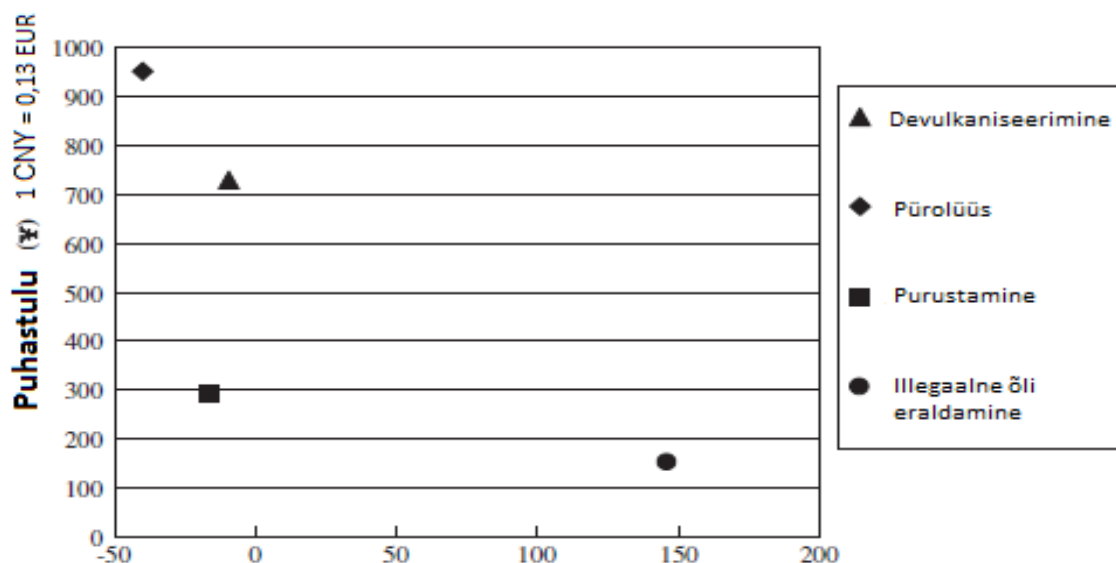
**Joonis 5.11 12 000 t pürolüüsijaama tasuvusaeg**

Joonisel 5.11 on arvatud 12 000 t pürolüüsijaama tasuvusaeg, kus jaam jõuab nulli kaheksandal aastal ning hakkab kasumit tootma. Antud jaama kulud sisaldavad kõiki kulusid, mis kaasnevad antud jaama käitlemisega – hoolduskulud, palgakulud, transport jms. Tasuvusaja arvutustes on hinnatud produktide turuväärtused madalaimale tasemele. Kümneks aastaks on jaam teeninud kasumit 4 935 944 EUR

Arvutuste põhjal võib öelda, et vanarehvide pürolüüsijaam on perspektiivikas ning kasumlik, jaam toodaks iga aastast riigile suhteliselt suure maksutulu ning pakuks tööd umbes 22 inimesele. Lisaks sellele saaks Eesti lahti probleemist ehk vanarehvidest, millele on otsitud lahendust üle kümne aasta. Peatükis 5.3.2 on tutvustatud ka *carbon black*’i turgu, kus on näha et antud turg suureneb jõudsalt iga aasta, mis annab rohkem kindlust vanarehvide pürolüüsijaama rajamiseks.

Erinevate ülikoolide uuringute põhjal on ka selgunud, et vanarehvide pürolüüsimine on majanduslikult kõige kasulikum ning kõige vähem keskkonda saastav tehnoloogia vanarehvide ümbertöötlemiseks.

Joonisel 5.12 on toodud kolm põhilist ümbertöötlemise tehnoloogiat devulkaniseerimine ning purustamine.



**Joonis 5.12 Majandusliku-keskkonna võrdlus erinevatel ümbertöötlemistehnoloogiatel[50]**

Antud uuringus selgub, et kõige efektiivsem on pürolüüsimine, millele järgneb devulkaniseerimine, mis on umbes 20% ebaefektiivsem ning viimasena purustamine, mis on umbes 50% ebaefektiivsem kui pürolüüsimine.[47]

### 5.5 Pürolüüsijaama mõju Eestile ning lähisriikidele

Põhiline mõju Eestile, mida annaks pürolüüsijaama rajamine, on konkreetne pürolüüsitehnoloogia, mis aitaks ümber töödelda vanu rehve. 12 000 t võimsusega pürolüüsijaam suudaks Eestis laiuvad rehvimäed ning loodusesse jäetud vanarehvid ümber töödelda umbes 10 aastaga, sealjuures käidelda veel iga-aastaselt tekkivaid vanu rehve.

Pürolüüsijaam elavdaks rajatavas piirkonnas majandust, annaks riigile maksutulu ning pakuks 22 inimesele tööd.

Kuna toornaftast valmistatud 1 kg *carbon black*'ile kulub umbes 2 kg naftat, vähendaks rehvidest toodetud *carbon black* CO<sub>2</sub> taset aastas hinnanguliselt 24 000 t. Kuna antud jaam toodab ka õli, on seda võimalik kasutada ära rohelise elektrienergia tootmiseks.[17]

Juhul kui Eestisse tekib aastate jooksul juurde rehvide ümbertöötlemise jaamasid, on võimalik utiliseerida ka naaberriikide rehve.

Naaberriikides Soomes, Lätis ning Leedus kasutatakse hetkel rehvide utiliseerimiseks sarnaseid tehnoloogiaid nagu Eestis. Soomes 70% vanadest rehvidest purustatakse ning kasutatakse teede ehituseks, 19% vanadest rehvidest põletatakse kütusena. [51]

Lätis avati 2013. aastal rehvide pürolüüsimisjaam, mis suudab käidelda päevas 5 t rehve, mille mahtu on võimalik suurendada uute reaktorite lisamisega. Jaama kodulehe andmetel on võimalik viia vanu rehve ümbertöötlemiseks, hinnakirja järgi peab maksma 55 EUR/t sõiduauto rehvide eest ning 70 EUR/t traktori rehvide eest. Nagu ka Eestis purustatakse suurel hulgal vanu rehve Lätis. [52]

Leedus valmistatakse sarnaselt Eestile, Lätile ning Soomele vanadest rehvidest kummimatte ning mänguväljakute katteid. [53]

## Lõputöö kokkuvõte

Käesoleva magistr töö eesmärk oli anda ülevaade vanarehvide utiliseerimisest Eestis, sellega seonduvatest keskkonnamõjudest, Eestis tegutsevatest ning tegutsenud rehvide ümbertöötlejatest. Töös pakutakse välja lahendus vanarehvide ümbertöötlemiseks pürolüüsijaamas.

Antud magistr töö esimeses osas uuriti seadusandlikku tausta, kuidas toimib rehvide utiliseerimine ning kui palju tekib Eestis vanu rehve. Vanarehvide kogus Eestis on umbes 30 000 – 50 000 t, mis on ladestatud rehvimägedena ning jäetud loodusesse. Eestis tekitab aastas hinnanguliselt 10 000 – 15 000 t vanu rehve, millest hetkeseisuga utiliseeritakse umbes 7000 – 8000 t. Seetõttu on olukord, kus aastas jääb liialt väikese utiliseerimistasu, puuduliku tehnoloogia ning utiliseerimistasu maksmata jätmisel ümbertöötlemata umbes 7000 t vanu rehve.

Eestis kehtib jäätmeseaduse alusel rehvide maaletoojale kohustus maksta taaskasutustasu, mille suurus on olenevalt rehvi tüübist 75 EUR/t kuni 135 EUR/t. Aastast 2005 kehtib rehvidele ka tootjavastutus põhimõte, mille tulemusena on loodud kaks tootjavastutusorganisatsiooni MTÜ Rehviringlus ning MTÜ Rehviliit, kelle ülesandeks on korraldada rehvide utiliseerimine. Töö käigus selgus ka, et MTÜ Rehviliidul tekkis maksejõuetus, kus ei suudetud järjest suurenevaid vanarehvide koguseid utiliseerida, mis jätab hetkel Eestisse ühe tootjavastutusorganisatsiooni MTÜ Rehviringlus.

Töö teises osas uuriti rehvide koostist ning vanarehvide keskkonnamõjusid. Rehvid koosnevad 47% kummiühenditest, 21,5% *carbon black*’ist, 16,5% metallist, 7,5% kemikaalidest ning 5,5% tekstiilist. Kuna rehvide struktuur on väga tugev, nad peavad vastu pidama suurtele kiirustele, pidurdamisele ning temperatuurimuutustele, on rehvi lagunemine väga pikk protsess. Töös selgus, et vanarehvid ladestatuna ning purustatuna looduses võivad avaldada negatiivset mõju keskkonnale. Kuna rehvid sisaldavad erinevaid kemikaale näiteks tsinki, väävli ja erinevad polütsüklilisi aromaateid süsivesinikke võivad need pinnasesse jõuda. Töö käigus uuriti katset kus vaadeldi tsingi eraldumist pinnasesse, antud uuringust selgus, et õigetes tingimustes võib ühest rehvist eralduda 36 g tsinki tunnis. Eestis võib tsingi sisaldus olla pinnases 0,2 g/kg kohta. Teises uuringus selgus, et laste mänguväljakutel kasutatav rehvipuru võib sisaldada väga kõrgel määral PAH-e vahemikus 1 µg – 200 µg ning leiti ka väga kõrgel määral bensopüreeni. Antud kemikaalid võivad põhjustada geenimutatsioone, vähki ning teisi väga raskeid haigusi.

Vanarehvid on ka heaks elupaigaks erinevatele kahjuritele ning loomadele, kes võivad levitada haiguseid, näiteks sääsed ning erinevad närilised.

Töö kolmandas osas uuriti vanarehvide ümbertöötlemise tehnoloogiaid, milleks on purustamine, pürolüüsimine, devulkaniseerimine, põletamine kütusena ning protekteerimine. Eestis kasutatakse kõige rohkem antud tehnoloogiast purustamist, mis jagatakse mehaaniliseks purustamiseks, krüogeenpurustamiseks ning osooniga purustamiseks. Mehaanilisel purustamisel on lõiketerad, mis purustavad rehvid sobivateks fraktsioonideks. Väiksemateks fraktsioonideks purustamisel kasutatakse mitme astmelist purustamist, mis muudab ühiku hinda kallimaks. Krüogeenpurustamisel kasutatakse enne purustit lämmastikku, mis muudab rehvide struktuuri hapraks ning teeb purustamise lihtsamaks. Purustatud rehve kasutatakse kütusena, kummimattide valmistamiseks, mänguväljakute katteks jms. Pürolüüsimine on termokeemiline protsess, mille tulemusena tekib kolm produkti *carbon black*, õli ning gaas. Hetkel kasutatakse pürolüüsimist rehvide utiliseerimiseks suhteliselt vähe, kuid töös leiab kinnitust et antud tehnoloogia on majanduslikult kõige tasuvam. Vanu rehve kasutatakse ka kütusena, kuna rehvide kütteväärtus on suhteliselt suur 41 MJ/kg, mille ekvivalent on 9,17 kWh/kg. Devulkaniseerimine on keemiline protsess, mille tulemusena tekib vastupidav kumm, mida kasutatakse kas rehvide valmistamiseks või teiste kummitoodete valmistamiseks. Rehvide protekteerimine on vanade rehvide taastamine, kus võetakse vana rehvi karkass ning valmistatakse sellest uus rehvi.

Töö neljandas osas uuriti ettevõtteid, kes tegutsevad ja on tegutsenud rehvide ümbertöötlemisega. Paljud ettevõtetest tegutsesid purustamisega. Teistest ettevõtetest võib välja tuua Enefiti ning VKG kes on katsetanud rehvide pürolüüsimist, kuid pole hetkel katsetuste faasist kaugemale läinud. Veel võib välja tuua Hansa Biodiesli, kes rajas rehvide pürolüüsijaama. Antud jaam jõudis töötada kolm aastat enne kui firma pankroti läks. Jaama pankroti minemisel on spekulieritud mitmeid põhjuseid, Hiina tehnoloogia, mida ei saadud tööle korralikult ning turuolukorra muutumine.

Magistritöö viimases osas planeeritakse ning pakutakse välja Eestisse rajada rehvide pürolüüsijaam, mis suudaks töödelda 12 000 t vanarehve. Pürolüüsamise käigus tekib kolm väärtuslikku produkti, mille järele on turul suur nõudlus. *Carbon black*'i turuväärtus on umbes 16 miljardit dollarit, rehvidest toodetava *carbon black*'i turuhind on 896 EUR/t kuni 1500 EUR/t kohta sõltuvalt toodetavast klassist. Õli hind jääb vahemikku 200 EUR/t kuni 300 EUR/t eest. Töö käigus tehtud arvutuste kohaselt toodaks jaam aastas kasumit umbes 1 621 854

EUR, olukorras, kus produktide hinnad on võetud turu kõige madalamad. Antud jaama tasuvusaeg jääb 7-8 aasta piirile. Sellise jaama ehitamine Eestisse suudaks tuua suure muutuse vanarehvide ümbertöötlemisse, saada lahti vanarehvide probleemist Eestis, anda vanarehvidele lisandväärtus, vähendada keskkonna saastamist ning teenida riigile maksutulu.

# Kasutatud kirjandus

- [1] Riigikogu, "Elektrooniline riigi teataja, jäätmeseaduse paragrahvid 25, 26, 36" 11.03.2007 [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.riigiteataja.ee/akt/12894710>
- [2] Rehviliit, "Rehviliidu tootjavastutussüsteem" 2016. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: [http://www.rehviliit.ee/web2/?cat\\_ID=3&page\\_id=10](http://www.rehviliit.ee/web2/?cat_ID=3&page_id=10)
- [3] Statistikaamet, "Eestisse esmakordselt registreeritud autod" 2016 [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.stat.ee/34654>
- [4] Eesti Päevaleht, "Metsa alla võib hakata kogunema tonnide viisi taaskasutamata rehve" 19.02.2016. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <http://epl.delfi.ee/news/eesti/metsa-alla-voib-hakata-kogunema-tonnide-viisi-taaskasutamata-rehve?id=73719933>
- [5] Keskkonnaministeerium, "Vanarehvide probleemi lahendamise ettepanekud" 09.04.2017. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <http://www.envir.ee/et/vanarehvide-probleemi-lahendamise-ettepanekud>
- [6] Postimees, "Rehviliit lõpetab rehvide taaskasutamise suunaga" 29.09.2016. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <http://majandus24.postimees.ee/3855195/rehviliit-lopetab-rehvide-taaskasutamise-suunaga>
- [7] Nankang-Tyre, "Rehvi struktuur" 22.01.2017. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <http://www.nankang-tyre.com/img/knowledge/name.png>
- [8] A.Evans, R.Evans "Composition of tires" Wrap, 27.02.2006. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/2%20-%20Composition%20of%20a%20Tyre%20-%20May%202006.pdf>
- [9] Wikipedia, "Rehvide valmistamine" 01.05.2017. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: [https://en.wikipedia.org/wiki/Tire\\_manufacturing](https://en.wikipedia.org/wiki/Tire_manufacturing)
- [10] A.Wik, G.Dave, "Acute toxicity of leachates of tire wear material" 10.09.2006. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653505014657>



- [11] Riigiteataja, "Pinnases ja põhjavees ohtlike ainete sisalduse piirnormid" §4, 20.11.2005. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav:<https://www.riigiteataja.ee/akt/961568>
- [12] M.Llompart, L.Sanchez, P.Lamas, C.Garcia, E.Roca, T.Dagnac, "Hazardous organic chemicals in rubber recycled tire playgrounds and pavers" 2013. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653512009848>
- [13] Vikipeedia, "Polütsüklilised aromaatsed süsivesinikud", 10.04.2017. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav:[https://et.wikipedia.org/wiki/Pol%C3%BCts%C3%BCklilised\\_aromaatsed\\_%C3%BCsivesinikud](https://et.wikipedia.org/wiki/Pol%C3%BCts%C3%BCklilised_aromaatsed_%C3%BCsivesinikud)
- [14] ELAW, "Health impacts of open burning of used (scrap) tires and potential solutions" 2015 [Võrgumaterjal]. Kättesaadav:<https://www.elaw.org/content/health-impacts-open-burning-used-scrap-tires-and-potential-solutions-science-memo>
- [15] Solid Waste Agency, "The problem with waste tires" 2016. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav:<http://sciswa.org/the-problem-with-waste-tires/>
- [16] Mtmakina, "Rehvipurusti" 20.10.2016. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav:<http://mtmakina.com/images/urunler/cs-lastik-parcalayici/cs-lastik-parcalama-makinesi-8.jpg>
- [17] R.Muhammad, "Life Cycle Assessment of Waste Car Tyres at Scandinavian Enviro Systems" Master thesis, Sweden, 2005 [Võrgumaterjal]. Kättesaadav:<http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/171866/171866.pdf>
- [18] RTI Cryogenics, "Primary tire recycling" 29.08.2011 [Võrgumaterjal]. Kättesaadav:<http://www.rticryocanada.com/technologies/primary-tire-recycling/>
- [19] D.Kohods, N.Mirmov, A.Vassiliev, A.Vernyi "Plant for reprocessing waste tires and for modifying rubber crumb" Patent, 2009. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav:<https://www.google.com/patents/EP2106893A1?cl=en>
- [20] Calrecycle, "Increasing the Recycled Content in New Tires", Nevada Automotive Test Center, Nevada, 2004. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav:[www.calrecycle.ca.gov/publications/Documents/Tires%5C62204001.doc](http://www.calrecycle.ca.gov/publications/Documents/Tires%5C62204001.doc)
- [21] S.Link, "Biomassi termokeemiline muundamine" TTÜ, Tallinn, 2016

- [22] P. Williams, "Pyrolysis of Waste Tyres: A Review" Universities of Leeds, England, 2013. [Võrgumaterjal].  
Kättesaadav: [http://eprints.whiterose.ac.uk/77990/3/REVISED%26RE-SUBMITTED-PyrolysisofWasteTyres-ASRE-SUBMITTED\\_with\\_coversheet.pdf](http://eprints.whiterose.ac.uk/77990/3/REVISED%26RE-SUBMITTED-PyrolysisofWasteTyres-ASRE-SUBMITTED_with_coversheet.pdf)
- [23] Scrap tire news "Tire derived fuel" 2017. [Võrgumaterjal].  
Kättesaadav: <http://www.scraptirenews.com/tdf.php>
- [24] Eddie N. Laboy, "Energy Recovery from Scrap Tires: A Sustainable Option for Small Islands like Puerto Rico" Universidad del Turabo, Puerto Rico, 2014. [Võrgumaterjal].  
Kättesaadav: <https://ideas.repec.org/a/gam/jsusta/v6y2014i5p3105-3121d36305.html>
- [25] Calrecycle, "Rubberized Asphalt Concrete" 28.01.2016. [Võrgumaterjal].  
Kättesaadav: <http://www.calrecycle.ca.gov/tires/RAC/>
- [26] Tampere University, "Devulcanization" 19.12.2007. [Võrgumaterjal].  
Kättesaadav: [https://www.tut.fi/ms/muo/vert/6\\_elastomeric\\_materials/recycling\\_methods\\_devulcanization.htm](https://www.tut.fi/ms/muo/vert/6_elastomeric_materials/recycling_methods_devulcanization.htm)
- [27] New Rubber Tech, "Breaking the molecular backbone created by vulcanization process" 2016. [Võrgumaterjal].  
Kättesaadav: [http://www.newrubbertech.com/devulcanization\\_technology.php](http://www.newrubbertech.com/devulcanization_technology.php)
- [28] Kummimatid OÜ, "Kummimatid" 2014. [Võrgumaterjal].  
Kättesaadav: <http://kummimatid.ee/>
- [29] Võrumaateataja, "Kuusakoski metalliveskis on purustatud üle miljoni tonni vanametalli" 05.09.2016. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.vorumaateataja.ee/arhiiv/60-uudised/15665-kuusakoski-metalliveskis-on-purustatud-ule-miljoni-tonni-vanametalli>
- [30] Ärileht, "Eesti Energia hakkab Irus rehve põletama" 30.11.2016. [Võrgumaterjal].  
Kättesaadav: <http://arileht.delfi.ee/news/uudised/eesti-energia-hakkab-irus-rehve-poletama?id=76446183>
- [31] Protekterimine, "Rehvide protekterimine" 2017. [Võrgumaterjal].  
Kättesaadav: <http://www.protekterimine.ee/>
- [32] Rubber, "Nelitäht OÜ" 2017. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <http://rubber.ee/uus-veeb/>

- [33] Põhjarannik, "Eesti Energia üritab rehvidest õli kätte saada" 15.09.2016. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav:<http://pr.pohjarannik.ee/?p=19188>
- [34] Pealinn, "EAS ajas toetuse saaja pankrotti" 27.04.2015. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav:<http://www.pealinn.ee/koik-uudised/eas-ajas-toetuse-saaja-pankrotti-n142898>
- [35] Harju elu, "Harjumaal laiuvad vanarehvide mäed" 27.10.2016. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav:Ragn Sells <http://www.harjuelu.ee/2016/10/7750/harjumaal-laiuvad-vanarehvide-maed/>
- [36] Põhjarannik, "Eesti Energia üritab rehvidest õli kätte saada" 15.09.2016. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav:<http://pr.pohjarannik.ee/?p=19188>
- [37] M.Tšudakov, "Põlevkiviõli - Eesti strateegiline kütus" TTÜ, Tallin, 2004. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: [http://www.ene.ttu.ee/maeinstituut/loput/Tshudakov\\_Polevkivioli.pdf](http://www.ene.ttu.ee/maeinstituut/loput/Tshudakov_Polevkivioli.pdf)
- [38] Inseneeria, "Probleemne jääde kui tooraine - Hansa Biodiesel" 05.06.2011. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav:[https://issuu.com/eas-estonia/docs/inseneeria\\_06\\_2011](https://issuu.com/eas-estonia/docs/inseneeria_06_2011)
- [39] Tallinna Ülikooli Ökoloogia instituut, "HANSA BIODIESEL OÜ POOLT RAJATAVA VANAREHVIDE PÜROLÜÜSI TEHASE VÕIMALIKU KESKKONNAMÕJU HINDAMISE (KMH) ARUANNE" TLÜ, Jõhvi, 2009. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: [https://kunda-ee.vserver.zonevs.eu/public/files/HBD\\_KMH.pdf](https://kunda-ee.vserver.zonevs.eu/public/files/HBD_KMH.pdf)
- [40] Krediidiraport, "Hansa Biodiesli aastaaruanne" 2011. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav:<https://krediidiraportid.ee/hansa-biodiesel-ou>
- [41] M.R Islam, M.U.H.Joardder, S.M Hasan, K.Takasi, H.Haniu "Feasibility study for thermal treatment of solid tire wastes in Bangladesh by using pyrolysis technology" 2011. [Võrgumaterjal].
- [42] G.Grauding, "ERINEVAD KASUTATUD REHVIDE TAASKASUTAMISE VÕIMALUSED EESTIS" Bakalaureusetöö, TLÜ, Tallin, 2006. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav:[http://www.rehviliit.ee/docs/rehv\\_taaskasutamine\\_eestis.doc](http://www.rehviliit.ee/docs/rehv_taaskasutamine_eestis.doc)

- [43] D.Chen, L.Yin, H.Wang, P.He, "Pyrolysis technologies for municipal solid waste" 2014. [Võrgumaterjal]  
Kättesaadav:<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X14003596>
- [44] E.Hürdoğan, C.Ozalp, O.Kara, M.Ozcanli, "Experimental investigation on performance and emission characteristics of waste tire pyrolysis oil&diesel blends in a diesel engine" 10.01.2017. [Võrgumaterjal].  
Kättesaadav:<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319916336734>
- [45] Nasdaq, "Crude Oil Price" 2017. [Võrgumaterjal].  
Kättesaadav:<http://www.nasdaq.com/markets/crude-oil.aspx>
- [46] Wikipedia, "Carbon black" 24.04.2017. [Võrgumaterjal].  
Kättesaadav:[https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon\\_black](https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_black)
- [47] Envirosystem, "Carbon black" 2017. [Võrgumaterjal].  
Kättesaadav:<https://www.envirosystems.se/en/plants-circular-materials/carbon-black/>
- [48] New World Encyclopedia, "Carbon black" 10.01.2017. [Võrgumaterjal].  
Kättesaadav:[http://www.newworldencyclopedia.org/entry/Carbon\\_black](http://www.newworldencyclopedia.org/entry/Carbon_black)
- [49] Grand viewer research, "Carbon Black Market Size to Reach USD 28.05 Billion By 2022" 05.04.2016. [Võrgumaterjal].  
Kättesaadav:<http://www.grandviewresearch.com/press-release/global-carbon-black-market>
- [50] X.Li, H.Xu, Y.Gao, Y.Tao, "Comparison of end-of-life tire treatment technologies: A Chinese case study" 2010. [Võrgumaterjal].  
Kättesaadav:<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X10003211>
- [51] Finnish Tyre Recycling, "New life for your old tyres" 24.05.2017. [Võrgumaterjal].  
Kättesaadav:[https://www.rengaskierratys.com/en/tyre\\_recycling](https://www.rengaskierratys.com/en/tyre_recycling)
- [52] Edaugava, "Lāti pürolüüsiijaam" 2014. [Võrgumaterjal].  
Kättesaadav:<http://www.edaugava.lv/>
- [53] Metaloidas, "Tyre Recycling" 2017. [Võrgumaterjal].  
Kättesaadav:<http://www.metaloidas.lt/en/padangu-perdirbimas/>

- [54] Maaleht, " Karistused keskkonnarikkumiste eest muutuvad üha karmimaks" 15.02.2017. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav:[http://gl.nh.ee/images/pix/1000x654/0zRZAi-B\\_4c/mtu-rehviringlus-raadi-tartu-kasutatud-rehvid-prugi-purgimagi-rehvihun-77242884.jpg](http://gl.nh.ee/images/pix/1000x654/0zRZAi-B_4c/mtu-rehviringlus-raadi-tartu-kasutatud-rehvid-prugi-purgimagi-rehvihun-77242884.jpg)
- [55] Tyre pyrolysis plant, "Rehvide põlengud" 29.04.2015. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav:<http://tyrepyrolysisplants.net/wp-content/uploads/2015/04/wastetires.jpg>
- [56] Envirosystems, "Pyrolysis plant" 09.01.2017. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav:[https://www.envirosystems.se/app/uploads/2\\_clean.jpg](https://www.envirosystems.se/app/uploads/2_clean.jpg)

# Lisad

1. L.1.Raadi rehvimägi
2. L.2.Rehvide põlengud
3. L.3.Vanarehvide pürolüüsijaam

## L.1 Raadi rehvimägi



*Joonis L.1 Raadi rehvimägi [54]*

## L.2 Vanarehvide põleng



*Joonis L.2 Vanarehvide põleng[55]*



## L.3 Vanarehvide pürolüüsijaam



*Joonis L.3 Vanarehvide pürolüüsijaam[56]*