

**AS A.L.A.R.A.**

**Kvalifitseeritud kiirgusekspert Merle Lust**

**"Looduslikke ja tehisklikke radionukliide sisaldavate  
metallijäätmete käitlemise metoodika"**

Töö on valminud töövõtulepingu 15.05.2012. a. nr 4-1.1/83 alusel

**Paldiski 2012**

**Töö eesmärk:**

Vabariigi Valitsus kiitis 17. aprilli 2008. a korraldusega nr 182 heaks Kiirgusohutuse riikliku arengukava aastateks 2008-2017 (edaspidi KORAK). KORAKi eesmärk on kiirguskaitse korraldamine järgmise 10 aasta kestel, et tagada Eestis optimaalne kiirgusohutus, kiirguskaitse funktsioneerimine ja areng. Ühe olulisema alleesmärgina kirjeldab KORAK radioaktiivsete jäätmete ja nende käitlemisega seotud ohtude vähendamist. Käesolevaks ajaks on koostatud radioaktiivsete jäätmete käitlemise tegevuskava mustand, välja on töötatud radioaktiivse jäätmevoo hindamise meetoodika, mille alusel on läbi viidud radioaktiivsete jäätmevoogude hindamine ning esitatud ettepanekud radioaktiivsete jäätmete edasiseks käitlemiseks, samuti on koostatud radioaktiivsete jäätmevoogude elektrooniline andmestik. 2010. aastal valmisid uuringud looduslike radionukliide sisaldavate ja nendega saastunud materjalide käitlemisvalikutest ning looduslike radionukliide sisaldavate materjalide puhastamisest ja hinnang selle efektiivsusele. Radioaktiivselt saastunud metallijäätmete edasise käitlemise kinnitatud lõpplahendus, mis sisaldaks muuhulgas ka käitlemise meetodi majanduslikku analüüsi, seni aga puudub. Töö koostamisel tuleb aluseks võtta nii KORAK kui eelkirjeldatud dokumendid. Töö on alusdokumendiks radioaktiivselt saastunud metallijäätmete käitlemise riikliku süsteemi kehtestamiseks ning võimaldab tuvastada millist mõju avaldab metallijäätmete käitlemine riigieelarvele.

**Töö ülesanded:**

KORAKis sätestatu realiseerimiseks tuleb kehtestada meetoodika radioaktiivselt saastunud metallijäätmete süstemaatiliseks käitlemiseks ja nende hulga vähendamiseks Eesti Vabariigis. KORAKis on radioaktiivsete jäätmete osas püstitatud strateegiline eesmärk vähendada radioaktiivsete jäätmetega ja nende käitlemisega seotud ohte, samuti meetmed ning tegevused eesmärgi saavutamiseks. Töö peab lisaks meetmete ja eesmärkide kirjeldamisele käsitlema ka looduslike radionukliide kui ka tehislake radionukliididega saastunud metallijäätmete käitlemise meetoodikat koos majandusliku analüüsiga ning sisaldama järgmist:

1. Looduslike ja tehislake radionukliide sisaldavate metallijäätmete voo hinnang;
2. Looduslike ja tehislake radionukliide sisaldavate metallijäätmete käitlemise meetoodika;
3. Looduslike ja tehislake radionukliide sisaldavate metallijäätmete käitlemise majandusanalüüs.

Looduslike ja tehislike radionukliide sisaldava metallijäätmete voo hinnang peab andma ülevaate käesolevaks hetkeks tekkinud ning AS A.L.A.R.A.-le üle antud metallijäätmete kogustest ja koosseisust, sisaldama jäätmetekke prognoosi järgnevas perioodiks.

Looduslike ja tehislike radionukliide sisaldavate metallijäätmete käitlemise meetodika osas on töö ülesandeks varasematele vastavasisulistele analüüsidele ja eksperthinnangutele tuginedes kirjeldada sobivaimat jäätmete käitlemise lahendust, mis muu hulgas arvestaks ka selle ühiskondliku aktsepteeringuga.

Jäätmete käitlemise majandusanalüüs peab senisest põhjalikumalt hindama valitud käitlusmeetoditega kaasnevat kulusid, nende intervalle ja välja tooma võimalikud rahastusallikad.

**Töö tulemus:**

Töö tulemusena valmib looduslike ja tehislike radionukliide sisaldavate metallijäätmete käitlemise meetodika koos majandusliku analüüsiga, mis võetakse aluseks riikliku meetodika kehtestamisel.

**Töö üleandmine:**

Valmis töö edastatakse OpenOffice failiformaadis tellija esindaja e-posti aadressile [reelika.runnel@envir.ee](mailto:reelika.runnel@envir.ee).

## Sisukord

1	Sissejuhatus .....	5
2	Metallijäätmete tekkekohad Eestis .....	6
2.1	AS A.L.A.R.A. hallata olevad objektid .....	6
2.2	AS Molycorp Silmet .....	7
2.3	Muud tekkekohad .....	8
3	Looduslikke ja tehisklikke radionukliide sisaldavate metallijäätmete voo hinnang .....	9
3.1	Paldiskis vaheladustatud saastunud metall .....	9
3.2	Hinnang koguste kohta .....	12
4	Radioaktiivselt saastunud metalli käitlemisvõimalused .....	14
4.1	Ladustamine tavajäätmete prügilas .....	16
4.2	Metalli ümbersulatamine .....	17
4.3	Pikaajaline vaheladustamine ning osaline ladustamine lõppladustuspaigas .....	18
4.4	Metallijäätmete kehtestatud piirmäärad ja nende praktilise rakendamise võimalused .....	19
5	Lähiriikide praktika metallijäätmete käitlemisel .....	20
5.1	Soome .....	20
5.2	Norra .....	21
5.3	Rootsi .....	21
6	Metallijäätmete sulatamisvõimalused ja nõuded sissetulevatele materjalidele .....	22
6.1	Studsvik Nuclear AB nõuded vastuvõetavatele metallijäätmetele .....	23
6.2	Siempelkamp Nuklear- und Umwelttechnik GMBH nõuded vastuvõetavatele metallijäätmetele .....	26
6.3	Kokkuvõte .....	27
7	Looduslikke ja tehisklikke radionukliide sisaldavate metallijäätmete käitlemise majandusanalüüs .....	27
7.1	Sulatamise majanduslik analüüs .....	27
7.1.1	Studsvik Nuclear AB (Rootsi) .....	27
7.1.2	Siempelkamp Nuklear- und Umwelttechnik GMBH (Saksamaa) .....	29
7.1.3	Sekundaarsete jäätmete ja metallijäätmete vahe- ja lõppladustamisega seotud kulud .....	30
7.1.4	Sulatamise majandusliku analüüsi kokkuvõte .....	33
7.2	Metallijäätmete pikaajalise vaheladustamise ja osalise lõppladustamise majanduslik analüüs .....	34
8	Radionukliididega saastunud metalli käitlemise kulud .....	36
8.1	Kulude intervall ja võimalikud rahastamise allikad .....	36
8.2	Sulatamine .....	37
8.3	Pikaajaline vaheladustamine ja osaline lõpphoiustamine .....	39
8.4	Majanduslike analüüside, kulude intervallide ning rahastamisvõimaluste võrdlus ja järeldused .....	40
9	Kokkuvõte .....	44
10	Kasutatud kirjandus: .....	47

## **1 Sissejuhatus**

Radioaktiivselt saastunud metalli puhul võib tegemist olla kas fikseeritud või fikseerimata pinnasaastega või massis saastunud metalliga. Fikseerimata pinnasaastega metall tekib rakendustes, kus on tegemist radioaktiivsete ainetega ja saaste esineb metalli pinnal lahtisel kujul tolmu, pulbri vms näol. Selline saaste on kergelt eemaldatav kõige lihtsamete puhastamisvõtetega (pühkimine, tolmuimeja jne). Lisaks fikseerimata saastele esineb ka fikseeritud saaste mille puhul on tegemist keemiliselt või füüsiliselt materjalikihtidega seotud saastega ning tema eemaldamiseks on vajalik kasutada mehaanilisi või keemilisi eraldusmeetodeid.

Massis saastunud metall tekib eelkõige neutronkiirguse ja väga võimsate kiirgusallikate juuresolekul. Levinuimalt tekib massis saastunud metall eelkõige tuumatsüklis aatomielektrijaamade juures. Kuna Eesti Vabariigis (EV) tegutsevaid tuumareaktoreid ei ole, siis on Eestis olemasolevate metallijäätmete näol tegemist pinnalt saastunud materjalidega. Erandiks on siin Paldiskis asuva endise tuumaallveelaevnike õppekeskuse suletud reaktorid, millest on täpsemalt juttu allpool.

Radioaktiivsed metallijäätmed kujutavad endast tänapäeva üha piiratumate energia ja tooraine võimaluste juures ajas üha suureneva potentsiaaliga ressursi. Lisaks on radioaktiivse metalli ümbersulatamine taaskasutuseks oluliselt keskkonnasõbralikum võrreldes rauamaagist tootmisega. Kui vaadelda metalli saamisprotsessi, siis 1 tonni terase valmistamiseks rauamaagist tekib 1,54 tonni CO<sub>2</sub>-te ning radioaktiivsest metallist 0,68 tonni CO<sub>2</sub>-te. Alumiiniumi puhul on vastavad näitajad 10,60 ja 0,73 tonni CO<sub>2</sub>-te ning vase puhul 5,50 ja 1,98 tonni CO<sub>2</sub>-te [7].

## **2 Metallijäätmete tekkekohad Eestis**

### ***2.1 AS A.L.A.R.A. hallata olevad objektid***

EV-s tegutsevad tuumareaktorid puuduvad. Paldiski endises tuumaallveelaevnike õppekeskuses (edaspidi Paldiski objekt) on 2 suletud õppereaktorit, milledest tuumakütus on eemaldatud. Reaktor 1 töötas aastatel 1968-1989 ja reaktor 2 aastatel 1983-1989. Tuumakütus eemaldati 1994. aastal ja transporditi Venemaale. Olemasolevad reaktoriseksioonid koos seal sees olevate seadmetega suleti hermeetiliselt 1995. aastal ja reaktoriseksioonide ümber ehitati raudbetoonist sarkofaagid.

Alates 1995-st aastat tegutseb Paldiski endise õppekeskuse territooriumil riiklik radioaktiivsete jäätmete käitleja AS A.L.A.R.A., kes viis läbi peahoone ja territooriumi puhastamise radioaktiivsest saastest ning tehnosüsteemide demonteerimise. Lisaks võtab AS vastu radioaktiivseid materjale ja kiirgusallikaid ettevõtelt ja teadusasutustelt ning käitleb ja ladustab need peahoones asuvas vaheladustuspaigas.

Aastatel 1995-2008 viidi Paldiski objektil läbi laiaulatuslikud konserveerimis-, puhastus- ja rekonstrueerimistööd. Muuhulgas puhastati ja lammutati mitmed ehitised ning peahoonesse rajati radioaktiivsete jäätmete vaheladustuspaik ja rekonstrueerimise käigus muudeti kogu hoone ilmastikukindlaks. Peahoone rekonstrueeriti 2006. aastal eesmärgiga säilitada reaktorisarkofaagide terviklikkus vähemalt 50 aastat, et vähendada töötajate kiirgusdoose tulevaste dekomisjoneerimistööde käigus.

Paldiski objekti tehnosüsteemide demonteerimise käigus tekkinud metallijäätmete puhul on tegemist pinnalt saastunud materjalidega mis ladustatakse merekonteinerites. Konteinerites olevate metallijäätmete kogumisel eristatakse kaks liiki:

- 1) looduslike radionukliididega saastunud metall (edaspidi NORM metall – Naturally Occuring Radioactive Material);
- 2) madalaktiivsed lühiealiste isotoopidega (poolestusaeg kuni 30,2 aastat) saastunud metall.

Esiolguvate kavade kohaselt alustatakse reaktoriseksioonide dekomisjoneerimisega perioodil 2040–2050. Reaktoriseksioonide lammutamisel tekitab hinnanguliselt 760-2070 m<sup>3</sup> jäätmeid, millest valdava enamuse moodustavad metallijäätmed. Reaktoriseksioonides olevate metallijäätmete näol on tegemist nii massis kui ka pinnalt saastunud materjalidega.

Käesolevas töös ei arvestata edaspidi olemasolevate metallijäätmete koguste nimetamisel Paldiski reaktorite dekomisjoneerimisel tekkivaid jäätmeid kui sellele pole eraldi viidatud, kuna nii jäätmete kogustes kui iseloomustamises on hetkel väga suured määramatused.

**Foto 1; Paldiski objekti saastunud ventilatsioonitorud**



## **2.2 AS Molycorp Silmet**

Tulevikus peab arvestama ka AS-i Molycorp Silmet tootmisprotsessist tulevate võimalike saastunud seadmetega. Ajalooliste radioaktiivsete metallijäätmete voogu Sillamäelt oodata ei ole kuna uraani rikastamiseks kasutatud seadmed viidi 1990-ndate alguses Venemaale kui strateegiline tehnoloogia ning Eestisse jäänud saastunud metallijäätmed maeti aastatel 1999-2005 Sillamäe NORM jäätmehoidlasse.

Molycorp Silmet kasutab looduslikke radionukliide sisaldavaid toormaterjale haruldaste muldmetallide tootmiseks. Tootmisprotsessi käigus võivad seadmete pinnad saastuda. Tegemist on pindmise radioaktiivse saastumisega ning Molycorp Silmet on välja töötanud pindmiselt saastunud materjalide desaktiveerimise eesmärgiga vähendada saastet materjalide

pinnal. Desaktiveerimisel kasutatakse keemilist meetodit [5]. Kuigi korrapärase desaktiveerimisega vähendatakse oluliselt kasutatavate seadmete pindadele kontsentreeruvaid saastetasemeid, siis võib eeldada, et aastatega koguneb teatud määral fikseeritud radioaktiivset ainet puhastamisest hoolimata seadmete pindadele. Kuna praegu metallikokkuostjate poolt aktsepteeritud saastetasemed on väga madalad siis on väga väike tõenäosus, et kasutatud seadmeid, torusid jne on võimalik tulevikus täiendava puhastamiseta vanametallina utiliseerida. Arvestades Molycorp Silmeti suurust võib eeldada, et probleemse metalli hulk ka juhul kui osa sisseseadest õnnestub otse vanametallina utiliseerida on sadades tonnides.

Molycorp Silmetist tuleva metalli käitlemise kulud katab jäätmete tekitaja (Kiirgusseadus § 58 lõige 4) ja seetõttu seda osa Eestis tekkivatest saastunud metallijäätmetest käesolevas metoodikas ei käsitleta.

### **2.3 Muud tekkekohad**

Looduslike radionukliididega saastunud metallesemad tekivad eelkõige veevõrkide tehnosüsteemide vahetamisel ning tööstusprotsessides. Kuna Eestis ei ole nafta- või gaasitööstust, siis tööstuses võivad saastunud metallesemad tekkida eelkõige asutustes, kus kasutatakse radionukliidide sisaldavaid tooraineid. Eestis ei toimu ka metalli ümbertöötlust ja seega ei ole kiirgusallikate sattumine sulatuskateldesse ning selle tulemusena suure hulga saastunud metalse materjali tekkimine asjakohane. Viimane on näiteks probleemiks Soomes, kus viimase kolme aasta jooksul olnud kuus juhtumit, kui <sup>241</sup>Am allikas on sattunud ümbertöötamise käigus ülesulatatava metalli hulka.

Eestis kogutud vanametall viiakse valdavalt riigist välja. Vanametalli hulka võivad sattuda ka erinevad metallesemad, mis on saastunud radionukliididega. Kuna vanametall üldiselt liigub erinevate vanametalli käitlejate vahel enne kui ta Eesti Vabariigist välja viiakse, siis suureneb ka tõenäosus kiirgusallikate/saastunud materjalide avastamiseks, sest mitmed vanametalli kokkuostjad on varustanud ennast ioniseerivat kiirgust detekteerivate mõõtevõrkude ning vahenditega.



### **3 Looduslikke ja tehisklikke radionukliide sisaldavate metallijäätmete voo hinnang**

#### **3.1 Paldiskis vaheladustatud saastunud metall**

Paldiskis ladustatud metallijäätmed asuvad 17-s merekonteineris. AS A.L.A.R.A.-s olevad metallijäätmed on vastavalt omaaegsetele Studsviki Nuclear AB sulatustehase nõuetele tükeldatud maksimaalselt 2 m pikkusteks. Erandiks on mõned NORM – jäätmed mida saaste leviku minimiseerimiseks ei ole fragmenteeritud. Jäätmete üldpildi kirjeldamiseks on tabelis 1 toodud konteinerite doosikiirused pinnal ja 1 m kaugusel.

**Tabel 1; Doosikiirused Paldiskis ladustatud metalli sisaldavate konteinerite pinnal**

Konteineri nr ja jäätme liik	Doosikiirus pinnal, $\mu\text{Sv/h}$	Doosikiirus 1 m kaugusel, $\mu\text{Sv/h}$	Doosikiiruste määramise kuupäev
Konteiner nr 1, RV <sup>1</sup> teras	0,5	0,1	23.03.2012
Konteiner nr 2, mustmetall <sup>2</sup>	0,7	0,1	22.03.2012
Konteiner nr 3, RV teras	1,3	0,2	21.03.2012
Konteiner nr 4, mustmetall	0,3	0,1	23.03.2012
Konteiner nr 5, mustmetall	9,5	2,3	22.03.2012
Konteiner nr 6, RV teras	0,6	0,1	21.03.2012
Konteiner nr 7, mustmetall	0,7	0,3	22.03.2012
Konteiner nr 9, RV teras	0,5	0,1	22.03.2012
Konteiner nr 10, mustmetall	0,5	0,3	21.03.2012
Konteiner nr 11, mustmetall	3,5	2,1	23.03.2012
Konteiner nr 14, RV teras	2,6	0,8	21.03.2012
Konteiner nr 15, RV teras	0,5	0,1	22.03.2012
Konteiner nr 16, plii ja alumiium	0,9	0,7	23.03.2012
Konteiner nr 17, mustmetall	0,4	0,1	23.03.2012
Konteiner nr 18, NORM	1,5	0,4	23.03.2012
Konteiner nr 19, RV teras	0,4	0,1	22.03.2012
Konteiner nr 28, vask	0,6	0,1	23.03.2012

<sup>1)</sup> roostevaba (RV) teras – õhu, vee ning mitmesuguse agressiivse keskkonna korrodeerivale toimele vastupidav teras. Korrosiooni kindlus saavutatakse kroomi lisamisel, mis moodustab pinnale kroomoksiidi kihi, mis takistab korrodeerumist pinnal ning selle edasi kandumist materjalis;

<sup>2)</sup> mustmetall e süsinikteras - sulam, mille põhikomponent on raud ning mis muude elementide (väävel, fosfor jne) kõrval sisaldab kuni 2,14% süsinikku.

Konteinerite doosikiirustest ei saa otseselt järeldada jäätmete aktiivsusi, sest mõõtmine toimus läbi konteineri varjestava seina, jäätmed varjestavad omakorda teineteist ning lisandub ka distantsti faktor. Kuid kuna konteinerid ei sisalda varjestatud kiirgusallikaid, siis võib saadud

andmete põhjal anda hinnanguid jäätmete üldiste aktiivsustasemete kohta ning sellest tulenevalt sisaldavad konteinerid nr 5, 3 ja 11 tõenäoliselt keskmisest veidi suurema aktiivsusega jäätmeid. NORM konteineris tuvastati Ra-226 olemasolu ning teistel jäätmetel Cs-137 olemasolu. Muid isotoope seade ei registreerinud kas nende isotoopide puudumise või liiga madala kontsentratsiooni tõttu.

Materjalide pind-eriaktiivsuse määramiseks viidi läbi mõõtmised 4-s konteineris: 2-s mustametalli konteineris (nr 10 ja 4), plii ja alumiiniumi konteineris (nr 16) ning NORM jäätmete konteineris (nr 18). Igas konteineris viidi mõõtmised läbi 4-l detailil. NORM jäätmete mõõtmistel kasutati alfakiirgust registreerivat mõõteriista Lundlum - Model 12 ning alla 30,2 aastase poolestusajaga nukliidide puhul  $\beta+\gamma$  kiirguse mõõtmisel mõõteriista MicroCont. Mõõdetavate detailide puhul oli tegemist suurte avatud pindadega (lahti lõigatud torude sisepinnad, suurte anumate sisepinnad jne) et oleks võimalik kasutada otsemõõtmist. Isotoobilise koostise määramiseks kasutati mobiilset gammaspektromeetrit Synodys 100, mis suudab isotoopi määrata alates pind-eriaktiivsusest 3-5 Bq/cm<sup>2</sup> (sõltuvalt isotoobist). Keeruliste geomeetriate puhul (nt. väikese diameetriga torud) on pind-eriaktiivsused hinnangulised, kuna sellisteks mõõtmiseks sobilikke detektoreid jäätmekäitleja ei oma. Sulatamiseks on hinnanguline lähenemine piisav kuna olemasolevad aktiivsused jäävad oluliselt alla maksimaalsetest lubatavatest aktiivsustest (vt. nõuded sulatatavale metallile) kuid lõppladustamise seisukohalt vajavad jäätmed kindlasti lisamõõtmisi (sobiva geomeetriaga detektoreid jne). Detailide maksimaalne saastetase on esitatud tabelis 2.

Looduslike radionukliididega saastunud materjali näol on tegemist eelkõige isotoobiga Ra-226 ja tema lagunemisritta kuuluvate radionukliididega saastunud materjaliga. Jäätmete päritolu on erinev, kuid valdavas enamuses on tegu torude ja ventiilidega, mis on metalli kokkuostjate juures ioniseerivat kiirgust detekteerivasse mõõteväravasse „kinni“ jäänud.

Materjalide pind-eriaktiivsus on kuni 15 Bq/cm<sup>2</sup> ja keskmine pind-eriaktiivsus hinnanguliselt 8-10 Bq/cm<sup>2</sup>. Keskmine materjali seinapaksus vaheladustamisel oleval materjalil on hinnanguliselt 3 mm ehk 1 cm<sup>2</sup> kaal on 23,7 grammi (terase tihedus 7900 kg/m<sup>3</sup>). See teeb materjali keskmiseks eriaktiivsuseks 0,33-0,43 Bq/g. NORM metallijäätmeid on AS A.L.A.R.A.-s 8,5 tonni (ca 8 m<sup>3</sup>) ning neid ladustatakse ühes merekonteineris. Metallimahu/kaalu suhe ei ole proportsionaalne selletõttu, et mitmed konteineris asuvad suured esemed võtavad ebaproportsionaalselt palju ruumi.

**Tabel 2; Metalljätmete detailide mõõtetulemused**

Jätme tüüp	Detaili nr	$\beta + \gamma$ saaste <sup>1</sup> , Bq/cm <sup>2</sup>	$\alpha$ saaste <sup>1</sup> , Bq/cm <sup>2</sup>	Märkused
Mustmetall	1	0,7	-	Konteiner nr 4
Mustmetall	2	3,8	-	Konteiner nr 4
Mustmetall	3	0,6	-	Konteiner nr 4
Mustmetall	4	3,2	-	Konteiner nr 4
Mustmetall	1	33	-	Konteiner nr 10
Mustmetall	2	9	-	Konteiner nr 10
Mustmetall	3	22	-	Konteiner nr 10
Mustmetall	4	37	-	Konteiner nr 10
Plii ja alumiinium	1	12	-	Konteiner nr 16
Plii ja alumiinium	2	29	-	Konteiner nr 16
Plii ja alumiinium	3	35	-	Konteiner nr 16
Plii ja alumiinium	4	40	-	Konteiner nr 16
NORM	1	-	2	Konteiner nr 18
NORM	2	-	6	Konteiner nr 18
NORM	3	-	15	Konteiner nr 18
NORM	4	-	10	Konteiner nr 18

<sup>1</sup> Tulemused on esitatud mõõtemääramatusega  $\pm 20\%$   $\beta + \gamma$  saaste puhul ja  $\pm 30\%$   $\alpha$  saaste puhul.

Mõõtmiste käigus tuvastati minimaalne pinnasaaste 0,6 Bq/cm<sup>2</sup> ja maksimaalne 40 Bq/m<sup>2</sup>. Nagu tulemustest näha, ei ole detailide mõõtetulemused vastavuses doosikiirustega konteineri pinnal. Samas suurusjärgus doosikiirustega konteinerites olevate detailide pind-eriaktiivsuste vahe on kuni 10 korda. See on seletatav varjestusefektiga (näiteks konteineri seinale lähima detaili saastunud külg on suunaga konteineri keskele ning metall enda paksus toimib varjena). Mõõtetulemustest võib järeldada, et kohati on pind-eriaktiivsuste erinevused detailidel suhteliselt suured. Näiteks konteineris nr 4 oli saastetase 0,6-3,7 Bq/cm<sup>2</sup> ja konteineris nr 10 9-37 Bq cm<sup>2</sup>.

Madalaktiivsed lühiealiste tehislike isotoopidega (poolestusaeg kuni 30,2 aastat) saastunud metalljätmeid on Paldiski vaheladustuspaigas 182 tonni ning mahuliselt 235 m<sup>3</sup> ehk 16 merekonteinerit. Ca 92% sellistest jätmetest on pärit Paldiski objekti dekomisjoneerimistöodelt. Tegemist on erikanalisatsioonitorustiku torudega, ventilatsioonitorudega ning tehnosüsteemide torude ja elementidega. Ülejäänud 8% jätmeid on pärit eelkõige Tammiku hoidla dekomisjoneerimistöodelt ning väga vähesel määral metalli kokkuostjatelt. Tuginedes varasematel Paldiski objektidel tehtud uurimustel [12] ning asjaolul,

et dekomisjoneeritud on ainult torustikud, on tehtud lihtsustus, et dekomisjoneerimisjäätmes on domineerivateks radionukliidideks Cs-137, Co-60 ja Sr-90. Tammiku hoidlast välja võetud metallijäätmetel on tuvastatud isotoopide Cs-137 ja Sr-90 olemasolu. See on selgitatav nii hoidla vanusega (lühiajalised nukliidid on lagunened) kui jäätmete päritoluga. Saastunud metalli ladustatakse liigiti kuna erinevad materjalid käideldakse võimalikul sulatamisel eraldi. Liigiti kogumise kategooriad ja kogused on toodud tabelis 3.

**Tabel 3; Kuni 30,2 aastase poolestusajaga metallijäätmed**

Materjal	Mass, tonni	Maht, m <sup>3</sup>	Konteinerite arv, tk
Süsinikteras	90	126	7
Roostevaba teras	76	95	7
Vask	11	11	1
Alumiinium, plii	5	3	1

Kuna selliste metallijäätmete põhjalik radioloogiline iseloomustus on tegemata, siis saab nende jäätmete aktiivsusi hinnata pisteliste mõõtmiste, üldise konteinerisse paigutamise strateegia ning doosikiiruste põhjal konteineri pinnal ja 1 m kaugusel. Arvestades eelpool toodud faktoreid võib hinnata, et selliste metallijäätmete pind-eriaktiivsus on vahemikus 10-40 Bq/cm<sup>2</sup>.

**Tabel 4; Paldiskis ladustatud metallijäätmete hinnatud saastetasemed**

Materjal	Eriaktiivsus* Bq/g	Pind-eriaktiivsus, Bq/cm <sup>2</sup>
Süsinikteras	0,03-1,56	0,6-37
Plii	0,35-1,18	12-40
Vask	0,02-1,38	0,6-37
RV teras	0,3-1,54	0,6-37
Alumiinium	1,08-3,60	12-40
NORM jäätmed	0,33-0,43	8-10

Märkus:

\* arvutustes on lähtutud pind-eriaktiivsusest ning üleminekul eriaktiivsusele kasutatud keskmist seinapaksust 3 mm ja järgmiseid materjalide tihedusi:  
 teras 7900 kg/m<sup>3</sup>, RV teras 8030 kg/m<sup>3</sup>, plii 11300 kg/m<sup>3</sup>, alumiinium 3700 kg/m<sup>3</sup> ja  
 vask 8930 kg/m<sup>3</sup>

### 3.2 Hinnang koguste kohta

Jäätmete puhastamise seisukohalt ei oma tähtsust kas tegemist on NORM jäätmega või tehislake nukliididega kuni 30,2 aastase poolestusajaga saastunud nukliididega jäätmega [1, 2]. Mehhaaniline ja keemiline puhastuvus on mõlemat tüüpi jäätmetel sarnane. Erinevus

jäätmete käitlemisstrateegia hindamisel tuleneb eelkõige jäätmete ladustamise ajast. Kui NORM jäätmete puhul on pika poolestusaja tõttu ilmne, et radioaktiivse lagunemise ootamine ei ole põhjendatud, siis kuni 30,2 aastase poolestusaja korral tuleb enne otsustamist hinnata võimalikku metallijäätmete vabastamise aega.

**Foto 2; Saastunud plii ja alumiiniumi konteiner**



Perioodil 2009-2012 võttis AS A.L.A.R.A. metallikokkuostjatelt ning Päästeametilt välja sorteeritud jäätmeid vastu keskmiselt 0,5 m<sup>3</sup> aastas ning tulevikus ei ole ette näha koguste suurenemist, pigem vähenemist [15,16], kuna riik on tõhustanud transiidi kontrolli piiril (ioniseerivad kiirgust detekteerivad mõõteväravad Eesti-Vene piiril nii raudteel kui maanteedel) ning oluliselt on paranenud kontroll Molycorp Silmeti territooriumil paiknev saastunud metalli üle (metallidetektor territooriumi väravas, mille eesmärgiks on eelkõige väärismetalli varguste avastamine, kuid mis on tõhustanud kontrolli ka muu metallilise materjali väljaviimise üle tehase territooriumilt).

Vastuvõetavatest jäätmetest moodustavad NORM jäätmed tulevikus hinnanguliselt 90% mahust, sest tehislake nukliididega saastunud jäätmete tekkekohti Eestis ei ole. Tulevikus on

oodata NORM jäätmete voogu kuni 0,4 m<sup>3</sup> aastas. NORM jäätmete võimaliku allikana on nimetatud küll vanu vee – ja kanalisatsiooni torustikke (koguseliselt kuni paarsada tonni) [23], kuid aastatel 2010-2012 läbi viidud ulatuslike vee – ja kanalisatsioonitorustike vahetamise käigus ei ole ilmnenud täiendavaid koguseid NORM metallijäätmetele. Tõenäoliselt on aktiivsem sete enne utiliseerimist torudest eemaldatud või on radioanukliidide kontsentratsioon piisavalt madal, et metallikokkuostajate ioniseerivat kiirgust detekteerivad mõõtevõravad sellele ei reageeri.

Tehislike nukliididega saastunud metallijäätmete jäätmetekke prognoos on samuti pigem kahanev [15, 16] kui kasvav ning seetõttu on hinnatud nende osakaaluks tulevikus tekkivate metallijäätmete üldmahust kuni 10%. Mahuliselt ei ole kogus suurem kui 0,05 – 0,1 m<sup>3</sup> aastas, kusjuures jäätmetekke põhjused on täpselt teadmata, kuna Eestis tehislike nukliididega saastunud metallijäätmete tekkekohti ei ole. Oletuslikult on tegemist vanametalli transiidiga läbi Eesti, kus puhta metalli hulka on sattunud ka vähesel määral tehislike radionukliididega saastunud metall, mida piiril ja metallikokkuostaja territooriumil asuvad ioniseerivat kiirgust detekteerivad mõõtevõravad esmalt ei avasta ja mis avastatakse alles vanametalli sorteerimise käigus.

#### **4 Radioaktiivselt saastunud metalli käitlemisvõimalused**

Majanduslikust seisukohast on Eesti riigile otseseks kuluks Paldiski vaheladustuspaigas ladustatud metall ning reaktorisektsioonide dekomisjoneerimisest tulev metall, millele lisandub eelkõige metallikokkuostjate poolt välja sorteeritud metall. 2010 aastal viis AS A.L.A.R.A. Keskkonnaministeeriumi initsiatiivil läbi sissejuhatava uurimistöo [1], mida täiendati 2011 aastal lisaga [2] ja kus käsitleti NORM materjalidega saastunud metallide puhastamisvõimalusi ning viidi läbi ka metallipinna praktiline puhastamine ning tasuvusuuring. Tööde tulemusena selgus, et NORM saastunud metalli puhastamine ei ole Eestis perspektiivikas alternatiiv kuna:

- puhastamise efektiivsus on madal;
- sobiv tehnoloogia on kallid ning tekitab probleemseid sekundaarseid jäätmeid;
- tekkivate sekundaarsete jäätmete kogus on märkimisväärne.

NORM metallijäätmetega on Eesti tingimustes mõistlik valida üks kolmest variandist:

- 1) ladustamine tavajäätmete prügilas;
- 2) ümbersulatamine;

3) pikaajaline vaheladustamine ning osaline ladustamine lõppladustuspaigas.

Ühtlasi tõdeti, et praegu vaheladustatud NORM metallijäätmete puhul ei ole paljudel juhtudel tegemist radioaktiivsete jäätmetega Kiirgusseaduse mõistes eeldusel, et hinnangu aluseks on võetud väljaarvamistasemed, mitte vabastamistasemed, millist võimalust on samuti uurimistöös käsitletud. Samas tuleb tõdeda, et isegi kui jäätmete aktiivsus jääb alla väljaarvamistaset, võib selline materjal jääda metalli kokkuostjate juures ioniseerivat kiirgust detekteerivasse mõõteväravasse "kinni" ja tagastatakse omanikule. Selle tõttu on kahtlemata tegemist probleemsete jäätmetega ning praegu kogutakse selline materjal sarnaselt teiste radioaktiivsete jäätmetega Paldiski vaheladustuspaika. Metalli kokkuostjate juures on võimalik garanteeritult utiliseerida metalli, mille pind-eriaktiivsus  $< 0,4 \text{ Bq/cm}^2$  (nn. „universaalne“ vabastamistaseme, mis rahuldab kõiki jäätmetüüpe, nukliidide segusid, stsenaariume, kiirguse võimalikke mõjusid [20, 21]). Sellist praktikat on rakendanud AS A.L.A.R.A. korduvalt, utiliseerides ainult sellist eelnevalt kontrollitud metalli, mille pind-eriaktiivsus  $< 0,4 \text{ Bq/cm}^2$ .

**Foto 3; NORM saastunud metall**



#### **4.1 Ladustamine tavajäätmete prügilas**

Tavajäätmete prügilas on võimalik ladustada selliseid metallijäätmeid, millede aktiivsus jääb alla vabastamis- või väljaarvamistasemeid (sõltuvalt jäätmete tekkimise liigist). Eestis olemasolevate jäätmete puhul oleks eelpool nimetatud variant alternatiiviks eelkõige NORM metallijäätmete ladustamisele maapinnalähedases lõpladustuspaigas. Tõenäoliselt on selline metallijäätmete ladustamine “erijäätmena” tavajäätmete prügilas (näiteks merekonteiner ladustatuna muu prügi alla) majanduslikult kõige soodsam, kuid keskkonnakaitse ja materjalide taaskasutamise seisukohalt kõige ebasoodsam. Selline praktika ei vasta kindlasti kaasaegsetele materjalide taaskasutamise nõuetele ja põhimõtetele. Lisaks tuleb arvestada erinevate ohutushinnangute, ettekirjutuste ja protseduurireeglitega jäätmete matmisel. Tõenäoliselt tuleb kõik olemasolevad jäätmed detailselt iseloomustada, et tõendada jäätmete vastavust etteantud ladustamise parameetritele (väljaarvamistase, vabastamistase, ohtlike ainete sisaldus jne).

Tõenäoliselt ei ole võimalik saada ka prügila ümbruse elanike heakskiitu (näiteks keskkonnamõju hindamise käigus) selliste jäätmete matmiseks. Elanikkonna teadmatust ja sellest tulenevat vastasseisist kindlasti ei toeta sellist lähenemist.

Lisaks tuleb osaliselt täiendada Eesti seadusandlust, sest Jäätmeseaduse § 21 punkt 2 lõige 1 kohustab jäätmetekke vältimise üldnõudena rakendama loodusvarade ja toorme säästlikuks kasutamiseks parimat võimalikku tehnikat, sealhulgas tehnoloogiat, milles võimalikult suures ulatuses taaskasutatakse jäätmeid. Sama seaduse § 30 p 1 kohustab jäätmeid taaskasutama, kui see on tehnoloogiliselt võimalik ning kui see ei ole muude jäätmekäitlusmoodustega võrreldes ülemääraselt kulukas. Tõenäoliselt oleks vajalik Jäätmeseadusesse sisse tuua täpsustav erisus NORM-metallijäätmete ladustamise kohta.

Nimetatud kitsaskohtade tõttu on selline jäätmete utiliseerimise viis ebatõenäoline kuigi majanduslikust seisukohast võib tegemist olla kõige odavama lahendusega. Kuna sellise otsuse maksumuse arvutamisel on väga palju määramatusi, siis käesolevas töös selle võimalusega edaspidi ei tegeleta.



## 4.2 Metallübersulatamine

Radioaktiivse metalli übersulatamine on väga efektiivne meetod metallijäätmete mahu vähendamiseks. Sulatamise käigus eralduvad enamuse radionukliidid sulamassist räbusse ning kogunevad ka filtritele. Erinevad radionukliidid käituvad sulatamisel erinevalt ning tabelis 5 on toodud enamlevinud radionukliidide käitumine sulatamisel [8]. Suurendamaks sulatusprotsessi efektiivsust puhastatakse saastunud materjal eelnevalt mehaaniliselt, et eraldada kergesti eemaldatav saaste.

**Tabel 5; Radionukliidide jaotus peale übersulatust**

Radionukliid	Metallis, %	Räbus, %	Tolmus, %
Ra-226	1	99	
Co-60	88	11	1
Sr-90	< 1	97	2
Cs-137	< 1	59	40

100 000 tonnise aastase tootmisvõimsusega radioaktiivse metallisulatustehase rajamise maksumus on suurusjärgus 15-35 milj. eurot. Täisvõimsusel töötades on sellise tehase tasuvusaeg 2,5-4 aastat sõltuvalt tehase asukohast. Tuleb märkida, et tehase lähedus toorainele on transpordi kõrge maksumuse ning valmistoote suhteliselt madala hinna tõttu väga oluline [9].

Eestisse sellise tehase rajamine ei ole otstarbekas eelkõige järgmistel põhjustel:

- olemasolevaid ja tulevikus tekkivaid metallijäätmeid on väga vähe;
- sarnased tehased asuvad Eesti lähinaabruses - Rootsis ja Venemaal ning kesk-Euroopa vajadused rahuldab Saksamaa. Seega ei ole olemas potentsiaalset turgu/vajadust sellisele tehasele regioonis.

Eestil on perspektiivikas saata radioaktiivsed metallijäätmed ümbertöötlemiseks riiki, kus vastav võimekus on juba loodud (Rootsi, Venemaa või Saksamaa).

Sulatamise eelised:

1. suur jäätmemahu vähenemine – tagastatavad kontsentreeritud jäätmed on seotud kompakseteks kuubikuteks. Tagastatavate jäätmete kaal on kuni 5% algkaalust;
2. väike sekundaarsete jäätmete teke (ca 35 kg/1000 kg);
3. keeruliste geometriate ebaolulisus;

4. puudub vajadus jäätmete detailse iseloomustamise järele – Eestis olemasolevate jäätmete seisukohalt on see väga oluline kuna määramatused jäätmetes on suured (erinevad geomeetriad, saaste ebahütlane jaotumine pinnal, radionukliidide segud). Jäätmete käitlemisel sulatamise abil piisab Eestis üldistest hinnangutest ja pistelistest analüüsides;
5. võimalus lahendada komplekselt nii NORM kui ka tehislise radionukliididega saastunud metallijäätmete küsimus.

Sulatamise puudused:

1. suur investeering, mis pikas perspektiivis on siiski odavam kui radioaktiivse lagunemise ootamine kuni pind-eriaktiivsus on jõudnud alla  $0,4 \text{ Bq/cm}^2$ ;
2. kontsentreeritud jäätmete konditsioneerimise ja lõppladustamise vajadus.

### ***4.3 Pikaajaline vaheladustamine ning osaline ladustamine lõppladustuspaigas***

Kuna pika poolestusajaga (üle 30,2 aasta) nukliidide puhul (Eesti puhul NORM metallijäätmed) ei ole vaheladustamine rahvusvaheliste nõuete kohaselt aktsepteeritav [10], siis tuleb selles variandis käsitleda eraldi NORM saastega metallijäätmeid ja kuni 30,2 aastase poolestusajaga metallijäätmeid. Eesti oludes tähendab see NORM – jäätmete vaheladustamist jäätmekäitleja juures merekonteineris kuni lõppladustamispaiga rajamiseni, jäätmete pakendamist lõppladustamiseks sobilikku vormi ning seejärel juba lõppladustamist. Kuni 30,2 aastase poolestusajaga nukliidide puhul saab rakendada radioaktiivse lagunemise ootamise taktikat kui see on majanduslikult otstarbekas. Pikk vaheladustamine peab toimuma ilmastikukindlates oludes, et vältida osaliselt lahtise radioaktiivse saaste leket ning minimeerida konteinerite korrosiooni.

Pikaajaline vaheladustamine ja osaline lõppladustamine nõuab jäätmete küllaltki detailset iseloomustamist. Lõppladustamisele minevate jäätmete puhul tuleb tõendada, et radionukliidide kontsentratsioonid jäävad allapoole kehtestatud väärtusi (lõppladustamisele mineva pakendi maksimaalne lubatud aktiivsus). Sama kehtib ka jäätmete vabastamise kohta peale radioaktiivse lagunemise ootamisaja lõppu. Vastavalt praegu kehtivale keskkonnaministri 15. veebruari 2005. a. määrusele nr 10 “Kiirgustegevuses tekkinud radioaktiivsete ainete või radioaktiivsete ainetega saastunud esemete vabastamistasemed ning nende vabastamise, ringlusse võtmise ja taaskasutamise tingimused” ehk nn.

vabastamismäärusele [14] peavad vabastatavad jäätmed vastama määruse §5 tingimustele, mis tähendab kõigi vabastatavate jäätmete mõõtmist enne vabastamist. Tegemist on töömahukate mõõtmistega mis vajavad lisaks ka spetsiaalseid detektoreid (peenikeste torude sisepindade vabastamismõõtmiseks).

#### 4.4 Metallijäätmete kehtestatud piirmäärad ja nende praktilise rakendamise võimalused

Vastavalt vabastamismäärusele [14], peab vabastatava metalli eriaktiivsus ja pind-eriaktiivsus jääma alla vabastamismääruse lisas 2 esitatud vabastamistasemeid. Kokkuvõtlikult on võimalikud opereerimise tasemed toodud tabelis 6.

**Tabel 6; Radionukliidide vabastamis- ja väljaarvamistasemed**

Radionukliid	Üldine vabastamistase, Bq/g	Metalli ringlusse võtmine, Bq/g	Metalli ringlusse võtmine, Bq/cm <sup>2</sup>	Väljaarvamistase, Bq/g
Cs-137	1	1	100	10
Ra-226	0,01	1	0,1	10
Sr-90	1	10	10	100
Co-60	0,1	1	10	10

Märkused:

*Ringlusse võtmine – piirmäär kehtib ainult juhul, kui metalli käideldakse edaspidi ümbersulatamise teel;*

*Kuni väljaarvamistaseme saavutamiseni on tagatud, et elaniku oodatav efektiivdoos ei ületa 0,03 mSv/aastas ja kollektiivne efektiivdoos ei ületa 1 inimsiivertit aastas.*

*Kuni vabastamistaseme saavutamiseni on tagatud, et elaniku efektiivdoos ei ületa 0,01 mSv/aastas ja kollektiivne efektiivdoos ei ületa 1 inimsiivertit aastas.*

Vaheladustamisel olevatele NORM jäätmetele saab rakendada väljaarvamistaset kuna valdavalt ei ole tegemist kiirgustegevuse käigus saastunud materjaliga. Täpsustavalt tuleb siiski lisada, et hetkel on kõik NORM jäätmed ühes konteineris, sõltumata tekkimise viisist ehk väga keeruline on siin eristada millele rakendada väljaarvamistaset (pole tekkinud kiirgustegevuse käigus) ja millele vabastamistaset (on tekkinud kiirgustegevuse käigus). Vaheladustamisel olevatele muudele metallijäätmetele tuleb rakendada vabastamistaset, kuna valdavalt on tegemist kiirgustegevuse käigus saastunud materjalidega. Eestis tegelikkuses toimivat olukorda saab kirjeldada AS Kuusakoski näite abil. Ettevõtte sisene kord sätestab, et kõik sissetulevad koormad, mis ületavad doosikiiruse 0,3 µSv/h, tuleb eraldi sorteerida [19]. See on väga empiiriline, kuid samas ilmselt praktikas töötav lahendus. Sellega välistatakse

üldjuhul halvim ehk kinnise kiirgusallika tükeldamine purustajas. Usaldusväärseid üleminekuid maksimaalsele lubatavale eriaktiivsusele või pind-eriaktiivsusele ei ole võimalik selliste lähteandmetega teha, sest muutuvad suurused on nii esemete distants ioniseerivat kiirgust detekteerivast mõõteväravast /mõõteriistast kui ka varjestus (on/ei ole, kui on siis kui paks jne). AS-i A.L.A.R.A. 17-aastane kogemus on näidanud, et kokkuostjale on võimalik üle anda metalli, mille pind-eriaktiivsus ei ületa  $0,4 \text{ Bq/cm}^2$  ( $\beta+\gamma$  kiirgajad). Pind-eriaktiivsuse väärtus  $< 0,4 \text{ Bq/cm}^2$  kõikide jäätmetüüpide ja radionukliidide segude korral tagab, et doosihinnangud kinnitavad kiirgusohutuse tagamist [20, 21]. Väärtust  $0,4 \text{ Bq/cm}^2$  kasutati laialdaselt enne nukliidide põhise vabastamistasemete väljatöötamist. Nukliididepõhine lähenemine võimaldab vabastada rohkem materjale regulatiivse kontrolli alt ilma, et see põhjustaks täiendavat ohtu keskkonnale ning elanikele. Eestis praktikas tuleneb pind-eriaktiivsuse väärtuse  $0,4 \text{ Bq/cm}^2$  kasutamine AS A.L.A.R.A. sisekorraeskirjast [24, 25], millega defineeritakse „puhas“ ja „must“ materjal ilma spektromeetrilise analüüsi vajaduseta. Sellest tulenevalt puudub Eestis kogemus kas pind-eriaktiivsused üle  $0,4 \text{ Bq/cm}^2$  (näiteks vahemikus  $0,5-1 \text{ Bq/cm}^2$ ) läbiksid metallikokkuostjate ioniseerivat kiirgust detekteerivad mõõteväravad või mitte. AS A.L.A.R.A. poolt teostatud mõõtmised metallikokkuostjate poolt tagasi lükatud (kiirgusväravasse „kinni“ jäänud) metallijäätmetel on andnud pind-eriaktiivsuseks  $1-3 \text{ Bq/cm}^2$ . Praegu kasutatav piir  $0,4 \text{ Bq/cm}^2$  võib olla liiga „puhas“, kuid see töötab praktikas ning sama usaldusväärset alternatiivi sellele ei ole. Kokkuostjate konservatiivsus tuleneb nende tegutsemiskogemusest ning ioniseerivat kiirgust detekteeriva mõõtevärava nii tundlikuks reguleerimist põhjendatakse edaspidiste probleemide vältimisega metallisulatajate juures.

## **5 Lähiriikide praktika metallijäätmete käitlemisel**

### **5.1 Soome**

Kuna Soome olemasolevad tuumajaamad on käigus veel vähemalt 15-20 aastat siis lähitulevikus suuri dekomisjoneerimise projekte, mille käigus tekiks olulises koguses saastunud metallijäätmeid, ette näha ei ole. Tuumajaamade operaatorid on välja töötanud dekomisjoneerimise plaanid, mida regulaarselt uuendatakse. Reaktori kasutamise perioodil aktiveerib neutronikiirgus osad tuumajaama süsteemidest ja komponentidest - näiteks reaktorianum, reaktorianumas paiknevad komponendid jms. Aktiveeritud seadmete, süsteemide ja komponentide demonteerimine on dekomisjoneerimise kõige keerulisemaks ja

aeganõudvaks tööks. Loviisa tuumajaama dekomisjoneerimise plaanis näiteks vaadeldi erinevaid võimalusi tuumajaama suurte metallkomponentide lõppladustamiseks – kas ühes tükis või siis väiksemateks tükkideks lahti lõigatuna. Erinevate alternatiivide võrdlemisel otsustati Loviisas nn. ühe tükina ladustamise kasuks. See võimaldab hoida kokku aega ja minimiseerida kiirgusdoose töötajatele. Seega on Soome valinud teatud metalljätmete korral lõppladustamise.

Metalli sulatamise tehas riigis puudub ning tekkiv madalaktiivne pind-saastunud metall puhastatakse mehhaaniliselt või keemiliselt. Kuna tuumatööstus on kõrgelt arenenud, siis on erinevad jäätmekäitluse tehnoloogiad riigis olemas ning puhastamise käigus lisanduvate sekundaarsete radioaktiivsete jäätmete maht on marginaalne võrreldes jäätmete kogumahuga [17].

## **5.2 Norra**

Norras tekib enamus saastunud metallijätmeid naftapuurimisel. Torude sisepindadele sadenevad ajapikku looduslikud radionukliidid. Saastunud metalli määratlemine toimub eelkõige gamma kiirguse järgi portatiivse dosimeetriga [17]. Tekkinud sete eemaldatakse mehhaaniliselt torudest ja ladustatakse kivimikihtides maa sees. Ladustamisel on piirmääraks eriaktiivsus 10 Bq/g. Kui sete eriaktiivsus jääb alla selle, siis ei loeta seda radioaktiivseks jäätmeks ning see ei vaja eraldi ladustamist. Metallümbersulatusvõimalus riigis puudub.

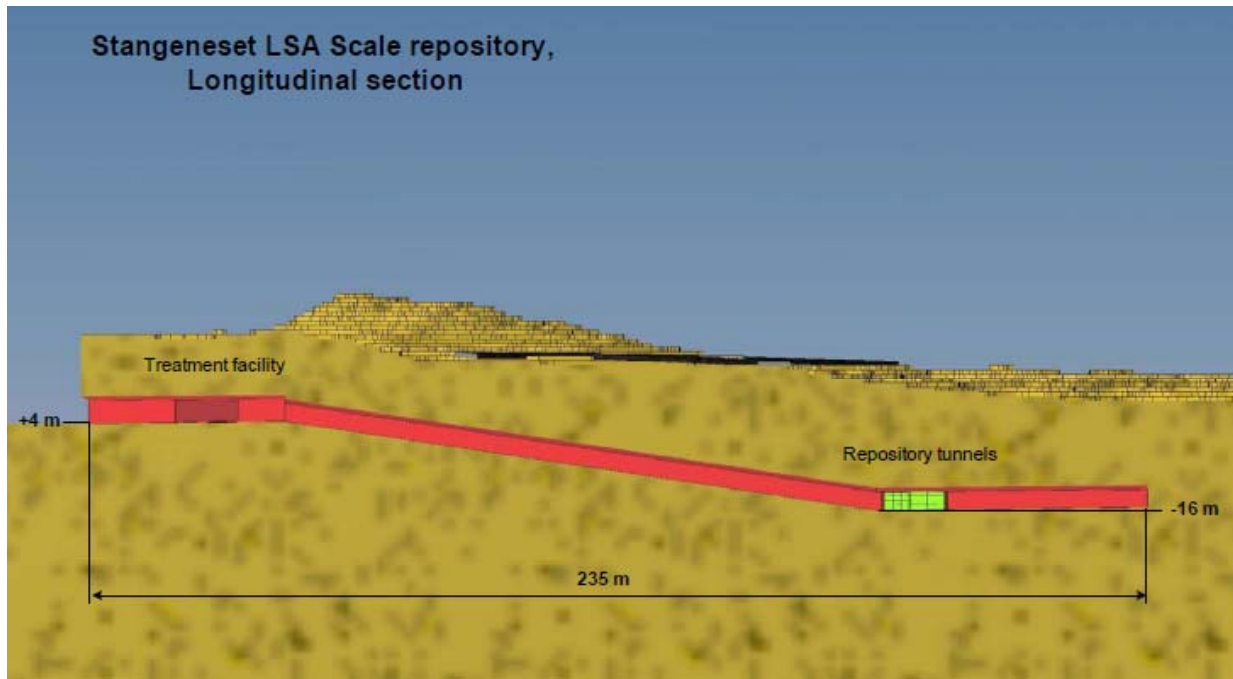
Norra naftatööstuses tekkivate looduslike radionukliididega saastunud materjalide lõppladustuskoha ehitamist alustati aastal 2006 ja 2008 alustas käitleja Wergeland-Halsvik AS selle opereerimist. Planeeritud mahutavuseks on 6300 tonni jäätmeid, kuid seda on võimalik suurendada vastavalt vajadusele. Lõppladustuskoha põhimõtteline skeem koos läbilõikega on toodud joonisel 1. Ladustatakse peamiselt väikese eriaktiivsusega saastunud materjale, saasteks on peamiselt kaltsiumi, baariumi ja sulfaatidega koos sadenenud raadium.

## **5.3 Rootsi**

Metallitööstuses on null-tolerants radioaktiivsetele materjalidele. Kulutused, mis on seotud radioaktiivse metalli käitlemisega, kannab jäätmete omanik. Kokkuostjad ja töötajad on varustatud mõõteriistade ja monitoridega, kuid kui radioaktiivne metall siiski jõuab juba käitlusprotsessi faasi, kus omaniku tuvastamine ei ole võimalik, siis on võimalik käitlejal

taotleda finantsabi Rootsi Kiirguskaitse Ametilt (RKA). RKA-le eraldab riik igal aastal 100 000 EUR (2009. aasta andmed) omanikuta allikate ja tuumatsükliga mitte seotud radioaktiivsete materjalide käitlemiseks

Joonis 1; Stangeneset käitluskoha läbilõige



Siseriiklikult on Rootsis probleemiks, et ainuke radioaktiivse metalli käitleja Studsvik Nuclear AB ei käitle siseriiklikke NORM jäätmeid, kuna nende edasine ladustamine ootab alles lahendust. Vastavalt Rootsi seadustele tuleb jäätmed, mille lõppladustamine on ebaselge, vaheladustada. Kuna NORM jäätmetele ladustamisele lõplikku lahendust ei ole ja Studsvik ei ole huvitatud jäätmete teadmata pikast hoiustamisest, siis selliseid jäätmeid kodumaistelt klientidelt vastu ei võeta. Välismaiseid NORM jäätmeid käideldakse, kuna kõik tekkivad kontsentreeritud jäätmed saadetakse omanikriiki tagasi. Alates 2011. aastast kehtib Rootsis seadus, mis lubab NORM jäätmeid kontsentratsiooniga kuni 10 Bq/g ladustada prügimäele eeldusel, et prügimäe konstruktsioon vastab vähemalt tavajäätmete prügilale [11, 17].

## **6 Metallijäätmete sulatamisvõimalused ja nõuded sissetulevatele materjalidele**

Kuna NORM – ja kuni 30,2 aastase poolestusajaga tehislake nukliididega saastunud metallijäätmete sulatamisprotsess on sarnane ja viiakse võimalusel läbi koos, siis järgnevalt käsitletakse mõlemaid jäätmetüüpe samuti koos. Käesolevas töös on võrreldud kahe

radioaktiivse metallitöötaja Studsvik Nuclear AB (Rootsi) ja Siempelkamp Nuklear- und Umwelttechnik GMBH (Saksamaa) nõudeid materjalidele ning samuti käitlemise ja transpordi hindu.

### **6.1 Studsvik Nuclear AB nõuded vastuvõetavatele metallijäätmetele**

Studsvik Nuclear AB on spetsialiseerunud radioaktiivsete jäätmete käitlemisele ning omab metallisulatustehaseid Rootsis, USA-s ja Suurbritannias. Ettevõtte omab ISO 9001 ja ISO 14001 sertifikaate.

Minimaalsed käitlemise kogused sõltuvalt metalli tüübist on järgmised:

- süsinikteras ja roostevaba teras – 5 tonni (üle 5 tonniste koguste puhul ei ole vaja metalli sorteerida erinevate teraseklasside järgi);
  - vask – 3 tonni;
  - alumiinium – 2 tonni;
  - plii – 2 tonni.
- } need metallid sulatatakse üksikute partiidena

Studsviki olulisemad nõuded käideldavatele jäätmetele on järgmised [4]:

- otse sulatamisele mineva vastuvõetava saastunud metalli füüsikalised mõõtmed ei tohi ületada 0,6 m (laius/diameeter) ja 1,2 m (pikkus). Torude puhul on pikkus 2 m (Paldiskis vaheladustamisel oleva materjali pikkus) veel aktsepteeritud. Neid mõõte ületavad jäätmed tuleb eelnevalt tükeldada. Kui materjali gabariidid on liiga suured, siis teostab tükeldamise sulataja lisatasu eest.
- metalli pind võib olla kaetud värvikihiga, mis eemaldatakse enne sulatamist. Zn sisaldava värvi olemasolul tuleb eelnevalt konsulteerida käitlejaga.
- jäätmed ei tohi sisaldada vedelikke, määreid, õli, aerosooli pudeleid, toksilisi või ohtlikke aineid, asbesti, galvaniseeritud metalli, põlevaid materjale, orgaanilisi aineid ja pliid.

Radioloogilised vastavusnäitajad on järgmised [4]:

- doosikiirus jäätmete pinnal ei tohi üldjuhul ületada 0,2 mSv/h. Mõned üksikud väikesed detailid võivad olla doosikiirusega kuni 0,5 mSv/h, kuid nendest tuleb eelnevalt käitlejat teavitada ning kooskõlastada;
- doosikiirus 1 m kaugusel jäätmete pinnast ei tohi ületada 0,1 mSv/h;

- vastuvõetavate jäätmete saastetasemed:
  - a) suurte pindade puhul kasutatakse saastetaseme ja materjali seinapaksuse suhet:

värvimata pindadel

$$\frac{\text{fikseeritud} + \text{fikseerimata.saaste.}(Bq/cm^2)}{\text{materjali.paksus.}(mm)} < 10$$

värvitud pindadel (üle 50% värvitud)

$$\frac{\text{fikseeritud} + \text{fikseerimata.saaste.}(Bq/cm^2)}{\text{materjali.paksus.}(mm)} < 15$$

- b) alfa isotoopide aktiivsus  $< 10 \text{ Bq/cm}^2$ ;
- c) uraani lagunemisrea isotoopide aktiivsus  $< 1 \text{ Bq/cm}^2$ .

Alfa isotoopide suurema aktiivsuse puhul ning seestpoolt saastunud torude puhul tuleb suhelda käitlejaga juhtumipõhiselt.

- kui eelmises punktis kirjeldatud valemid ei ole kohaldatavad (näiteks väikesed esemed vaatides), siis peab sulatamisele mineva materjali summaarne eriaktiivsus olema  $< 50 \text{ Bq/g}$  ( $\beta$ ,  $\gamma$  – kiirgajad, kui Co-60 on domineeriv nukliid) või  $< 100 \text{ Bq/g}$  ( $\alpha$  – kiirgajad).

Jäätmete saabumisel kontrollitakse dokumentatsiooni ja konteineri sisu vastavust dokumentatsioonile. Seejärel viiakse vajadusel läbi sobilike jäätmete gabariitide vähendamine. Peale jäätmete viimist sobilikesse mõõtmetesse toimub mehhaaniline saaste eemaldamine. Selleks kasutatakse torude puhul näiteks suruõhku ja avatud pindade puhul liivapritsi, survepesu jne. Mehaanilise puhastamise eesmärgiks on suurendada peale sulatamist vabastatava materjali hulka.

Sulatusprotsessis kasutatakse induktsioon ahju. Iga kliendi jäätmed käideldakse eraldi vältimaks erinevate klientide saaste segunemist. Protsessi lõpus valatakse sulametallist valuplokkid mõõtmetega 35 x 35 x 100 cm. Plokkide kaalud on sõltuvalt metalli tüübist järgmised:

- süsinikteras – 600-650 kg;
- alumiinium – 200-250 kg;
- plii – 800-850 kg.



Peale metalli käitlemist vabastatakse puhas metall tavakasutusse vastavalt Rootsis kehtestatud piirmääradele. Tekkinud aktiivne räbu üldjuhul purustatakse, et vähendada jäätmete mahtu. Purustatud räbu tihedus süsinikterase puhul on ca 1,5-1,8 g/cm<sup>3</sup>. Purustatud räbu superpressimine ei ole otstarbekas, kuna mahu kahanemine on minimaalne.

Tükeldamisel, puhastamisel ja sulatamisel tekkinud tolm kogutakse läbi ventilatsioonisüsteemi kokku ning ladustatakse 100 L vaatives ja saadetakse peale käitlemise lõppu kliendile tagasi kui sekundaarsed jäätmed. Ventilatsioonisüsteemi filtreid kliendile ei saadeta.

Tekkivad sekundaarsed jäätmed, mis kliendile tagasi saadetakse koosnevad järgmistest komponentidest:

- sorteerimisel eraldatud sulatamiseks mitte sobivad esemed;
- kile, puitalused, karbid ja muud pakkematerjalid;
- түкeldamisel ja puhastamisel tekkivad jäätmed;
- räbu;
- tolm ventilatsiooni filtritest;
- valuplokid mis ei ole sobilikud vabastamiseks.

Sekundaarsete jäätmete vaatidele (va. räbu) on võimalik kohaldada jäätmete superpressimist.

Jäätmete transpordil tuleb lähtuda ADR transpordi nõuetest. Eelistatud on 20 jalased merekonteinerid. Sõltuvalt jäätmete iseloomust ja aktiivsusest kasutatakse üldjuhul pakendi klasse IP-1, IP-2 või Type-A. Jäätmed võivad olla pakendatud otse konteinerisse või kõigepealt vaativesse ja seejärel konteineritesse. Jäätmete saatmise eest vastutab saatja. Eestist Rootsi on selleks AS A.L.A.R.A. ja Rootsist Eestisse Studsvik Nuclear AB.

Kui jäätmete eriaktiivsus ületab tabelis 7 antud väärtusi, siis tuleb esitada avaldus jäätmete riiki viimiseks Rootsi Kiirguskaitse büroole. AS A.L.A.R.A. poolt ette valmistatud avalduse peab esitama Keskkonnaameti kiirgusosakond [4].

**Tabel 7; Nukliidide lubatud eriaktiivsused**

Nukiid	Eriaktiivsus, Bq/g
Cs-137	< 10
Co-60	< 10
$\alpha$ - kiirgajad	< 1

## **6.2 Siempelkamp Nuklear- und Umwelttechnik GMBH nõuded vastuvõetavatele metallijäätmetele**

Siempelkamp on metallide sulatamisega tegelenud alates 1989. aastast. Ettevõtte on aastate jooksul sulatanud ca 25 000 tonni metalli. Siempelkampi nõuded on partii põhised. Partiiks loetakse 20 jalast merekonteinerit või mõnda muud kliendi pakendit. Eesti puhul tuleb seega 17 partiid (16 tehislise radioanukliididega saastunud ja 1 NORM saastunud metalliga).

- Materjali lubatud maksimaalne eriaktiivsus on 1000 Bq/g.
- Lõhustuvate isotoopide (U-233, U-235, Pu-239, Pu-241) kontsentratsioon ei tohi olla suurem kui 15 g/100 kg.
- H-3, C-14, Fe-55 ja Ni-63 summaarne eriaktiivsus ei tohi olla suurem kui 10 000 Bq/g.
- Erinevad materjalid sulatatakse erinevate partiidena. Koos sulatatakse maksimaalselt 2 metalli, millede sulamistemperatuuride erinevus on vähemalt 200 kraadi. Kui partii sisaldab materjale mida ei ole võimalik koos sulatada, siis viiakse eelnevalt läbi sorteerimine, mille kulud kompenseerib materjali saatja.
- Jäätmete maksimaalsed mõõdud võivad olla 0,5x0,5x1,5 m. Jäätmed peavad olema kuivad ja vabad muudest ainetest. Vajadusel teostab käitleja eelnevalt materjalide sorteerimise ning sulatamiseks mitte sobivad materjalid saadetakse kliendile tagasi koos šlakiga. Materjal ei tohi sisaldada puitu, sünteetikat, kilet, kummi, määrded, roostet ja teisi orgaanilisi ühendeid üle 1% (kaalu järgi).
- Materjalid ei tohi sisaldada lõhkeaineid, vett, õli ja seest õõnsaid esemeid (aerosooli pudelid jne).
- Plii peab olema kindlasti eraldatud muust metallist, sest koos tavametalliga sulatamisel võib ta kahjustada sulatusahju mille remondi kulud peab kompenseerima materjali saatja.

Ahjust tulnud sulametall valatakse 1 tonnisteks kangideks. Kliendile saadetakse tagasi filtritolm, aktiivne šlakk, pühkmed, mittevastav materjal, pakkematerjal jne. ehk sisuliselt kõik mis ei sobi vabastamiseks. Enne sulatamist toimub materjali mehaaniline puhastamine, et suurendada vabastatava materjali kogust peale sulatamist [18].

### **6.3 Kokkuvõte**

Eestis olemasolevad metallijäätmed vastavad üldiselt oma parameetritelt ja aktiivsusest nii Studsviki kui ka Siempelkampi jäätmete vastuvõtu tingimustele.

Studsviki puhul on ainuke otsene mittevastavus tükeldatud torude maksimaalne pikkus, mis Eestis on 2 m kuid Studsviku uutes tingimustes kuni 1,2 m. Tingimuste täpsustamise käigus selgus, et torude puhul on ka pikkus 2 m lubatud ja täiendav tükeldamine ei ole vajalik. Eraldi tuleb kooskõlastada  $\alpha$ -aktiivsete materjalide pind-eriaktiivsus, mis on Eestis oleval materjalil kohati kõrgem kui Studsvikis lubatud ( $10\text{--}15\text{ Bq/cm}^2$  vs  $10\text{ Bq/cm}^2$ ).  $\beta$  ja  $\gamma$  aktiivsete kiirgajate tase on vaheladustamisel olevatel jäätmetel (mõõtmiste põhjal)  $0,02\text{--}3,6\text{ Bq/g}$ , mis jääb oluliselt alla lubatavale ( $< 50\text{ Bq/g}$ ).

Siempelkampi puhul jääb läbirääkimiste küsimuseks ainult torude pikkus, mida halvimal juhul tuleb Eestis eelnevalt vähendada. Kuna metallijäätmete lubatud ja Eesti jäätmete hinnangulise eriaktiivsuse vahe on 20 kordne Eesti jäätmete kasuks, siis on vaja tõenäoliselt vähe analüüse tõendamaks, et tarnitava materjali eriaktiivsused jäävad oluliselt alla lubatavate kontsentratsioonide.

## **7 Looduslike ja tehisklike radionukliide sisaldavate metallijäätmete käitlemise majandusanalüüs**

Majandusanalüüsis käsitletakse alternatiividena järgmiseid metallijäätmete käitlusmeetodeid:

- sulatamine;
- metallijäätmete pikaajaline vaheladustamine ja osaline lõppladustamine.

Alljärgnevalt on toodud nende meetodite rakendamise kaasnivad kulud, nende intervallid ja võimalikud rahastusallikad.

### **7.1 Sulatamise majanduslik analüüs**

#### **7.1.1 Studsvik Nuclear AB (Rootsi)**

Jäätmete käitlemise hinnakalkulatsioonil tuleb arvestada, et roostevaba (RV) teras ja süsinikteras käideldakse koos ning saadav lõpptulemus on süsinikterase kvaliteediga. Kuna plii ja alumiiniumi kogused on sedavõrd väikesed, siis hinnaarvutustes on nende hind

võrdsustatud süsinikterase hinnaga. Lisaks tehakse analüüsis eeldus, et jäätmete sulatamine toimub 2018. aastal. Metalljäätmete sulatamise hind Rootsis on 3,5 €/kg. NORM saastunud metallijäätmete ja alla 30,2 aastaste poolestusajaga nukliididega saastunud metallijäätmete summaarne kogukaal on ca 191 tonni. Protsessi käigus puhastatakse ca 95% materjalist mida on võimalik tingimusteta taaskasutada, seega Eestisse saadetakse tagasi hinnanguliselt 10 tonni metalli. Eesti ja Rootsi vahel konteiner laevaliini ei ole ja seetõttu tuleb merekonteinerites olevad jäätmed transportida treileritel. Jäätmekonteineri transpordi hind Rootsi on 2000 eurot. Rootsi tuleb saata 17 konteinerit, seega maksumus on hinnanguliselt 34 000 € ja tagasi Eestisse tuleb 1 konteiner, ehk siis 2000 €.

Arvestuslikult tekib jäätmete sulatamisel 180 tonni puhastatud metalli mida on võimalik tingimusteta taaskasutada. Sellest 170 tonni on mustmetalli ja 10 tonni vaske. 01.10.2012 seisuga on mustametalli kokkuostuhind AS Kuusakoski hinnakirja järgi 200 eur/tonn ja vasel 4500 eur/tonn.

Kuna Eestis olevad metallijäätmed on detailselt iseloomustamata, siis on vajalikud mõlema riigi jäätmekäitlejate vastastikused konsultatsioonid ja külastused, et anda Studsviki esindajatele maksimaalne ülevaade olemasolevatest jäätmetest. Nii on võimalik minimiseerida võimalikke määramatusest tingitud mittevastavusi. Mõistlik on arvestada ka mõningate laboratoorsete analüüsidega veendumaks, et materjal on vastav tehtud eeldustele. Kogukulu konsultatsioonidele ja analüüsile ei tohiks ületada 10 000 eur.

Hinnanguline kogukulu jäätmete sulatamisega seotud tegevustele kujuneb seega järgmiselt:

$$A_{kogu} = (B_{sul} \times B_{kogus}) + (N_{kont} \times H_{kont}) + D + E - (R_{must} \times R_{kogus}) - (F_{vaske} \times F_{kogus}) =$$

$$= (3,5 \times 191000) + (2000 \times 17) + 2000 + 10000 - (170 \times 200) - (10 \times 4500) = 635\,500 \text{ eur}$$

kus,

$B_{sul}$  – sulatamise hind (eur/kg);

$B_{kogus}$  – sulatava metalli kogus (kg);

$N_{kont}$  – transporditavate konteinerite arv Paldiski – Studsvik;

$H_{kont}$  – konteineri transpordi hind Paldiski – Studsvik;

$D$  – jäätmete transpordi hind Studsvik – Paldiski;

$E$  – konsultatsioonide ja analüüsile kulud;

$R_{must}$  – puhastatud mustametalli hind (eur/tonn);

$R_{kogus}$  - puhastatud mustametalli kogus (tonn);

$F_{must}$  – puhastatud vase hind (eur/tonn);

$F_{kogus}$  - puhastatud vase kogus (tonn).

### **7.1.2 Siempelkamp Nuklear- und Umwelttechnik GMBH (Saksamaa)**

Jäätmete käitlemise hinnakalkulatsioonil tuleb sarnaselt Studsvikiga arvestada, et roostevaba (RV) teras ja süsinikteras käideldakse koos ning saadav lõpptulemus on süsinikterase kvaliteediga. Kuna plii ja alumiiniumi kogused on sedavõrd väikesed, siis hinnaarvutustes on nende hind võrdsustatud süsinikterase hinnaga. Metalljäätmete sulatamise hind Saksamaal on 5,0 €/kg. NORM metallijäätmete ja alla 30,2 aastaste poolestusajaga isotoopidega saastunud metallijäätmete summaarne kogukaal on ca 191 tonni.

Protsessi käigus puhastatakse ca 95% materjalist mida on võimalik tingimusteta taaskasutada e Eestisse saadetakse tagasi hinnanguliselt 10 tonni metalli. Eesti ja Saksamaa vahel on võimalik kasutada konteinerlaeva. Jäätmete transpordi hind Saksamaale on 1700 €/konteiner ja seega on kulub 17 konteineri veoks Saksamaale hinnanguliselt 28 900€ ja tagasi Eestisse (1 konteiner) 1700 €.

Kuna Eestis olevad metallijäätmed on detailselt iseloomustamata, siis on vajalikud mõlema riigi jäätmekäitlejate vastastikused konsultatsioonid ja külastused, et anda sulatajale maksimaalne ülevaade olemasolevatest jäätmetest. Nii on võimalik minimiseerida võimalikke määramatusest tingitud mittevastavusi. Mõistlik on arvestada ka mõne laboratoorse analüüsiga veendumaks, et materjal vastab tehtud eeldustele. Kogukulu konsultatsioonidele ja analüüsidele ei tohiks ületada 10 000 eur.

Arvestuslikult tekib jäätmete sulatamisel 180 tonni puhastatud metalli mida on võimalik tingimusteta taaskasutada. Sellest 170 tonni on mustmetalli ja 10 tonni vaske. 01.10.2012 seisuga on mustametalli kokkuostuhind AS Kuusakoski hinnakirja järgi 200 €/tonn ja vasel 4500 €/tonn.

Hinnanguline kogukulu jäätmete sulatamisega seotud tegevustele kujuneb seega järgmiselt:

$$\begin{aligned} A_{kogu} &= (B_{sul} \times B_{kogus}) + (N_{kont} \times H_{kont}) + D + E - (R_{must} \times R_{kogus}) - (F_{vaske} \times F_{kogus}) = \\ &= (5,0 \times 191000) + (1700 \times 17) + 1700 + 10000 - (170 \times 200) - (10 \times 4500) = 916\,600 \text{ €} \end{aligned}$$

kus,

$B_{sul}$  – sulatamise hind (€/kg);

$B_{kogus}$  – sulatava metalli kogus (kg);

$N_{kont}$  – transporditavate konteinerite arv Paldiski – Krefeld;

$H_{kont}$  – konteineri transpordi hind Paldiski – Krefeld;

$D$  – jäätmete transpordi hind Krefeld – Paldiski;

$E$  – konsultatsioonide ja analüüside kulud;

$R_{must}$  – puhastatud mustametalli hind (€/tonn);

$R_{kogus}$  – puhastatud mustametalli kogus (tonn);

$F_{must}$  – puhastatud vase hind (€/tonn);

$F_{kogus}$  – puhastatud vase kogus (tonn).

### **7.1.3 Sekundaarsete jäätmete ja metalljäätmete vahe- ja lõppladustamisega seotud kulud**

Siempelkapis ja Studsvikis tekkiva räbu ja sekundaarsete jäätmete maht ja füüsikaline iseloom on väga sarnased. Vastavalt sellele on sarnane ka jäätmete konditsioneerimine ning lõppladustamiseks ettevalmistamine. Selle tõttu saab Siempelkapis ja Studsvikus tekkivate ja Eestile tagastatavate jäätmete käitlemise ja lõppladustamise võrdsustada. Arvestada tuleb, et ca 5% jäätmetest tagastatakse rübuna ning hinnanguliselt tekib 35 kg sekundaarseid jäätmeid 1000 kg metalli töötlemisel. Eestis olemasoleva metallkoguste juures (191 000 kg) saadetakse peale sulatamist hinnanguliselt tagasi  $191000 \times 0,05 = 9550$  kg räbu ja  $\frac{35 \times 191000}{1000} = 6685$  kg sekundaarseid jäätmeid.

Mahule ülemikul kasutatakse valemit  $V = \frac{m}{q}$  kus,

$V$  - maht,  $cm^3$ ;

$m$  – mass, g;

$q$  – tihedus,  $g/cm^3$  (räbu tihedus 1,5-1,8  $g/cm^3$ , jäätmete mahu arvutamisel on lähenetud konservatiivselt ja kasutatud tihedust 1,5  $g/cm^3$ , mille tulmusena saadakse maksimaalne võimalik tagastatavate jäätmete kogus).

Eestisse saadetakse lõppladustamiseks tagasi hinnanguliselt järgmised mahud jäätmeid:

- Räbu tekib  $\sim 6,37 m^3$ , mis mahub 32 metallvaati mahuga 200 l.

$$V_{räbu} = \frac{9550000}{1,5} = 6366667 cm^3$$

- Sekundaarseid jäätmeid tekib  $\sim 4,46 \text{ m}^3$ , mis mahub 23 metallvaati mahuga 200 l.

$$V_{sek} = \frac{6685000}{1,5} = 4456667 \text{ cm}^3$$

Lõppladustamisele minevad jäätmed tuleb eelnevalt konditsioneerida ja seejärel fikseerida matriitsis, et vältida radionukliidide väljaleostumist keskkonda. Majanduslikult kõige ökonoomsem ja Eestis enim kasutamist leidev matriits on betoon. Jäätmete betoneerimise eeliseks on lihtne ja käepärane tehnoloogiline protsess ning väga hea hinna/kvaliteedi suhe. Mõningaseks puuduseks loetakse jäätmete mahu kasvu. Sulatusjääkide lõppladustuseks sobilikuks viisiks konditsioneerimist loetakse käesolevas töös betoneerimist praeguses vaheladustuspaigas kasutatavasse  $1 \text{ m}^3$  betoonkonteinerisse (välismõõduga  $1,2 \times 1,2 \times 1,2 \text{ m}$ ). Räbu betoneeritakse vahekorras 1/3 (1 osa räbu, 3 osa betooni) [22]. Sellega suureneb jäätmete maht 4 kordseks ehk lõppladustamiseks sobiliku fikseeritud räbu maht on  $4 \times 6,37 \text{ m}^3 = 25,48 \text{ m}^3$ . Sekundaarsetest jäätmetest on oodata eelkõige filtritolmu ja mehhaanilisest puhastamisest tekkinud peenikeste jäätmete (tolm, roostepuru, liiv, torusete) tagastamist. Sellised jäätmed fikseeritakse betoonis vahekorras 1/5 [22]. Sellega suureneb jäätmete maht 6 kordseks ehk lõppladustamiseks sobilike sekundaarsete jäätmete mahuks  $6 \times 4,46 \text{ m}^3 = 26,76 \text{ m}^3$ .

Lisaks peenikesele tolmu tuleb arvestada ka mõningate suuremate jäätmete tagastamisega, mille kogust on raske ette ennustada (eelkõige sulatamiseks mitesobilikud jäätmed), kuna olemasolevad jäätmed ei sisalda muid materjale peale metalli. Mõistlik on arvestada kuni  $2 \text{ m}^3$  (10 vaati mahuga 200 L) jäätmete tagastamisega, mis on vaja lõppladustamiseks käidelda betoneerimise teel. Hinnanguliselt on betoneerimisel võimalik betooni ja jäätmete suhe kuni 1/5 [22] mis tähendab, et betoneerimisel suureneb jäätmete maht 6 kordseks. Lõppladustamiseks sobilike jäätmete maht on seega  $6 \times 2,0 \text{ m}^3 = 12 \text{ m}^3$ . Selliseid jäätmeid käsitletakse kui lõppladustamist vajavaid metallijäätmeid.

Kokku vajavad lõppladustamist  $12 \text{ m}^3$  metallijäätmeid ja  $52,3 \text{ m}^3$  ( $25,5 + 26,8$ ) sekundaarseid jäätmeid.

Tuleb märkida, et pakendatud jäätmete tugevuse ja terviklikkuse tagab eelkõige konteiner. Jäätmete fikseerimise seisukohalt on betoneerimine oluline eelkõige filtritolmu ja räbule.

Sulatamiseks mittesobilike metallijäätmete fikseerimine betoonis ei ole radionukliidide lekke seisukohalt hädavajalik vaid pigem lisakaitse.

Eelnevat töötlemist vajavate lõppladustatavate sekundaarsete jäätmete hind kvalifitseeritud kiirguseksperdi Merle Lusti koostatud ja AS A.L.A.R.A. poolt täiendatud hinnametoodika [6] kohaselt on 16 693 €/m<sup>3</sup>. Nimetatud kulu detailsem jaotus on järgmine:

1. Rajatis (hoone ja selles asuv vaheladustuspaik, konteinerid ning hoone ja vaheladustuspaiga dekomisjoneerimine tulevikus) – 8 971 €/m<sup>3</sup>.
2. Lõppladustamine (lõppladustamisega seotud käitlus ja lõppladustuspaiga rajamine) – 2 900 €/m<sup>3</sup>.
3. Kasutatavad seadmed (kiirgusmõõteriistad) – 297 €/m<sup>3</sup>.
4. Tööjõukulu (jäätmete vastuvõtmisel ja käitlemisel) – 4 525 €/m<sup>3</sup>.

Lisaks tuleb kuni lõppladustamispaiga rajamiseni nimetatud jäätmeid samuti vaheladustada. Vaheladustamise kulu aastas on 240,12 €/m<sup>3</sup> ja nimetatud kulu hõlmab jooksvaid kulusid seoses rajatisega (maamaks), seadmete kasutamisega (jäätmete käitlemiseks ja transpordiks), tööjõuga (rajatise hooldus), üldkuludega (haldus) ja ettenägematute kuludega (10% ülejäänud kuludest). Vaheladustamise kestuseks on hinnanguliselt 34 aastat ja nii kujuneb eelnevat töötlemist vajavate lõppladustatavate jäätmete hinnaks :

$16693 + (34 \times 240,12) = 24857 \text{ €/m}^3$  Seega kulub 52,3 m<sup>3</sup> sekundaarsete jäätmete lõppladustamiseks  $52,3 \times 24857 = 1300025$  eurot ehk ca 1,30 milj. eurot.

Metallijäätmete (243 m<sup>3</sup>) vaheladustamise kulu enne sulatamist on  $243 \times 240,12 = 58349$  €/aasta ning tekkivate sekundaarsete jäätmete ning tagastatud metallijäätmete kulu peale sulatamist ja käitlemist ( $65 \text{ m}^3$ )  $65 \times 240,12 = 15608$  €/aasta.

Arvestades riigi majanduslikke võimalusi ning kõikide osapoolte (jäätmekäitleja, ministriumid, sulataja) kooskõlastusi on tehtud eeldus, et jäätmed sulatatakse 2018 aastal. Lisaks on eeldatud, et jäätmete lõppladustuspaika on võimalik jäätmeid paigutada alates aastast 2053. Eelnevat töötlemist vajavate lõppladustatavate metallijäätmete hind A.L.A.R.A. hinnametoodika [6] kohaselt on 10 812 €/m<sup>3</sup>. Nimetatud kulu detailsem jaotus on järgmine:

1. Rajatis (hoone rajamose maksumus, konteinerid ning hoone dekomisjoneerimine tulevikus) – 4 213 €/m<sup>3</sup>;



2. Lõppladustamine (lõppladustamisega seotud käitlus ja lõppladustuspaiga rajamine) – 2 900 €/m<sup>3</sup>;
3. Kasutatavad seadmed (kiirgusmööteriistad) – 172 €/m<sup>3</sup>;
4. Tööjõukulu (jätmete vastuvõtmisel ja käitlemisel) – 3 527 €/m<sup>3</sup>.

Seega kulub 12 m<sup>3</sup> metallijätmete lõppladustamiseks  $12 \times 10812 = 129744$  eurot ehk ca 0,13 milj. eurot.

Kokku vajavad lõppladustamist 64,3 m<sup>3</sup> jäätmeid, millest 52,3 m<sup>3</sup> on sekundaarsed jäätmed ja 12 m<sup>3</sup> tagastatud metallijätmed. Nende jätmete hinnanguline vaheladustamise kulu koos lõppladustamisega on:

$52,3 \times [16693 + (34 \times 240,12)] + 12 \times [10812 + (34 \times 240,12)] + (6 \times 243 \times 240,12) = 1870376$  eurot ehk 1,87 milj. eurot eeldusel, et sulatamine viiakse läbi 2018 aastal.

#### **7.1.4 Sulatamise majandusliku analüüsi kokkuvõte**

Metalli ümbersulatamise hinda võrreldi kahes ettevõttes: Studsvik Nuclear AB (Rootsi) ja Siempelkamp Nuklear- und Umwelttechnik GMBH (Saksamaa).

Käitlemise kogukulu Rootsis oli 635 500 € ja Saksamaal 916 600 € samade koguste juures. Saksamaal käitlemine on 44% kallim, mis tuleneb eelkõige käitlemise hinnast, mis Rootsis on 3,5 €/kg ja Saksamaal 5,0 €/kg. Transpordi hind Saksamaale on odavam, kuna on võimalik kasutada konteinerliini. Rootsi konteinerliini ei käi ning jätmete vedu tuleb teostada treileritega.

Kuna tagastatavate sekundaarsete jätmete ja räbu maht ning füüsikaline iseloom on sarnased, siis lõppladustamiseks vajaliku jätmete konditsioneerimise ja radionukliidide fikseerimise kogused ning hind on mõlema käitleja puhul sama. Hinnanguliselt tekib sulatamisel ca 11 m<sup>3</sup> sekundaarseid jäätmeid ja räbu ning eelneval sorteerimisel käitleja juures leitakse veel kuni 2 m<sup>3</sup> sellist metalli, mis ei vasta käitleja nõuetele ning mis seetõttu tagastatakse jätmete omanikule. Nende jätmete lõppladustamiseks sobivasse vormi viimisel (betoneerimisel) kasvab jätmete maht 5 korda ca 65 m<sup>3</sup>-ni. Lõppladustamise maksumus 65 m<sup>3</sup> jätmetele on ca 1,87 miljonit eurot eeldusel, et sulatamine viiakse läbi 2018 aastal. Summaarselt kulub Rootsis jätmete käitlemisele ja tagastatavate jätmete lõppladustamisele 2,51 miljonit eurot

ja Saksamaal 2,79 miljonit eurot. Hinnad ei sisalda käibemaksu ega võimalikku inflatsiooni. Inflatsiooni arvestamisel sobib kasutada Rahandusministeeriumi koostatavaid regulaarseid majandusprognoose, kus on toodud ka tarbijahinnaindeks järgnevateks aastateks (www.fin.ee).

## **7.2 Metallijäätmete pikaajalise vaheladustamise ja osalise lõppladustamise majanduslik analüüs**

NORM metallijäätmete puhul ei ole vaheladustamine otstarbekas, kuna tegemist on pikaajaliste jäätmetega. Sellised jäätmed on igavesed ja kuuluvad ladustamisele lõppladustuspaigas, mida tuleb arvestada ka majanduslikus analüüsis. Lõppladustatavate jäätmete konditsioneerimisest ja matriitsis fikseerimist on juba käsitletud punktis 7.1.1.2. Olulisemad lähtekohad hinnakalkulatsiooniks on veelkord järgnevalt välja toodud:

- jäätmed paigutatakse betoonkonteinerisse ning fikseeritakse betooniseguga;
- konteineri sisemõõdud on 1,0x1,0x1,0 m (1 m<sup>3</sup>) ja välismõõdud 1,2x1,2x1,2 m (1,728 m<sup>3</sup>).

NORM jäätmete puhul tuleb arvestada, et eelkõige on tegemist torude ja ventiilidega. Tulenevalt konteineri mõõtmetest peab nende pikkus olema maksimaalselt 1 meeter. Kuna torud ja eriti ventiilid on mahukad esemed, siis ei ole võimalik kasutada konteineri mahtu maksimaalselt efektiivselt. Vältimaks betoneerimise järgseid tühje õõnsusi konteineris tuleb torud ja ventiilid osaliselt betoneerida püstiselt, et betoon need täidaks. Hinnanguliselt on betoneerimisel võimalik betooni ja jäätmete suhe kuni 1/5 [22]. Eesti olemasolevate NORM jäätmete neto kogus on 8 m<sup>3</sup>, mis peale pakendamist suureneb 6 kordseks ehk 48 m<sup>3</sup>-ni. Eelnevat töötlemist vajavate lõppladustatavate jäätmete hind AS A.L.A.R.A. poolt täiendatud hinnametoodika [6] kohaselt on 10812 €/m<sup>3</sup>. Nimetatud kulu detailsem jaotus on järgmine:

1. Rajatis (hoone rajamise maksumus, konteinerid ning hoone dekomisjoneerimine tulevikus) – 4 213 €/m<sup>3</sup>;
2. Lõppladustamine (lõppladustamisega seotud käitlus ja lõppladustuspaiga rajamine) – 2 900 €/m<sup>3</sup>;
3. Kasutatavad seadmed (kiirgusmõõteriistad) – 172 €/m<sup>3</sup>;
4. Tööjõukulu (jäätmete vastuvõtmisel ja käitlemisel) – 3 527 €/m<sup>3</sup>.

Lisaks tuleb kuni lõppladustamispaiga rajamiseni nimetatud jäätmeid samuti vaheladustada. Vaheladustamise kulu aastas on 240,12 €/m<sup>3</sup> ja nimetatud kulu hõlmab jooksvaid kulusid seoses rajatisega (maamaks), seadmete kasutamisega (jäätmete käitlemiseks ja transpordiks),

tööjõuga (rajatise hooldus), üldkuludega (haldus) ja ettenägematute kuludega (10% ülejäänud kuludest). NORM jäätmeid hoitakse praegusel kujul hinnanguliselt kuni 2048. aastani ning seejärel viiakse läbi nende käitlemine, mille tulemusel suureneb jäätmete maht 8 m<sup>3</sup>-lt 48 m<sup>3</sup>-ni ehk 40 m<sup>3</sup> võrra. Seega on NORM jäätmeid vaja vaheladustada 40. aastat (8 m<sup>3</sup>) ja 5. aastat (lisandunud 40 m<sup>3</sup>) ning NORM jäätmete lõppladustamise kogukulu  $K_{NORM}$  on:

$K_{NORM} = 8 \times (10812 + 40 \times 240,12) + 40 \times (10812 + 5 \times 240,12) = 643839$  eurot ehk ca 0,65 miljonit eurot eeldusel, et NORM jäätmed lõppladustatakse 40 aasta pärast (aastal 2053).

Kuni 30,2 aastase poolestusajaga jäätmete puhul võib ootamise taktika olla õigustatud kui see on majanduslikult otstarbekas.

Eesti radioaktiivsete jäätmete käitleja AS-i A.L.A.R.A. kogemus metallijäätmete utiliseerimisel näitab, et garanteeritult aktsepteerivad metallikokkuostjad vanametalli juhul kui jäätmete pind-eriaktiivsus ei ületa 0,4 Bq/cm<sup>2</sup>. Sellest lähtuvalt on saastetase 0,4 Bq/cm<sup>2</sup> valitud radioaktiivse lagunemise ootamise lõpp-punktiks.

Olemasolevate kuni 30,2 aastase poolestusajaga metallijäätmete maht on 235 m<sup>3</sup> ja keskmine saastetase 0,6-40 Bq/cm<sup>2</sup>. Arvutamisel võetakse jäätmete keskmiseks saastetasemeks saastetaseme aritmeetiline keskmine 20 Bq/cm<sup>2</sup>. Domineerivaks ja kõige pikema elueaga nukliidiks on Cs-137 poolestusajaga 30,17 aastat. Konservatiivselt lähenedes tuleb leida jäätmete ladustamise aeg vaheladustuspaigas lähtudes eeldusest, et Cs-137-ga saastunud metall jõuaks radioaktiivselt laguneda 20 Bq/cm<sup>2</sup>-lt 0,4 Bq/cm<sup>2</sup>-ni. Kasutades vabavarana saadavat programmi RadProCalculator saadi selleks kuluvaks ajaks 170 aastat.

Kuna praegu ei hoita vahelaustuspaiga piiratud suuruse tõttu metallijäätmeid vaheladustuspaigas vaid seda ümbritseval kontrollalal, siis on eelnevat töötlemist vajavate vaheladustatavate metallijäätmete ladustamise hind AS A.L.A.R.A. hinnamethodika [6] kohaselt kuni uue vaheladustuspaiga rajamiseni 10 077 €/m<sup>3</sup>. Nimetatud kulu detailsem jaotus on järgmine:

1. Rajatis (hoone rajamise maksumus, konteinerid ning hoone dekomisjoneerimine tulevikus) – 4 213 €/m<sup>3</sup>;
1. Kasutatavad seadmed (kiirgusmõõteriistad) – 172 €/m<sup>3</sup>;
2. Tööjõukulu (jäätmete vastuvõtmisel, käitlemisel ja vabastamisel) – 5 692 €/m<sup>3</sup>.

Kulude summeerimisel tuleb arvestada ka vaheladustamise jooksvate kuludega 240,12 €/m<sup>3</sup> aastas. Nimetatud kulu hõlmab jooksvaid kulusid seoses rajatise (maamaks), seadmete kasutamisega (jäätmete käitlemiseks ja transpordiks), tööjõuga (rajatise hooldus), üldkuludega (haldus) ja ettenägematute kuludega (10% ülejäänud kuludest).

Täiendavalt tuleb arvestada, et 170 aasta jooksul ehitatakse 2 uut vahehoidlat ning lammutatakse 2 amortiseerunud hoonet. Kuna tegemist on väga pika vaheladustamise ajaga, siis on uute vaheladustuspaikade ehitamisel mõistlik need rajada sedavõrd suured, et kõik jäätmed (sh metallijäätmed) asuksid vaheladustuspaigas. Vastavalt AS A.L.A.R.A. hinnametoodikale [6] on sellisel juhul kulud rajatisele (hoone+vaheladustuspaik) järgmised:

1. Hoone ja vaheladustuspaiga rajamine – 5481 €/m<sup>3</sup>;

2. Amortiseerunud hoone ja vaheladustuspaiga dekomisjoneerimine tulevikus – 1405 €/m<sup>3</sup>;

Seega kujuneb metallijäätmete pikaajalise vahehoiustamise hinnaks:  $235 \times [10077 + (170 \times 240,12) + 2 \times 5481 + 2 \times 1406] = 15197920$  € e ca 15,2 milj. eurot.

Hind ei sisalda käibemaksu ega võimalikku inflatsiooni. Inflatsiooni arvestamisel sobib kasutada Rahandusministeeriumi koostatavaid regulaarseid majandusprognoose, kus on toodud ka tarbijahinnaindeks järgnevateks aastateks ([www.fin.ee](http://www.fin.ee)).

Eelpooltoodud arvutuste tulemusena võib öelda, et selliste metallijäätmete radioaktiivse lagunemise ootamine ei ole majanduslikult põhjendatud.

Kokkuvõtlikult on osalise lõppladustamise ja pikaajalise vaheladustamise maksumus:

$643839 + 15197920 = 15841759$  € e ca 15,84 milj. eurot.

## **8 Radionukliididega saastunud metalli käitlemise kulud**

### ***8.1 Kulude intervall ja võimalikud rahastamise allikad***

Olemasolevad vaheladustatud metallijäätmed on tekkinud suuremas osas viimase 18 aasta jooksul. Sellesse aega on jäänud Paldiski tuumaobjekti üleandmine Eestile, selle osaline dekomisjoneerimine ning Tammiku jäätmeoidla likvideerimine. Nii Paldiski objekti kui Tammiku jäätmeoidla dekomisjoneerimine on olnud suured ja töömahukad ettevõtmised, mille tulemusena on tekkinud arvestatavad kogused radioaktiivseid jäätmeid, sh. saastunud metallijäätmeid.

Nii metalli sulatamise kui ka vahe- ja lõpphoiustamise kulude intervalli hindamisel on lähtutud järgmistest eeldustest:

- lõppladustuspaik rajatakse perioodil 2050-2052;

- uus vaheladustuspaik rajatakse perioodil 2054-2055;
- olemasolev vaheladustuspaik ja hoone dekomisjoneeritakse ajavahemikul 2056-2060;
- ei käsitleta reaktoriseksioonidest tulevate jäätmete käitlemist ega koguseid, kuid arvestatakse ajaliselt reaktoriseksioonide demonteerimisega (eriti vahe- ja lõppladustamisel).

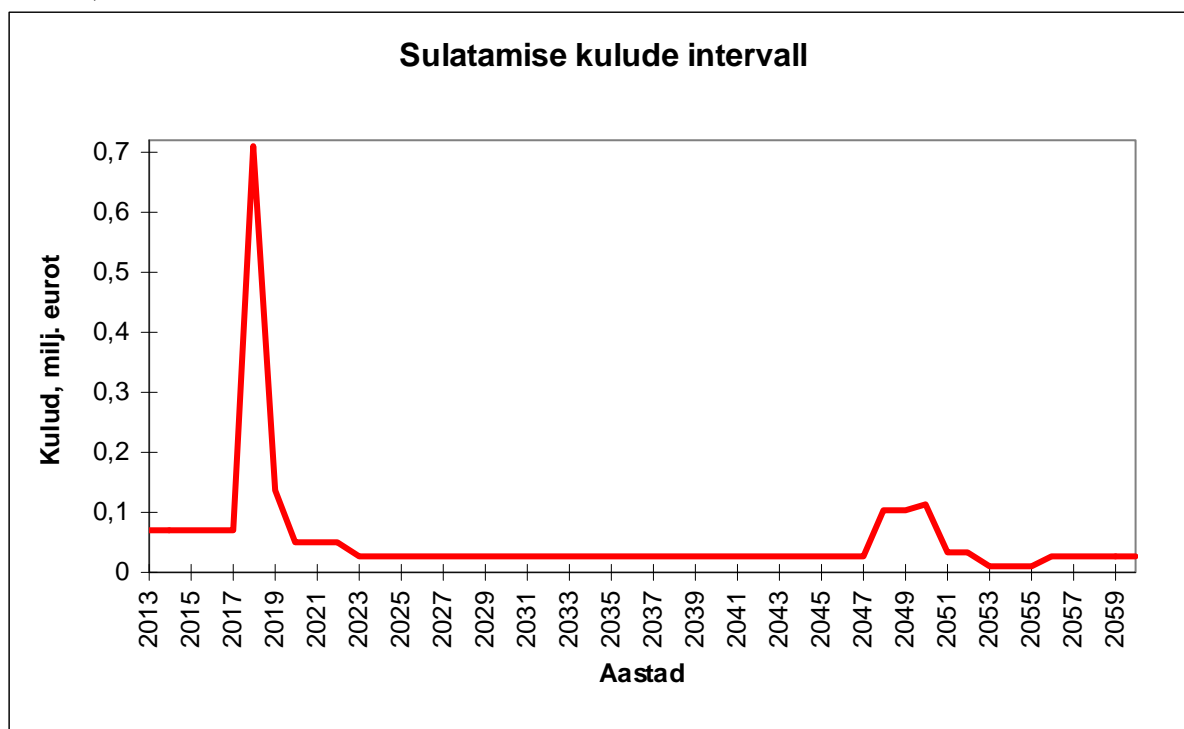
## 8.2 Sulatamine

Tehtud eeldused:

- sulatamine viiakse läbi 2018 aastal;
- sekundarsete jäätmete betoneerimine toimub aastatel 2020-2022;
- metallijäätmete puhul on tegemist väga madalaktiivsete jäätmetega. Hinnanguliselt ei ole kontsentreeritud jäätmete summaarne aktiivsus suurem kui 1 GBq.

Kulude intervall sulatamisel on esitatud alljärgneval joonisel 2

Joonis 2; Kulude intervall sulatamisel



Aastatel 2013-2017 on tegemist stabiilsete iga-aastaste kuludega ca 69 000 €/aastas. Need kulud on seotud hoone ja vahehoidla aluse maaga (maamaks), seadmete kasutamisega (jäätmete käitlemiseks ja transpordiks), tööjõuga (hoone ja vahehoidla hooldus), üldkuludega (haldus) ja ettenägematute kuludega (10% ülejäänud kuludest).

2018. aastal viiakse läbi sulatamine Rootsis ning sellega kaasneb kulu ca 640 000 eurot.

Aaastatel 2019-2052 on vaheladustamise püsikulu ca 26 000 €/aastas (enne sulatamist 69 000 €/aastas) kuna sulatamise käigus vaheladustamist vajavate jäätmete maht väheneb.

Kuna aastatel 2020-2022 toimub tagastatud sekundaarsete jäätmete esmane käitlemine, mille kulu on keskmiselt 24 000 €/aastas, siis tuleb 2019. aastal hankida vaheladustamise konteinerid summaarse maksumusega ca 110 000 €. Koos käitlemisega tuleb teha ka väiksemaid kulutusi kiirgusmõõteriistade soetamiseks (ca 6 500 €/aastas) ning täiendavaid kulutusi tööjõule jäätmete vastuvõtul ja käitlemisel.

Ajavahemiku 2023-2048 on stabiilne periood ning tehtavad kulutused on seotud eelkõige olemasoleva vaheladustuspaiga ning hoone haldamisega. Järgmine suurem kulutuste periood algab 2048. aastal. Aastatel 2048-2050 viiakse läbi tagastatud sekundaarsete jäätmete käitlemine lõppladustamiseks sobilikku vormi (selleks ajaks on selgunud lõppladustatavate pakendite vastavusnäitajad) ning aastatel 2050-2052 toimub lõppladustuspaiga rajamine. Nende tegevuste tulemusena on summaarne kulu perioodil 2048-2050 105 000 €/aastas ning 2051-2052 aastal ca 34 000 €/aastas.

Lõpphoidla ja vastavate jäätmepakendite valmimisega kaob kulu jäätmete vaheladustamisele alates aastast 2053. Seetõttu on perioodil 2053-2055 ainukesed kulud seotud olemasoleva hoone ja seal asuva vahehoidlaga 10 000 €/aastas.

Olemasoleva hoone ja vahehoidla dekomisjoneerimine ning lammutamine algab hinnanguliselt 2056. aastal ja kestab 2060. aastani. Kuna nendes ehitistes hoiti ka metallijäätmeid, siis on nende jäätmete kulu osakaal dekomisjoneerimise ja lammutamise juures ca 27 000 €/aastas.

Peale seda võib öelda, et märkimisväärsed kulud seoses praegu olemasolevate metallijäätmetega on tehtud. Tõenäoliselt jääb lõppladustuspaika katma keskkonnaseire programm, mille kuludest teatud osa on seotud ka metallijäätmetega.

Metalli sulatamisel tuleb kõige suuremad kulutused teha lähitulevikus (2018) ning need on seotud eelkõige jäätmete sulatamisega, transpordiga, sekundaarsete jäätmete käitlemise ja vaheladustuskonteinerite hankimisega. Teine suurem kulude periood tuleb ajavahemikul 2048-2052, kui tuleb olemasolevad sekundaarsed jäätmed pakendada lõppladustamiseks sobilikku pakendisse ning rajada lõppladustuspaik. Kolmas suurem kulu on perioodil 2056-2060, kui toimub olemasoleva vahehoidla ja hoone dekomisjoneerimine ning lammutamine (ca 27 000 €/aastas).

Lühiajalised suured kulud, mille kordumine tunduvalt väiksemas mahus toimub tüki aja pärast (sulatamine ja transport, konteinerite hankimine, lõppladustamise pakendite

valmistamine/hankimine, olemasoleva hoone ja vahehoidla dekomisjoneerimine) oleks mõistlik rahastada SA Keskkonnainvesteeringute Keskusest (KIK, [www.kik.ee](http://www.kik.ee)).

Väiksemad ja stabiilsed kulud on seotud eelkõige jäätmete vaheladustamisega, kiirgusmõõteriistadega ja tööjõukuludega. Kuna tehtavad kulutused on regulaarsed ja suhteliselt väikesed, siis oleks need otstarbekas rahastada riigieelarvest jäätmete vaheladustuspaiga haldajale (AS A.L.A.R.A.) nagu see on toimunud seni.

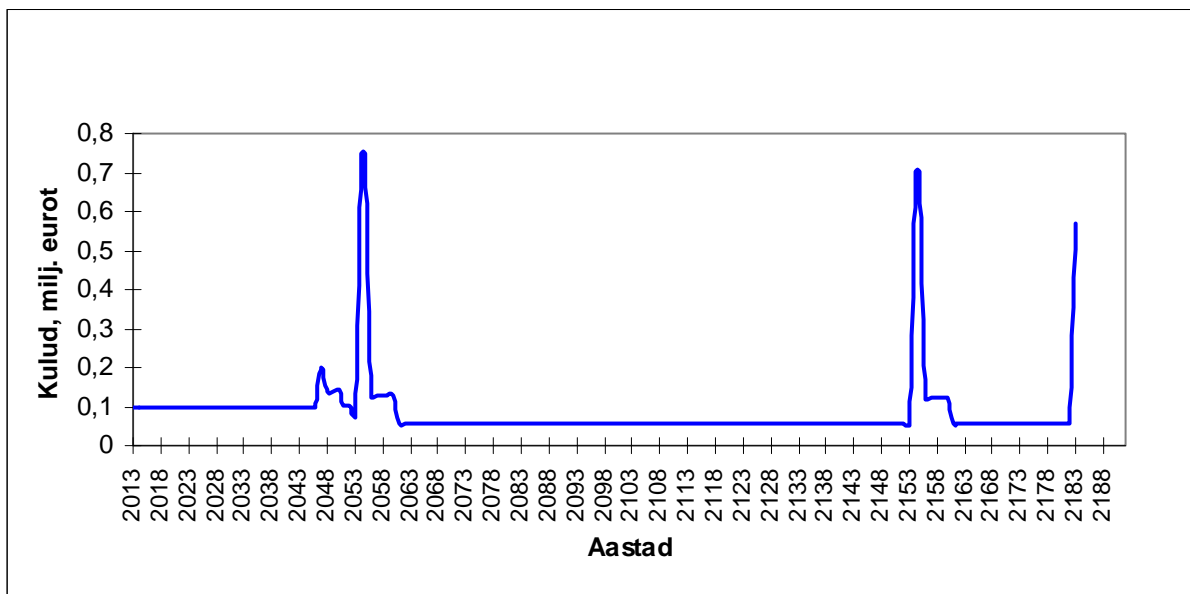
### 8.3 Pikaajaline vaheladustamine ja osaline lõpphoiustamine

Tehtud eeldused:

- arvutustes on lähtutud 2012. aastal olemasolevast jäätmekogusest;
- NORM jäätmete lõpp-pakendid valmistatakse aastatel 2048-2050.

Kulude intervall vaheladustamisel ja osalisel lõpphoiustamisel on esitatud alljärgneval joonisel 3.

Joonis 3; Kulude intervall vaheladustamise ja osalisel lõppladustamisel



Aastatel 2013-2046 on tegemist stabiilsete iga-aastaste kuludega ca 100 000 €/aastas. Need kulud on seotud olemasoleva hoone rajamise maksumusega, hoone aluse maaga (maamaks), seadmete kasutamisega (jäätmete käitlemiseks ja transpordiks), tööjõuga (hoone hooldus), üldkuludega (haldus) ja ettenägematute kuludega (10% ülejäänud kuludest).

Aastatel 2048-2050 toimub NORM jäätmete käitus lõppladustamiseks ja Selle tõttu on metallijäätmetega seotud kulud 2048-2050 aastal ca 140 000 €/aastas. Aastatel 2050-52

toimub ka lõppladustuspaiga rajamine, kuid metallijäätmete osa on selle maksumuses suhteliselt väike (6100€/aasta) kuna ka jäätmete maht on väike (48 m<sup>3</sup>).

Aastatel 2054-55 toimub uue hoone ja vaheladustuspaiga ehitus ning sellest moodustab metallijäätmete kulu osa ca 645 000 €/aastas.

Vana hoone dekomisjoneerimine ja lammutus toimub aastatel 2056-2060 ning sellest moodustab metallijäätmete kulu osa ca 45 000 €/aastas.

Sellele järgneb stabiilne periood aastatel 2061-2153, kus vaheladustamisega seotud kulud on iga aasta ca 60 000 €.

Aastatel 2154-55 toimub järjekordse uue hoone ja vaheladustuspaiga ehitus ning sellest moodustab metallijäätmete kulu osa ca 645 000 €/aastas. Sarnaselt kordub ka vana hoone ja vahehoidla dekomisjoneerimise ja lammutamise etapp aastatel 2156-2160 maksumusega ca 66 000 €/aastas.

Aastaks 2183 peaks kõik olemasolevad metallijäätmed olema radioaktiivselt lagunened allapoole saastetaset 0,4 Bq/cm<sup>2</sup>. Enne jäätmete vabastamist tuleb viia läbi veel vabastamismõõtmised kogumaksumusega metallijäätmetele ca 580 000 €. Peale jäätmete vabastamist on märkimisväärsed kulud jäätmetega lõppenud.

Suuremate kulutuste (konteinerite hankimine, NORM jäätmete käitlus, lõppladustuspaiga rajamine, hoone ja vaheladustuspaiga rajamine ning lammutamine) puhul on mõistlik neid rahastada KIK-st. Väiksemad ja stabiilsed iga-aastaste kuludega perioodid oleks otstarbekas rahastada riigieelarvest jäätmete vaheladustuspaiga haldajale (AS A.L.A.R.A.) nagu see on toimunud seni.

#### ***8.4 Majanduslike analüüside, kulude intervallide ning rahastamisvõimaluste võrdlus ja järeldused***

Sulatamise puhul on majanduslikust aspektist kõige otstarbekam selle läbiviimine Rootsis. Tehnoloogiliselt on Saksamaa ja Rootsi võrreldavad ning ka vastuvõetavate jäätmete nõuete osas on tingimused võrreldavad. Võrreldavate tingimuste korral on mõistlik eelistada odavamat ehk Rootsi pakkumist. Kokkuvõtlikult võib öelda, et metallijäätmete ümbersulatamise läheb Eestile maksma ca 640 000 eurot ning koos tagastatavate jäätmete käitlemise ja ladustamisega ligikaudu 2,51 miljoni eurot eeldusel, et sulatamine viiakse läbi 2018 aastal.

Alternatiivse võimalusena käsitletud pikaajalise vaheladustamise kulu koos osalise jäätmete lõppladustamisega on riigile ca 15,84 milj. eur ehk üle 6 korra suurem kui sulatamise puhul.



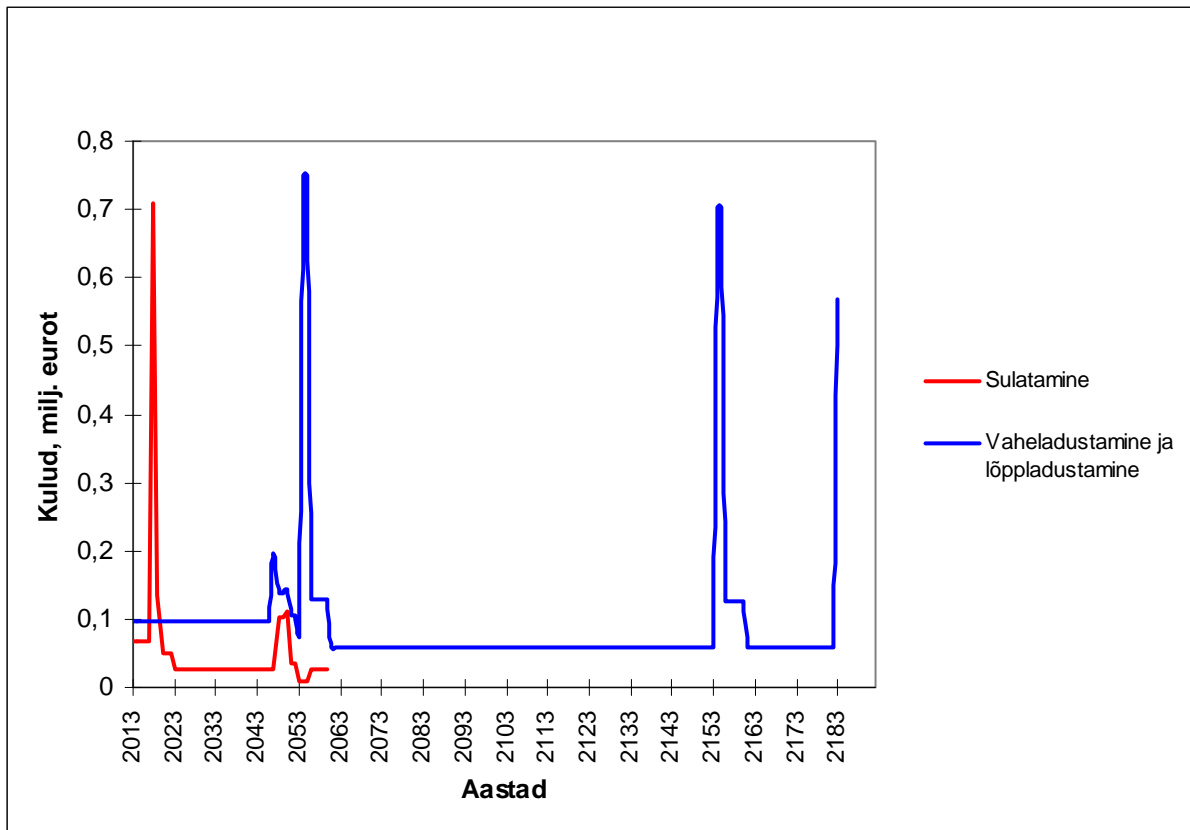
Kokkuvõttes tuleb tõdeda, et kuigi metalli ümbersulatamine on lühiajaliselt suhtelisel kulukas teenus, on see pikas perspektiivis siiski üle 6 korra odavam kui pikk vaheladustamine ja osaline lõppladustamine.

Valides tulevikus metallijäätmete käitlusviisiks sulatamise on mõistlik jätkata praeguse süsteemiga, kus metallikokkuostjate ioniseerivat kiirgust detekteerivasse mõõteväravasse “kinni” jäänud metall vaheladustatakse Paldiskis jäätmekäitleja AS A.L.A.R.A. juures. Sulatamiseks piisava koguse olemasolul teostatakse jäätmete käitlemine. Optimaalseks sulatamisele minevaks koguseks võiks olla üks merekonteiner metalli. Ühe konteineri käitlemine ei nõua riigilt suurt kulu.

Vaadates tulevasi jäätmevoogusid kuni Paldiski reaktorisektsioonide dekomisjoneerimiseni, mis peaks algama perioodil 2040–2050, tekib selle aja jooksul maksimaalselt 1 merekonteiner metalli (mustmetall + RV metall + värviline metall) mahuga 30 m<sup>3</sup> ja kaaluga 20 tonni.

Võrreldes sulatamise ja pikaajalise ladustamise kulude intervalle (joonis 4) tuleb märkida, et sulatamise puhul tuleb suurimad investeeringud teha perioodil 2018-2022, kui tuleb viia läbi jäätmete sulatamine ning sekundaarsete jäätmete käitlemine vaheladustamiseks sobilikku vormi. Mõningane kulude kasv ootab ees ka perioodidel 2048-2052 (lõppladestuspaiga ehitus, jäätmete paigutamine lõppladestamiseks sobilikku konteinerisse, amortiseerunud hoidla dekomisjoneerimine ja lammutus) kuid need kulud on siiski ca 3 korda madalamad kui perioodil 2018-2022.

Joonis 4; Sulatamise ja vaheladustamise kulude jaotus



Vaheladustamisel ja osalise lõpladustamisel on kuni aastani 2047 stabiilne periood, kus kulud jäävad samale tasemele, mis nad on käesoleval ajal. Kuid aastatel 2048-2060 tuleb teha väga suuri investeeringuid (rahaliste vahendite vajadus sellel perioodil on kokku ca 3,0 milj eurot ja seda ilma rektoriseksioonide dekomisjoneerimise kuludeta). Sellel perioodil toimub NORM jäätmete lõpladustamiseks sobilike konteinerite hankimine, NORM jäätmete käitlemine, uue hoone ja vaheladustuspaiga rajamine, lõpladustuspaiga rajamine ning amortiseerunud hoone ja vaheladustuspaiga dekomisjoneerimine ning lammutamine.

Kuna hoone elueaks on hinnatud 100 aastat siis tuleb aastatel 2154-2160 veelkord teha kulutused uue hoone ja vaheladustuspaiga rajamiseks ning vanade rajatiste dekomisjoneerimiseks/lammutamiseks.

Väga oluline on märkida, et metallijäätmed ladustakse praegu kõik Paldiski objekti peahoones, mis on rekonstrueeritud eelkõige eesmärgiga säilitada reaktorisarkofaagide terviklikkus järgnevat 50. aastat. Seetõttu jäävad peahoone hooldamise, seal asuvate radioaktiivsete jäätmete ladustamise jms. kulud samaks, hoolimata metallijäätmete mahu vähendamisest 2018. aastal. Sulatamisega kaasnev otsene majanduslik efekt ilmneb alles peale rektoriseksioonide demonteerimist perioodil 2040-2050 ning uue hoone ja seal asuva vaheladustuspaiga rajamist, mille rajamise ja hooldamise kulud arvestaksid ainult

radioaktiivsete jäätmete mahtusid ja vooge tulevikus. Seega ei ole majanduslikust vaatenurgast jäätmete sulatamine 2018 aastal möödapääsmatu, kuna tuntav majanduslik kasu tuleb esile alles peale uue hoone ja vahehoidla rajamist (väiksem maht=väiksem kulu) aastatel 2054-55. Metallijäätmete sulatamist lähitulevikus toetab aga asjaolu, et seoses elukalliduse tõusuga jäätmete sulatamiskulud pidevalt kasvavad. Tegemist on energiamahuka protsessiga ning selle hind tulevikus kasvab tõenäoliselt oluliselt. Lisaks on mõistlik riigil investeringuid hajutada. Sellesse perioodi (2048-62) jäävad niigi väga suured investeringud (lisaks eelpool nimetatud tegvustele ka reaktorisektsioonide dekomisjoneerimine) ning kõigi nende tegevuste samaaegseks läbiviimiseks ei pruugi riigil jätkuda majanduslikku võimekust ja inimressursi. Kuna järgmise 5-10 aasta jooksul ei ole ette näha väga mahukaid investeringuid teistesse radioaktiivsete jäätmete käitlusprojektidesse, siis oleks sellel perioodil mõistlik sulatamine läbi viia.

Lähtudes kulude tekkepõhjustest ning intervallidest on mõlema alternatiivi puhul mõistlik vaheladustamisega seotud regulaarsed kulud finantseerida riigieelarvest vaheladustuspaiga haldajale (AS A.L.A.R.A.). Ühekordsed suured kulud on otstarbekas finantseerida võimalusel KIK-st.

Ette ennustatavate suurte metallijäätmete koguste tekkel (reaktorisektsioonide dekomisjoneerimine, Molycorp Silmet, võimalik tuumaelektrijaam) käsitletakse neid juhtumipõhiselt.

## 9 Kokkuvõte

1. Eestis on radioaktiivseid metallijäätmeid kokku 191 tonni ja 243 m<sup>3</sup>;
2. Neist otsest lõppladustamist vajavad 8 tonni (algse mahuga 8 m<sup>3</sup>) jäätmeid (NORM saastunud metall);
3. Paldiski reaktorisektsioonide dekomisjoneerimisel tekib perioodil 2040-2050 hinnanguliselt 760-2070 m<sup>3</sup> jäätmeid, millest valdava enamuse moodustavad metallijäätmed;
4. Kiirgustegevuse käigus tekkinud metallijäätmete utiliseerimist finantseerib jäätmete tekitaja. Jäätmed tekivad tõenäoliselt ühekordselt ja korraga (näiteks tehase tootmisliinide vahetus vms.) ning nendega on võimalik tegeleda juhtumipõhiselt;
5. AS-s Molycorp Silmet tekib 20-30 aasta perspektiivis hinnanguliselt 100-200 tonni metallijäätmeid. Teistelt ettevõtetelt/asutusetelt vastuvõetavate metallijäätmete ennustatav voog tulevikus on ca 0,5 m<sup>3</sup> jäätmeid aastas;
6. Eestis olemasolevad metallijäätmed vastavad enamuses metallisulatajate poolt etteantud tingimustele;
7. Käesolevas töös vaadeldi alternatiividena järgmiseid metallijäätmete käitlemise ja ladustamise võimalusi:
  - 1) ladustamine tavajäätmete prügilas;
  - 2) ümbersulatamine;
  - 3) pikaajaline vaheladustamine ning osaline ladustamine lõppladustuspaigas.Esimese alternatiivi edasisest käitlemisest loobuti kuna Eesti keskkonnapoliitika eelistab taaskasutust;
8. Sulatamise puhul vajab lõppladustamist 65 m<sup>3</sup> ning pikaajalise vaheladustamise puhul 48 m<sup>3</sup> konditsioneeritud jäätmeid;
9. Radioaktiivsete jäätmete käitlemisel tuleb kõik jäätmed iseloomustada ning enne vabastamist viia läbi vabastamismõõtmised;
10. Kiirgusohutuse ja ühiskondliku aktsepteeringu seisukohalt on sulatamise ja pikaajalise kontrollitud tingimustes vaheladustamise puhul tegemist võrväärsete alternatiividega;
11. Sulatamisel ei ole jäätmetes olevad suured määratud takistuseks, kuna aktiivsuste tasemed on kordades madalamad kui sulatajate poolt maksimaalsed lubatud kontsentratsioonid;
12. Majanduslikust aspektist on ümbersulatamine üle 6 korra soodsam kui vaheladustamine. Sulatamise kogukulu koos tagastatavate jäätmete käitlemise ja

- lõppladustamisega on 2,51 miljonit eurot ja vaheladustamine kogukulu koos osalise lõppladustamisega vastavalt 15,84 miljonit eurot;
13. Võrreldes Rootsi ja Saksamaa käitlejaid on Rootsi käitleja Studsvik Nuklear AB hind 44% soodsam. Metallijäätmete ümbertöötlemise kogukulu seal on 640 000 € võrreldes Saksa käitleja 920 000 €-ga;
  14. Sulatamisel tuleb viimased märkimisväärsed kulutused teha hinnanguliselt 2060. aastal ning vaheladustamisel 2183. aastal;
  15. Radioaktiivsete jäätmete käitlemise peamine eesmärk on minimeerida jäätmetest tulevat ohtu inimesele ja keskkonnale selliselt, et ei tekiks liigseid kohustusi järgmistele põlvkondadele. Sellest lähtudes on sulatamine ainuõige lahendus, kuna alternatiivsel metallijäätmete pikaajalisel vaheladustamisel tuleb teha suuri investeeringuid veel ca 130 aasta pärast.
  16. Sulatamisest saadava jäätmete mahu vähendamisega kaasnev majanduslik efekt avaldub peale uue hoone ja vaheladustuspaiga rajamist ning amortiseerunud ehitiste lammutamist, kuna olemasolevad ehitised on mõeldud eelkõige reaktorisektsioonide terviklikkuse säilitamiseks 50 aasta jooksul;
  17. Riigi kulude ühtlustamise huvides on mõistlik sulatamine läbi viia lähitulevikus (5-10 aasta perspektiivis), kuna sellel perioodil ei ole ette näha väga mahukaid investeeringuid teistesse radioaktiivsete jäätmete käitlusprojektidesse. Pikemaajaline viivitamine jäätmete käitlemisega viib tõenäoliselt olukorrani, kus samaaegselt on vajalik teha kulutusi käitlemisele, reaktorisektsioonide dekomisjoneerimiseks ja lõppladustuspaiga rajamiseks. Hinnanguliselt aastatel 2040-2060 suureneb erinevate projektide rahavajadus hüppeliselt (lõppladustuspaiga rajamine, sekundaarsete jäätmete käitlus, reaktorisektsioonide dekomisjoneerimine, uue hoone ja vaheladustuspaiga rajamine ning vanade ehitiste dekomisjoneerimine/lammutamine) ning kõigi nende tegevuste samaaegseks läbiviimiseks ei pruugi riigil jätkuda piisavalt rahalisi vahendeid ja inimressurssi;
  18. Lähtudes kulude tekkepõhjustest ning intervallidest on nii sulatamise kui vahe- ja lõppladustamise puhul mõistlik regulaarsed ja stabiilsed suhteliselt väikesed kulud finantseerida riigieelarvest vaheladustuspaiga haldajale (AS A.L.A.R.A.) nagu see on toimunud seni. Ühekordsed suured kulud on otstarbekas finantseerida võimalusel KIK-st.
  19. Tulevikus võiks sulatamise välbaks olla 1 merekonteiner metalli mahuga 30 m<sup>3</sup>, et vältida ühekordseid suuri kulutusi. Arvestades ennustatavaid metallijäätmete vooge

tulevikus oleks sulatamise vält 60 aastat ning selle hinnanguline maksumus koos sekundaarsete jäätmete käitlemisega ca 0,4 milj. eurot.

20. Sobivaim lahendus Paldiskis vaheladustamisel olevatele metallijäätmetele on sulatamine. Seda toetavad nii ühiskondlik aktsepteering kui majanduslik analüüs.

## **10 Kasutatud kirjandus:**

1. „Looduslikke radionukliide sisaldavate materjalide puhastamine ning hinnang selle efektiivsusele”, AS A.L.A.R.A., 2010;
2. „Looduslikke radionukliide sisaldavate materjalide puhastamine ning hinnang selle efektiivsusele. Lisa: looduslikke radionukliide sisaldavate materjalide puhastamine ning hinnang selle efektiivsusele lähtudes radionukliidide väljaarvamistasemetest”, AS A.L.A.R.A., 2011;
3. Vabariigi Valitsuse määrus 30.04.2004. a. nr 163 „Väljaarvamistasemete tuletamise alused ja radionukliidide väljaarvamistasemed”;
4. Metallic scrap Acceptance Criteria - Studsvik report, Bo Wiremdal, Studsvik, 2009;
5. “Looduslikke radionukliide sisaldavate ja looduslike radionukliididega saastunud materjalide käitlemise valikud - eksperthinnang”, M. Lust, 2010;
6. Radioaktiivsete jäätmete käitlemise maksumuse hinnang, M. Lust, 2011; täiendatud AS A.L.A.R.A., 2012;
7. Recycling für den Klimaschutz – Results of the Study by Fraunhofer UMSICHT and INTRSEROH, 2007;
8. Melting of Radioactively Contaminated Metallic Residues – Siempelkamp, 2011;
9. Innovative technology of recycling metallic radioactive waste – Gudim, Golubev, 2007;
10. Policies and Strategies for Radioactive Waste Management – IAEA, 2009;
11. NSFS Conference Reykjavik - A-L. Söderman, E. Brewitz, B-M. Rolen, 2011;
12. Safe Long-Term Storage of the Paldiski Sarcophagi & Related Dismantling Activities – AGRIFOR Consult, 2004;
13. Evaluation of Management Routes for the Paldiski Sarcophagi – TECHNICATOME – BNFL, 2001;
14. Keskkonnaministri määrus nr 10, “Kiirgustegevuses tekkinud radioaktiivsete ainete või radioaktiivsete ainetega saastunud esemete vabastamistasemed ning nende vabastamise, ringlusse võtmise ja taaskasutamise tingimused”, 15.02.2005;
15. “Radioaktiivse jäätmevoo hindamise metoodika väljatöötamine”, J. Valge, 2009;
16. “Radioaktiivsete jäätmevoogude hindamine”, M. Lust, 2010.
17. “Current practice for clearance in Nordic Countries”, K. Broden, E. Ruokola, M. Øhlenschläerer, T. Johnsdottir, T. Sekse, Å. Wiklund, 2000;

18. Specification for acceptance and general conditions for melting radioactively as well as other residues being usable for melting at Siempelkamp Nukleartechnik GMBH, 4-th Edition, 2008;
19. Töötlemisjuhend “Vastuvõetava ja väljasaadetava materjali radioaktiivsuse mõõtmine osakondades, kus puuduvad monitorid”, AS Kuusakoski, 2011;
20. Radiological Protection Criteria for the Recycling of Materials from the Dismantling of Nuclear Installations. Radiation Protection No 43, 1988
21. Guidance on Clearance from Regulatory Control of Radioactive Materials - Final Report of the Nordic Nuclear Research Project KAN – 1.1, E. Ruohola, 1994;
22. Технологические и организационные аспекты обращения с радиоактивными отходами, IAEA, 2005;
23. Radioaaktiivsete jäätmete käitlemise tegevuskava , M. Lust, 2010;
24. AS A.L.A.R.A. sise-eeskiri KO-01 “Kiirgusohutuse üldeeskiri” 2011;
25. AS A.L.A.R.A. sise-eeskiri KO-03 “Eeskiri esemete ja materjalide väljaviimiseks ning kaitseriietuse kasutamiseks kontrollaladel” 2011.