



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

TTÜ Energiatehnoloogia instituut

MADALA GWP-GA ALTERNATIIVSETE KÜLMAAINETE KASUTAMISE PERSPEKTIIV EESTIS

THE PERSPECTIVE OF USING LOW-GWP ALTERNATIVE REFRIGERANTS
IN ESTONIA

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Hannamary Seli

Üliõpilaskood: 163081MASM

Juhendaja: Eduard Latõšov, dotsent

Tallinn 2018

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

“.....” juuni 2018

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“.....” juuni 2018

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....” juuni 2018

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

TTÜ Instituudi nimetus
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Hannamary Seli, 163081MASM
Õppekava, peeriala: MASM02/15 - Energiatehnoloogia ja soojusenergeetika
Juhendaja: dotsent Eduard Latõšov, 620 3908

Lõputöö teema:

(eesti keeles) MADALA GWP-GA ALTERNATIIVSETE KÜLMAAINETE KASUTAMISE
PERSPEKTIIV EESTIS

(inglise keeles) THE PERSPECTIVE OF USING LOW-GWP ALTERNATIVE REFRIGERANTS
IN ESTONIA

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Analüüsida riikliku andmebaasi (FOKA andmebaas) põhjal, milliseid F-gaase ja kui palju Eestis kasutatavates seadmetes sisaldub, teha kindlaks seadmete hulk, seadmetes sisalduvad ained ja nende kogused, kaardistada erinevate F-gaaside kasutus jahutus-, kliimaseadmetes ja soojuspumpades.
2. Võrrelda enamkasutatavate kõrgema GWP-ga F-gaaside ja keskkonnasõbralike alternatiivsete külmaainete hindu ja mõju keskkonnale; tutvustada erinevates seadmetes kasutatavaid madalama GWP-ga alternatiivseid külmaaineid.
3. Tõsta jahutus- ja energeetikavaldkonnas tegutsevate inimeste teadlikkust enamkasutatavate F-gaaside suhtes määruse (EL) nr 517/2014 artiklitega 11 ja 13 rakenduvatest turustamiskeeldudest ja piirangutest.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Lõputöö teema ning eesmärkide sõnastamine ja struktuuri ülesehitus	20.02.2018
2.	Lõputöö algandmete kogumine, info modifitseerimine ja formuleerimine	15.04.2018
3.	FOKA registris olevate andmete analüüs, arvutuste ja järelduste tegemine	30.04.2018
4.	Lõputöö vormistamine	20.05.2018
5.	Lõputöö esitamine	02.06.2018

Töö keel: eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "....." juuni 2018. a

Üliõpilane: Hannamary Seli "....." juuni 2018. a
/allkiri/

Juhendaja: Eduard Latõšov "....." juuni 2018. a
/allkiri/

SISUKORD

EESSÖNA.....	8
Lühendite ja tähiste loetelu	9
SISSEJUHATUS	11
1. FLUORITUD KASVUHOONEGAASID, NENDE KASUTUSALAD JA LEVIK	14
1.1. Külmaainete arengud	15
1.2. F-gaaside kasutustrendid Eestis	17
2. CO ₂ HEITKOGUSTE VÄHENDAMINE JA HFC-DE JÄRKJÄRGULINE VÄHENDAMINE.....	20
2.1. Süsinikdioksiidi heitkoguste vähendamine	20
2.2. HFC-de järkjärguline vähendamine	20
2.3. Kõrge GWP-ga HFC-dele rakenduvad keelud ja piirangud	22
3. KESKKONNASÕBRALIKUD ALTERNATIIVSED KÜLMAAINED.....	24
3.1. Alternatiivsete külmaainete jagunemine	25
3.2. Alternatiivsete külmaainete jagunemine tegevusvaldkonniti	25
3.2.1. Alternatiivsed külmaained kliimaseadmete ja soojuspumpade jaoks	25
3.2.2. Alternatiivsed külmaained tööstusjahutite ja kaupluste külmasüsteemide jaoks.....	27
3.3. Külmaainete tuleohtlikkus ja ohutusklassid.....	29
3.4. Levinumate alternatiivsete külmaainete omadused ja nende põhilised erinevused HFC- dega võrreldes	31
3.4.1. Süsinikdioksiid ja tema põhilised tehnilised erinevused HFC-dega võrreldes.....	31
3.4.2. Ammoniaak ja tema põhilised tehnilised erinevused HFC-dega võrreldes.....	31
3.4.3. Süsivesinikud ja nende põhilised tehnilised erinevused HFC-dega võrreldes.....	32
3.4.4. Küllastumata süsivesinikud ja nende põhilised tehnilised erinevused HFC-dega võrreldes.....	33
3.5. Alternatiivsete külmaainete kasutust takistavad tegurid	34
3.5.1. Eeskirjade, standardite ja õigusaktide asjakohasus	34
3.5.2. Eeskirjadest, standarditest ja õigusaktidest tulenevad takistused	34
3.5.3. Liikmesriikide edastatud teave riiklike eeskirjade, standardite ja õigusaktide kohta ...	35
3.5.4 Takistused ammoniaagi ja süsinikdioksiidi kasutamiseks külmaainena.....	35
3.5.5 Takistused tuleohtlike külmaainete – HC-de ja HFO-de – kasutamiseks	36
3.5.6. Järeldused.....	36
4. FOKA REGISTRIS OLEVATE ANDMETE ANALÜÜS	37
4.1. FOKA register.....	38

4.2.	FOKA andmete analüüs ja hetkeolukord Eestis	39
4.2.1.	Jahutusseadmete detailsem jagunemine	42
4.2.2.	Kliimaseadmete detailsem jagunemine	44
4.2.3.	Soojuspumpade detailsem jagunemine	45
4.3.	Kõrge GWP-ga aine R-404A koguse vähenemisprognos aastani 2035	45
4.4.	Olemasolevates seadmetes sisalduvate kõrge GWP-ga F-gaaside ja madala GWP-ga alternatiivsete külmaainete võrdlus	48
4.4.1.	Olemasolevates seadmetes sisalduvate F-gaaside maksumus	48
4.5.	Analüüsi järeldused	52
	KOKKUVÕTE	55
	SUMMARY	58
	KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	61
	LISAD	64
	Lisa 1 Määruse (EL) nr 517/2014 lisa III [15]	64
	Lisa 2 Olemasolevates seadmetes sisalduvate külmaainete jagunemine [FOKA andmebaas, aprill 2018]	65
	Lisa 3 FOKA registrisse registreeritud seadmete jagunemine valdkonniti [FOKA andmebaas, aprill 2018]	66
	Lisa 4 Eestis kasutuselolevate ainete jaotus seadmes sisalduva aine koguse ja sellele vastava heitkoguste järgi [FOKA andmebaas, aprill 2018]	67
	Lisa 5 Kliimaseadmetes sisalduvate ainete detailsem jagunemine [FOKA andmebaas, aprill 2018]	68
	Lisa 6 Soojuspumpades sisalduvate ainete detailsem jagunemine, [FOKA andmebaas, aprill 2018]	69

Jooniste loetelu

Joonis 1.1. Montreali protokolliga reguleeritavate ainete kasutuse arengud [9].....	16
Joonis 1.2. Eesti F-gaaside heitkogused valdkonniti perioodil 1990-2016, kt CO ₂ ekv [5].....	18
Joonis 2.1. HFC-de järkjärguline vähendamise graafik aastani 2030 [15].....	21
Joonis 4.1. Seadmetes sisalduvate ainete jaotus seadmete liigi, hulga (tk) ja aine koguse (kg) järgi, [FOKA andmebaas, aprill 2018].....	41
Joonis 4.2. Seadmetes sisalduvate ainete kogustele vastavad heitkogused seadmete liigi kaupa, [FOKA andmebaas, aprill 2018].....	42
Joonis 4.3. Jahutusseadmetes sisalduva R-404A vähenemisgraafik perioodil 2018-2035, [FOKA andmebaas, aprill 2018].....	47
Joonis 4.4. Ainekogusele 162 239 kg vastav heitkogus (CO ₂ ekv t) ja hind (€) CO ₂ , NH ₃ , HC-290 ja viie enamkasutatud F-gaasi kohta.....	52

Tabelite loetelu

Tabel 1.1. Eestis enamlevinud ained, nende GWP-d ja kasutusvaldkonnad [14]	18
Tabel 2.1. Määruse (EL) nr 517/2014 artikli 11 lõikes 1 osutatud turulelaskmise keelud [15].....	23
Tabel 3.1. Soojuspumpades kasutatavad alternatiivsed külmaained [23].....	26
Tabel 3.2. Kliimaseadmetes kasutatavad alternatiivsed külmutusagensid [23]	26
Tabel 3.3. Tööstusjahutuses kasutatavad alternatiivsed külmaained [23].....	27
Tabel 3.4. Kaupluste külmasüsteemides kasutatavad alternatiivsed külmaained [23]	29
Tabel 3.5. Külmutusagensite ohutusklassid [26].....	30
Tabel 3.6. Euroopa tasandi standardid, mis on seotud jahutus-, kliimaseadmete ja soojuspumpadega [30].....	35
Tabel 4.1. Seadme täitekogused (kg) ümberarvutatuna CO ₂ -ekvivalenttonnideks [32]	39
Tabel 4.2. FOKA registreeritud seadmete jagunemine liigiti, seadmete hulga (tk), seadmetes sisalduva aine koguse (kg), (CO ₂ ekv t) järgi, [FOKA andmebaas, aprill 2018]	40
Tabel 4.3. Enamkasutatavate F-gaaside kogused (kg), nendele vastavad heitkogused (CO ₂ ekv t) ja osakaal (%) Eestis, [FOKA andmebaas, aprill 2018]	41
Tabel 4.4. Jahutusseadmete jagunemine [FOKA andmebaas, aprill 2018].....	43
Tabel 4.5. Määruse (EL) nr 517/2014 artiklitega 11 ja 13 kehtestatud piirangud ja keelud [15]	46
Tabel 4.6. Jahutusseadmetes sisalduva R-404A koguse vähenemine perioodil 2018-2035	47
Tabel 4.7. Olemasolevates seadmetes sisalduvate ainete maksumus	49
Tabel 4.8. CO ₂ ja viie enamlevinud kõrgema GWP-ga F-gaasi hinna- ja keskkonnamõju võrdlus ...	50
Tabel 4.9. NH ₃ ja viie enamlevinud kõrgema GWP-ga F-gaasi hinna- ja keskkonnamõju võrdlus...	50

Tabel 4.10. HC-290 ja viie enamlevinud kõrgema GWP-ga F-gaasi hinna- ja keskkonnamõju võrdlus	51
Tabel 4.11. Viie enamkasutatava F-gaasi ja alternatiivsete külmaainete võrdlus sama ainekoguse korral	51

EESSÕNA

Käesoleva lõputöö teema on sõnastatud ja valitud autori poolt, kes Eesti Keskkonnauuringute Keskuses töötades vastava teemaga kokkupuudet omas. Alternatiivsetele külmaainetele üleminek on hetkel äärmiselt aktuaalne teema, kuna Euroopa Parlamendi ja nõukogu määrus (EL) nr 517/2014 näeb ette järkjärgulist fluorosüsivesinike (HFC-de) koguste vähendamist 79% võrra perioodil 2015-2030. Samuti on nimetatud määruse kohaselt kehtestatud turustamiskeelud uutele seadmetele ja piirangud kõrge globaalse soojendamise potentsiaali ehk GWP-ga (2 500 ja enam) fluoritud kasvuhooonegaaside kasutamisele.

Autor peab oluliseks käsitleda valitud teemat eelnimetatud õigusnormidega kehtestatud keeldude ja piirangute valguses. Ühtlasi kaardistab autor töö käigus hetkeolukorra Eesti jahutus-, kliima-seadmetes, soojuspumpades ning tööstuslikes jahutusseadmetes ja kaupluste külmasüsteemides kasutatavate külmutusagensite kohta. Samuti analüüsib autor, milliseks võib kujuneda olukord eelmainitud määrusega kehtestatud nõuete kehtima hakkamisel jahutusseadmetes enimkasutatava külmaaine R-404A puhul. Käesolevas lõputöös sisalduv info aitab ettevõtteid ja seadmete omanikke, kes plaanivad uute seadmete soetamist või soovivad infot selle kohta, millised on soovituslikud madala GWP-ga külmutusained erinevates valdkondades, samuti avardab töös käsitletav materjal külmamehaanikute silmaringi alternatiivsete külmaainete osas. Käesolev töö võib olla aluseks tulevikus tehtavate külmaainetega seotud uuringute või teadustööde koostamisel. Autorile teadaolevalt ei ole Eestis seni vastavasisuliselt kraaditöid avaldatud, mistõttu on käesolev lõputöö unikaalne.

Käesolevas töös on autor tuginenud nii Eesti Keskkonnauuringute Keskuse infomaterjalidele kui ka ÜRO Keskkonnaprogrammi ning Euroopa Liidu poolt välja töötatud aruannetele ja uuringutele. Suurel määral on autor lõputöös juhindunud Euroopa Parlamendi ja nõukogu poolt välja antud määrusest (EL) nr 517/2014 fluoritud kasvuhooonegaaside kohta.

Autor avaldab tänu lõputöö juhendajale Eduard Latõšovile tema abivalmiduse, heade tähelepanekute ning edasiviivate märkuste ja innustamise eest lõputöö koostamisel. Samuti tänab autor oma kolleege Eesti Keskkonnauuringute Keskusest nende toetuse, täiendavate märkuste ja heade nõuannete eest.

Märksõnad: *fluoritud kasvuhooonegaasid, alternatiivsed külmutusagensid, R-404A, globaalse soojendamise potentsiaal, magistritöö*

Lühendite ja tähiste loetelu

CCl₄ – süsiniktetrakloriid, külmaaine tööstuslik nimetus R-10

CEN – Euroopa Standardimiskomitee (ingl k *European Committee for Standardization*)

CENELEC – Euroopa Elektrotehnika Standardimiskomitee (ingl k *European Committee for Electrotechnical Standardization*)

CFC – täielikult halogeenitud süsivesinik; klorofluorosüsinik (ingl k *chlorofluorocarbon*)

CO₂-ekvivalenttonn – kasvuhoonegaaside kogus väljendatuna kasvuhoonegaaside kaalu ja nende globaalse soojendamise potentsiaali korrutisena tonnides [1]

CO₂ – süsinikdioksiid, süsihappegaas, külmaaine tööstuslik nimetus R-744

EKUK – Eesti Keskkonnauuringute Keskus

EL – Euroopa Liit

F-gaas – fluoritud kasvuhoonegaas

FOKA – fluoritud kasvuhoonegaase ja osoonikihti kahandavaid aineid sisaldavate toodete, seadmete, süsteemide ja mahutite ning käitlemistoiimingute register

GWP – globaalse soojendamise potentsiaal; kasvuhoonegaasi mõju kliima soojenemisele võrrelduna süsinikdioksiidi põhjustatud mõjuga, mis on välja arvatud ühe kilogrammi kasvuhoonegaasi soojendamist põhjustava potentsiaali ja ühe kilogrammi CO₂ soojendamist põhjustava potentsiaali suhtena 100 aasta kohta (ingl k *global warming potential*) [1]

HC – süsivesinik (ingl k *hydrocarbon*)

HCFC – osaliselt halogeenitud süsivesinik; klorofluorosüsivesinik (ingl k *hydrochlorofluorocarbon*)

HCOOCH₃ – metüülformiaat ehk sipelghappe metüülester; külmaaine tööstuslik nimetus R-611 (ingl k *methyl formate*)

HFC – fluorosüsivesinik (ingl k *hydrofluorocarbon*)

HFO – küllastumata süsivesinik (ingl k *hydrofluoroolefin*)

LFL – madalaim süttimisohtlik kontsentratsioon (ingl k *lower flammability limit*)

NH₃ – ammoniaak, külmaaine tööstuslik nimetus R-717

NIR – Riiklik kasvuhoonegaaside heitkoguste inventuuriaruanne (ingl k *National Inventory Report*)

ODP – osoonikihti kahandav potentsiaal; väljendab kahju, mida ühend võib osoonikihile tekitada, kusjuures freooni CFC-11 osoonikihti kahandav potentsiaal võrdsustatakse ühega ning ülejäänud ühendite osoonikihti kahandav potentsiaal väljendatakse selle suhtes (ingl k *ozone depleting potential*) [2]

OKA – osoonikihti kahandav aine; fluori, kloori või broomi sisaldav süsivesinik (ingl k *ozone depleting substance*)

PFC – perfluorosüsivesinik (ingl k *perfluorocarbon*)

SF₆ – väävelheksafluoriid

SO₂ – vääveldioksiid, külmaaine tööstuslik nimetus R-764

ÜRO – Ühinenud Rahvaste Organisatsioon

SISSEJUHATUS

Käesoleva lõputöö eesmärk on anda ülevaade põhiliselt kasutuselolevatest fluoritud kasvuhoonegaasidest (F-gaasidest), nende kasutustrendidest Eestis ja vastavate F-gaaside madalama globaalse soojendamise potentsiaaliga (GWP-ga) alternatiivsetest külmaainetest. Eesmärgi saavutamiseks on autor kasutanud ja analüüsinud ametlikku riigi infosüsteemi kuuluvat andmekogu, mille nimi on Fluoritud kasvuhoonegaase ja osoonikihti kahandavaid aineid sisaldavate toodete, seadmete, süsteemide ja mahutite ning käitlemistoiimingute register FOKA (edaspidi FOKA register). Vastavate andmete põhjal teeb autor kindlaks, kui palju on Eestis ametlikult registreeritud F-gaase sisaldavaid seadmeid, koostab ülevaate enamkasutatavatest F-gaasidest, nende kogustest ja ainete kogustele vastavatest heitkogustest erinevate kasutusvaldkondade järgi. Vastava info põhjal kujuneb ülevaade hetkeolukorrast Eestis.

On oluline välja tuua, et FOKA registri ligipääsuõigus oli autoril tööd koostades olemas, kuna autor töötas käesoleva lõputöö valmismis perioodil Eesti Keskkonnauuringute Keskuses. Analüüsitud andmeid ei ole mingil määral kuritarvitatud, töös esitletavat andmed ja analüüsi tulemused on esitatud üksnes üldistatud kujul ega viita ühelegi konkreetsele ettevõttele ega muule tundlikule infole. Andmete modifitseerimiseks, arvutamiseks, graafikute ja jooniste koostamiseks on autor kasutanud programmi Microsoft Excel.

Autor lähtub lõputöös F-gaasidega ja nende kasutusega seotud õigusaktidest, sealhulgas ÜRO õigusaktidest, Kliimamuutuste raamkonventsioonist, Montreali protokollist ja Euroopa Liidu õigusaktidest, eelkõige Euroopa Parlamendi ja nõukogu määrusest (EL) nr 517/2014 fluoritud kasvuhoonegaaside kohta ning Eestis kehtivast keskkonnaministri määrusest nr 83 „Fluoritud kasvuhoonegaase ja osoonikihti kahandavaid aineid sisaldavate toodete, seadmete, süsteemide ja mahutite ning käitlemistoiimingute registri põhimäärus ja selle pidamise kord“.

Käesolev töö on informeerivaks materjaliks ettevõtetele ja seadmete omanikele, kes peavad lähiaastail uusi seadmeid soetama, ent pole veel otsustanud, millist ainet sisaldava seadme kasuks otsustada. Samuti on see abiks jahutus- ja energeetikavaldkonnas tegutsevate inimeste või lihtsalt asjahuviliste teadlikkuse tõstmisel enamkasutatavatele kõrge GWP-ga F-gaasidele ja neid sisaldavatele seadmetele määruse (EL) nr 517/2014 artiklitega 11 ja 13 rakenduvatest turustamiskeeldudest ja piirangutest.

Käesolevas lõputöös ei käsitleta vahtusid, elektri jaotlaid, aerosoole, sõidukite kliimaseadmeid ega tulekustutussüsteeme, põhirõhk antud töös lasub jahutus-, kliimaseadmetes, soojuspumpades, tööstuses ja kauplustes kasutatavates jahutus- ja külmutusseadmetes sisalduvatel ainetel. Autor tegi vastava valiku, sest just eelnimetatud valdkondades on kasutusel väga suures koguses aineid, mille kasutust mõjutavad määrusega (EL) nr 517/2014 kehtestatud keelud ja piirangud. Prognoosimaks, milliseks kujuneb olukord tulevikus ning aitamaks seadmete omanike ja tootjate jaoks välja selgitada parimad alternatiivsed madala GWP-ga külmaained, viib autor läbi analüüsi, milles tugineb FOKA andmebaasi andmetele.

Esimeses peatükis selgitab autor, mis on fluoritud kasvuhoonegaasid, millised on nende kasutusvaldkonnad ning teeb lühiülevaate F-gaaside senistest kasutustrendidest Eestis. Selles peatükis tuuakse välja ka Montreali protokolliga reguleeritavate ainete kasutus minevikus, praegu ja tulevikus. Samuti on selgitatakse osoonikihti kahandavatelt ainetelt (OKA-delt) F-gaasidele ülemineku põhjuseid.

Teises peatükis tutvustab autor süsinikdioksiidi heitkoguste vähendamiseks seatud eesmärgid ja Euroopa Liidu poolt kehtestatud fluorosüsivesinike (HFC-de) heitkoguste järkjärgulist vähendamise graafikut ning selgitab, mida HFC-de heitkoguste vähendamine endaga kaasa toob. Samuti toob autor selles peatükis välja Euroopa Parlamendi ja nõukogu määrusega (EL) nr 517/2014 kehtima hakkavaid keelde ja piiranguid.

Kolmas peatükk annab ülevaate keskkonnasõbralikest madala GWP-ga külmaainetest, nende jagunemisest ja omadustest. Selles peatükis on toodud ka jahutus-, kliimaseadmetes, soojuspumpades ning tööstuses ja kaupluste külmasüsteemides kasutatavatest madala GWP-ga alternatiivsetest külmaainetest. Töös on antud ülevaade kõige levinumatest alternatiivsetest külmaainetest, nende omadustest ja peamistest tehnilistest erinevustest võrreldes HFC-dega. Niisamuti on tehtud ülevaade keskkonnasõbralike madala GWP-ga külmaainete – CO₂, NH₃, HC-de ja HFO-de – kasutamist takistavate tegurite kohta.

Neljandas peatükis analüüsib autor riiklikust andmebaasist (FOKA registrist) pärinevaid andmeid. Põhirõhk antud analüüsis lasub jahutus-, kliimaseadmetes, soojuspumpades, tööstuses ja kaupluste külmasüsteemides sisalduvatel ainetel. Autor tegi vastava valiku, kuna nimetatud valdkondades (eelkõige jahutussektoris) on kasutusel väga suures koguses kõrge GWP-ga F-gaase, millele rakenduvad määruse (EL) nr 517/2014 kohaselt turustamiskeelud ja piirangud. Vastavad keelud ja piirangud mõjutavad omakorda ainete valikut (mõju HFC-de hinnale) ja keskkonnale – HFC-de

heitkoguste vähenedes väheneb mõju kliima soojenemisele. Autor võrdleb selles peatükis Eestis enamkasutatavate F-gaaside ning madala GWP-ga alternatiivsete külmaainete hindu ja mõju keskkonnale.

1. FLUORITUD KASVUHOONEGAASID, NENDE KASUTUSALAD JA LEVIK

Fluoritud kasvuhoonegaasid (F-gaasid) on inimeste poolt loodud gaasid, mis on laialt kasutusel tööstuslikes protsessides, toodetes ja rakendustes. F-gaasid põhjustavad kliima soojenemist, kuna nende globaalse soojendamise potentsiaal (GWP¹, *global warming potential*) massiühiku kohta on väga suur. GWP iseloomustab F-gaasi mõju kliima soojenemisele võrrelduna süsinikdioksiidi (CO₂) põhjustatud mõjuga. F-gaaside atmosfääri sattumise vältimine on tõhus viis, kuidas vähendada kliimat mõjutavat heidet. Kuna F-gaasid ei kahjusta atmosfäärilist osoonikihti, muutusid need 1990ndatel populaarseteks asendusaineteks osoonikihti kahandavatele ainetele (OKA-dele), nt täielikult halogeenitud klorofluorosüvesinikele (CFC-de), osaliselt halogeenitud klorofluorosüvesinikele (HCFC-de) ja haloonidele. F-gaasid on võimsad kasvuhoonegaasid, mille GWP võib olla lausa 23 000 korda suurem kui süsinikdioksiidil, mille GWP on 1, ja nende gaaside emissioonid kasvavad jõudsalt. Enamlevinud F-gaaside GWP-d on välja toodud peatükis 1.2 (Tabel 1.1), näiteks külmaaine R-404A on 3 922 korda suurema mõjuga kasvuhoonegaas kui CO₂ [1], [3], [4].

F-gaasid jagunevad põhiliselt kolme kategooriasse:

- 1) fluorosüvesinikud (HFC-d),
- 2) perfosüvesinikud (PFC-d),
- 3) väävelheksafluoriid (SF₆) [3].

HFC-d on suhteliselt lühikese elueaga, PFC-de ja SF₆ eluiga atmosfääris võib ulatuda tuhandete aastateni. HFC-sid kasutatakse mitmetes valdkondades, nt jahutus-, kliimaseadmetes, soojuspumpades, vahutööstuses, tuletõrjeseadmetes ning aerosoolides. PFC-sid kasutatakse tavaliselt elektroonikatööstuses, ka kosmeetika- ja farmaatsiatööstuses. Vanasti kasutati PFC-sid tulekustutusseadmetes. Väävelheksafluoriidi kasutatakse isoleeriva gaasina elektrijaotlates, aga ka magneesiumi ja alumiiniumi tootmisel [3], [4].

2016. aastal oli Eesti summaarne kasvuhoonegaaside heitkogus 19 627,04 kt CO₂ ekvivalenti (koos kaudse heitega; arvestamata maakasutuse ja metsanduse sektori mõju), millest 89,13% moodustas

¹ Käesolevas töös on kasutatud GWP-de väärtused pärinevad ÜRO kliimamuutuste raamkonventsiooni valitsustevahelise kliimamuutuste rühma neljanda hindamisaruandest, (*Fourth Assessment Report*, 2007)

süsinikdioksiid, millele järgnesid metaan (5,39%) ja lämmastikdioksiid (4,27%). F-gaaside osakaal kasvuhoonegaaside summaarsest heitkogusest moodustas 1,21% [5].

F-gaasid moodustavad 2% Euroopa Liidu summaarsest kasvuhoonegaaside heitkogusest. F-gaaside kasutus maailmas kasvab kiirelt (10-12% aastas), neid gaase turustatakse maailmas hinnanguliselt 800 000 tonni aastas. F-gaaside osakaalu kasvuhooneefekti tekitamisel hinnatakse globaalse kliimamuutuste tasandil 10 protsendile. Eelnevast lähtudes on äärmiselt oluline vähendada F-gaasidest tulenevat heidet [3], [6].

1.1. Külmaainete arengud

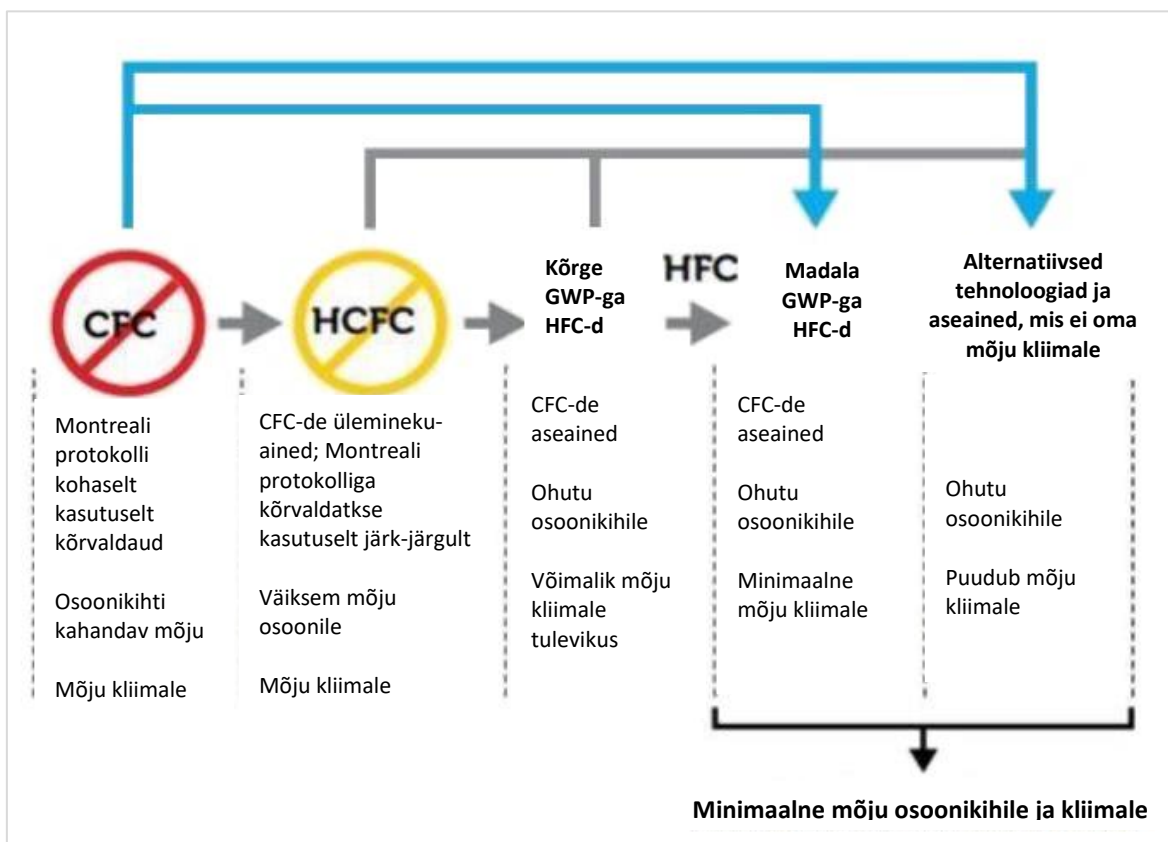
Käesolev alapeatükk räägib lühidalt külmaainete arengutest, annab selgituse osoonikihti kahandavatelt ainetelt (OKA-delt) fluoritud kasvuhoonegaasidele (F-gaasidele) üleminekust ja selle põhjustest.

OKA-d kahandavad stratosfäärilist osoonikihti, 1970ndate lõpus märgati Antarktika kohal stratosfääris paikneva osoonikihi kahanemist, mille peamiseks põhjuseks oli osooniga reageeriva kloori ja broomi kontsentratsiooni kasv. Kloor ja broom tekivad antropogeensete OKA-de, k.a haloonide, täielikult halogeenitud süsivesinike (CFC-de), osaliselt halogeenitud süsivesinike (HCFC-de), metüülkloroformi, süsiniktetrakloriidi ja metüülbromiidi fotokeemilisest lagunemisest stratosfääris [7].

Kontrollimaks OKA-de tootmist ja kasutamist nii arenenud kui ka arengumaades, loodi 1987. aastal Montreali protokoll, mis on ainus rahuvsvaheline kokkulepe, mille on ratifitseerinud kõik maailma riigid. Protokoll eesmärk on vähendada järk-järgult OKA-de koguseid ning OKA-d lõpuks kasutuselt kõrvaldada. Montreali protokolliga on CFC-d asendatud HCFC-de, HFC-de ja teiste alternatiividega. Et asendusainetel on üldjuhul madalam GWP ning halogeenitud süsiniike koguheitmed on vähenenud, on ka mõju kliimale vähenenud [7].

Arenenud riikides muutus F-gaaside kasutus populaarseks 1990ndatel, mil nendega hakati asendama OKA-sid. F-gaasidel puudub osoonikihti kahandav mõju, kuid see-eest on nad väga suure GWP, mis tähendab, et õhku paiskudes on vastavate ainete mõju atmosfääris kasvuhooneefekti tekitamisel korduvalt suurem kui süsihappegaasil, mistõttu on F-gaaside turg ja kasutus rangelt reguleeritud. Vähendamaks F-gaaside negatiivset mõju kliimale, on võetud suund liikuda madala GWP-ga alternatiivsete külmaainete ja tehnoloogiate poole. Euroopa Liit on HFC-de piiramiseks

2014. aastal vastu võtnud määruse, mille kohaselt peab EL oma F-gaaside kogust 2030. aastaks vähendama 2/3 võrra [6], [8].



Joonis 1.1. Montreali protokolliga reguleeritavate ainete kasutuse arengud [9]

Joonis 1.1 illustreerib Montreali protokolliga reguleeritavate ainete kasutuste arenguid. Esmalt olid kasutusel CFC-d, mis on äärmiselt suure osoni kahandamise potentsiaaliga ning põhjustavad kasvuhooneefekti. Tänapäevaks on CFC-d tänu Montreali protokolliga osapoolte jõupingutustele kasutuselt kõrvaldatud. CFC-de kasutamine asendati HCFC-de kasutusega, mis on hetkel arenenud maades suuremalt jaolt kasutuselt kõrvaldatud (arengumaades on tarbimise lõpetamine ette nähtud aastaks 2030). HCFC-de kasutamisel on liigutud edasi HFC-de kasutamisele, hetkel on kasutusel rohkelt kõrge GWP-ga HFC-sid, ent eesmärk on liikuda edasi madala GWP-ga HFC-de ja alternatiivsete tehnoloogiate suunas, mille mõju kliimale oleks minimaalne või olematu [10].

Ainete arengud võib jaotada nelja põlvkonda järgnevate iseloomustavate märksõnade ja peamiselt kasutatavate ainete järgi:

- 1) 1830-1930ndad – perioodi iseloomustas hoiak „mis iganes toimib“; peamiselt olid kasutusel ammoniaak (NH₃, R-717), süsinikdioksiid (CO₂, R-744), vääveldioksiid (SO₂, R-764), metüül-

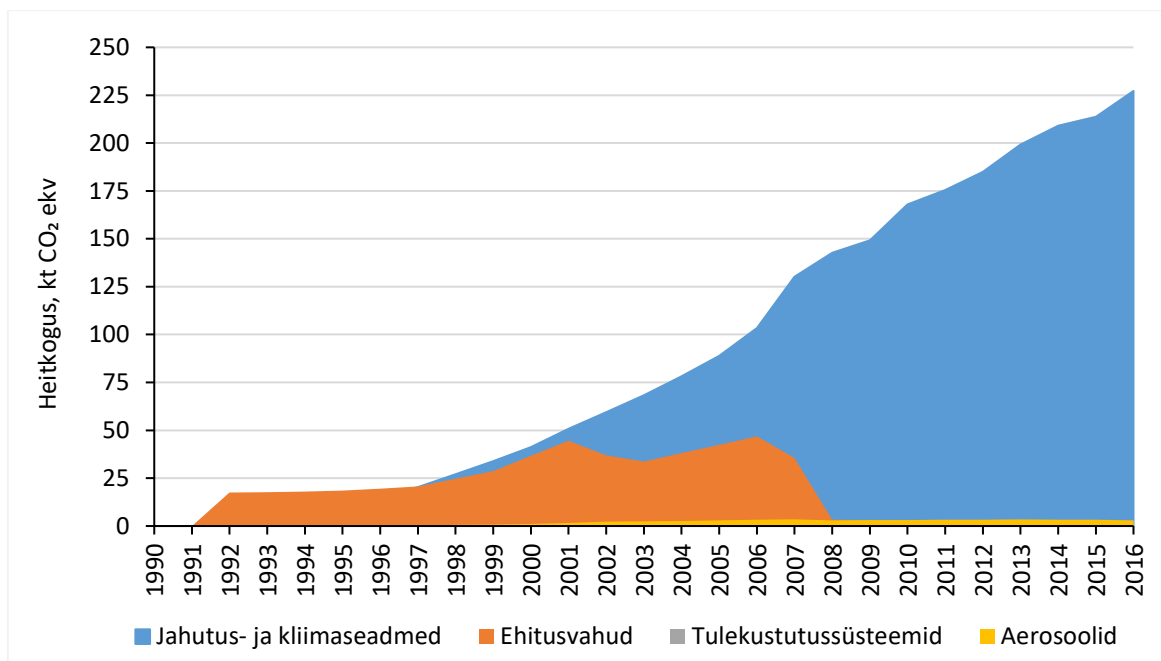
- formiaat (HCOOCH_3 , R-611), süsivesinikud (HC-d), vesi (R-718), süsiniktetrakloriid (CCl_4 , R-10); mitmed neist ainetest kuuluvad täna looduslike külmaainete kategooriasse;
- 2) 1931-1990ndad – perioodi märksõnadeks olid ohutus ja kestvus; peamiselt olid kasutusel klorofluorosüsinikud (CFC-d), klorofluorosüsivesinikud (HCFC-d), ammoniaak, vesi (enamasti kasutusel absorbseeruva tsükli puhul);
 - 3) 1990-2010ndad – perioodi iseloomustavaks suunaks oli stratosfäärilise osooni kaitsmine; peamiselt olid kasutusel HCFC-d (CFC-de üleminekuainetena), fluorosüsivesinikud (HFC-d), ammoniaak, vesi, HC-d, CO_2 ;
 - 4) Alates 2012. aastast on peamiseks eesmärgiks globaalse soojenemise leevendamine; kasutusel on ained, millel on väga väike või olematu osoonikihti kahjustav potentsiaal (*ozone depleting potential*, ODP), madal GWP, kõrge efektiivsus; suure tõenäosusega lisanduvad (vähemalt esialgu) küllastumata fluorosüsivesinikud (HFO-d), NH_3 , CO_2 , HC-d, vesi [11], [12].

1.2. F-gaaside kasutustrendid Eestis

Vastavalt Eesti riikliku kasvuhoonegaaside heitkoguste 2017. aasta inventuurile (*National Inventory Report*, NIR), mis koostati järgmistes valdkondades: energeetika, tööstuslikud protsessid ja toodete kasutamine, põllumajandus ja jäätmekäitlus, on F-gaaside heitkogus aastatega jõudsalt kasvanud. Kui aastal 1995 oli heitkoguseid 28 400 CO_2 ekv t, 2005. aastal 135 000 CO_2 ekv t, siis 2016. aastal ulatusid heitkogused juba 235 000 CO_2 -ekvivalenttonnini. See tähendab, et perioodil 1995-2016 on F-gaaside heitkogused kasvanud 727% (206 600 CO_2 ekv t). Joonisel (Joonis 1.2) on toodud F-gaaside heitkoguste jagunemine jahutus-, kliimaseadmete, ehitusvahetude, tulekustutus-süsteemide ja aerosoolide valdkonnas aastatel 1990-2016 [1], [5], [13].

NIR-i andmetel on suurimad F-gaaside kasutamise alamsektorid järgmised:

- a) kaubanduslikud külmikud (supermarketite, väiksemate poodide, restoranide jne külmutusseadmed);
- b) kodumajapidamises kasutatavad külmutusseadmed (külmikud ja jääkambrid);
- c) tööstuslikud külmikud (toiduainetööstuses jm tööstuses kasutatavad külmutusseadmed);
- d) külmutustranspordivahendid (külmutusveokid ja -konteinerid);
- e) paiksed kliimaseadmed (soojuspumbad ja ruumide kliimaseadmed);
- f) liikuvad kliimaseadmed (sõiduautode, veokite, busside, laevade, raudteevagunite, ratastraktorite, liikurmasinade kliimaseadmed) [5].



Joonis 1.2. Eesti F-gaaside heitkogused valdkonniti perioodil 1990-2016, kt CO₂ ekv [5]

Alljärgnevas tabelis (Tabel 1.1) on välja toodud Eestis kõige levinumad ained, nende kasutusala ja vastavate ainete globaalse soojendamise potentsiaalid (GWP-d).

Tabel 1.1. Eestis enamlevinud ained, nende GWP-d ja kasutusvaldkonnad [14]

Aine	GWP ²	Enamlevinud kasutusvaldkonnad
R-134A	1 430	Kaupluste külmutussüsteemid, jahutus-, kliimaseadmed, tööstusjahutus, sõidukite kliimaseadmed
R-402A	2 788	Tööstusjahutus
R-404A	3 922	Kaupluste külmutussüsteemid, tööstusjahutus
R-407C	1 774	Soojuspumbad, jahutus- ja kliimaseadmed, kaupluste külmutussüsteemid, tööstusjahutus
R-410A	2 088	Soojuspumbad, jahutus- ja kliimaseadmed, tööstusjahutus
R-417A	2 346	Tööstusjahutus
R-422A	3 143	Kaupluste külmutussüsteemid, tööstusjahutus
R-422D	2 729	Tööstusjahutus
R-507A	3 935	Tööstusjahutus

Suurimad F-gaaside heitkoguste allikad Eestis on jahutus- ja kliimaseadmed. Aastal 2015 pärines Eesti F-gaaside heitkogustest 96,6% (227,23 kt CO₂ ekv) liikuvatest ja paiksetest jahutus- ja kliimaseadmetest. Heitkoguste kasvu peamiseks põhjusteks nimetatud sektoris võib pidada nii OKA-de asendamist HFC-dega kui ka kõrge GWP-ga külmaaine R-404A valdavast eelistamisest jahutus-

² GWP väärtused ÜRO kliimamuutuste raamkonventsiooni valitsustevahelise kliimamuutuste rühma neljanda hindamisaruande alusel (*The Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007*)

seadmetes. Lisaks on viimastel aastakümnetel jõudsalt kasvanud hoonetes kasutatavate kliimaseadmete arv [1], [5].

Vahutoodetest pärinevate F-gaaside heitkogused olid suured kuni aastani 2007. Kõrge GWP-ga vahutudele kehtib Euroopa Liidus alates 2008. aastast turustamiskeeld. Eestis kasutavad ühekomponentsete purgivahtude tootjad propellandina lisaks alternatiivsetele ainetele ka ainet R-152a, mille GWP on 124. Teised vahutootjad kasutavad alternatiivseid aineid, nagu pentaan ja tsüklopentaan. Oluliselt väiksem F-gaaside heitkogus pärineb tulekustutusüsteemidest, kus kasutatakse põhiliselt ainet R-227ea, vanemates esineb ka ainet R-23; ning elektrijaotlate lülitusseadmetest (SF_6) ja aerosoolidest, sh inhalaatorravimitest, kus kasutatakse ainet R-134a [1].

2. CO₂ HEITKOGUSTE VÄHENDAMINE JA HFC-DE JÄRKJÄRGULINE VÄHENDAMINE

2.1. Süsinikdioksiidi heitkoguste vähendamine

Ühinenud Rahvaste Organisatsiooni kliimamuutuste raamkonventsiooni valitsustevahelise kliimamuutuste rühma neljandas hindamisaruandes³ on märgitud, et teadaolevate teaduslike andmete põhjal tuleb arenenud riikidel aastaks 2050 kasvuhoonegaaside heitkoguseid vähendada 80–95% võrra 1990. aasta tasemest, et piirata üleilmset kliimamuutust nõnda, et temperatuur ei tõuseks rohkem kui 2 °C, ning hoida seega ära soovimatut mõju kliimale. Vastava eesmärgi saavutamiseks võttis Euroopa Komisjon vastu edenemiskava „Konkurentsivõimeline vähese CO₂-heittega majandus aastaks 2050”, mis kiideti heaks Euroopa Parlamendi 15. märtsi 2012. aasta resolutsiooniga. Antud edenemiskavas sätestas komisjon kulutõhusa viisi üldise heite vajalikul määral vähendamiseks EL-is 2050. aastaks, samuti on edenemiskavas kehtestatud vajalik sektorite panus kuues valdkonnas. Muid kui CO₂ heitkoguseid, sh F-gaasid, kuid välja arvatud muud kui CO₂ heitkogused põllumajandusest, tuleks vähendada 2030. aastaks 72-73% võrra ning 2050. aastaks 70–78% võrra võrreldes 1990. aasta tasemetega. Kui võrdlusaastaks võetakse 2005, on muid kui CO₂ heitkoguseid, välja arvatud põllumajandusest pärinevat heidet, vaja vähendada 2030. aastaks 60–61% võrra [15].

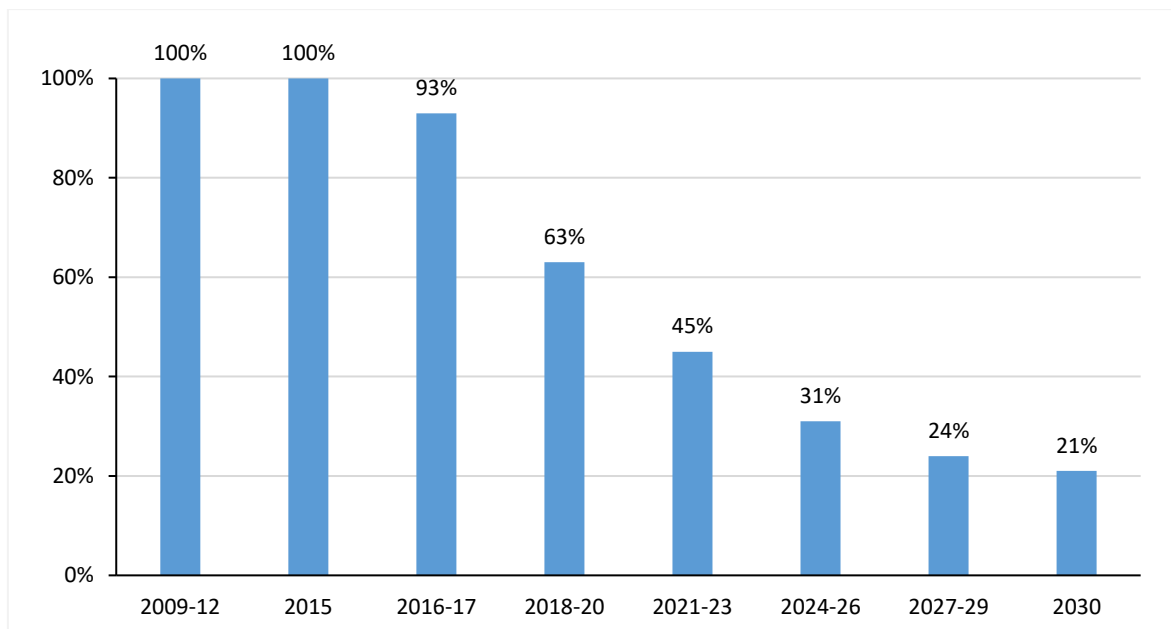
2005. aastal moodustasid F-gaaside heitkogused Euroopa Liidus hinnanguliselt 90 miljonit CO₂-ekvivalenttonni, heitkoguste vähendamine 60% võrra tähendab, et heitkoguseid tuleks vähendada aastaks 2030 umbes 35 miljoni CO₂-ekvivalenttonnini. Arvestades, et praeguste EL õigusaktide täieliku kohaldamise korral on heitkogused 2030. aastaks hinnanguliselt 104 miljonit CO₂-ekvivalenttonni, on neid vaja vähendada veel ligikaudu 70 miljonit CO₂-ekvivalenttonni [15].

2.2. HFC-de järkjärguline vähendamine

Eelmises alapeatükis nimetatud eesmärged silmas pidades rakendus 1. jaanuaril 2015. aastal Euroopa Parlamendi ja nõukogu määrus (EL) nr 517/2014 fluoritud kasvuhoonegaaside kohta ja seni kehtinud määruse (EÜ) nr 842/2006 kehtetuks tunnistamise kohta. Kehtestatud määruse eesmärk on luua tõhus ja proportsionaalne mehhanism F-gaaside heitkoguste vähendamiseks, aitamaks

³ Nõukogu 15. detsembri 1993. aasta otsus 94/69/EÜ Ühinenud Rahvaste Organisatsiooni kliimamuutuste raamkonventsiooni sõlmimise kohta (EÜT L 33, 7.2.1994, lk 11)

kaasa EL kliimaeesmärkide saavutamisele. Vastav määrus nõuab järkjärgulist Euroopa Liidu turule lastavate HFC-de koguste vähendamist 79% võrra perioodil 2015-2030 võrreldes ajavahemikuga 2009-2012 (baasperiod) (Joonis 2.1) [1], [15], [16].



Joonis 2.1. HFC-de järkjärguline vähendamise graafik aastani 2030 [15]

2015. aasta ja aastate 2016-2017 vaheline vähendamisaste oli pigem väike (7%), ent sellele järgnev samm oli juba märkimisväärselt suurem (30%). 2030. aastaks tuleb HFC-de koguseid võrreldes baasperiodiga vähendada 21%-ni. Täitmaks HFC-de järkjärguliseks vähendamiseks ette nähtud nõudeid, peavad HFC-de kasutajad hakkama kasutama madalama GWP-ga alternatiivseid külma-aineid uutes seadmetes ja toodetes, milles varem kasutati kõrge GWP-ga HFC-sid. F-gaaside määruse baasperiodi (2009-2014) kohaselt oli EL turule lastud⁴ HFC-de keskmine GWP ligikaudu 2 000. Aastaks 2030 peavad lõppkasutajad kasutama külmaaineid, mille keskmine GWP jääb alla 400 [17].

F-gaaside heitkogused peaksid eeldatavalt hakkama vähenema F-gaaside määrusega (EL) nr 517/2014 kehtestatud piirangute ja keeldude mõjul alates 2020. aastast, mil rakendub mitmete seadmete turustamiskeeld, lisaks ka kõrge GWP-ga F-gaaside lisamise keeld paljudesse külma-seadmetesse. Et mitte ületada HFC-de koguse aastast piirmäära, on määrusega kehtestatud kvoodisüsteem, aastast 2015 peavad ettevõtjatel HFC-sid mahtkaubana seaduslikult turule

⁴ Turule laskma - liidus esmakordselt teistele isikutele tarnimine või kättesaadavaks tegemine tasu eest või tasuta või tootja oma tarbeks, sh tollimenetluse alusel liidus vabasse ringlusse lubamine [15]

laskmiseks olema kvoodid, mille komisjon eraldab ettevõtjatele igal aastal tasuta. Käesolevas töös HFC-de kvote, nende eraldamist ja muud seonduvat lähemalt ei käsitleta [1], [16].

HFC-de järkjärgulise vähendamise mehhanism ei keelusta küll ühtegi konkreetset HFC-d, kuid arvestades asjaolu, et kättesaadavad CO₂ ekvivalentkogused ajas vähenevad ja uute külmaainete koguste turule toomine on piiratud, on tõenäoliselt oodata HFC-de hinnatõusu, mis omakorda on oluline käitajate jaoks, kes kavandavad HFC-sid sisaldavate seadmete ning süsteemide hooldus- ja teenindustöid. Uusi seadmeid osta plaanivatel käitajatel⁵ on oluline eelnimetatud asjaolusid arvesse võtta. Hetkel ei ole soovitatav investeerida kõrge GWP-ga (2 500 ja rohkem) HFC-sid (nt R-404A) sisaldavatesse seadmetesse, kuna määruse (EL) nr 517/2014 artikli 13 kohaselt keelatakse alates 1. jaanuarist 2020 vastavate külmaainete tehasepuhtuses juurdelisamine olemasolevatesse jahutusseadmetesse, mille külmaaine kogus on 40 või enam CO₂-ekvivalenttonni (R-404A puhul täitekoguseks ca 10,2 kg) [4], [18].

Olgugi et vähenemise algetapis ei ole võimalik teha põhjanevaid järeldusi, on alates 2014. aastast täheldada hindades üldist tõusutrendi. Enim paistab see välja just gaaside turustajate ostuhindades, vähim aga teenindamissettevõtjate ostuhindades. Hinnatõus erinevat liiki HFC-de puhul on erinev, üldjuhul on see suurem kõrge GWP-ga HFC-de puhul. Hinnatõusud on HFC-de järkjärgulise vähendamise eeldatud ja soovitud tulemus, kuna antud turumeetme eesmärk on piirata kõrge GWP-ga HFC-de pakkumist, soodustamaks arengut madalama GWP-ga ainete valdkonnas [16].

2.3. Kõrge GWP-ga HFC-dele rakenduvad keelud ja piirangud

Alates 1. jaanuarist 2015. aastast on keelatud HCFC-de kasutamine jahutus- ja kliimaseadmetes, enamik seadmeid Eestis on tänaseks päevaks teistele ainetele ümber ehitatud. Ettevõtjail ja seadmete käitlejail, kellel seisab osoonikihti kahandavate ainete seadmetes asendamise otsus alles ees, on tähtis teada, et alates aastast 2020 jõustuvad senisest veelgi rangemad piirangud nii ainete kasutamisele kui ka seadmete turustamisele [19].

Oluline on teada, et 2020. aastal jõustuvad teatud jahutus- ja kliimaseadmete turustamise keelud ja järgnevatel aastatel rakenduvad ka piirangud teatud F-gaaside kasutamisele (Tabel 2.1). Määruse (EL) nr 517/2014 artikli 11 lõikes 1 osutatud lisa III kehtestab teatud toodetele turustamiskeelud.

⁵ Käitaja – füüsiline või juriidiline isik, kellel on tegelik kontroll määrusega (EL) nr 517/2014 hõlmatud toodete ja seadmete tehnilise toimimise üle; liikmesriik võib määratletud eritingimustel nimetada käitaja kohustuste eest vastutavaks omaniku [15]

Ühtlasi märgib autor, et turustamiskeeluga seadmeid ega tooteid ei tohi paigaldada. Alljärgnevas tabelis on toodud alates 2015. aastast rakendunud ning tulevikus rakenduvad keelud. Täielik tabel määruse (EL) nr 517/2014 lisas III toodud keeldudest on leitav käesoleva lõputöö Lisast 1 [19].

Tabel 2.1. Määruse (EL) nr 517/2014 artikli 11 lõikes 1 osutatud turulelaskmise keelud [15]

Tooted ja seadmed	Keelustamise kuupäev
Fluorosüivesinikke GWP-ga 150 või enam sisaldavad kodumajapidamistes kasutatavad külmikud ja sügavkülmikud	1. jaanuar 2015
Äriline eesmärgil kasutamiseks mõeldud külmikud ja sügavkülmikud (hermeetiliselt suletud seadmed)	
- mis sisaldavad HFC-sid, mille GWP on 2 500 või suurem	1. jaanuar 2020
- mis sisaldavad HFC-sid, mille GWP on 150 või suurem	1. jaanuar 2022
Paiksed jahutusseadmed, mis sisaldavad või mille käitamiseks on vaja HFC-sid, mille GWP on 2 500 või suurem, v.a seadmed, mille eesmärk on jahutada tooteid temperatuurini alla -50 °C	1. jaanuar 2020
Äriline eesmärgil kasutamiseks mõeldud kahe või enama kompressoriga külmutusagregaadid, mille nimivõimsus on 40 kW või enam ning mis sisaldavad või mille käitamiseks on vaja F-gaase, mille GWP on 150 või suurem, v.a kaskaadsüsteemi primaarses külmasüsteemis, kus võib kasutada F-gaase, mille GWP peab jääma alla 150	1. jaanuar 2022
Teisaldatavad siseruumides kasutatavad kliimaseadmed (hermeetiliselt suletud seadmed, mida lõppkasutaja saab ühest ruumist teise viia), mis sisaldavad HFC-sid, mille GWP on 150 või suurem	1. jaanuar 2020
Alla 3 kg F-gaase sisaldavad ühe siseosaga kliimaseadmed, mis sisaldavad või mille käitamiseks on vaja F-gaase, mille GWP on 750 või suurem	1. jaanuar 2025

Nimetatud keelud rakenduvad uutele seadmetele, mitte praegu kasutusel olevatele seadmetele. Peatselt keelu alla sattuvaid aineid ei ole soovituslik kasutada kuni keelu jõustumiseni – turuleviidavate HFC-de järkjärguline vähendamine omab mõju vastavate gaaside tarnimisele ja hinnale juba enne jõustumiskuupäevi, mistõttu ei pruugi gaaside kasutamise jätkamine olla majanduslikult otstarbekas [20].

Lisaks eelpool mainitud keeldudele rakendub 2020. aastast artikkel 13 lõike 3 kohaselt keeld üle 2 500 ulatuva GWP-ga F-gaaside kasutamisele jahutusseadmete teenindus- ja hooldustööde tegemiseks, mille külmaaine kogus on 40 või enam CO₂-ekvivalenttonni. Nimetatud artiklis on välja toodud ka erandid, mida käesolevas töös ei käsitleta [15].

3. KESKKONNASÕBRALIKUD ALTERNATIIVSED KÜLMAAINED

Hoidmaks ära nii fluorosüsivesinike (HFC-de) kui ka kloroflurosüsivesinike (HCFC-de) kasutust ja emissioone, on tänapäeval kasutusel mitmeid alternatiivseid külmaaineid, mis on keskkonnasõbralikud, energiaefektiivsed ning ohutud. Tegelikult on enamikus maailmas kasutuselolevates HFC-de ja HCFC-de põhistes seadmetes potentsiaalselt võimalik kasutada keskkonnasõbralikumaid alternatiivseid külmaaineid. Siiski, alternatiivsete külmaainete erinevate termodünaamiliste ja ohutusega seotud omaduste tõttu ei ole olemas kõikidele seadmetele üheselt sobivat lahendust. Konkreetse külmutusagensi sobivust tuleb hinnata mitmest erinevast tegurist lähtuvalt, sh tuleb arvesse võtta vastava keskkonna välisõhu temperatuuri, kus seadet kasutatakse. Tavapäraselt iseloomustab külmaainet tema globaalse soojendamise potentsiaal ehk GWP – mida madalam GWP, seda keskkonnasõbralikum on vastav aine. GWP väärtused jäävad mitmete HFC-de või HCFC-de puhul üldjuhul tuhandete piiresse (Tabel 1.1), keskkonnasõbralike külmaainete GWP on aga palju väiksem. Konkreetsete keskkonnasõbralike külmaainete GWP-d on toodud alapeatükis 3.2 [21].

Tänapäeval kasutatakse HFC-sid enim jahutus- ja kliimaseadmetes. Arengumaades on jahutus- ja kliimaseadmetes endiselt enimkasutatavaks külmutusagensiks R-22, mis kuulub HCFC-de klassi. Arengumaades on oodata nende külmaainete nõudluse märkimisväärset kasvu lühi- ja keskpika perioodi jooksul, et olla vastavuses kliimaseadmete ja supermarketites kasutatavate külma-seadmete eeldatava kasutuse suurenemisega. Tunnustatud ekspertide poolt on alternatiivide kättesaadavuse kohta alamsektori tasemel teostatud mitmeid uuringuid, sh Euroopa Komisjoni tellimusel läbi viidud põhjalik analüüs sõltumatu konsultandi Öko-Recherche⁶ poolt, mis näitas, et HFC-de asendamine keskkonnasõbralike alternatiividega mitte ainult ei vähenda HFC-dest tulenevat otsest koguheidet 2/3 võrra (võrreldes olukorraga, kui meetmeid kasutusele ei võeta⁷), vaid parandab lisaks ka üldist energiatõhusust, viies täiendava kasvuhooonegaaside emissioonide vähenemiseni [21].

6 Öko-Recherche on sõltumatu keskkonnauuringute ja nõustamise institutsioon Frankfurtis, Saksamaal

7 Komisjoni talituste töödokument: „Mõjuhinnang – määruse (EÜ) nr 842/2006 (teatavate fluoritud kasvuhooonegaaside kohta) läbivaatamine“, 7.11.2012, SWD(2012) 364 (final)

3.1. Alternatiivsete külmaainete jagunemine

Kõrge GWP-ga HFC-de kasutamise vähendamisest tulenevalt on madala GWP-ga külmutusagensite valdkonnas toimunud kiired arengud, mis jätkuvad ka lähima 5-10 aasta jooksul. Katsetusjärgus on ligi 70 erinevat külmaaine, mis ootavad avaldamist ISO 817 või ASHRAE 34 standardis. Alternatiivsed külmaained võib jagada kahte klassi, millest esimesesse kuuluvad juba olemasolevad alternatiivid nagu süsivesinikud (HC-d), R-744 (CO₂), R-717 (NH₃) ning R-32. Välja töötatud uued tehnoloogiad parandavad nimetatud külmaainete efektiivsust, ühtlasi vähendavad kulusid või aitavad lahendada ohutusega seotud küsimusi. Alternatiivsetel külmaainetel põhinevate seadmete hulk on viimaste aastatega märkimisväärselt kasvanud. Eelnimetatud alternatiividest on hetkel tõhusaim CO₂, samuti on CO₂ muutunud tasuvamaks kui viis aastat tagasi [14], [22].

Alternatiivsete külmaainete teise gruppi kuuluvad uued külmaained, mis ei ole varasemalt äriliseks otstarbeks kättesaadavad olnud. Nende hulka kuuluvad ka uued HFO-d (küllastumata HFC-d) ning HFO/HFC segud, mis võeti kasutusele 2010ndate paiku. Täna on saadaval mitmed puhtad ained, samuti ka arvukalt segusid. Alapeatükis 3.4 on välja toodud peamiste looduslike külmutusagensite – süsinikdioksiidi, ammoniaagi, süsivesinike ja küllastumata süsivesinike – omadused ja tehnilised erinevused võrreldes HFC-dega [14].

3.2. Alternatiivsete külmaainete jagunemine tegevusvaldkonniti

Selles alapeatükis on autor välja toonud erinevates valdkondades – soojuspumbad, kliimaseadmed, tööstusjahutus, kaupluste külmasüsteemid – levinumad kasutuselolevad alternatiivsed külmaained koos nendele vastavate tähistega, lisaks on ära märgitud aine tuleohtlikkuse klass, GWP väärtus ja täiendavad kommentaarid. Tuleohtlikkuse klasse on lähemalt käsitletud alapeatükis 3.3.

3.2.1. Alternatiivsed külmaained kliimaseadmete ja soojuspumpade jaoks

Enimkasutatud külmaaineteks kliimaseadmete ja soojuspumpade valdkonnas on R-410A (GWP 2 088) ja R-407C (GWP 1 774). Et R-410A GWP on väga kõrge, uuritakse jätkuvalt võimalikke madala GWP-ga alternatiivseid lahendusi. Uuemates kliimaseadmetes ja split-süsteemides kasutatakse külmutusagensina ainet HC-290 (GWP 3). Multi-split süsteemides kasutatakse ainet HFC-32 (GWP 675). Järgnevates tabelites (Tabel 3.1, Tabel 3.2) on välja toodud eri tüüpi soojuspumpades ja kliimaseadmetes kasutatavad alternatiivsed külmaained [23].

Tabel 3.1. Soojuspumpades kasutatavad alternatiivsed külmaained [23]

Külmaaine	GWP	Tulehtlikkus	Kommentaariid
Õhk-vesi soojuspumbad küttevee soojendamiseks			
HC-600a	3	3	Kui soojuspump on paigaldatud välistingimustesse, on võimalik kasutada kõrgema tulehtlikkusega külmaaineid.
HC-290	3	3	
HFC-32	675	2L	Madalama tulehtlikkusega külmutusagensitel põhinevad soojuspumbasid sobib kasutada nii teatud sise- kui ka välistingimustes.
R-446A	460	2L	Uued välja töötatud segud, mille parameetrid on sarnased R-410A-le. Nende kasutuselevõttu kaalutakse.
R-447A	582	2L	
Õhk-vesi soojuspumbad tarbitava vee soojendamiseks			
R-744 (CO ₂)	1	1	Sobib hästi vee soojendamiseks, kuna vett sel juhul soojendada suures temperatuurivahemikus (10-70 °C). Väljaspool Jaapanit ei ole külmaainel R-744 baseeruv vee soojendamine levinud.
HFC-32	675	2L	Võeti hiljuti kasutusele veeboilerites Jaapanis.
Kaugküttesüsteemid, mis kasutavad töödeldud reovee jääsoojust			
R-717 (NH ₃)	0	2L	Kasutusel mitmetes kaug- ja ruumi küttesüsteemides, eriti Põhja-Euroopas.
HFO-1234ze	7	2L	Peetakse alternatiiviks HFC-134a-le kasutamiseks soojuspumpades, mida kasutatakse koos suure tsentrifugaal-kompressoriga.
HFO-1233zd	5	1	Hiljuti tutvustatud külmaained, mis sobivad kasutamiseks madalrõhukompressoritega. Alternatiiviks külmaainele HFC-245fa.
HFO-1336mzz	9	1	

Tabel 3.2. Kliimaseadmetes kasutatavad alternatiivsed külmutusagensid [23]

Külmaaine	GWP	Tulehtlikkus	Kommentaariid
Väike eraldiseisev kliimaseade			
HC-290	3	3	HC-sid kasutatakse seadmes, kus täitekogused on madalad.
HC-441A	6	3	
HFC-32	675	2L	Madala tulehtlikkuse külmaaine, mis sarnaneb omadustelt R-410A-le (GWP 2 088), ent on palju väiksema GWP-ga.
R-446A	460	2L	Uued välja töötatud madala tulehtlikkusega segud, mille omadused on sarnased R-410A-le.
R-447A	582	2L	
Väike split-süsteemiga kliimaseade			
HC-290	3	3	Külmutusagens HC-290 ja HC-1270 on Euroopas kasutatud juba mitmeid aastaid, Kaug-Idas ja Indias alates 2012. a. HC-sid võib kasutada teatud valdkondades, sõltuvalt külmaaine täitekogusest, seadme asukohast (sise)ruumis ning ruumi suurusest.
HC-1270	2	3	
HFC-32	675	2L	Kasutusel väikestes split-süsteemides Kaug-Idas ja Indias alates 2012. a, Euroopas alates 2013. a. Mitmed kliimaseadmete suurtootjad pakuvad HFC-32-l põhinevaid lahendusi.
R-446A	460	2L	Uued välja töötatud segud, mille omadused on sarnased R-410A-le, nende kasutamist väikestes split-süsteemides kaalutakse.
R-447A	582	2L	
Suured kliimaseadmed			
HFC-32	675	2L	Kasutusel väikestes split-süsteemides Jaapanis alates 2012. a, Euroopas alates 2013. a. Sobilik kasutamiseks multi-split süsteemides, VRF ja õhutorustik-süsteemiga kliimaseadmes.
R-446A	460	2L	Uued välja töötatud segud, mille omadused on sarnased R-410A-le, nende kasutamist multi-split süsteemides, VRF ja õhutorustikuga kliimaseadmes kaalutakse.
R-447A	582	2L	
R-450A	601	1	
R-513A	631	1	
R-451A	140	2L	

Külmaaine	GWP	Tuleohtlikkus	Kommentaariid
R-451B	150	2L	Uued välja töötatud segud, mille omadused on sarnased R-134A-le. Võimalikeks alternatiivideks katusele paigaldatavatele kliimaseadmetele. Ei sobi multi-split ega VRF-süsteemidele ⁸ .
HFO-1234yf	4	2L	Nende HFO-de omadused sarnanevad R-134a omadele, võib kasutada hoone katusele paigaldatavates seadmetes, et vastata ohutusnõuetele.
HFO-1234ze	7	2L	
R-744 (CO ₂)	1	1	Võimalik kasutada suurtes kliimaseadmetes (õhutorustikuga süsteemides). Seadme efektiivsus on rahuldav ainult jahedate ilmatingimuste korral.

3.2.2. Alternatiivsed külmaained tööstusjahutite ja kaupluste

külmasüsteemide jaoks

Skandinaavias ja Põhja-Ameerika tööstusjahutussüsteemides on levinud mitte fluoritud gaaside kasutamine. Levinuimaks külmaaineks vastavates süsteemides on R-717 (ammoniaak, NH₃), mõningal juhul kasutatakse kaskaadsüsteemis koos R-744-ga (süsinikdioksiid, CO₂). Antud sektoris on ohutusstandardid ja -eeskirjad väga hästi välja arendatud, mille tulemusena on raskete vigastustega või surmaga lõppenud juhtumeid äärmiselt vähe. Uusi külmaaineid arendatakse tööstusjahutusvaldkonnas minimaalselt, sest juba praegu domineerivad madala GWP-ga külmaained (NH₃, CO₂, HC-d). Sellest hoolimata leidub spetsiifilisi rakendusi, kus kasutatakse kõrge GWP-ga HFC-sid, mille väljatõrjumiseks hakatakse tõenäoliselt katsetama alternatiivseid külmaaineid. Järgnevalt on välja toodud tööstusjahutusvaldkonnas kasutatavad madala GWP-ga külmaained (Tabel 3.3) [24].

Tabel 3.3. Tööstusjahutuses kasutatavad alternatiivsed külmaained [23]

Külmaaine	GWP	Tuleohtlikkus	Kommentaariid
Asendusained, et vältida R-404A kasutamist			
HFC-407A	2 107	1	Euroopas on neid segusid kasutatud R-404A alternatiivina, seda nii vanades kui ka uutes süsteemides. Samuti võivad need segud tagada suurema energiaefektiivsuse kui R-404A.
HFC-407F	1 825	1	
HFC-448A	1 387	1	Uued välja töötatud segud, millel on sarnased omadused R-407A ja R-407F omadustele, ent omavad madalamat GWP-d. Seni äriotstarbeline kasutamise kogemus väike.
HFC-449A	1 397	1	
Ainult uutes seadmetes kasutamiseks mõeldud alternatiivsed külmutusagensid			
R-717 (NH ₃)	0	2L	Suurtes süsteemides ja jahututes laialt kasutatud leidnud külmutusagens. Tööstusjahutuses väga oluline külmaaine. NH ₃ on kõrge toksilisusega teravalõhnaline gaas. Rangete ohutusnõuete tõttu ei tasu kasutada väikestes ja keskmise suurusega tööstusjahutusseadmetes.

⁸ VRF (ingl k *variable refrigerant flow*, varieeruv külmutusaine vool) - mitut siseseadet teenindav süsteem, mis toimib tänu inverterkompressori arukale tööle eriti energiatõhusalt

(<https://www.fujitsu-general.com/ee/products/vrf/index.html>; 20.05.2018)

Külmaaine	GWP	Tuleohtlikkus	Kommentaariid
HC-290	3	3	Kasutatakse suurtes tööstusjahutusseadmetes, eriti naftakeemia sektoris. Kindlasti tuleb jälgida vastavaid ohutusnõudeid. HC-sid kasutatakse väikestes ja keskmise suurusega tööstusseadmetes vähem.
HC-1270	2	3	
R-744 (CO ₂)	1	1	Võeti tööstuses kasutusele ca 10 a tagasi suurtes tööstusseadmetes, nt külmhoonetes ja külmuivatites.
HFO-1234ze	7	2L	Tutvustatakse kui tööstusjahutites kasutatava HFC-134a alternatiivi. Katsetusjärgus ka teised HFO-d (HFO-1233zd, HFO-1336mzz), mida võiks kasutada madalrõhujahutite puhul.
HFC-450A	601	1	Uued välja arendatud segud, mis on oma omadustelt sarnased HFC-134A-le.
HFC-513A	631	1	
HFC-451A	140	2L	
HFC-451B	150	2L	
Katsetamisjärgus olevad segud	150-300	2L	Katsetamisjärgus olevad külmutusagensite segud, mis on omadustelt sarnased R-404A-le.
HFC-446A	460	2L	Uued külmutusagensite segud, mis on oma omadustelt sarnased R-410A-le.
HFC-447A	582	2L	
HFC-32	675	2L	Külmutusagensi kasutust kaalutakse väikese ja keskmise suurusega süsteemides.

Kaubanduslikus jahutuses kasutatakse peamiselt kolme külmasüsteemi:

- 1) väikesed hermeetiliselt suletud seadmed (külmaaine täitekogus 0,1...0,5 kg);
- 2) kondensatsiooniseadmed (split-süsteemid, külmaaine täitekogus 2...10 kg);
- 3) tsentraalsed jahutussüsteemid (suurte süsteemide külmaaine täitekogus 50...150 kg) [25].

Väikestes hermeetiliselt suletud seadmetes on võimalik kasutada HC-sid, kui külmaaine kogus jääb alla 150 g. Lisaks on võimalik kasutada HFO-sid, nagu näiteks R-1234yf, R-1234ze. Kondensatsiooniseadmete puhul kasutatakse üldiselt ainet R-404A, millel on väga kõrge GWP (3 922). Ajutise lahendusena võib külmutusseadmetes kasutada aineid R-407A, R-407F või R-134a, mille GWP-d on R-404A-ga võrreldes rohkem kui poole võrra väiksemad, vastavalt 2 107, 1 825 ja 1 430. Madala GWP-ga külmasüsteemide lahendused toodi turule 2014. aastal, esmatarbekaupade poodides on katsetatud CO₂-te, samuti kaalutakse HFO-de kasutuselevõttu. HC-d on kondensatsiooniseadmete puhul välistatud, sest aine täitekogus muutuks liialt suureks ja inimesele ohtlikuks [25].

Suurem osa tsentraalseid jahutussüsteeme kasutab külmutusagensi R-404A, nagu kondensatsiooniseadmete puhul tuleks ka uute tsentraalsete jahutussüsteemide soetamisel vältida R-404A-põhiseid seadmeid. Üleminekuainetena sobivad R-407A, R-407F, R-448A ja R-449A. Tänapäevaks on toimunud külmaaldkonnas oluline areng, mis võimaldab kasutusele võtta madala GWP-ga külmaaineid ja seeläbi on muutunud võimalikuks üleminekuainete kasutamise vältimine. Praeguseks on mitusada kaubanduskeskust, kus kasutatakse CO₂-põhist tsentraalset jahutus-süsteemi, mis on ka

enimkasutatavaks uueks süsteemiks. Järgnevas tabelis (Tabel 3.4) on toodud külmaained, mis sobiksid äriotstarbeliste süsteemide jaoks [25].

Tabel 3.4. Kaupluste külmasüsteemides kasutatavad alternatiivsed külmaained [23]

Külmaaine	GWP	Tuleohtlikkus	Kommentaariid
R-404A asendusained olemasolevatele seadmetele			
HFC-407A	2 107	1	Euroopas on neid segusid kasutatud R-404A alternatiivina nii vanades kui ka uutes süsteemides. Samuti võivad need segud tagada suurema energiaefektiivsuse kui R-404A.
HFC-407F	1 825	1	
HFC-448A	1 387	1	
HFC-449A	1 397	1	
Asendusained uutele seadmetele			
HC-600a	3	3	HC-d on sobilikud eraldiseisvates külmutusseadmetes kasutamiseks (nt külmkapid, pudelikülmikud), need on laialt kasutusel nii arenenud maades kui ka arengumaades. HC-sid võib kasutada külma- ja kaskaadsüsteemide puhul.
HC-290	3	3	
HC-1270	2	3	
R-744 (CO ₂)	1	1	Enimkasutatud alternatiivne külmutusagens tsentraalsetes jahutussüsteemides (nii transkriitilistes kui ka kaskaadsüsteemides).
R-717 (NH ₃)	0	2L	Kasutusel kaudsetes süsteemides, kuid energiaefektiivsus võib olla väike.
HFO-1234yf	4	2L	Ei ole hetkel kasutusel, ent kasutust kaalutakse külmikutes ja kondensatsiooniseadmeis.
HFO-1234ze	7	2L	
HFC-450A	601	1	Uued välja töötatud segud, mille termodünaamilised omadused on sarnased HFC-134a omadele.
HFC-513A	631	1	
HFC-451A	14	2L	
HFC-451B	150	2L	
Katsetamisjärgus olevad segud	150-300	2L	Katsetamisjärgus olevad külmutusagensite segud, mis on sarnaste omadustega kui HFC-410A.
HFC-446A	460	2L	Uued välja töötatud segud, mis on oma omadustelt sarnased HFC-410A omadele.
HFC-447A	582	2L	
HFC-32	675	2L	HFC-32 kasutamist kaalutakse kondensatsiooniseadmeis.

3.3. Külmaainete tuleohtlikkus ja ohutusklassid

Ohutuse küsimus on aja jooksul muutunud üha olulisemaks, mistõttu pannakse aina rohkem rõhku ohutusstandardite ja -regulatsioonide nõuetele, mis on otseselt seotud külmaainetele iseloomulike omadustega nagu tuleohtlikkus, toksilisus ja/või kõrgem töörohk. Jahutus- ja kliimavaldkonnas rakendatakse erinevaid klassifitseerimissüsteeme, kus külmaained liigitatakse vastavalt toksilisusele ja tuleohtlikkusele. Vastavad liigitused on välja toodud standardites ISO 817 ning EN 378 (Tabel 3.5) [26].

Tabel 3.5. Külmutusagensite ohutusklassid [26]

Tuleohtlikkus	Toksilisus	
	A	B
1	A1	B1
2L	A2L	B2L
2	A2	B2
3	A3	B3

Nagu nähtub tabelist (Tabel 3.5) jagunevad toksilisuse klassid kaheks:

- 1) Klass A – külmaained, mille puhul ei ole täheldatud toksilisust kontsentratsioonil, mis on väiksem või võrdne 400 ppm-st ruumalaühiku kohta;
- 2) Klass B – külmaained, mille puhul on täheldatud toksilisust kontsentratsioonil alla 400 ppm ruumalaühiku kohta [9].

Tuleohtlikkuse klassifikatsioon sõltub sellest, kas ainet on võimalik standardiseeritud katses süüdata, ja kui saab, siis milline on madala süttimisohtliku kontsentratsiooni ja põlemissoojuse väärtus. Tuleohtlikkus on ISO 817 alusel jaotatud järgmiselt:

- 1) Klass 1 (tuleohutu) – külmaained, mis ei näita tuleohtlikkust testimisel õhus temperatuuril 21 °C ja õhurõhul 101 kPa;
- 2) Klass 2L (madal tuleohtlikkus) – madalam tuleohtlikkus kui klassil 2;
- 3) Klass 2 (tuleohtlik) – külmaained, mis näitavad tuleohtlikkust testimisel temperatuuril 21 °C ja õhurõhul 101 kPa, mille madalaim süttimisohtlik kontsentratsioon (*lower flammability limit*, LFL) on üle 0,10 kg/m³ ja mille põlemissoojus on alla 19 kJ/kg;
- 4) Klass 3 (kõrge tuleohtlikkus) – külmaained, mis näitavad tuleohtlikkust testimisel temperatuuril 21 °C ja õhurõhul 101 kPa ja mille LFL on väiksem või võrdne 0,10 kg/m³ ning mille põlemissoojus on suurem kui 19 kJ/kg [9].

Lihtsustatult võib öelda, et tähed „A“ ja „B“ kujutavad mürgisuse taset: „A“ madalamat, „B“ kõrgemat mürgisuse taset. Tuleohtlikkust iseloomustavad tähised ja nende lihtsustatud selgitused on järgmised: 1 – leegi levik puudub, 2L – madal tuleohtlikkus, 2 – tuleohtlik, 3 – suur tuleohtlikkus [26].

3.4. Levinumate alternatiivsete külmaainete omadused ja nende põhilised erinevused HFC-dega võrreldes

Käesolevas alapeatükis on autor välja toonud levinumaid looduslikke külmaaineid – süsinikdioksiidi, ammoniaaki, süsivesinikke ja küllastumata süsivesinikke – iseloomustavad omadused ja nende ainete tehnilised erinevused võrreldes HFC-dega.

3.4.1. Süsinikdioksiid ja tema põhilised tehnilised erinevused HFC-dega võrreldes

Süsinikdioksiid, tööstusliku nimetusega R-744, on mürgitu ja tuleohutu külmaaine, kuuludes ohutusklassi A1. CO₂ kasutamine külmutusseadmes ulatub 19. sajandisse. CO₂ ei kahanda osoonikihti (ODP=0), ühtlasi on tühiselt väike tema globaalset soojenemist põhjustav potentsiaal (GWP=1), mis on tuhandeid kordi väiksem kui paljudel kasutuselolevatel ainetel. Süsinikdioksiid on keemiliselt inertne, õhust raskem, kättesaadav ega vaja ümbertöötlemist või jäätmejaama viimist. Inimese tervisele avaldab CO₂ kahjulikku mõju üksnes väga suurtes kontsentratsioonides. CO₂-põhistele süsteemidele on iseloomulik kõrge tööõhk, mida tuleb nende süsteemide projekteerimisel arvesse võtta. CO₂ on madalatemperatuuriline külmutusagens, mida saab kasutada nii tööstusjahutus-seadmes kui ka kommertskasutuses olevates sügavkülmikutes (külmvitriinides). Samuti sobib CO₂ hästi soojuspumpadesse [9], [14], [17].

Süsinikdioksiidi põhilised tehnilised erinevused HFC-dega võrreldes on järgmised:

- külmasüsteemi kõik komponendid peavad sobima, et töötada kõrgetel tööõhkudel;
- CO₂-l on väiksem praktiline piirkogus;
- CO₂ on lämmatava toimega, mistõttu tuleb seadmele paigaldada lekkevastussüsteem, kui seade asub suletud hõivatud ruumis (täpsemad nõuded standardis EN 378);
- CO₂ suure jahutusvõime tõttu peab kompressori tootlikkus ja torude läbimõõt olema väiksem, (CO₂ kompressori tootlikkus moodustab 1/5 R-404A kompressori omast) [22].

3.4.2. Ammoniaak ja tema põhilised tehnilised erinevused HFC-dega võrreldes

Ammoniaaki, tööstusliku nimetusega R-717, on tööstuslike külmutusseadmete külmaainena kasutatud üle 130 aasta. NH₃ puhul on tegu värvitu, teravalõhnalise gaasiga, mis on õhust kergem ja veeldub rõhu all. Ammoniaagi ODP ja GWP on mõlemad võrdelised nulliga. Ammoniaagi kahjuks

räägib tema mürgisus ning süttivus kõrge rõhu all. Tänu oma iseloomulikule teravale lõhnale on ammoniaaki võimalik tuvastada juba madalatel kontsentratsioonidel (alates 3 mg/m³), mis ei kujuta inimese tervisele ohtu. Et NH₃ söövitab vaske, tuleb külmasüsteemis kasutada terastorusid ja telgkompressorit. Ühtlasi ei segune ammoniaak tavaliste mineraalõlidega, mistõttu on täiendavaks nõudeks õli rektifitseerimine, mis omakorda tõstab külmasüsteemi esialgset investeerimiskulu, ent säästa on võimalik energiatarbe ehk jooksvate kulude pealt [14].

Ammoniaagi põhilised tehnilised erinevused HFC-dega võrreldes on järgmised:

- NH₃-ga koos kasutatakse tavaliselt telgkompressorit;
- kasutada tuleb kas pehmet või roostevaba terast või niklit;
- NH₃ ei segune mineraalõlidega, soovituslik on paigaldada õli taaskasutussüsteem;
- surveanumate vajadus;
- mõned elektrilised komponendid peavad sobima kasutamiseks plahvatusohtlikus keskkonnas;
- madalatemperatuuriliste rakenduste korral (nt külmutatud toidu töötlemisel, ladustamisel) kasutatakse 2-astmelist komprimeerimist, vältimaks liiga kõrgeid väljundtemperatuure;
- NH₃ on mürgine, vajab lekettuvastussüsteemi, omab väga väikest praktilist piirkogust [22].

3.4.3. Süsivesinikud ja nende põhilised tehnilised erinevused HFC-dega võrreldes

Süsivesinikud (HC-d) on looduslikud ühendid, mis on külmutusseadmetes kasutust leidnud juba mitmeid aastaid. HC-d on laialt kasutusel petrokeemia rakendustes, kus tuleohtlike ainete kasutus on hästi mõistetav. Need on keemiliselt stabiilsed ja nende rakendamine väljaspool naftakeemia valdkonda on kiirelt kasvamas. HC-sid kasutatakse kodumajapidamises kasutatavates külmutusseadmetes – ohutuid süsteeme on lihtne tagada tänu süsteemi väikesele täitekogusele (täitekogus on mitmel juhul väiksem kui nt sigaretisüütajas). Mitmed väikesed ja keskmise suurusega kaubandusliku kasutusega rakendused on samuti võimalikud mitmete HC-de puhul, mille puhul kohaldatavaid ohutusnõudeid järgitakse [22], [27].

HC-de hulka kuuluvad propaan (HC-290), propüleen (HC-1270), isobutaan (HC-600a), butaan (HC-600), etaan (HC-170) ja isopentaan (HC-601a). Neid külmaaineid on kasutatud üle 10 aasta väikese võimsusega (kuni 200 kW) jahutites, seda nii arenenud kui ka arengumaades. Hiljutised arengud HC-sid sisaldavate kodumajapidamises kasutatavate külmikute ja sügavkülmikute osas on aidanud kaasa nende külmaainete kasutamisele väikestes kliimaseadmetes. Kliimaseadmed, mis

kasutavad HC-del põhinevaid tehnoloogiaid, on suure energiaefektiivsusega ja neid on võimalik ehitada saavutamaks häid ohutusmeetmeid [28], [29].

HC-d on värvitud, peaaegu lõhnutud gaasid, mis rõhu all veelduvad. Nende ODP on võrdeline nulliga, ka GWP on suhteliselt väike ($GWP < 3$). Tänu oma termodünaamilistele omadustele on HC-d energiatõhusad külmaained. Puudusteks HC-de puhul on nende tuleohtlikkus, ent tänu ohutusnõuetele on külmutusagensi kaod nullilähedased. Süsivesinikud on saadaval üle kogu maailma, tavaliselt kasutatakse neid väikeste täitekogustega külmutusseadmes, nt külmikutes, pudelikülmikutes, aga ka kliimaseadmetes ja soojuspumpades [22].

Süsivesinike põhilised tehnilised erinevused HFC-dega võrreldes:

- tuleb vältida kokkupuudet tule ja sädemetega, st keevitamine on keelatud, kasutada võib üksnes ultrahelikeevitust, Lokringi ühendusi või sobivaid surveühenduseid;
- termostaat peab paiknema eraldatuna, vältimaks süttimisohtu (nt lekke korral);
- külmaaine täitekogus on piiratud;
- kõik elektroonikajuhtimise komponendid peavad olema plahvatuskindlad;
- mõned elektrilised komponendid peavad sobima kasutamiseks ka tuleohtlikus keskkonnas;
- isobutaani väikese jahutusvõime tõttu peab kasutatava kompressori tootlikkus suurem olema (isobutaani jahutusvõime on R-134a-ga võrreldes 50% väiksem) [22].

3.4.4. Küllastumata süsivesinikud ja nende põhilised tehnilised erinevused HFC-dega võrreldes

Küllastumata süsivesinikke ehk HFO-sid iseloomustab väga madal GWP, nende külmaainete gruppi kuuluvad nt R-1234ze ja R-1234yf, mis sobivad kasutamiseks keskrõhu külmutusseadmetesse, ent omavad pisut suuremat kriitilist ja keemistemperatuuri. HFO-d leiavad rakendust soojuspumpades, külmikutes, õhukuivatites, samuti ka CO₂ kaskaadkülmutusseadmetes [22].

HFO-de põhilised tehnilised erinevused HFC-dega võrreldes on järgmised:

- piiratud täitekogus;
- mõned elektrilised komponendid peavad sobima tuleohtlikus keskkonnas kasutamiseks;
- külmasüsteemi komponendid saab valida madalamatel rõhkudel töötamiseks;
- külmaaine R-1234ze jahutusvõime on 25% väiksem R-134a-ga võrreldes, kuid soojustegur on üsna sarnane; st R-1234ze paigaldatav kompressor oleks sarnase mootori suurusega, ent tootlikkus oleks 30% suurem, saavutamaks sama võimsust [22].

3.5. Alternatiivsete külmaainete kasutust takistavad tegurid

Euroopa Komisjon on 2016. aasta novembris avaldanud aruande eeskirjadest, standarditest ja õigusaktidest tulenevate takistuste kohta kliimasõbralike tehnoloogiate kasutuselevõtmisel jahutus- ja kliimaseadmete, soojuspumpade ning vahuseadmete sektoris. Aruande kohaselt on tehnoloogia areng viimastel aastatel jõudsalt arenenud ning paljude seadmete ja toodete puhul on võimalik kasutada madala GWP-ga sobivaid ja energiatõhusaid alternatiive⁹. Sellest hoolimata võivad üleminekut kliimasõbralikumatele lahendustele ohustada mittetehnoloogilised takistused ning nendest põhjustatud kulude ülemäärane suurenemine [30].

3.5.1. Eeskirjade, standardite ja õigusaktide asjakohasus

Eeskirjad, standardid ja õigusaktid võivad kaudselt mõjutada HFC-de alternatiivide kasutuselevõttu, kui neis esitatud nõuded seadmete ja nende koostisosade projekteerimise või valmistamise, seadmete paigaldamise ja nende teeninduse, hoolduse ja lammutamise kohta ei vasta konkreetse alternatiivse tehnoloogia kasutamisele. Ehkki sobivad alternatiivid on tihti kliimasõbralikumad kui HFC-d, on ka neil puuduseid, millest kõige olulisemad on süttivus, toksilisus või suurem nõutav tööõhk. Nimetatud puuduseid saab kõrvaldada toote sobiva ehituse ja seadmete nõuetekohase hoolduse abil. Samaaegselt ohutustaseme säilitamise ja riskide minimeerimisega tuleks kohandada eeskirju, standardeid ja õigusakte tehnoloogia arenguga, samuti lubada kooskõlas HFC-de vähendamise ja Pariisi kokkuleppega kliimasõbralikumate alternatiivide kasutamist juhtudel, kus see on ohutu [30].

3.5.2. Eeskirjadest, standarditest ja õigusaktidest tulenevad takistused

Toodete ja seadmete valmistajad, paigaldajad ning lõppkasutajad peavad täitma paljude Euroopa tasandil kohaldatavate õigusaktide ja standardite nõudeid. Mõned neist nõuetest on seotud külmutusagensite ohutu kasutamisega, ent enamik neist nõuetest ei ole siiski otseselt seotud konkreetse külmutusagensi kasutusega, hõlmates üksnes üldiseid ohutusaspekte. Euroopa standardid on kehtestatud Euroopa standardiorganisatsioonide CEN ja CENELEC poolt, tehniliste spetsifikatsioonide kehtestamisel tuginetakse tööstuse sidususrühmadele. Erinevalt õigusaktidest ei ole standardite kasutamine üldjuhul kohustuslik (v.a juhul, kui standardid on üle võetud õigusaktidesse, ärilepinguisse). Hoolimata asjaolust, et standardid ei ole kohustuslikud, kasutatakse neid siiski laialdaselt ning nad omavad märkimisväärset mõju [30].

⁹ Study on alternatives for high ambient temperatures, Öko-Recherche, november 2014

Tabel 3.6. Euroopa tasandi standardid, mis on seotud jahutus-, kliimaseadmete ja soojuspumpadega [30]

Standard	Eesmärk
EN 378:2016	Külmutussüsteemid ja soojuspumbad. Ohutus- ja keskkonnanõuded. Standardis EN 378 esitatakse praktilised eeskirjad oluliste parameetrite määramiseks, nt külmutusagensi maksimaalne täitekogus.
IEC EN 60335-2-24	Majapidamis- ja muud taolised elektriseadmed. Ohutus.
IEC EN 60335-2-40	Elektrilised soojuspumbad, kliimaseadmed ja õhukuivatid. Ohutus.
IEC EN 60335-2-89	Tööstuslikud jahutusseadmed. Ohutus.
EN 1127-1	Plahvatusohtlik keskkond. Plahvatuse vältimine ja kaitse.
EN 60079	Nõuded elektriseadmetele plahvatusohtlikus keskkonnas. See on ulatuslik kogum standarditest, millest mõned on väga olulised seoses jahutus- ja kliimaseadmete ning soojuspumpadega.
EN 13463	Mitteelektrilised seadmed plahvatusohtlike keskkondade jaoks.

Tabelis on toodud ülevaade kõige asjakohasematest Euroopa standarditest, mis on seotud külmutusagensite kasutamisega (Tabel 3.6). Olulisimad standardid seoses jahutus- ja kliimaseadmete ning soojuspumpadega on EN 378, tootestandardid IEC EN 60335-2-40 (kliimaseadmed) ja IEC EN 60335-2-89 (integreeritud ja eraldi jahutusagregaadiga kaubanduslikud külmutusseadmed), mis on ülimuslikud standardi EN 378 suhtes [30].

3.5.3. Liikmesriikide edastatud teave riiklike eeskirjade, standardite ja õigusaktide kohta

Euroopa Komisjoni tellimusel läbiviidud uuringu¹⁰ tulemusena selgus, et suurem osa EL-i liikmesriike ei tuvastanud asjakohaseid riiklikke eeskirju, standardeid või õigusakte, mis oleks Euroopa tasandi õigusaktidest ja standarditest rangemad. Liikmesriigid ei teavitanud märkimisväärtest riiklikest piirangutest, mis oleksid rangemad Euroopa nõuetest NH₃ või CO₂ kasutusega seotud jahutus-, kliimaseadmete või soojuspumpade puhul. Mõni liikmesriik teavitas tuleohtlike alternatiivsete külmutusagensite (HC-d ja HFO-d) kasutusega seotud piirangutest [30].

3.5.4 Takistused ammoniaagi ja süsinikdioksiidi kasutamiseks külmaainena

Euroopa ja riikliku tasandi eeskirjad, standardid ning õigusaktid ei takista enam oluliselt CO₂ ja NH₃ kasutamist külmaainena. Nendega tagatakse nimetatud külmutusagensite ohutu kasutamine ning võimaldatakse nimetatud aineid kasutavate süsteemide ja seadmete suuremat läbimurret turul. Ekspertid nõustuvad, et NH₃ kasutusse tuleb suhtuda ettevaatlikkusega, ent samas on kehtivate ohutusstandardite (EN 378) nõuete täitmine sobiv viis edasi tegutsemiseks. Teised riiklikud ettekirjutused ei näi enamikes liikmesriikides olevat liiga piiravad, ka süsinikdioksiidi kasutavate

¹⁰ Vastas 24 liikmesriiki, mis esindab 95% EL-i rahvaarvust

seadmete puhul on kehtivate ohutusstandardite ja surveseadmete direktiivi nõuetega ette nähtud asjakohane raamistik vastavate süsteemide ohutuks kasutamiseks tulevikus [30].

3.5.5 Takistused tuleohtlike külmaainete – HC-de ja HFO-de – kasutamiseks

Külmaainete täitekoguste piiramine seadmetes on seni olnud põhiline praktiline meetod kõigist tuleohtlikest külmutusagensitest tuleneva riski minimeerimiseks. Tavapärastel standardid on täitekoguste suhtes väga konservatiivsed – täitekoguseid on hoitud väga väikestena. Laialdaselt kasutatavad piirangud täitekogustele piiravad oluliselt tuleohtlike külmutusagensite kasutust mitmetes seadmetüüpides ja rakendustes. Standardi EN 378 muutmise tulemusena võetakse kasutusele uus HFC-de ja HFO-de tuleohtlikkuse kategooria, milles lubatakse nimetatud standardiga kasutada suuremaid täitekoguseid, lisaks lubatakse kasutada kõnealuseid aineid laiemas valikus rakendustes ja kohtades. Ehkki kõnealuste muudatustega lihtsustatakse HFO-de kasutust, jäävad HC-de kasutamisel püsima märkimisväärsed piirangud [30].

Tuleohtlike külmaainete (eriti HC-de) kasutamisel tuleb suurt tähelepanu tuleb pöörata järgmistele piirangutele:

- Euroopa tasandi standardites (Tabel 3.6) on täitekogused piiratud enam kui on vaja seadme ohutu kasutamise tagamiseks, lisaks on üleliia piiratud siseruumide jahutusseadmete täitekogused;
- mõnede tuleohtlike külmaainete täitekoguse määramisel pole piisavalt arvestatud riski vähendavat lähenemisviisi, ehkki teatud seadmetüüpide puhul on kehtivate eeskirjade kohaselt võimalik teha individuaalne riskihindamine, on see tootja jaoks lisakulu, selle asemel valitakse standarditega ette nähtud üldised rangemad eeskirjad;
- mõnes EL-i liikmesriigis on riiklikud eeskirjad, standardid ning õigusaktid, millega on keelatud tuleohtlike külmaainete kasutus teatavates rakendustes, need takistavad oluliselt tuleohtlike külmaainete kasutamist HFC-de asemel [30].

3.5.6. Järeldused

Liikmesriikide ametiasutustelt saadud info ja sidusrühmadega peetud konsultatsioonide põhjal võib järeldada, et suure tõenäosusega on peamiseks takistuseks HFC-de kliimasõbralike alternatiivide kasutuselevõtmisel tuleohtlike külmutusagensite kasutamist käsitlevad standardid nii rahvusvahelisel, Euroopa kui ka riiklikul tasandil. Aitamaks vähendada HFC-de kasutust EL-is ning vähendamaks heitkoguseid nii EL-is kui ka kolmandates riikides vastavalt Pariisi kokkuleppele kulutõhusaimal viisil, tuleks vastavad takistused võimalikult kiiresti kõrvaldada [30].

4. FOKA REGISTRIS OLEVATE ANDMETE ANALÜÜS

Käesolevas peatükis on tehtud ülevaade jahutus-, kliimaseadmetes ja soojuspumpades sisalduvate külmaainete ja nende koguste kaupa. Töö autor on analüüsinud riikliku andmebaasi – FOKA registreisse – registreeritud seadmete andmeid, nende seadmete jaotust, seadmetes sisalduvate ainete koguseid ja ainete kogustele vastavaid heitkoguseid. Analüüsi tulemused on välja toodud teksti kujul, mida täiendavad erinevad illustreerivad graafikud ja tabelid. Et töö autor on käesolevat tööd kirjutades Eesti Keskkonnauuringute Keskuse (EKUK) kliimaosakonna spetsialist, on tal õigus vastavatele andmetele ligipääsuks, täitmaks EKUKi poolt määratud tööülesandeid. Lisaks olgu öeldud, et käesolevas töös ei ole konkreetselt viidatud ühelegi ettevõttele ning analüüsi tulemused kajastavad üksnes üldistatud koondandmeid.

Käesoleva töö raames tehtud analüüsi eesmärgid on järgmised:

- Tuvastada ja kaardistada HFC-de kasutamise hetkeolukord Eestis (2018. aasta aprilli seisuga), erilist tähelepanu pööratakse kõrge GWP-ga F-gaaside koguste määramisel;
- Tuua välja jahutus-, kliimaseadmetes ja soojuspumpades kasutatavad külmaained ainekoguste (kg) ja nende vastavate heitkoguste (CO₂ ekv t) kaupa;
- Analüüsida FOKA registri andmeid ja saadud tulemuste põhjal teha arvutused, sh võrrelda hetkel olemasolevates seadmetes sisalduvate ainete ja alternatiivsete külmaainete hindu ja mõju keskkonnale;
- Prognoosida olemasolevates jahutusseadmetes sisalduva külmaaine R-404A vähenemist vastavalt määruse (EL) nr 517/2014 artiklites 11 ja 13 kehtestatud nõuetele.

Et vastavasisulist teadustööd ei ole Eestis varem avalikult tehtud, on see üks ainulaadseid ja see võib olla heaks suunanäitajaks ning alusmaterjaliks tulevikus tehtavatele uuringutele. Käesolevas analüüsis on tehtud rohkelt üldistusi ja eeldusi, mistõttu ei pruugi saadud tulemused kajastada reaalsel olukorda, mistõttu on töös tehtava analüüsi eesmärk kajastada Eesti hetkeolukorra üldpilti. Samuti püüab autor prognoosida enimkasutatava külmaaine R-404A tulevikku F-gaaside määruse (EL) nr 517/2014 artikkel 11 ja 13 nõuete valguses. Autori analüüs tugineb talle parimatele olemasolevatele teadmistele ning andmetele (riiklikule FOKA andmebaasile).

4.1. FOKA register

27. detsembril 2016. aastal vastu võetud keskkonnaministri määruse nr 83 „Fluoritud kasvuhoonegaase ja osoonikihti kahandavaid aineid sisaldavate toodete, seadmete, süsteemide ja mahutite ning käitlemistoimingute registri põhimäärus ja selle pidamise kord“ põhjal on Eestis korraldatud F-gaase ja OKA-sid sisaldavate toodete, seadmete, süsteemide ning mahutite ja käitlemistoimingute registreerimine. FOKA andmekogu ehk FOKA registri eesmärk on Atmosfääriõhu kaitse seaduse alusel kogutava F-gaase ja OKA-sid sisaldavate toodete, seadmete ja süsteemide ning käitlemistoimingutega seotud andmete haldamine digitaalses keskkonnas. FOKA registri laiemaks eesmärgiks on tagada F-gaaside ja OKA-de atmosfääri eralduvate heitkoguste vähenemine [31].

FOKA registrisse ei kanta kõiki Eestis paigaldatud seadmeid, samuti kehtivad F-gaase ja OKA-sid sisaldavatele seadmetele ja nende käitlemistoimingutele erinevad nõuded, mille alusel seadmeid FOKA-sse registreerida. Käesolevas töös käsitleb autor ainult F-gaase ja neid sisaldavatele seadmetele kehtestatud nõudeid [31].

FOKA registrisse kantakse järgmised F-gaase sisaldavad seadmed ja nende käitlemistoimingud:

- 5 või enam CO₂ ekvivalenti F-gaase sisaldavad paiksed jahutus-, kliimaseadmed ja soojuspumbad;
- 5 või enam CO₂ ekvivalenti F-gaase sisaldavad paiksed tuletõrjeseadmed;
- 5 või enam CO₂ ekvivalenti F-gaase sisaldavad paiksed elektrijaotlad;
- Paiksed F-gaasidel põhinevad lahusteid sisaldavad seadmed, mis sisaldavad 5 või enam CO₂ ekvivalenti F-gaase [31].

Näitena võib välja tuua, et 5 CO₂ ekv t piirkogusele vastavad ainete R-404A ja R-410A kogused on vastavalt 1,275 kg ning 2,4 kg. Enamlevinud F-gaaside kogused ümberarvutatuna CO₂-ekvivalenttonnidesse on toodud tabelis (Tabel 4.1). Arvutamaks välja, kui suur on konkreetse F-gaasi kogus väljendatuna CO₂-ekvivalenttonnides, on loodud F-gaaside CO₂-ekvivalendi kalkulaator¹¹, mis on leitav Eesti Keskkonnauuringute Keskuse kodulehelt. Kalkulaatoris tuleb valida seadmes sisalduv F-gaas, sisestada uuritava aine kogus kilogrammides ja kalkulaator arvutab sisestatud koguse automaatselt ümber CO₂-ekvivalenttonnidesse.

¹¹ <http://www.klab.ee/f-gaasid/kalkulaator/> (20.05.2018)

Tabel 4.1. Seadme täitekogused (kg) ümberarvutatuna CO₂-ekvivalenttonnideks [32]

Aine	GWP	5 kg	10 kg	40 kg	50 kg	500 kg	1 000 kg
R-134a	1 430	3,50	6,99	27,97	34,97	349,65	699,30
R-32	675	7,40	14,81	59,26	74,07	740,74	1 481,48
R404A	3 922	1,28	2,55	10,20	12,75	127,50	255,00
R407C	1 774	2,82	5,64	22,55	28,19	281,87	563,75
R410A	2 088	2,40	4,79	19,16	23,95	239,52	479,04
R422D	2 729	1,83	3,66	14,65	18,32	183,21	366,42
R507	3 985	1,26	2,51	10,04	12,55	125,47	250,94

Seadmete käitlemistoiimingute registreerimise kohustust ei ole seadmetel, mis sisaldavad vähem kui 5 CO₂ ekvivalenti F-gaase või kui seade on hermeetiliselt suletud (omab vastavat märgistust või märget kasutusjuhendis) ja sisaldab sealjuures vähem kui 10 CO₂ ekvivalenti F-gaase. Nimetatud juhtudel saab seadme omanik seadme soovi korral registris arhiveerida. Paiksete jahutus-, kliimaseadmete ja soojuspumpade puhul käsitletakse ühe seadmena üht jahutuskontuuri. Kui süsteemi erinevates külmaaine kontuurides sisalduv aine omab omavahelist kokkupuudet (läbi ühise torustiku), siis tuleb FOKA registris registreerida üks seade, summeerides kõikides süsteemi külmakontuurides sisalduvad aine kogused. Kui taoline ühendus puudub, tuleb kõik kontuurid eraldi seadmetena registrisse registreerida [33].

4.2. FOKA andmete analüüs ja hetkeolukord Eestis

Enne analüüsi juurde jõudmist toob autor välja, et eksperthinnangul on FOKA registrisse registreeritud ligikaudu 80-90% suurtest jahutusseadmetest (st jahutusseadmed, mille täitekogus on 15 kg ja rohkem). Kuna realselt paigaldatud kliimaseadmete ja soojuspumpade hulk on nii suur ning FOKA andmebaasi tuleb nimetatud seadmed kanda alles kogusest 5 CO₂-ekvivalenti, ei ole võimalik tagada kõikide seadmete registreerimist, mistõttu on registri alusel tehtavad hinnangud väikeste seadmete kohta pigem ebausaldusväärsed.

2018. aasta 5. aprilli seisuga on FOKA andmebaasi sisestatud 4 993 seadet, peale andmete korrastamist, sh ebakorrektselt sisestatud ja/või poolleiolevate registreeringute eemaldamist algandmetest, jäi analüüsitavaid seadmeid alles 4 175, mis jagunesid valdkonniti (ja seadmete koguarvult) järgmiselt:

- elektrijaotlad (96 tk),
- jahutusseadmed (2 885 tk),
- kliimaseadmed (946 tk),
- soojuspumbad (153),
- tulekustutus (95 tk).

Seadmete jagunemine seadmete liigi, hulga ja seadmes sisalduva aine koguse põhjal on välja toodud järgmises tabelis (Tabel 4.2). Koondtabel korrektselt FOKA andmebaasi registreeritud kõikidest seadmetes sisalduvatest ainetest ja nende kogustest on toodud käesoleva töö Lisas 2, seadmete jagunemine alamvaldkondadeks on toodud Lisas 3.

Tabel 4.2. FOKA registrisse registreeritud seadmete jagunemine liigiti, seadmete hulga (tk), seadmetes sisalduva aine koguse (kg), (CO₂ ekv t) järgi, [FOKA andmebaas, aprill 2018]

Seadme liik	Seadmete hulk	Aine kogus		Keskmine aine kogus seadme kohta	Keskmine heitkogus seadme kohta
	tk	kg	CO ₂ ekv t	kg/tk	CO ₂ ekv t/tk
Jahutusseadmed	2 885	145 428	506 084	50	175
Tulekustutus	95	14 825	73 360	156	772
Elektrijaotlad	96	2 651	60 449	28	630
Kliimaseadmed	946	10 956	20 978	12	22
Soojuspumbad	153	2 208	3 955	14	26
KOKKU	4 175	176 068	664 826		

Seadmetes sisalduvate ainete summaarne kogus on 176 068 kg, analüüsitud ainete kogusele vastav kogus CO₂-ekvivalenttonnides on 664 826 CO₂ ekv t. Nagu näha eelnevast tabelist (Tabel 4.2), on kõige olulisemaks valdkonnaks jahutusseadmed, milles sisalduvate ainete kogusele vastav heide moodustab 76% (506 084 CO₂ ekv t) kõikides seadmetes sisalduvate ainete kogusele vastavast summaarsest koguheitest. Tabelis on toodud ka keskmine aine kogusele vastav heitkogus seadme kohta, mis on suurim tulekustutusseadmete puhul (772 CO₂ ekv t). Seda saab selgitada tulekustutusseadmetes enimkasutatava aine R-227ea kõrge GWP-ga, mille väärus on 3 220. Elektri- jaotlate keskmine aine kogusele vastav heitkogus seadme kohta on ka kõrge (630 CO₂ ekv t), see tuleneb elektrijaotlates isoleergaasina kasutatava väävelheksafluoriidi (SF₆) äärmiselt kõrge GWP-st (22 800).

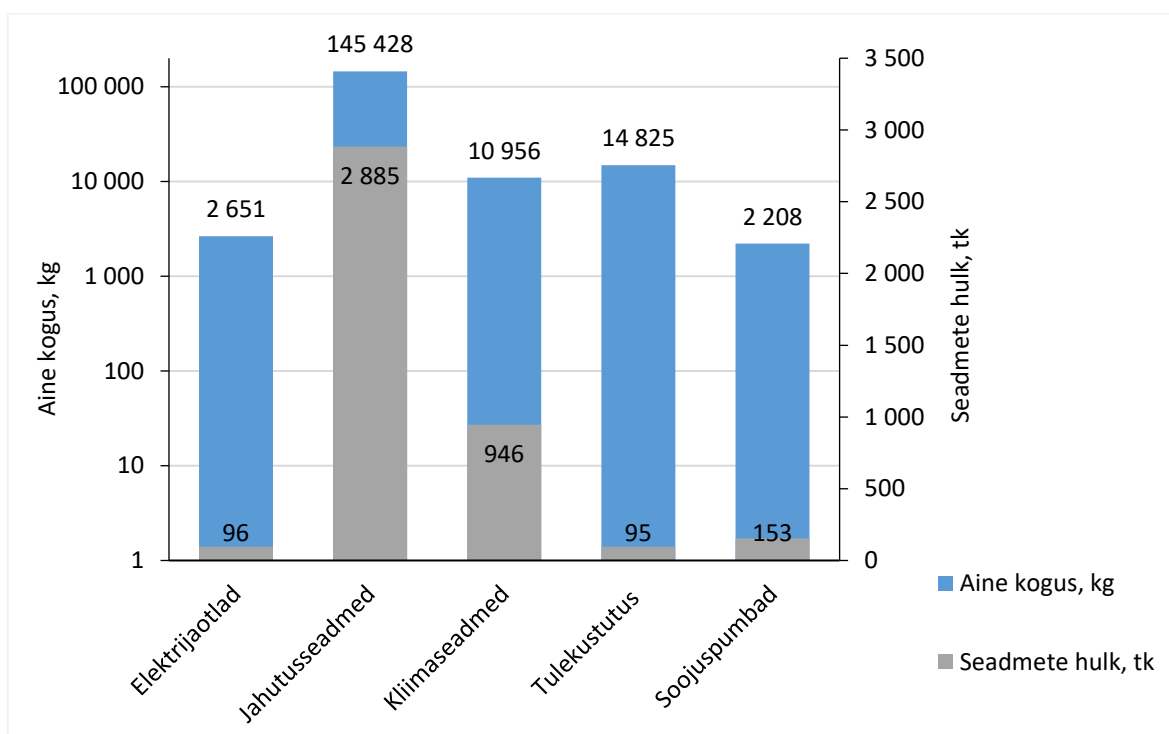
Illustreeriv joonis kõikide Eestis kasutusel olevates seadmetes sisalduvate ainete jaotusest seadmes sisalduva aine koguse ja sellele vastava heitkoguste järgi 2018. aasta aprilli seisuga on toodud käesoleva töö Lisas 4.

Eestis on jahutus-, kliimaseadmete, soojuspumpade ja tööstusjahutuse valdkonnas hetkel kasutusel 115 866 kg külmaainet R-404A, mis moodustab 65,81% kõikide kasutusel olevate ainete kogusest, mis on märkimisväärne, võttes arvesse, et R-404A GWP on suurem kui 2 500 ja aastast 2020 rakendub R-404A-l põhinevate uute seadmete keeld. R-404A-le järgnevad F-gaasid R-134a (16 491 kg, 9,37%), R-227ea (11 492 kg, 6,53%), R-407C (10 789 kg, 6,13%) ning R-410A (7 600 kg, 4,32%). Info viiest enamkasutatavast F-gaasist, mis moodustavad 92,16% (162 239 kg) kõikide F-gaaside summaarsest kogusest, on toodud alljärgnevas tabelis (Tabel 4.3).

Tabel 4.3. Enamkasutatavate F-gaaside kogused (kg), nende vastavad heitkogused (CO₂ ekv t) ja osakaal (%) Eestis, [FOKA andmebaas, aprill 2018]

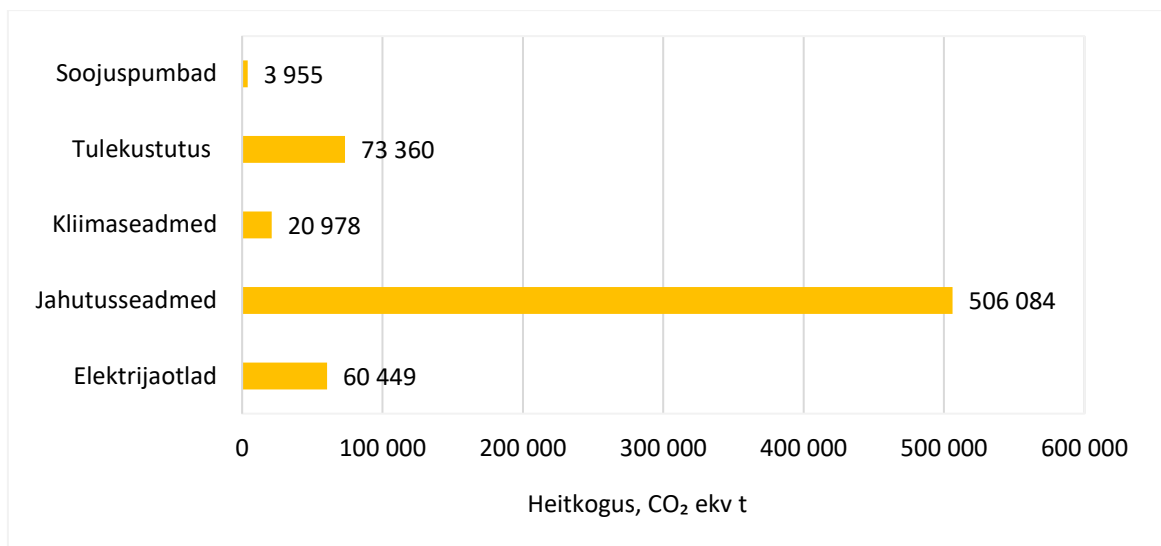
Aine	GWP	Aine kogus		Aine osakaal kõikide ainete summaarsest kogusest
		Kg	CO ₂ ekv t	%
R-404A	3 922	115 866	454 404	65,81
R-134a	1 430	16 491	23 584	9,37
R-227ea	3 220	11 492	37 008	6,53
R-407C	1 744	10 789	19 139	6,13
R-410A	2 088	7 600	15 865	4,32
KOKKU		162 239	550 000	92,16

Joonis 4.1 ja Joonis 4.2 iseloomustavad samuti seadmete jagunemist vastavalt seadmete hulga (tk) ja seadmes sisalduvate ainete koguste (kg) põhjal ning seadmeliigile vastavate heitmete (CO₂ ekv t) põhjal. Nendelt joonistel on näha, et just jahutusseadmeid on kõige rohkem ning omavad suurimat seadmes sisalduvat aine kogust (145 428 kg) ja sellele vastavat heidet (506 084 CO₂ ekv t).



Joonis 4.1. Seadmetes sisalduvate ainete jaotus seadmete liigi, hulga (tk) ja aine koguse (kg) järgi, [FOKA andmebaas, aprill 2018]

Elektriijaotlates kasutatava SF₆ kogusele vastavat suurt heitkogust (sealjuures heide seadme kohta on 630 CO₂ ekv t/tk) selgitab autor sellega, et elektriijaotlates kasutatava väävelheksafluoriidi (SF₆) GWP on väga suur (22 800). Tulekustutusseadmete suurt heitkogust saab samuti põhjendada nendes seadmetes enimkasutatud ainete – R-227ea ja R-23 – kõrge GWP-ga, mis on vastavalt 3 220 ja 14 800.



Joonis 4.2. Seadmetes sisalduvate ainete kogustele vastavad heitkogused seadmete liigi kaupa, [FOKA andmebaas, aprill 2018]

Nagu mainitud ta töö alguses, on otsustanud autor sügavamalt analüüsida just jahutus-, kliima-seadmetes ja soojuspumpades sisalduvaid F-gaase. Sellest lähtuvalt on järgnevalt toodud nimetatud valdkondade täpsem ülevaade. Autor on esitanud vastavate seadmete jagunemise alagruppide kaupa. Välja on toodud seadmete hulk (tk), külmaaine kogus (kg) ja sellele vastav heitkogus (CO₂ ekv t) iga konkreetse FOKA andmebaasi registreeritud aine kohta.

4.2.1. Jahutusseadmete detailsem jagunemine

FOKA andmebaasi on korrektselt sisestatud 2 885 seadme info, sealjuures seadmes sisalduvate F-gaaside koguseks on 145 428 kg, mille väärtus CO₂-ekvivalenttonnides väljendatuna on 506 085 CO₂ ekv t. FOKA registri kohaselt on jahutusseadme definitsioon järgmine: „Omavahel ühenduses olevatest komponentides koosnev paigaldis, mis moodustab ühe hermeetiliselt suletud tsirkulatsiooniringi ja mille sihtotstarve on tootmisprotsessis kasutatavate materjalide või toodangu/kauba temperatuuri alandamine või hoidmine ruumi või süsteemi osa temperatuuri vähendamise kaudu. Jahutusseadmeteks ei loeta paigaldisi, mille tsirkulatsiooniringis aine agregaatolek ei muutu.“ Jahutusseadmeid iseloomustav koondinfo, sh seadmete arv, aine kogus seadmeis ja aine kogus väljendatuna CO₂-ekvivalenttonnides on toodud tabelis (Tabel 4.4).

Jahutusseadmed jagunevad FOKA andmebaasi kohaselt järgmistesse kategooriatesse:

- keskmised ja suured kaubanduslikud seadmed – seadmed, mida kasutatakse ärilisel eesmärgil kauba müümiseks-hoidmiseks, nt kaubanduskeskustes jm -kettides. Täitekogus suurem kui 15 kg. Siia kuuluvad ka seadmed, mis ei langeta temperatuuri alla 0 °C, kuid vastavad muudele tingimustele;

- tööstuslikud jahutusseadmed – seadmed, mida kasutatakse väikestes poodides ja võrreldavate jahutusseadmetega ettevõtetes (ainult 1 kompressor ja/või kuni 15 kg ainet): restoranide, hotellide, pubide jahutussüsteemid (enamasti väikesed eraldiseisvad seadmed; seadmete täitekogus on kuni 15 kg. Siia kuuluvad ka seadmed, mis ei langeta temperatuuri alla 0 kraadi, kuid vastavad muudele tingimustele;
- väiksed kaubanduslikud seadmed – seadmed, mida kasutatakse tootmisprotsessis, ladustamisel vm tööstuslikel eesmärkidel ja mis ei ole kaupluste jahutusseadmed. Täitekogus ca 10 kg. Toiduainete hulгимүүги või tootmisega tegelevate ettevõtete laohoones paiknevad jahutusseadmed on tööstuslikud, mitte kaubanduslikud.

Tabel 4.4. Jahutusseadmete jagunemine [FOKA andmebaas, aprill 2018]

Aine	Keskmised ja suured kaubanduslikud seadmed			Tööstuslikud jahutusseadmed			Väike kaubanduslik jahutusseade		
	Seadmete hulk	Aine kogus		Seadmete hulk	Aine kogus		Seadmete hulk	Aine kogus	
		tk	kg		CO ₂ ekv t	tk		kg	CO ₂ ekv t
R-404A	883	72 171	283 054	586	38 918	152 616	517	4 245	16 648
R-134a	75	6 553	9 373	54	6 197	8 861	11	72	103
R-407C	67	2 905	5 152	133	3 217	5 707	99	728	1 292
R-227ea							1	12	39
R-410A	51	1 675	3 496	63	971	2 026	121	722	1 508
R-407F	25	1 096	2 000	11	1 303	2 377	12	80	146
R-422A	25	952	2 992				10	98	308
R-417A	14	611	1 433	9	224	526	27	287	673
R-134	6	409	450	4	314	345			
R-407A	7	310	653	3	17	36	8	42	89
R-422D	8	198	539	23	168	458	14	83	228
R-448A	2	80	102						
R-422C							1	14	42
R-413A	1	25	51						
R-424A							1	13	32
R-143	1	20	7						
R-452A							7	35	75
R-507				4	650	2 590	1	15	60
KOKKU	1 165	87 004	309 303	890	51 978	175 542	830	6 446	21 240

Keskistes ja suurtes kaubanduslikes seadmetes kasutatakse enim külmaainet R-404A, see moodustab vastavas alamvaldkonnas tervelt 83% (72 171 kg) kõikide kasutatavate ainete kogusest (87 004 kg) ning 92% (283 054 CO₂ ekv t) keskmistest ja suurtest kaubanduslikest seadmetest pärinevast heitkogusest. Järgnevad R-134a ja R-407C vastavalt kogustega 6 553 kg (9 373 CO₂ ekv t) ja 2 905 kg (5 152 CO₂ ekv t). Tööstuslikes jahutusseadmetes kasutatakse samuti enim ainet R-404A (75% kogu alamvaldkonnast) kogusega 38 918 kg, millele vastav heitkogus on 152 616 CO₂ ekv t. Sellele järgnevad R-134a (12%, 6 197 kg, 8 861 CO₂ ekv t) ja R-407C (6%, 3 217 kg, 5 707 CO₂ ekv t). Väikestes kaubanduslikes jahutusseadmetes kasutatakse 66% ulatuses külmaainet R-404A

(4 245 kg, 16 648 CO₂ ekv t), millele järgnevad R-407C (11%, 728 kg, 1 292 CO₂ ekv t) ja R-410A (11%, 722 kg, 1 508 CO₂ ekv t).

4.2.2. Kliimaseadmete detailsem jagunemine

FOKA registrisse on korrektselt sisestatud 946 kliimaseadet ning nendes seadmetes sisalduvaid F-gaase on kokku 10 956 kg ehk väljendatuna CO₂-ekvivalenttonnides on summaarseks aine koguseks 20 979 CO₂ ekv t. FOKA registri kohaselt on kliimaseadme definitsioon järgmine: „Ruumide jahutusseade, mis koosneb ühest kinnisest kontuurist või omavahel ühenduses olevatest komponentidest, millega saab reguleerida ruumide sisetemperatuuri“.

Kliimaseadmed jagunevad FOKA andmebaasi kohaselt järgmistesse kategooriatesse:

- jahutid – külmamasinad, kas otseaurustusega või veemasinad, mida kasutatakse suurte majade või suurte serveriruumide jahutamiseks;
- ventilatsiooniseadmed – maja ventilatsiooni eeljahutus soojusvaheti kaudu, kas otseaurustusega, glükooliga või veega;
- split-süsteemid – seinapealsed, laealused või kassetiseadmed, mida kasutatakse üksikute ruumide jahutamiseks, kas otseaurustusega või ühe või mitme kondensaatoriga;
- muud*.

*Muude alla liigitas autor seadmed, mille alamvaldkond oli FOKA andmebaasi sisestatud ebamääraselt ja/või -korrektselt. Arvestades asjaolu, et vastavasse alamkategooriasse kuuluvate seadmete arv, külmaaine sisaldus seadmes ja sellele vastav heitkogus on tühine, siis on sellise jaotuse mõju minimaalne, kui mitte lausa olematu võrreldes teiste alamkategooriatega.

Jahutite seas on juhtivaks kasutatavaks külmaaineks R-407C (34%, 1 661 kg, 2 946 CO₂ ekv t), millele järgnevad R-134a (27%, 1 306 kg, 1 868 CO₂ ekv t) ning R-410A (22%, 1 050 kg, 2 192 CO₂ ekv t). Ventilatsiooniseadmetes on võtmekülmaaineks R-134a (36%, 1 254 kg, 1 794 CO₂ ekv t), millele järgneb R-407C (34%, 1 197 kg, 2 124 CO₂ ekv t). Split-süsteemides on enim kasutusel R-410A (62%, 1 640 kg, 3 424 CO₂ ekv t), millele järgneb R-407C (31%, 811 kg, 1 439 CO₂ ekv t). Kliimaseadmete täpsem jagunemine seadmete hulga, aine koguse ja aine kogusega väljendatuna CO₂-ekvivalenttonnides on toodud Lisas 5.

4.2.3. Soojuspumpade detailsem jagunemine

FOKA registrisse on korrektselt sisestatud 153 soojuspumpa, nendes seadmetes sisalduvate F-gaaside summaarne kogus on 2 208 kg, mis väljendatuna CO₂-ekvivalenttonnides moodustab 3 955 CO₂ ekv t. FOKA registri kohaselt on soojuspumba definitsioon järgmine: „Seade või paigaldis, mis võtab soojust õhust, veest või maast ja edastab selle soojuskandja kaudu ruumidesse või jahutab ruume (inverterseade).“

Soojuspumbad jagunevad FOKA andmebaasi kohaselt järgmistesse kategooriatesse:

- õhk-õhk soojuspump – soojuspump, mis ammutab vajaliku soojusenergia välisõhust ja annab selle edasi ruumis ringlevale õhule;
- õhk-vesi soojuspump – soojuspump, mis kogub soojusenergia välisõhust ja annab selle maja vesiküttesüsteemile (radiaator- või pörandaküte) ning toodab samas ka sooja vett;
- maasoojuspump – soojuspump, mis kasutab maapinda salvestunud päikeseenergiat; kasutab energiaallikana maapinda, pinnase ülemisi kihte, kaljut või lähedal asuvat veekogu;
- väljatõmbeõhu soojuspump – soojuspump, mis võtab soojuse maja väljatõmbeõhust ja annab soojuse tarbe- või kütteveele. Kasutamine eeldab pörandakütte- või radiaatoritega vesiküttesüsteemi olemasolu. See pump tagab majas pideva õhuvahetuse (ventilatsiooni);
- muud – selgitus puudub.

Analüüsitava soojuspumpade osakaal võrreldes jahutus- ja kliimaseadmetega on võrdlemisi väike. Ekspert hinnangul on tegelikult paigaldatud soojuspumpade arv ligikaudu 36 000. Seesugune vahe FOKA andmete ja ekspert hinnangu vahel on enamasti tingitud seadmete väikesest täitekogusest, st FOKA registrisse ei kanta seadmeid, mille täitekogus on väiksem kui 5 CO₂ ekv t. FOKA andmebaasist saab hea ülevaate just suurte seadmete kohta, milles sisalduv külmaainete kogus ning sellest tulenev heide mõjutab keskkonda tunduvalt rohkem kui väikese täitekogusega seadmetest tulenev heide. FOKA registrisse kantud soojuspumpade täpsem jaotus seadmete hulga (tk), külmaaine koguse (kg) ning sellele vastava heitkoguse (CO₂ ekv t) järgi on toodud Lisas 6.

4.3. Kõrge GWP-ga aine R-404A koguse vähenemisprognosis aastani 2035

Käesolevas alapeatükis prognoosib autor, milliseks kujuneb jahutusseadmeis sisalduva R-404A koguse vähenemine perioodil 2018-2035, võttes arvesse määruse (EL) nr 517/2014 artiklitega 11 ja 13 kehtestatud turustamiskeelde ja piiranguid. Käesolevas alapeatükis on välja toodud konkreetsed

keelud, mida vastavat graafikut koostades arvesse on võetud. Lisaks tasub mainida, et autor ei ole töös käsitlenud ega arvutustes arvesse võtnud artiklis 13 nimetatud erandeid, millele tabelis (Tabel 4.5) nimetatud keelud ei rakendu. Et R-404A on suurima osakaaluga (65,81%) kõikide seadmetes sisalduvate ainete seas ning see aine omab GWP-d, mis on suurem kui 2 500, otsustas autor näidata vähenemist just selle konkreetse aine näitel.

Artikkel 13 lg 3 kohaselt rakendub 1. jaanuaril 2020. aastal keeld, mis takistab F-gaaside (GWP-ga üle 2 500) kasutuse jahutusseadmete teenindus- ja hooldustööde tegemiseks, mille külmaaine kogus on 40 või enam CO₂-ekvivalenttonni. Külmaaine R-404A puhul on selleks aine koguseks 10,2 kg. Vastav keeld rakendub olemasolevatele seadmetele ja nende teenindamisele [15].

Uutele turulelastavatele seadmetele hakkab kehtima artikkel 11 lg 1 kohaselt kehtestatud keeld: ärilisel eesmärgil kasutamiseks mõeldud külmikud ja sügavkülmikud, mis on hermeetiliselt suletud, mis sisaldavad HFC-sid, mille GWP on 2 500 või suurem. See tähendab, et alates 1. jaanuarist 2020 ei tohi enam Euroopa Liidu turule tuua seadmeid, mis sisaldavad külmaainet R-404A, kuna selle aine GWP on 3 992 [15].

Tabel 4.5. Määruse (EL) nr 517/2014 artiklitega 11 ja 13 kehtestatud piirangud ja keelud [15]

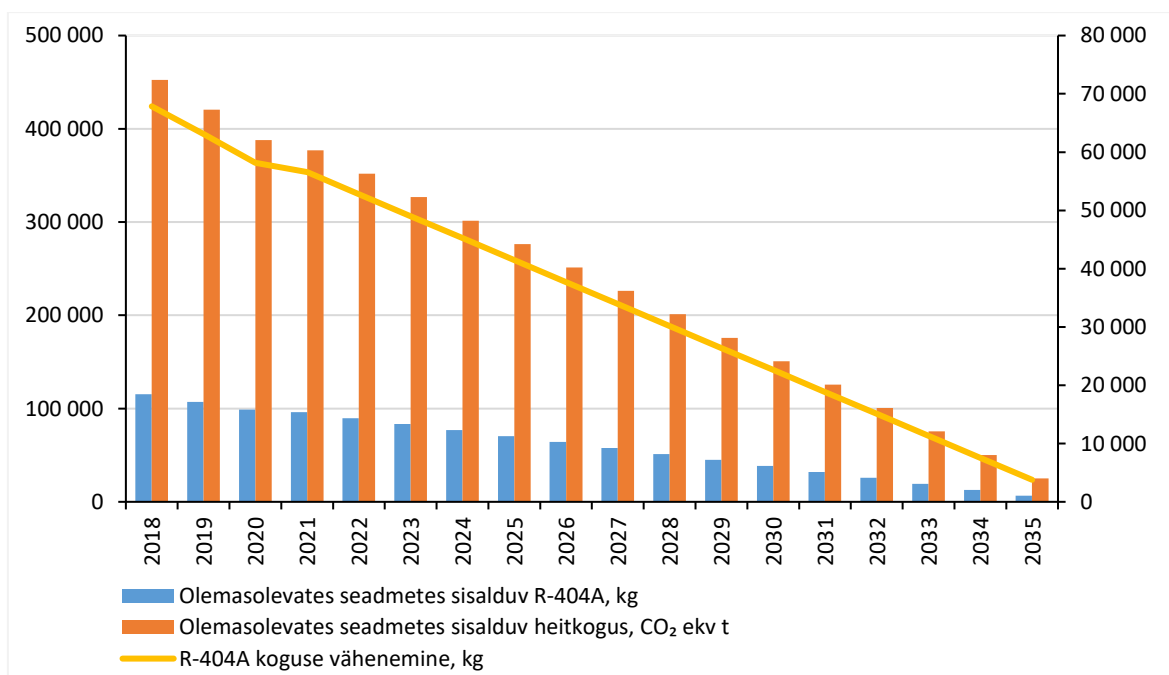
Artikkel 11 - Turulelaskmise piirangud	Keelustamise kuupäev
Ärilisel eesmärgil kasutamiseks mõeldud külmikud ning sügavkülmikud (hermeetiliselt suletud seadmed)	
- mis sisaldavad HFC-sid GWP-ga 2 500 või enam	1. jaanuar 2020
Paiksed jahutusseadmed, mis sisaldavad või mille käitamiseks on vaja HFC-sid GWP-ga 2 500 või enam, v.a seadmed, mille eesmärk on jahutada tooteid temperatuurini alla -50 °C	1. jaanuar 2020
Artikkel 13 - Kasutamise järelevalve	
Üle 2 500 ulatuva GWP-ga F-gaaside kasutamine selliste jahutusseadmete teenindus- ja hooldustööde tegemiseks, mille külmaaine kogus on 40 või enam CO ₂ ekv t	1. jaanuar 2020

Võttes arvesse, et FOKAs jagunevad jahutusseadmed 3 alakategooriasse, millest väiksemate seadmete täitekogus on kuni 10 kg, eemaldas autor nendes seadmetes sisalduva R-404A koguse. 2018. aasta lähtepunktiks vähenemisgraafiku arvutamisel on keskmistes, suurtes ja tööstuslikes jahutusseadmetes sisalduva R-404A summaarne kogus 115 334 kg, sellele vastav kogus CO₂-ekvivalenttonnidesse ümberarvutatuna on 452 318 CO₂ ekv t. Aastaks 2035 jõuab vastav aine kogus 6 407 kg-ni (25 130 CO₂ ekv t). R-404A vähenemine perioodil 2018-2035 on toodud tabelis (Tabel 4.6) ja joonisel (Joonis 4.3).

Tabel 4.6. Jahutusseadmetes sisalduva R-404A koguse vähenemine perioodil 2018-2035

Olemaolevates jahutusseadmetes sisalduva R-404A kogus	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
kg	115 334	107 241	98 898	92 304	89 704	83 297	76 889	70 482	64 074
CO ₂ ekv t	452 318	420 598	387 876	362 018	351 820	326 690	301 560	276 430	251 300
Olemaolevates jahutusseadmetes sisalduva R-404A kogus	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
kg	57 667	51 260	44 852	38 445	32 037	25 630	19 222	12 815	6 407
CO ₂ ekv t	226 170	201 040	175 910	150 780	125 650	100 520	75 390	50 260	25 130

Arvutamaks olemaolevates seadmetes sisalduvat R-404A kogust 2019. aastal, on autor arvestanud nii mahakantud seadmetes sisalduva aine kogust, leket kui ka uut seadmetes sisalduvat aine kogust, mis on pigem marginaalne. Ekspert hinnangul on aastatel 2018. ja 2019. uut seadmetes sisalduva aine hinnanguline kogus ligikaudu 0,5 t. Alates 2020. aastast, kui rakendub turustamis-keeld uutele seadmetele, milles sisalduva HFC GWP on 2 500 või suurem, on autor uut seadmetes sisalduva R-404A koguseks võtnud 0 t.



Joonis 4.3. Jahutusseadmetes sisalduva R-404A vähenemisgraafik perioodil 2018-2035, [FOKA andmebaas, aprill 2018]

Nagu öeldud, võttis autor lähteastaks tänavu aprillist pärinevad kogused keskmistes, suurtes ning tööstuslikes külmutusseadmetes, milleks on 115 334 kg (452 318 CO₂ ekv t). Autor jaotas perioodil 2021-2035 R-404A koguse vähenemise pigem ühtlaselt, arvestades vähenemiskoguseks ca 6,4 tonni

aastas, mistõttu on vähenemisgraafik perioodil 2021-2035 sujuv. Autori arvutuste kohaselt jõuab praegu seadmetes sisalduva R-404A kogus nulli aastaks 2036. Kuidas R-404A kogus tegelikkuses vähenema hakkab, ei tea keegi täpselt prognoosida.

Tegelik vähenemisgraafik võib alates 2024. või 2025. aastast olla hoopis järsem, seda seetõttu, et suurtesse jahutusseadmetesse lisatakse seadme lekkimisel tekkinud aine puudujääk umbes iga viie aasta järel. Et alates 2020. aastast ei tohi artikkel 13 lg 3 kohaselt seadmetesse ainet GWP-ga 2 500 või enam (st siinkohal R-404A) lisada, tuleb vastavad seadmed maha kanda.

4.4. Olemasolevates seadmetes sisalduvate kõrge GWP-ga F-gaaside ja madala GWP-ga alternatiivsete külmaainete võrdlus

Käesolevas alapeatükis toob autor välja olemasolevates seadmetes viie enamkasutatava kõrge GWP-ga F-gaasi maksumuse vastavalt kõikides analüüsitavates seadmetes (sh, jahutus-, kliima-seadmetes ja soojuspumpades) sisalduvatele kogustele, mis on välja toodud alapeatükis 4.2. Arvutustes kasutatud ainete R-404A, R-134a, R-407C, R-410A, CO₂, NH₃ ja HC-290 turuhinnad pärinevad ettevõttest AS Eesti AGA (jaanuar, aprill 2018), arvestatud on aine hinda kilogrammi kohta (€/kg), milles sisaldub ka käibemaks. R-227ea hind, mis sisaldab ka käibemaksu, pärineb Hiina ettevõttest Xiamen Juda Trading Co. Arvutustes ei ole arvestatud ballooniirendi hinda ega seadme maksumust, st arvutustulemused ei kajasta tarviklahenduste maksumust.

Lisaks kõrgema GWP-ga F-gaaside R-404A, R-134a, R-227ea, R-407C ja R-410A ning alternatiivsete külmaainete CO₂, NH₃ ja HC-290 hindade võrdlemisele, mis näitab ära, kui suur on olemasolevates seadmetes enamlevinud F-gaaside ning keskkonnasõbralike külmaainete hinnaerinevus, võrdleb autor ka nimetatud ainete mõju keskkonnale vastavalt aine kogustele, mis on väljendatud CO₂-ekvivalenttonnides. Välja on toodud ka aine kogusele vastavate heitkoguste protsentuaalne erinevus olemasolevates seadmetes sisalduvate ainete heitkoguse ja samadele ainekogustele vastavate alternatiivsete külmaainete heitkoguste vahel.

4.4.1. Olemasolevates seadmetes sisalduvate F-gaaside maksumus

Analüüsi käigus välja selgitatud viis seadmetes sisalduvat enamlevinud F-gaasi (R-404A, R-134a, R-227ea, R-407C, R-410A), nende maksumused (€/kg), mõju keskkonnale (CO₂ ekv t) ja

olemasolevates seadmetes sisalduvate ainete summaarne maksumus (€) on toodud allolevas tabelis (Tabel 4.7).

Tabel 4.7. Olemasolevates seadmetes sisalduvate ainete maksumus

Aine	GWP	Aine kogus		Aine osakaal summaarsest ainete kogusest	Aine hind	Seadmetes sisalduvate enamlevinud ainete summaarne maksumus
		kg	CO ₂ ekv t	%	€/kg	€
R-404A	3 922	115 866	454 404	65,81	85	9 848 641
R-134a	1 430	16 491	23 584	9,37	53	874 023
R-227ea	3 220	11 492	37 008	6,53	9	103 430
R-407C	1 744	10 789	19 139	6,13	61	658 150
R-410A	2 088	7 600	15 865	4,32	84	638 372
KOKKU		162 239	550 000	92,16		12 122 616

Tabelis on välja toodud viis F-gaasi, mis on Eestis kõige levinumad, moodustades tervelt 92,16% (162 239 kg) kõikide kasutusolevates seadmetes sisalduvate ainete summaarsest kogusest, milleks on 176 068 kg. Viie enamlevinud F-gaasi koguseks CO₂-ekvivalenttonnides väljendatuna on 550 000 CO₂ ekv t.

2018. aasta aprilli seisuga on kõige kõrgema kilohinnaga HFC-deks R-404A (85 €/kg) ja R-410A (84 €/kg), odavaimaks aga R-227ea hinnaga 9 €/kg. Nagu eelnevalt mainitud, kasvavad ainete hinnad ajas veelgi, seda just kõrge GWP-ga HFC-de vähendamise tõttu. Hetkel seadmetes sisalduva R-404A summaarse koguse (115 866 kg) hinnanguliseks maksumuseks on ca 9,85 miljonit eurot, R-134a summaarse koguse (16 491 kg) maksumuseks ligikaudu 874 023 eurot, millele järgnevad R-407C 658 150 euroga, R-410A ligikaudu 638 372 euroga ning R-227ea ligikaudu 103 430 euroga. Eesti viie kõige levinuima kõrge GWP-ga F-gaasi summaarne hind on ligikaudu 12,1 miljonit eurot.

Võrdlemaks kõrge GWP-ga F-gaaside maksumust alternatiivsete külmaainete maksumusega, on autor valinud välja kolm levinud alternatiivset külmaainet (CO₂, NH₃ ja HC-290) ning võrrelnud neid ainete R-404A, R-134a, R-410A, R-407C ja R-227ea (Tabel 4.8, Tabel 4.9, Tabel 4.10).

Võrdluses võttis autor aluseks kõrge GWP-ga ainete olemasolevates seadmetes sisalduvad kogused (nt R-404A puhul oli koguseks 115 866 kg, sama koguse põhjal tegi autor arvutused ka CO₂ kohta). Autor arvutas välja seadmetes sisalduva aine koguse maksumuse, kõrge GWP-ga ainete ja CO₂ vahelise protsentuaalse erinevuse heitkoguste ja hinna vahel. Nagu tabelist (Tabel 4.8) näha, on CO₂ hind R-404A ja R-410A hinnast ligikaudu 10 korda soodsam. Praegu olemasolevates seadmetes sisalduva R-404A koguse 115 866 kg maksumuseks arvutas autor 9,84 miljonit eurot, samale kogusele vastava CO₂ maksumuseks arvutas autor 926 931 eurot – autor toonitab siinkohal

veelkord, et tegu on ainult ainete hindade võrdlusega. Seadme hindu, mis võivad märkimisväärselt mõjutada terviklahenduse hinda, käesolevas töös ei ole käsitletud ega arvestatud, kuna seda on äärmiselt keerukas arvutada.

Tabel 4.8. CO₂ ja viie enamlevinud kõrgema GWP-ga F-gaasi hinna- ja keskkonnamõju võrdlus

Aine	GWP	Aine kogus		Aine hind €/kg	Seadmetes sisalduva aine koguse maksumus €
		kg	CO ₂ ekv t		
CO ₂	1	115 866	116	8	926 931
R-404A	3 922	115 866	454 404	85	9 848 641
CO ₂	1	16 491	16	8	131 928
R-134a	1 430	16 491	23 584	53	874 023
CO ₂	1	10 789	11	8	86 315
R-407C	1 744	10 789	19 139	61	658 150
CO ₂	1	7 600	8	8	60 797
R-410A	2 088	7 600	15 865	84	638 372
CO ₂	1	11 492	11	8	91 938
R-227ea	3 220	11 492	37 008	9	103 430

Antud võrdluse põhjal on CO₂ tunduvalt keskkonna- ja rahakotisõbralikum R-404A, R-410A, R-227ea, R-134a või R-407C. Samas ei ole autor käesolevas töös hinnanud seadmete maksumust, mis võib alginvesteeringu maksumust CO₂-põhistesse seadmetesse tunduvalt suurendada.

Tabel 4.9. NH₃ ja viie enamlevinud kõrgema GWP-ga F-gaasi hinna- ja keskkonnamõju võrdlus

Aine	GWP	Aine kogus		Aine hind €/kg	Seadmetes sisalduva aine koguse maksumus €
		kg	CO ₂ ekv t		
NH ₃	0	115 866	0	3	347 599
R-404A	3 922	115 866	454 404	85	9 848 641
NH ₃	0	16 491	0	3	49 473
R-134a	1 430	16 491	23 584	53	874 023
NH ₃	0	10 789	0	3	32 368
R-407C	1 744	10 789	19 139	61	658 150
NH ₃	0	7 600	0	3	22 799
R-410A	2 088	7 600	15 865	84	638 372
NH ₃	0	11 492	0	3	34 477
R-227ea	3 220	11 492	37 008	9	103 430

Järgmisena on toodud võrdlus NH₃ ja kõrge GWP-ga F-gaaside vahel (Tabel 4.9). NH₃ GWP on null, mistõttu on ka vastava aine heide olematu. Hetkel seadmetes sisalduvate kõrge GWP-ga ainete võrdlemisel sama ainekoguse alusel NH₃-ga selgub, et enim tekib heidet ainest R-404A. Olemasolevates seadmetes sisalduva R-404A koguse (115 866 kg) maksumuseks on ca 9,8 miljonit eurot, samal ajal kui sama kogus külmaainet NH₃ maksab ainult 347 599 eurot. Võrdlusest järeldub, et NH₃ on kõige keskkonnasõbralikum aine, kuna see ei tekita erinevalt teistest ainetest üldse

heidet. Samuti on NH₃ kõrge GWP-ga ainetega võrreldes soodsam. NH₃ suurimateks miinusteks on tema mürgisus ja süttivus kõrge rõhu all.

Kolmandana on autor võrrelnud alternatiivse külmaaine HC-290 ja viie enamlevinud kõrgema GWP-ga aine hindu, seadmetes sisalduvate ainete kogusele vastavat heitkogust (Tabel 4.10).

Tabel 4.10. HC-290 ja viie enamlevinud kõrgema GWP-ga F-gaasi hinna- ja keskkonnamõju võrdlus

Aine	GWP	Aine kogus		Aine hind	Seadmetes sisalduva aine koguse maksumus
		kg	CO ₂ ekv t	€/kg	€
HC-290	3	115 866	348	11	1 274 530
R-404A	3 922	115 866	454 404	85	9 848 641
HC -290	3	16 491	49	11	181 401
R-134a	1 430	16 491	23 584	53	874 023
HC -290	3	10 789	32	11	118 683
R-407C	1 744	10 789	19 139	61	658 150
HC -290	3	7 600	23	11	83 596
R-410A	2 088	7 600	15 865	84	638 372
HC -290	3	11 492	34	11	126 414
R-227ea	3 220	11 492	37 008	9	103 430

Alternatiivse külmaaine HC-290 GWP on võrdne kolmega. HC-290 kilohind (11 €/kg) on enamasti odavam kui kõrge GWP-ga ainete puhul, (v.a R-227ea hind, milleks on 9 €/kg). Kui kõikides seadmetes sisalduva R-404A summaarse koguse 115 866 kg maksumus on umbes 9,85 miljonit eurot, siis HC-290 puhul oleks sama koguse maksumuseks 1,27 miljonit eurot.

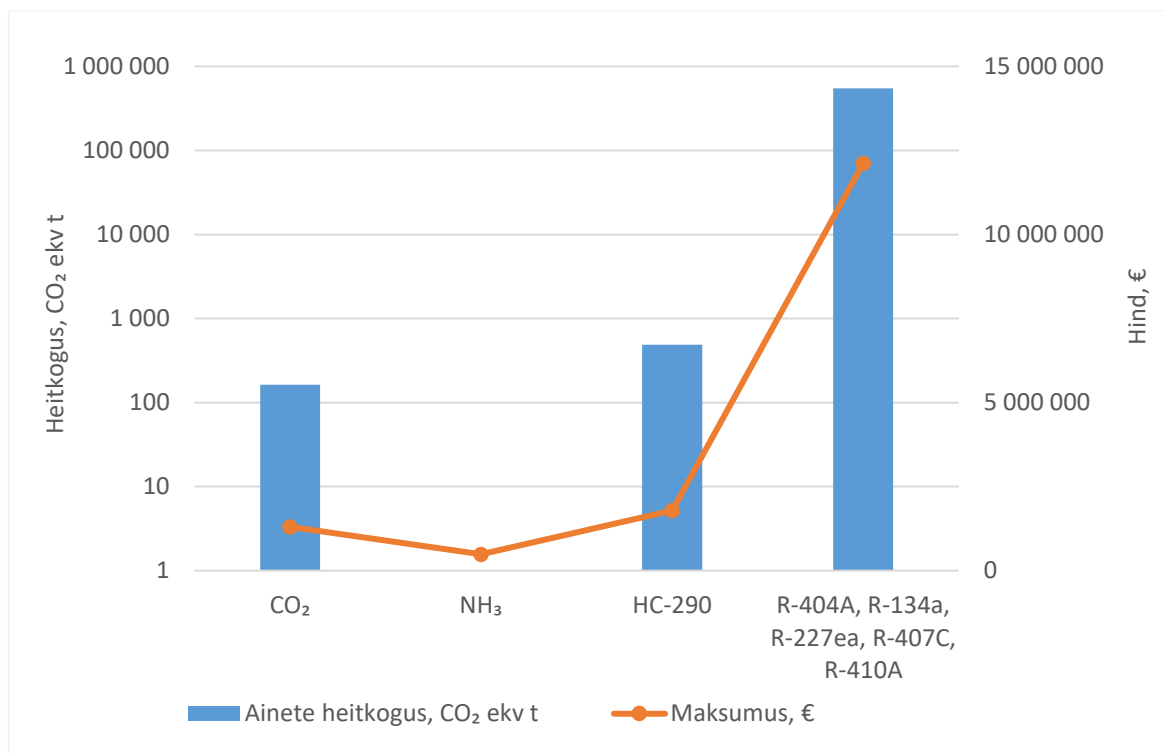
Järgnevalt näitab autor, kuidas erinevad külmaainete heitkogused ja hinnad ühe ja sama ainekoguse korral (Tabel 4.11), (Joonis 4.4).

Tabel 4.11. Viie enamkasutatava F-gaasi ja alternatiivsete külmaainete võrdlus sama ainekoguse korral

Aine	Kogus	Ainete heitkogus	Maksumus
	kg	CO ₂ ekv t	€
CO ₂	162 239	162	1 297 909
NH ₃		0	486 716
HC-290		487	1 784 624
R-404A, R-134a, R-227ea, R-407C, R-410A		550 000	12 122 616

Ainekoguse 162 239 kg (kogus, mis vastab viiele olemasolevates seadmetes sisalduvale enamkasutatud F-gaasi summaarsele kogusele) maksumuseks NH₃ puhul on 486 716 eurot, CO₂ ja HC-290 puhul vastavalt 1,30 miljonit eurot ja 1,79 miljonit eurot. Viie kõrgema GWP-ga F-gaasi summaarne maksumus aga ulatub 12 122 616 euroni. See tähendab, et asendades praegu seadmetes sisalduv ainekogus NH₃-ga, oleks vastava koguse maksumus ligi 25 korda väiksem kui

praegu enamkasutatavate ainete kogumaksumus. Asendades sama kogus CO₂-ga, oleks hinnavahe 9-kordne.



Joonis 4.4. Ainekogusele 162 239 kg vastav heitkogus (CO₂ ekv t) ja hind (€) CO₂, NH₃, HC-290 ja viie enamkasutatud F-gaasi kohta

Nagu jooniselt näha, on kõrge GWP-ga ainete summaarne heitkogus tunduvalt suurem kui samale ainekogusele vastava alternatiivse külmaaine CO₂ või HC-290 heitkogus. Kui R-404A, R-134a, R-227ea, R-407C ja R-410A heide moodustab kokku 550 000 CO₂ ekv t, siis CO₂-le ja HC-290-le vastavad heitkogused on ainult 162 CO₂ ekv t ning 487 CO₂ ekv t, mis on vastavalt 3 395 ja 1 129 korda väiksemad kui viie kõrge GWP-ga F-gaasi summaarne heitkogus. NH₃-l puudub heide täielikult, kuna vastava külmaaine GWP on võrdne nulliga.

4.5. Analüüsi järeldused

Neljandas peatükis tehtud FOKA andmebaasil põhineva analüüsi käigus selgitas autor välja, millised on FOKAsse registreeritud olemasolevates seadmetes sisalduvad külmaained, nende kogused ja külmaainete kogustele vastavad heitkogused.

Nimetatud andmebaasi kohaselt jagunevad registreeritud seadmed järgmistesse kategooriatesse:

- jahutusseadmed (2 885 tk, 145 428 kg, 506 084 CO₂ ekv t);
- kliimaseadmed (946 tk, 10 956 kg, 20 978 CO₂ ekv t);
- soojuspumbad (153 tk, 2 208 kg, 3 955 CO₂ ekv t);
- tulekustutusseadmed (95 tk, 14 825 kg, 73 360 CO₂ ekv t);
- elektriyaotlad (96 tk, 2 651 kg, 60 449 CO₂ ekv t).

Selgus, et enimkasutatavaks kõrgema GWP-ga külmaaineks on R-404A (115 866 kg, 454 404 CO₂ ekv t), millele järgnevad R-134a (16 491 kg, 23 584 CO₂ ekv t), R-227ea (11 492 kg, 37 008 CO₂ ekv t), R-407C (10 789 kg, 19 139 CO₂ ekv t) ning R-410A (7 600 kg, 15 865 CO₂ ekv t).

Samuti võrdles autor hetkel olemasolevates jahutus-, kliimaseadmetes ning soojuspumpades sisalduvate kõrge GWP-ga F-gaaside ning nende alternatiivsete külmutusagensite hindu ja mõju keskkonnale. Suurima mõjuga kliimale (st suurima GWP-ga) on aine R-404A (3 922), millele järgnevad R-227ea (3 220), R-410A (2 088). Väikseima GWP-ga alternatiivsed külmutusagensid on NH₃ (mõju kliimale puudub, st GWP=0), CO₂ (GWP=1) ning HC-290 (GWP=3). Töö käigus mainis autor ära ka eriti kõrge GWP-ga ained SF₆ ja R-23, mille GWP-d on vastavalt 22 800 ja 14 800. SF₆ on laialt kasutusel elektriyaotlates isoleergaasina, ainet R-23 leidub vanemates tulekustutus-süsteemides. Kolme alternatiivse külmaaine – NH₃, CO₂ ja HC-290 – hinnad on kõrgema GWP-ga ainete hindadest soodsamad, vastavalt 3 €/kg, 8 €/kg ning 11 €/kg. Kõige kallimad enamkasutatavad kõrge GWP-ga F-gaasid on R-404A (85 €/kg), R-410A (84 €/kg), R-407C (61 €/kg), R-134a (53 €/kg). Siinjuures tuleb ära märkida, et kõrgema GWP-ga F-gaaside hinnad tõusevad lähiajal ja tulevikus veelgi HFC-de koguste vähendamise tõttu.

IV peatükis prognoosis autor talle olemasolevate andmete põhjal FOKA registrisse kantud jahutus-seadmetes sisalduva külmaaine R-404A koguse ja sellest tuleneva heite vähenemist vastavalt määruse (EL) nr 517/2014 artiklite 11 ja 13 kehtestatud nõuetele. Autorile olemasolevatele andmetele tuginev vähenemisgraafik on pigem sujuv. Kujutamaks reaalsemat olukorda, mis on tõenäoliselt järsem, on vaja täiendavaid ja täpsemaid andmeid.

Analüüsist järeldus, et NH₃-l puudub keskkonnamõju (GWP=0) ja see on ühtlasi ka kõige soodsam külmaaine, millele järgnevad keskkonnasõbralikud vähese heitega CO₂ (GWP=1) ja HC-290 (GWP=3). Kõrge GWP-ga F-gaasid see-vastu omavad märkimisväärset mõju kliimale. Samuti tõusevad nende ainete hinnad määrusega (EL) nr 517/2014 kehtestatud HFC koguste vähendamise tõttu veelgi.

Andmete analüüsimisel tegi autor järelduse, et FOKA andmebaas üksi ei ole põhjaliku ja täielikku ülevaadet andva analüüsi tegemiseks piisav, võimalusel tuleks kasutada teisi analoogseid allikaid või küsida täiendavat infot seadmetega seotud erialaliitudelt, nt Eesti Soojuspumba Liit, Külmaliiit, kes omavad täpsemat statistikat seadmete kohta. Nagu eespool mainitud, kantakse FOKA andmebaasi üksnes seadmed, mille täitekogus algab 5 CO₂-ekvivalendist, sellest väiksemate täitekogustega seadmetele ei rakendu andmebaasi registreerimise kohustus, mistõttu jääb oluline osa infost registris puudu, et anda adekvaatset ülevaadet väiksemates süsteemides sisalduvatest ainetest, nende kogustest ja nendele vastavatest heitkogustest. FOKA andmebaas annab hea ülevaate suurte täitekogustega seadmete olukorrast, eksperthinnangul on suuremaid jahutus-seadmeid FOKAsse registreeritud suurusjärgus 80%, registreeritud soojuspumpade ja kliima-seadmete osakaal on juba väiksem, jäädes vahemikku 50-60%.

KOKKUVÕTE

ÜRO kliimamuutuste raamkonventsiooni valitsustevahelise kliimamuutuste rühma neljandas hindamisaruandes¹² on märgitud, et teadaolevate teaduslike andmete põhjal oleks arenenud riikidel vaja vähendada 2050. aastaks kasvuhoonegaaside heitkoguseid 80–95% võrra 1990. aasta tasemest, piiramaks üleilmset kliimamuutust nõnda, et temperatuur ei tõuseks rohkem kui 2 °C, hoidmaks seeläbi ära soovimatut mõju kliimale.

1. jaanuaril 2015. aastal jõustus Euroopa Parlamendi ja nõukogu määrus (EL) nr 517/2014 fluoritud kasvuhoonegaaside kohta ja seni kehtinud määruse (EÜ) nr 842/2006 kehtetuks tunnistamise kohta. Kehtestatud määruse eesmärgiks on keskkonna kaitsmine F-gaaside kasutamise ja nende heitkoguste vähendamise kaudu. Vastav määrus nõuab järkjärgulist Euroopa Liidu turule lastavate HFC-de koguste vähendamist 79% võrra perioodil 2015-2030 võrreldes ajavahemikuga 2009-2012. Sama määruse kohaselt rakenduvad 2020. aastast mitmed keelud ja piirangud, mis soodustavad HFC-de kasutuse ja nende emissioonide vähenemist Euroopa Liidus. Saavutamaks eelnimetatud eesmärke, peab tööstuses toimuma üleminek madalama GWP-ga külmaainetele.

Eelnevast lähtudes soovis lõputöö autor analüüsida olukorda Eestis, tegemaks kindlaks, millised on enamkasutatavad kõrgema GWP-ga külmaained, nende kogused ning nendele kogustele vastavad heitkogused. Ühtlasi võrrelda neid madala GWP-ga keskkonnasõbralike külmaainetega. Esimeses kolmes peatükis andis autor sisulise ülevaate sellest, mis on F-gaasid, millised on nende kasutusvaldkonnad ja -trendid, samuti tegi ülevaate CO₂ heitkoguste vähendamise eesmärkidest ja HFC-de järkjärgulisest vähendamisest.

Töös on kajastatud info keskkonnasõbralikest alternatiivsetest külmaainetest, nende jagunemisest ja tehnilistest omadustest võrreldes HFC-dega. Lisaks ka jahutus-, kliimaseadmetes, soojuspumpades ning tööstuses ja kaupluste külmasüsteemides kasutatavatest madala GWP-ga alternatiivsetest külmaainetest. Niisamuti on välja toodud ülevaade keskkonnasõbralike madala GWP-ga külmaainete – süsinikdioksiidi, ammoniaagi, süsivesinike ning küllastumata süsivesinike – kasutamist takistavate tegurite kohta.

¹² Nõukogu 15. detsembri 1993. aasta otsus 94/69/EÜ Ühinenud Rahvaste Organisatsiooni kliimamuutuste raamkonventsiooni sõlmimise kohta (EÜT L 33, 7.2.1994, lk 11)

Töös analüüsis autor riiklikku andmekogu – fluoritud kasvuhoonegaase ja osoonikihti kahandavaid aineid sisaldavate toodete, seadmete, süsteemide ja mahutite ning käitlemistoiimingute registrit FOKA. Autor tegi kindlaks, et 2018. aasta aprilli seisuga on Eestis ametlikult registreeritud F-gaase sisaldavaid seadmeid kokku 4 175 tk ja need jagunesid kategooriate kaupa järgmiselt (sulgudes on toodud seadmete arv, seadmetes sisalduvate ainete summaarne kogus kilogrammides ja ümberarvutatuna CO₂-ekvivalenttonnidesse): elektrijaotlad (96 tk, 2 651 kg, 60 449 CO₂ ekv t), jahutus-seadmed (2 885 tk, 145 428 kg, 506 084 CO₂ ekv t), kliimaseadmed (946 tk, 10 956 kg, 20 978 CO₂ ekv t), soojuspumbad (153 tk, 2 208 kg, 3 955 CO₂ ekv t) ja tulekustutusseadmed (95 tk, 14 825 kg, 73 360 CO₂ ekv t).

Analüüsis keskendus autor eelkõige jahutus-, kliimaseadmetes ning soojuspumpades sisalduvatele külmaainetele. FOKA andmebaasi on erinevatel eksperthinnangutel registreeritud suurusjärgus 80% suurtest jahutusseadmetest, kliimaseadmete ning soojuspumpade osa on väiksem, jäädes 50-60% juurde. Analüüsist selgus, et lõviosa (92%) kõikidest analüüsitud ainetest moodustavad viis kõrgema GWP-ga F-gaasi (sulgudes on toodud vastava F-gaasi kogus kilogrammides ja gaasi kogus ümberarvutatuna CO₂-ekvivalenttonnidesse): R-404A (115 866 kg, 454 404 CO₂ ekv t), R-134a (16 491 kg, 23 584 CO₂ ekv t), R-227ea (11 492 kg, 37 008 CO₂ ekv t), R-407C (10 789 kg, 19 139 CO₂ ekv t) ja R-410A (7 600 kg, 15 865 CO₂ ekv t). Sealjuures on R-404A osakaal kõikide F-gaaside summaarsest kogusest (176 068 kg) tervelt 65,8%.

Autor prognoosis ka enimkasutatava külmaaine R-404A koguse võimalikku vähenemist perioodil 2018-2035, võttes arvesse määruses (EL) nr 517/2014 artiklites 11 ja 13 toodud keelud ja piirangud (ilma erandeid käsitlemata ja arvesse võtmata). Vähenemisgraafik on järsem perioodil 2018-2020, kuna alates 2020. aastast rakendub artikli 11 kohaselt keeld, mis ei luba külmaainet R-404A sisaldavaid seadmeid turule tuua, samuti rakendub samal aastal kõrge GWP-ga (2 500 ja enam) F-gaaside kasutamine hooldus- ja teenindustöödeks jahutusseadmete puhul, mille külmaaine kogus on 40 või enam CO₂-ekvivalenttonni. Perioodi 2021-2035 iseloomustab pigem sujuv vähenemine. Autori hinnangul võib tegelik vähenemisgraafik olla tunduvalt järsem aastast 2024 või 2025, mil peaks mööduma 5 aastat viimasest aine lisamisest seadmesse, ent teeninduskeelu tõttu ei tohi lekkinud jahutusseadmesse enam külmaainet R-404A juurde lisada.

Lisaks üldise olukorra kaardistamisele võrdles autor kõrge ja madalama GWP-ga külmaainete hindu ja mõju keskkonnale, viimast hindas ta läbi nimetatud ainete kogusele vastava heitkoguste võrdluse. Analüüsi kuuluva viie enimkasutatava kõrge GWP-ga aine hinnad olid järgmised: R-404A (85 €/kg), R-410A (84 €/kg), R-407C (61 €/kg), R-134a (53 €/kg) ja R-227ea (9 €/kg), nende ainete

hinnad kasvavad tulevikus veelgi HFC-de koguste vähendamise ja peatselt kehtimahakkavate keeldude ja piirangute tõttu. Alternatiivide hinnad aga on kordades madalamad: NH₃, CO₂ ja HC-290 hinnad on vastavalt 3 €/kg, 8 €/kg ja 11 €/kg. Vastavatest hindadest lähtudes arvutas autor kõikide olemasolevates seadmetes sisalduvate kõrge GWP-ga ainete koguse maksumuse, mis on kokku ligikaudu 12,1 miljonit eurot.

Võttes arvesse, et seni ei ole koostatud ega avalikustatud ühtki sarnast FOKA registri andmetel põhinevat teadustööd, hindamaks kõrge GWP-ga ainete kasutamise olukorda Eestis, on tegu küllaltki unikaalse tööga. Samuti selgus töö käigus, et FOKA andmebaas üksi ei paku piisavalt infot, et anda täielikku ülevaadet reaalsest olukorrast Eestis. Käesolev lõputöö on informeerivaks materjaliks nii ettevõtetele ja seadmete omanikele, kes peavad lähiaastail uusi seadmeid soetama, kui ka jahutus- ja energeetikavaldkonnas tegutsevatele või lihtsalt asjahuvilistele inimestele nende teadlikkuse tõstmiseks nii enamkasutatavate kõrgema GWP-ga F-gaaside kohta Eestis kui ka neid mõjutavate turustamiskeeldude ja piirangute kohta. Ühtlasi annab käesolev töö hea ülevaate alternatiivsete külmaainete ja nende erinevate kasutusvaldkondade kohta.

SUMMARY

The Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change states, that European Union countries have to reduce their greenhouse gas emissions 80-95 per cent below 1990 levels by the year 2050¹³, in order to limit global warming so that the temperature would not rise more than 2 °C and therefore prevent unwanted influence on the climate.

On the 1st of January 2015 the Regulation (EU) No 517/2014 of the European Parliament and of Council of 16 April 2014 on fluorinated greenhouse gases and repealing Regulation (EC) No 842/2006 came into force. The aim of this regulation is to protect the environment by reducing the use of F-gases and reduce F-gas emissions. Reductions will progressively cap allowed sales of HFCs on the EU market (phase-down). As the result of the phase-down, HFC consumption will be reduced by 79 per cent by 2030 (compared to 2009-2012). Reductions are also expected from bans of F-gases with a high global warming potential. To meet these targets industry has to make the transition to low-GWP refrigerants.

Considering all the above-mentioned, author analyzed the current situation in Estonia, to specify which high-GWP refrigerants are most widely used and determine the quantities and emissions of these refrigerants. In the first three chapters, author defined what F-gases are and what are F-gases used for. She also gave an overview of the reduction targets of both CO₂ and HFC emissions. In addition, thesis provides information about environmentally friendly refrigerants. Author compares technical characteristics of both environmentally friendly refrigerants and HFCs. Also there is information about the low-GWP alternative refrigerants that are used in different devices, such as refrigeration, air conditioning, heat pumps, industrial refrigeration systems and cold storage. Author has also brought out the barriers to the uptake of low-GWP alternatives (CO₂, NH₃, HCs and HFOs).

Author analyzed the information from FOKA database¹⁴ (its objective is to manage the information related to the products, equipment and systems containing fluorinated greenhouse gases and substances that deplete ozone layer and of their handling operations in a digital environment). Based on the information from April 2018, there are officially 4 175 devices entered into the database, which are divided by categories as follows: electric switchyards (96 pcs, 2 651 kg,

¹³ <http://climatechangeauthority.gov.au/chapter-4-global-action-reduce-greenhouse-gas-emissions> (25.05.18)

¹⁴ FOKA registry: <https://www.keskkonnaamet.ee/en/activities/climate/foka-registry> (25.05.18)

60 449 t CO₂ eq), stationary refrigerating units (2 885 pcs, 145 428 kg, 506 084 t CO₂ eq), air conditioning machines (946 pcs, 10 956 kg, 20 978 t CO₂ eq), heat pumps (153 pcs, 2 208 kg, 3 955 t CO₂ eq) and stationary fire-fighting equipment (95 pcs, 14 825 kg, 73 360 t CO₂ eq).

Above all author focussed on the refrigerants that are mostly used in stationary refrigerating units, air conditioning devices and heat pumps. Based on expert opinion, about 80 per cent of the stationary refrigerating units are registered in the FOKA registry, the percentage of air conditioners and heat pumps registered amounts to 50-60 per cent. As analysis revealed, lion's share of all the analyzed refrigerants consists of five high-GWP refrigerants: R-404A (115 866 kg, 454 404 t CO₂ eq), R-134a (16 491 kg, 23 584 t CO₂ eq), R-227ea (11 492 kg, 37 008 t CO₂ eq), R-407C (10 789 kg, 19 139 t CO₂ eq), and R-410A (7 600 kg, 15 865 t CO₂ eq). Out of all refrigerants with total amount of 176 068 kg, the percentage of R-404A is 65,8%.

Author also made a reduction graph of refrigerant R-404A for period 2018-2035, taking into account the bans and restrictions that will apply according to F-gas regulation articles 11 and 13 (excluding the expections). 2018-2020 the graph is steeper due to bans that will come into force in 2020 that will prohibit placing products and equipment consisting fluorinated greenhouse gases with a GWP 2 500 or more on the EU market (article 11) and prohibit the use of fluorinated greenhouse gases with a GWP 2 500 or more to service or maintain refrigeration equipment wit a charge size of 40 t CO₂ eq or more (article 13). During the period 2021-2035 the reduction is rather smooth. Based on author's estimations the actual reduction graph could be much more drastic starting from the year 2024 or 2025, which should be 5 years from the last addition of the substance to equipment, however there will be a ban in force that would prohibit to service or maintain refrigeration equipment, meaning R-404A must not be added to the leaked refrigeration units.

In addition to general survey, author compared high-GWP and low-GWP refrigerants taking into account both the prices and influence on the environment (through emissions). The prices of five most commonly used high-GWP refrigerants are as follows: R-404A (85 €/kg), R-410A (84 €/kg), R-407C (61 €/kg), R-134a (53 €/kg), and R-227ea (9 €/kg), also there will be a rise in these prices due to lowering the consumption of HFCs and all the relevant bans and restrictions which will come into force in accordance with the F-gas regulation. The prices of the alternatives on the other hand are much cheaper: NH₃ (3 €/kg) CO₂ (8 €/kg), and HC-290 (11 €/kg). Based on these prices author calculated the total price of the amount of refrigerants in existing equipment, which is around 12,1 million euros.

Taking into account the fact that there has not been any public surveys conducted to reflect Estonian current situation based on the information from FOKA registry, this thesis is rather unique. Also as it turned out during the preparation of this thesis, FOKA registry alone is not providing enough information to give a complete overview to identify the real situation of the use of high-GWP refrigerants in Estonia. This thesis consists informative material for companies and equipment owners, who have to purchase new equipment in the coming years, as well as for specialists from refrigeration or energy sector or just for people who are interested in raising awareness about both current situation of high-GWP refrigerants in Estonia as well as bans and restrictions that affect the use of HFCs at present and in the foreseeable future. Also it gives a good overview about the low-GWP alternative refrigerants and their fields of use.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Eesti Keskkonnauuringute Keskus, „Teatud fluoritud kasvuhooonegaase käsitleva Euroopa Parlamendi ja nõukogu määruse (EL) nr 517/2014 elluviimine Eestis ja nimetatud gaaside järkjärgult käibelt kõrvaldamine aastatel 2016 ja 2017,“ Eesti Keskkonnauuringute Keskus, Tallinn, 2017.
- [2] Statistikaamet, „Mõisted,“ Statistikaamet, [Võrgumaterjal]. Available: http://pub.stat.ee/px-web.2001/Database/Keskkond/08Surve_keskkonnaseisundile/14Uldandmed/KK_84.htm. [Kasutatud 15 05 2018].
- [3] European Commission, „Fluorinated greenhouse gases,“ European Commission, [Võrgumaterjal]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policies/f-gas_en. [Kasutatud 14 03 2018].
- [4] Barbara Gschrey, Bastian Zeiger, „Teave fluoritud kasvuhooonegaase sisaldavate jahutus-, kliima- ning soojuspumbaseadmete tehnikutele ja kasutajatele,“ Euroopa Komisjon, 2015.
- [5] Estonian Environmental Research Centre, Estonian Environment Agency, „Greenhouse Gas Emissions in Estonia 1990-2016. National Inventory Report,“ Ministry of the Environment, Tallinn, 2018.
- [6] Eesti Keskkonnauuringute Keskus, „F-gaasid,“ Eesti Keskkonnauuringute Keskus, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.klab.ee/f-gaasid/kasvuhoooneefekt/gaasid/>. [Kasutatud 10 05 2018].
- [7] Valitsustevaheline kliimamuutuste paneel, Montreali protokollide tehniliste ja majanduslike hinnangute paneel, „Kaitstes osoonikihti ja ülemaailmset kliimasüsteemi: fluorosüsivesinike ja perfluorosüsiniikega seotud küsimused. Poliitikategijatele suunatud kokkuvõtte,“ IPCC sekretariaat, Genf.
- [8] Keskkonnaamet, „Fluoritud kasvuhooonegaase sisaldavate seadmete paigaldamiseks ja hooldamiseks on kohustuslik omada käitlemisluba,“ Keskkonnaamet, 30 05 2017. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.keskkonnaamet.ee/et/uudised/fluoritud-kasvuhooonegaase-sisaldavate-seadmete-paigaldamiseks-ja-hooldamiseks-kohustuslik>. [Kasutatud 19 05 2018].
- [9] Smita Chandra Thomas, M. Esteban Munoz H., „EDGE Guidance Document for Refrigerant Selection to Reduce Climate Impact based on the Montreal Protocol,“ International Finance Corporation of the World Bank Group, 2017.
- [10] Eesti Keskkonnauuringute Keskus, „Montreali protokollide nõuded ja nende täitmine,“ Eesti Keskkonnauuringute Keskus, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.klab.ee/o3/meetmed/montreali-protokoll/>. [Kasutatud 10 05 2018].
- [11] James M. Calm, „Refrigerant Transitions... Again.,“ %1 *Moving Towards Sustainability (ASHRAE/NIST Conference)*, Atlanta, 2012.
- [12] James M. Calm, David A. Didion, „Trade-Offs in Refrigerant Selections: Past, Present, and Future,“ %1 *Refrigerants for the 21st century. ASHRAE/NIST Refrigerants Conference*, Atlanta, 1997.
- [13] Keskkonnainvesteeringute Keskus, „Keskkonnainvesteeringute Keskuse koduleht,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.kik.ee/et/projekt/eesti-riikliku-kasvuhooonegaaside-heitkoguste-2017-aasta-inventuuri-ja-inventuuriaruande>. [Kasutatud 2018 03 24].
- [14] Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, „Osoonikihti kahandavate ainete ja fluoritud kasvuhooonegaaside alternatiivsed, keskkonnasõbralikumad külmutusagensid,“ Eesti Keskkonnauuringute Keskus, Tallinn, 2016.

- [15] Euroopa Parlament, Euroopa Liidu Nõukogu, *EUROOPA PARLAMENDI JA NÕUKOGU MÄÄRUS (EL) nr 517/2014, 16. aprill 2014, fluoritud kasvuhoonete kohta ja määruse (EÜ) nr 842/2006 kehtetuks tunnistamise kohta*, Euroopa Liidu Teataja, 2014.
- [16] Euroopa Komisjon, „Komisjoni aruanne kvoodialdusmeetodi hindamise kohta vastavalt määrusele (EL) nr 517/2014,“ Euroopa Komisjon, Brüssel, 2017.
- [17] Ray Gluckman, Gluckman Consulting, „National Codes, Standards and Legislation of EU Member States with respect to F-Gas alternatives,“ European Commission, DG Clima, 2015.
- [18] Eesti Keskkonnauuringute Keskus, „Kvoodisüsteem ja fluorosüivesinike ehk HFC-de järkjärguline vähendamine (määruse (EL) nr 517/2014 artikkel 14 ja 15),“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.klab.ee/f-gaasid/juhendid/hfc-de-kvoodisusteem/>. [Kasutatud 28 03 2018].
- [19] Eesti Keskkonnauuringute Keskus, „Tulekul rangemad piirangud jahutusseadmetes kasutatavatele külmaainetele,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.klab.ee/6434/rangemad-piirangud-kulmaained/>. [Kasutatud 2018 04 21].
- [20] Eesti Keskkonnauuringute Keskus, „Tulevased piirangud paiksetele jahutusseadmetele,“ Eesti Keskkonnauuringute Keskus, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.klab.ee/f-gaasid/juhendid/kulmutus-kliimaseadmed-soojuspumbad/paiksed-jahutusseadmed/>. [Kasutatud 12 05 2018].
- [21] European Commission, „Climate-friendly alternatives to HFCs and HCFCs,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policies/f-gas/alternatives_en. [Kasutatud 24 03 2018].
- [22] Eesti Keskkonnauuringute Keskus, „Alternatiivsed külmaained,“ Eesti Keskkonnauuringute Keskus, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.klab.ee/f-gaasid/alternatiivid/>. [Kasutatud 2018 04 08].
- [23] Gluckman Consulting, „Gluckman Consulting. Alternatives to HFCs,“ 2015. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.gluckmanconsulting.com/wp-content/uploads/2015/04/FS-11-Heating-only-heat-pumps-final.pdf>. [Kasutatud 28 04 2018].
- [24] Eesti Keskkonnauuringute Keskus, „F-gaasid. Alternatiivid. Tööstusjahutus,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.klab.ee/f-gaasid/alternatiivid/toostusjahutus/>. [Kasutatud 1 05 2018].
- [25] Eesti Keskkonnauuringute Keskus, „F-gaasid. Alternatiivid. Kaupluste külmasüsteemid,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.klab.ee/f-gaasid/alternatiivid/kaupluste-kulmasusteemid/>. [Kasutatud 1 05 2018].
- [26] Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee, Lambert Kuijpers and Roberto Peixoto, „2014 Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee,“ UNEP, 2015.
- [27] Dr Michael Bellstedt, „Alternative Refrigerants. The main alternatives: Ammonia, Carbon Dioxide and Hydrocarbons,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.r744.com/assets/link/alternative_refrigerants_part_2.pdf. [Kasutatud 04 05 2018].
- [28] United Nations Environment Programme, „HFCs: A Critical Link in Protecting Climate and the Ozone Layer,“ United Nations Environment Programme (UNEP), 2011.
- [29] Council on Energy, Environment and Water, „Air Conditioners with Hydrocarbon Refrigerant - Saving Energy while Saving Money,“ The Council on Energy, Environment and Water, 2014.
- [30] Euroopa Komisjon, „Komisjoni aruanne eeskirjadest, standarditest ja õigusaktidest tulenevate takistuse kohta kliimasõbralike tehnoloogiate kasutuselevõtmisel jahutus- ja kliimaseadmete, soojuspumpade ning vahuseadmete sektoris,“ 30 11 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:52016DC0749&from=EN>. [Kasutatud 2018 03 29].

- [31] „Fluoritud kasvuhoonegaase ja osoonikihti kahandavaid aineid sisaldavate toodete, seadmete, süsteemide ja mahutite ning käitlemistoiimingute registri põhimäärus ja selle pidamise kord,“ Riigi Teataja, Tallinn, 2016.
- [32] Eesti Keskkonnauuringute Keskus, „Paiksete jahutus- ja kliimaseadmete ning soojuspumpade käitlejatele,“ Eesti Keskkonnauuringute Keskus, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.klab.ee/f-gaasid/juhendid/kulmutus-kliimaseadmed-soojuspumbad/statsionaarsed/>. [Kasutatud 20 05 2018].
- [33] Keskkonnaamet, „Keskkonnaameti koduleht,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.keskkonnaamet.ee/et/eesmargid-tegevused/kliima/foka-register>. [Kasutatud 25 03 2018].
- [34] Ricardo Energy & Environment, „National Codes, Standards and Legislation of EU Member States with respect to F-Gas alternatives,“ Ricardo Energy & Environment, 2015.
- [35] Eesti Keskkonnauuringute Keskus, „Import, eksport ja keelud,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.klab.ee/f-gaasid/juhendid/import-eksport/>. [Kasutatud 2017 03 28].
- [36] Gluckman Consulting, „Gluckman Consulting. Alternatives to HFCs,“ 2015. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.gluckmanconsulting.com/wp-content/uploads/2015/04/FS-11-Heating-only-heat-pumps-final.pdf>. [Kasutatud 29 04 2018].
- [37] UNEP Technology and Economic Assessment Panel, „TEAP 2010 Progress Report. Assessment of HCFCs and Environmentally Sound Alternatives. Scoping Study on Alternatives to HCFC Refrigerants Under High Ambient Temperature Conditions,“ United Nations Environment Programme, 2010.

LISAD

Lisa 1 Määruse (EL) nr 517/2014 lisa III [15]

Tooted ja seadmed		Keelustamise kuupäev	
Vajaduse korral arvutatakse fluoritud kasvuhoonegaase sisaldavate segude GWP vastavalt IV lisale, nagu on ette nähtud artikli 2 punktis 6.			
1.	Ühekordselt täidetavad fluoritud kasvuhoonegaaside mahutid, mida kasutatakse jahutus- ja kliimaseadmete või soojuspumpade, tuletõrjesüsteemide või jaotlate hooldus- ja teenindustööde tegemisel või selliste seadmete või süsteemide täitmisel, või mis on ette nähtud lahustitena kasutamiseks	4. juuli 2007	
2.	Avatud otseaurustusseadmed, mis sisaldavad külmainena fluorosüsivesinikke ja perfluorosüsivesinikke	4. juuli 2007	
3.	Tuletõrjeseadmed,	4. juuli 2007	
	mis sisaldavad perfluorosüsivesinikke mis sisaldavad HFC-23	1. jaanuar 2016	
4.	Kodus kasutamiseks ette nähtud aknad, mis sisaldavad fluoritud kasvuhoonegaase	4. juuli 2007	
5.	Muud fluoritud kasvuhoonegaase sisaldavad aknad	4. juuli 2008	
6.	Fluoritud kasvuhoonegaase sisaldavad jalatsid	4. juuli 2006	
7.	Fluoritud kasvuhoonegaase sisaldavad rehvid	4. juuli 2007	
8.	Fluoritud kasvuhoonegaase GWP ga 150 või enam sisaldavad ühekomponendilised vahud, välja arvatud siis, kui need peavad vastama siseriiklikele ohutusnormidele	4. juuli 2008	
9.	Fluorosüsivesinikke GWPga 150 või enam sisaldavad signaalpasunad ning aerosoolgeneraatorid, mis on ette nähtud elanikkonnale meelelahutuslikuks või dekoratiivseks otstarbeks ja mida turustatakse sel eesmärgil ning mis on loetletud määruse (EÜ) nr 1907/2006 XVII lisa punktis 40	4. juuli 2009	
10.	Fluorosüsivesinikke GWPga 150 või enam sisaldavad kodumajapidamistes kasutatavad külmikud ja sügavkülmikud	1. jaanuar 2015	
11.	Ärilisel eesmärgil kasutamiseks mõeldud külmikud ja sügavkülmikud (hermeetiliselt suletud seadmed)	mis sisaldavad fluorosüsivesinikke GWPga 2 500 või enam	1. jaanuar 2020
		mis sisaldavad fluorosüsivesinikke GWPga 150 või enam	1. jaanuar 2022
12.	Paiksed jahutusseadmed, mis sisaldavad või mille käitamiseks on vaja fluorosüsivesinikke GWPga 2 500 või enam, välja arvatud seadmed, mille eesmärk on jahutada tooteid temperatuurini alla – 50 °C	1. jaanuar 2020	
13.	Ärilisel eesmärgil kasutamiseks mõeldud kahe või enama kompressoriga külmutusagregaadid, mille nimivõimsus on 40 kW või enam ja mis sisaldavad või mille käitamiseks on vaja fluoritud kasvuhoonegaase, mille GWP on 150 või enam, välja arvatud kaskaadsüsteemi primaarse külmasüsteemis, kus võib kasutada fluoritud kasvuhoonegaase, mille GWP peab jääma alla 1 500	1. jaanuar 2022	
14.	Teisaldatavad siseruumides kasutatavad kliimaseadmed (hermeetiliselt suletud seadmed, mida lõppkasutaja saab ühest ruumist teise viia), mis sisaldavad fluorosüsivesinikke GWPga 150 või enam	1. jaanuar 2020	
15.	Alla 3 kg fluoritud kasvuhoonegaase sisaldavad ühe siseosaga kliimaseadmed, mis sisaldavad või mille käitamiseks on vaja fluoritud kasvuhoonegaase, mille GWP on 750 või enam	1. jaanuar 2025	
16.	Vahud, mis sisaldavad fluorosüsivesinikke, mille GWP on 150 või enam, välja arvatud juhul, kui nad peavad vastama riiklikele ohutusstandarditele	Ekstrudeeritud polüstüreen	1. jaanuar 2020
		Muud vahud	1. jaanuar 2023
17.	Tehnilised aerosoolid, mis sisaldavad fluorosüsivesinikke, mille GWP on 150 või enam, välja arvatud juhul, kui nad peavad vastama riiklikele ohutusstandarditele või neid kasutatakse meditsiiniseadmetes	1. jaanuar 2018	

Lisa 2 Olemasolevates seadmetes sisalduvate külmaainete jagunemine [FOKA andmebaas, aprill 2018]

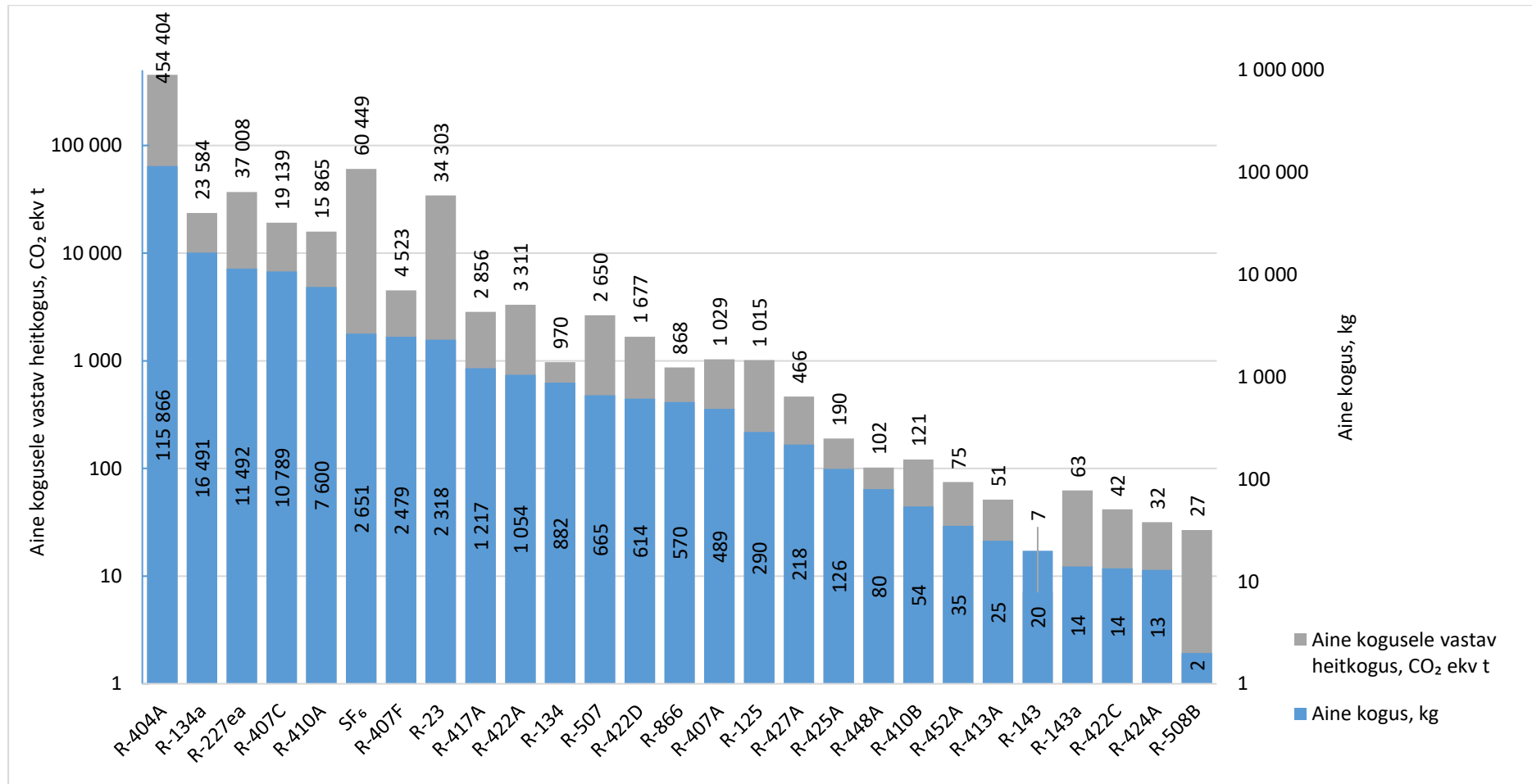
Aine	GWP ¹⁵	Aine kogus		Aine osakaal summeeritud ainete kogusest
		kg	CO ₂ ekv t	%
R-404A	3 922	115 866	454 404	65,81
R-134a	1 430	16 491	23 584	9,37
R-227ea	3 220	11 492	37 008	6,53
R-407C	1 744	10 789	19 139	6,13
R-410A	2 088	7 600	15 865	4,32
SF ₆	22 800	2 651	60 449	1,51
R-407F	1 825	2 479	4 523	1,41
R-23	14 800	2 318	34 303	1,32
R-417A	2 346	1 217	2 856	0,69
R-422A	3 143	1 054	3 311	0,60
R-134	1 100	882	970	0,50
R-507	3 985	665	2 650	0,38
R-422D	2 729	614	1 677	0,35
R-866	1 598	570	868	0,32
R-407A	2 107	489	1 029	0,28
R-125	3 500	290	1 015	0,16
R-427A	2 138	218	466	0,12
R-425A	1 505	126	190	0,07
R-448A	1 386	80	102	0,05
R-410B	2 229	54	121	0,03
R-452A	2 139	35	75	0,02
R-413A	2 053	25	51	0,01
R-143	353	20	7	0,01
R-143a	4 470	14	63	0,01
R-422C	3 085	14	42	0,01
R-424A	2 440	13	32	0,01
R-508B	13 396	2	27	0,00
KOKKU		176 068	664 826	100

¹⁵ GWP väärtused ÜRO kliimamuutuste raamkonventsiooni valitsustevahelise kliimamuutuste rühma neljanda hindamisaruande alusel (*The Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007*)

Lisa 3 FOKA registrisse registreeritud seadmete jagunemine valdkonniti [FOKA andmebaas, aprill 2018]

REGISTREERITUD SEADMED 4175 tk 176 068 kg 664 826 CO ₂ ekv t	1. ELEKTRIAOTLAD 96 tk 2 651 kg 60 449 CO ₂ ekv t	1.1 KÕRGEPIINGEJAOTLAD 5 tk 33 kg 752 CO ₂ ekv t	1.2 KESKPINGEJAOTLAD 89 tk 2 597 kg 59 223 CO ₂ ekv t	1.3 MUU 2 tk 21 kg 474 CO ₂ ekv t		
	2. JAHUTUSSEADMED 2 885 tk 145 428 kg 506 084 CO ₂ ekv t	2.1 KESKMISED JA SUURED KAUBANDUSLIKUD 300KG 1 165 tk 87 004 kg 309 303 CO ₂ ekv t	2.2 TÖÖSTUSLIKUD 890 tk 51 978 kg 175 541 CO ₂ ekv t	2.3 VÄIKE KAUBANDUS CA 10KG 830 tk 6 446 kg 21 240 CO ₂ ekv t		
	3. KLIIMASEADMED 946 tk 10 956 kg 20 978 CO ₂ ekv t	3.1 JAHUTID 269 tk 4 834 kg 9 689 CO ₂ ekv t	3.2 MUU 1 tk 3 kg 5 CO ₂ ekv t	3.3 SPLIT-SÜSTEEMID 513 tk 2 632 kg 5 302 CO ₂ ekv t	3.4 VENTILATSIOONISEADMED 163 tk 3 487 kg 5 982 CO ₂ ekv t	
	4. SOOJUSPUMBAD 153 tk 2 208 kg 3 955 CO ₂ ekv t	4.1 MAASOOJUSPUMBAD 25 tk 718 kg 1 145 CO ₂ ekv t	4.2 ÕHK-VESI SOOJUSPUMBAD 43 tk 387 kg 916 CO ₂ ekv t	4.3 ÕHK-ÕHK SOOJUSPUMBAD 75 tk 398 kg 827 CO ₂ ekv t	4.4 MUU 10 tk 705 kg 1 067 CO ₂ ekv t	
	5. TULEKUSTUTUS 95 tk 14 825 kg 73 360 CO ₂ ekv t					

Lisa 4 Eestis kasutuselolevate ainete jaotus seadmes sisalduva aine koguse ja sellele vastava heitkoguste järgi [FOKA andmebaas, aprill 2018]



Lisa 5 Kliimaseadmetes sisalduvate ainete detailsem jagunemine [FOKA andmebaas, aprill 2018]

Aine	Jahutid			Ventilatsiooniseadmed			Split-süsteemid			Muu		
	Seadmete hulk	Aine kogus		Seadmete hulk	Aine kogus		Seadmete hulk	Aine kogus		Seadmete hulk	Aine kogus	
	tk	kg	CO ₂ ekv t	tk	kg	CO ₂ ekv t	tk	kg	CO ₂ ekv t	tk	kg	CO ₂ ekv t
R-134				2	159	175						
R-134a	14	1 306	1 868	16	1 254	1 794	1	26	37			
R-143a	1	14	63									
R-23	1	3	49									
R-404A	17	424	1 661	3	26	101	10	33	130			
R-407A	4	56	117	2	12	24	2	52	110			
R-407C	116	1 661	2 946	94	1 197	2 124	104	811	1 439	1	3	5
R-410A	106	1 050	2 192	42	774	1 615	377	1 640	3 424			
R-410B							17	54	121			
R-417A				1	12	27						
R-422A	1	4	11									
R-422D	5	139	380	2	12	31	2	15	41			
R-427A	2	176	376	1	42	90						
R-508B	2	2	27									
KOKKU	269	4 834	9 689	163	3 487	5 982	513	2 632	5 302	1	3	5

Lisa 6 Soojuspumpades sisalduvate ainete detailsem jagunemine, [FOKA andmebaas, aprill 2018]

Aine	Maasoojuspumbad			Õhk-vesi soojuspumbad			Õhk-õhk soojuspumbad			Muu		
	Seadmete hulk	Aine kogus		Seadmete hulk	Aine kogus		Seadmete hulk	Aine kogus		Seadmete hulk	Aine kogus	
	tk	kg	CO ₂ ekv t	tk	kg	CO ₂ ekv t	tk	kg	CO ₂ ekv t	tk	kg	CO ₂ ekv t
R-134a	1	493	705							3	546	781
R-404A				4	50	195						
R-407C	11	97	172	3	11	19	1	12	20	5	148	263
R-410A	13	128	267	32	243	507	74	386	807	2	11	23
R-417A				4	84	196						
KOKKU	25	718	1 145	43	387	916	75	398	827	10	705	1 067