

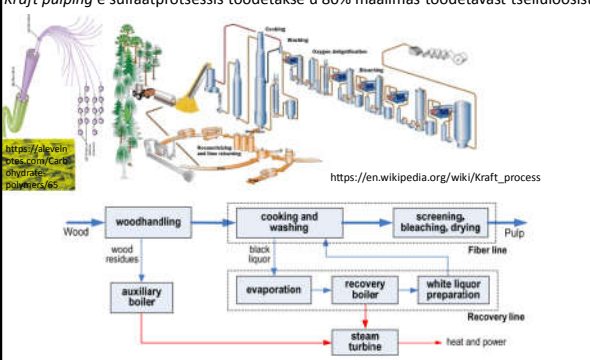
## Puidurafineerimistehase mõju keskkonnale ja inimesele tuleb põhjalikult hinnata

Virve Sõber      Kuno Kasak  
Kati Orru        
Hans Orru      

 Eesti Teaduste Akadeemia seminar Eesti puidukeemia perspektiivid, 27.06.2017 Tallinn

### Kuidas tselluloosi toodetakse?

*Kraft pulping* e sulfaatprotsessis toodetakse u 80% maailmas toodetavast tselluloosist



https://en.wikipedia.org/wiki/Kraft\_process

**Figure 1.** Overview of a kraft pulping process. Hamaguchi et al. 2012. Energies

### Ülevaade

- Mis on keskkonnamõju?
- Tselluloositootmine: mida ta keskkonnast võtab ja mida sinna heidab?
- Peamised keskkonnamõjud:
  - vesi
  - mets
  - õhk
  - transport
  - tahked jäätmed
  - inimene ja tervis
  - inimene ja ühiskond
- Vajalikud uuringud keskkonnamõjude hindamiseks

### Reostusallikad tselluloosi- ja paberitootmises

**Table 1.** Pollution sources in producing pulp and paper (adapted from Hynninen, 1998)

Main input	Process step	Pollutants
Raw material (wood)	Wood preparation	Solid wastes Wastewater
Chemicals Energy	Pulp manufacture	Air emissions Used water
Process water	Pulp washing and screening	Dissolved material Residual chemicals Wastewater
Chemicals Energy	Pulp bleaching	Air emissions Dissolved material Residual chemicals Wastewater
Energy	Pulp drying	Air emissions
Energy Water Chemicals	Paper manufacture	Solid wastes Dissolved material Residual chemicals Wastewater

Gavrilescu et al. 2012. EEMJ

### Mis on keskkonnamõju?

**Eesmärgid**

**Väärtused**

**Mõju prognoosimine**

**Oluline keskkonnamõju**

**Alternatiivid**

**Kaasamine**




**KMH** on kavandatava tegevuse ja selle alternatiivide poolt piirkonna füüsilistele, bioloogilistele, kultuurilistele ja sotsiaal-majanduslikele tingimustele avaldatava võimaliku mõju süsteemne, reprodutseeritav ning interdistsiplinaarne hindamine

**KMH** - instrument, mille kaudu jõuavad erinevate ühiskonnagruppide huvid ja väärtushinnangud otsustajani ning loovad eelduse nende tasakaalustatud arvestamiseks

Pöder 2017. [http://www.envir.ee/sites/default/files/poder\\_kmh\\_kasiraamat.pdf](http://www.envir.ee/sites/default/files/poder_kmh_kasiraamat.pdf)

### Tselluloositootmise olulised keskkonnamõjud on üldiselt hästi teada



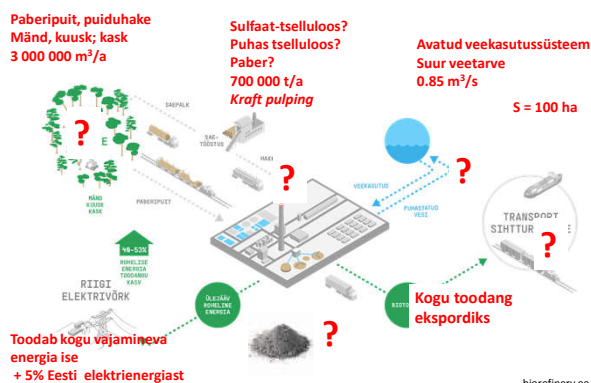
**Kõik see mõjutab ka inimest**

biorefinery.ee

### Peamised keskkonnamõjud

Kuni pole täpselt teada, mida ja kuidas tootma tahetakse hakata, pole võimalik keskkonnamõjude olulisust hinnata, kuid võib lähtuvalt teadaolevast prognoosida, kas kavandatav tegevus kutsub tõenäoliselt esile olulist mõju

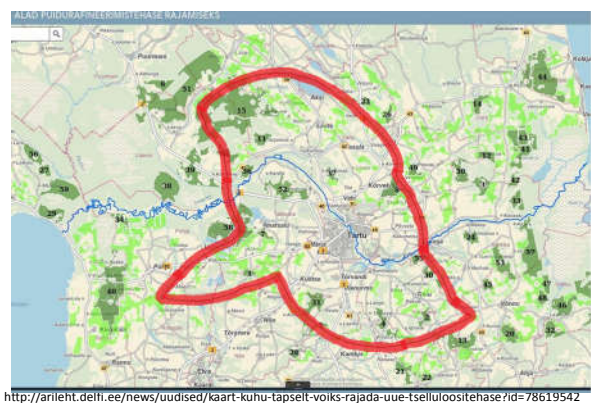
### Mida me teame kavandatavast tehasest?



### Mida me teame kavandatavast tehasest?



### Mida me teame kavandatavast tehasest?



- Tselluloosi- ja paberitööstuses ei ole olemas ühte kõige paremat tehnoloogiat
  - Tselluloosi- ja paberitööstuse tootang on väga mitmekesine, lisaks võib sama toote koostis erineda olenevalt tehnoloogiast
  - PVT e parim võimalik tehnoloogia, mis on majanduslikult tasuv (BAT ja BATNEC) (EU IPPC)
  - PVT keskkonnamõjude hindamiseks ei piisa tootmisprotsesside kirjeldustest, vaid uurida tuleb detailselt kõiki tööstusseadmeid, sisendeid ja väljundeid
- [http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/PP\\_revised\\_BREF\\_2015.pdf](http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/PP_revised_BREF_2015.pdf)

### Peamised keskkonnamõjud: vesi

**kasutatava vee hulk**  
heitvee hulk (pleegitusest tuleva ja kogu-)  
heitvee T, läbipaistvus ja värv, pH  
**toitained** (N, P)  
heitvee keemiline hapnikutarve (KHT) ja bioloogiline hapnikutarve (BHT)  
**heljuvained** (tselluloosikiud, ligniiniosakesed, tärklis, hemselluloos)  
**toksilised ühendid** (raskemetallid, AOX, fenoolid, EDTA, DTPA, reteen jne)

Table 4. Effluent loads from the manufacture of pulp and paper (European Commission, 2001)

Product	Effluent m <sup>3</sup> /h	Suspended solids kg/t	BOD kg/t	COD kg/t	N g/t	P g/t
<i>Pulp manufacture</i>						
Unbleached	20-40	12-15	5-10	20-30	200-400	80
Bleached	30-50	10-15	14-18	25-40	400-600	100
<i>Paper manufacture</i>						
Packaging	15-30	5-10	2-4	4-8	100-200	15
Newsprint	10-25	5-10	1-3	2-4	10-20	5
Sanitary	20-40	5-10	1-3	3-6	50-80	8

Gavrillescu et al. 2012. EEMJ

### Peamised keskkonnamõjud Emajõe ja Peipsi ökoloogilisele seisundile

**Emajõe ja Peipsi seisund on halb**      **Kui palju kasvab reostuskoormus?**

**Heitvesi:**  
toitained (N, P)  
heljuvained  
KHT, BHT  
heitvee T

Piirnormid?

	Linn	Tehas	
P	0.5mg/l	2 mg/l	→ <b>&gt;10 Tartu linna heide</b>
KHT	125 mg/l	250 mg/l	

[http://seire.keskkonnainfo.ee/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2111&Itemid=424](http://seire.keskkonnainfo.ee/index.php?option=com_content&view=article&id=2111&Itemid=424)  
<http://tartu.postimees.ee/4030031/kuno-kasak-puldutehas-tartu-kulje-alla-kas-emajoge-ja-peipsit-saab-kaitsta>

### Tõenäoline oluline negatiivne mõju Emajõe ja Peipsi ökoloogilisele seisundile

Kas PVT oleks piisavalt hea? Jah, kui puhastada heitvesi vähemalt sama puhtaks kui jõevesi või kasutada suletud veepuhastussüsteeme. Alternatiiv: teine asukoht

bakterid      zooplankton      taimed      kalad

fütoplankton      suurselgrootud

detriit → suurselgrootud → Kumuleeruv mõju

### Peamised keskkonnamõjud Emajõe ja Peipsi ökoloogilisele seisundile

**Heitvesi:**  
toitained (N, P)  
heljuvained  
KHT, BHT  
heitvee T

**O<sub>2</sub> ↓** → eutrofeerumine

bakterid      taimed      kalad

fütoplankton      zooplankton

detriit      suurselgrootud

Kumuleeruv mõju

### Peamised keskkonnamõjud: mets

**Üleraie** → Elupaikade kadu

- Negatiivne mõju metsaelustikule (20 000 liiki), kui langevad raievanused ja muutub puu liigiline koosseis
- Metsaökosüsteemide teenused halvenevad (sh kliima, muld, vesi, metsaannid, puhkamine, looduse tundma õppimine)

Foto: Maalet, Põhja-Eesti Metsaühistu

### Peamised keskkonnamõjud: võimalik kumuleeruv mõju toiduahelas

**Heitvesi:**  
toksilised ühendid (raskemetallid, AOX, fenoolid, EDTA, DTPA, reteen jne)

Apex Predators (10<sup>2</sup> to >10<sup>3</sup> ppm)  
 Fish (10<sup>-1</sup>-10<sup>2</sup> ppm)  
 Zooplankton/Invertebrates (10<sup>-2</sup>-10<sup>-1</sup> ppm)  
 Algae/Seston (10<sup>-3</sup>-10<sup>-2</sup> ppm)  
 Water (10<sup>-5</sup>-10<sup>-6</sup> ppm)

MeHg      Bioaccumulation

Lehnherr 2014. Environmental Reviews

### Peamised keskkonnamõjud: õhk

Valdav tuulte suund Tartu kandis: lääne- ja loode-

NO<sub>x</sub> }      happeliikumine  
 SO<sub>x</sub> }  
 Orgaanilised S-ühendid }      tervis  
 Mikroosakesed (<2.5µm)  
 Toksilised ühendid }  
 CO<sub>2</sub> }      kliima

Reduced sulphur compound	Odour threshold concentration (ppb)
Hydrogen sulphide (H <sub>2</sub> S)	8–20
Methyl mercaptan (CH <sub>3</sub> SH)	2.4
Dimethyl sulphide (CH <sub>3</sub> SCH <sub>3</sub> )	1.2
Dimethyl disulphide (CH <sub>3</sub> SSCH <sub>3</sub> )	15.5

Bajpai 2014. Biological Odour Treatment. Springer

**Peamised keskkonnamõjud: tahked jäätmed (biomuda ja tuhk)**

**Tahked jäätmed** { Prügila  
Taaskasutusse  
Energiaks

**Ohtlikud jäätmed?**

[http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/PP\\_revised\\_BREF\\_2015.pdf](http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/PP_revised_BREF_2015.pdf)

**Peamised keskkonnamõjud: võimalik kumuleeruv mõju toiduahelas**

**Heitvesi: toksilised ühendid** (raskemetallid, AOX, fenoolid, EDTA, DTPA, reteen jne)

Häired sisenõretalitluses, paljunemises

Gilroy et al. 2012. *EnvirToxicChem*

Worldwide pulp production by type of bleaching used: Chlorine (Cl<sub>2</sub>), Elemental Chlorine Free (ECF) and Total Chlorine Free (TCF). Wikipedia

TCF ja ECF - häired immuunfunktsioonis

Aaltonen et al. 2000. *Aquatic Toxicology*

**Peamised keskkonnamõjud: transport**

- Toorme transport
- Jäätmete transport
- Toodangu transport
- Raudtee või maantee
- Liikluskoormus
- Õhusaaste (CO<sub>2</sub>, VOC, osakesed)
- Müratase

biorefinery.ee

**Keskkonnamõjude sotsiaalmajanduslikud tagajärjed**

Metsade kadu, veesaaste, õhusaaste, liikluskoormus, müratase

Piirkondlikud mõjud ja riiklikud mõjud

looduskeskkond

Elukeskkond  
Heaolu ja tervis  
Elustiil  
Kogukond  
Haridus ja kultuur  
Majandus

Kuidas jaotub tulu?

**Peamised keskkonnamõjud: võimalik mõju inimese tervisele ja heaolule**

**Otsene füsioloogiline mõju**

**õhusaastega seotud haigused:** südameveresoonekonna hingamisteede neurodegeneratiivsed

Orru et al 2016

**suplusvee saastumine**

**toiduks kasutatavatesse kaladesse ladestuvad saasteained**

häired reproduktiivfunktsioonis, immuunfunktsioonis, sisenõretalitluses

**Vajalikud põhjalikud teaduslikud uuringud**

- Igakülgsed mõjud metsa- ja veeökosüsteemidele
- Sotsiaalmajanduslikud mõjud
- Eriplaneeringu keskkonna mõjude hindamine (KSH ja KMH) ei pruugi anda adekvaatseid tulemusi (nt puudulik alternatiivide kaalumise)
- Oluliste küsimuste küsimine ja neile vastamine peab olema avalik ja põhjalik protsess



Tänan!

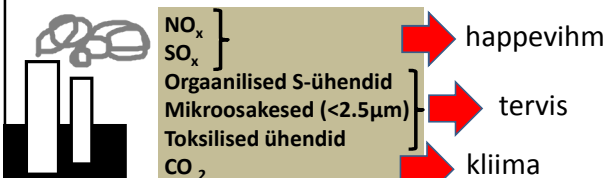
### Peamised keskkonnamõjud: õhk

**Table 2.3** Typical emissions of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> from kraft pulp mill combustion sources. (Based on data from US EPA 1973; Someshwar 1989)

Emission source	Concentration (ppm by volume)			Emission rate (kg/ton <sup>a</sup> )		
	SO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	NO <sub>x</sub> (as NO <sub>2</sub> )	SO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	NO <sub>x</sub> (as NO <sub>2</sub> )
Recovery furnace						
No auxiliary fuel	0-1200	0-100	10-70	0-40	0-4	0.7-5
Auxiliary fuel added	0-1500	0-150	50-400	0-50	0-6	1.2-10
Lime kiln exhaust	0-200	-	100-260	0-1.4	-	10-25
Smelt-dissolving tank	0-100	-	-	0-0.2	-	-
Power boiler	-	-	161-232	-	-	5-10 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> kg/t of air-dried pulp  
<sup>b</sup> kg/t of oil

Bajpai 2014. Biological Odour Treatment. Springer



### Kui suur on reostuskoormuse kasv?

- Kui suur on pleegitatud tselluloosi ööpäevane toodang tonnides?
- Kui suur on ööpäevane heitvete hulk?
- Kui suur on heitvete hulk m<sup>3</sup> pleegitatud tselluloosi kohta?
- Kui palju lahustunud ja lahustumatut ainet (kg) on heitvetes ühe tonni pleegitatud tselluloosi kohta?
- Millise mahuga on heitvete basseinid ja kui palju on neid pideva (avatud) protsessi korral vaja, et ei toimuks „uputust“?
- Kui kaua kestab heitvete töötlemine mingi valitud meetodi korral, et jõuda soovitud tulemuseni (päevades)?
- Kas kogu must leelis põletatakse?
- Kui suurel hulgal on heitvetes toksilisi aineid, nt reteeni (tekib reaktorist vaikhapetest, põhjustab looteil arenguhäireid)?
- Jne...

allikas: Tullio Ilometts

### Peamised keskkonnamõjud: õhk

**Õhureostus: väävlühendid**

**Table 2.1** Typical offgas characteristics of kraft pulp mill. (Based on data from Ande 1973; US EPA 1973)

Emission source	Offgas flow rate (m <sup>3</sup> /ton pulp)	Concentration (ppm by volume)			
		H <sub>2</sub> S	CH <sub>3</sub> SH	CH <sub>3</sub> SCH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub> SSCH <sub>3</sub>
Digester batch					
Blow gases	3-6000	0-1000	0-10,000	100-45,000	10-10,000
Relief gases	0.3-100	0-2000	10-5000	100-60,000	100-60,000
Digester, continuous	0.6-6	10-300	500-10,000	1500-7500	500-3000
Washer hood vent	1500-6000	0-5	0-5	0-15	0-3
Washer seal tank	300-1000	0-2	10-50	10-700	1-150
Evaporator hotwell	0.3-12	600-9000	300-3000	500-5000	500-6000
BLO tower exhaust	500-1500	0-10	0-25	10-500	2-95
Recovery furnace	6-000-12,000	(after direct-contact evaporator)			
		0-1500	0-200	0-100	2-95
Smelt dissolving tank	500-1000	0-75	0-2	0-4	0-3
Lime kiln exhaust	1000-1600	0-250	0-100	0-50	0-20
Lime slacker vent	12-30	0-20	0-1	0-1	0-1

**Table 2.2** Odour threshold concentration of TRS pollutants. (Based on data from Springer and Courtney 1993)

Reduced sulphur compound	Odour threshold concentration (ppb)
Hydrogen sulphide (H <sub>2</sub> S)	8-20
Methyl mercaptan (CH <sub>3</sub> SH)	2.4
Dimethyl sulphide (CH <sub>3</sub> SSCH <sub>3</sub> )	1.2
Dimethyl disulphide (CH <sub>3</sub> SSCH <sub>3</sub> )	15.5

tervis

Bajpai 2014. Biological Odour Treatment. Springer

### 6.4. Alternatiivid

Alternatiivide määratlemisest algab KMH käsitlusala (tuluse) kindlaksmääramine. Alternatiivide käsitlemise tähtsus tuleneb seisukohast, et KMH on mõeldud otsuste parandamise vahendiks. Hea otsus tähendab otsust, mis muu hulgas võtab arvesse kõiki eesmärgi saavutamise võimalusi (vt ratsionaalse otsustamise kohta osast 1.2 „Teke ja levik“), seetõttu oleks alternatiivide käsitlematu jätmisel KMH eesmärk põhimõtteliselt saavutamatu (mis ei välista seda, et ka ainult ühe variandi käsitlemisel võib selle negatiivsete mõjude leevendamismeetmete leidmine olla positiivne tulemus). Alternatiivide käsitlemine on eeltingimus, et püütakse leida parim lahendus, mitte piirduda ainult esitatud lahenduse minimaalsetele keskkonnanõuetele vastavuse kontrollimisega (halvim veel vastuvõetat lahendus) või selle keskkonnasõbralikumaks kujundamisega.

Korduvalt on tuvastatud, et alternatiivide käsitlemine on üks nõrgimatest kohtadest rahvusvahelises KMH praktikas (nt Pope *et al.*, 2013; Steinemann, 2001).<sup>179</sup> KMH direktiivi esimeses versioonis oli alternatiivide käsitlemise vajadus sõnastatud viisil, mis võimaldas selle tõlgendamist soovituseks. Seetõttu tihiti alternative ei käsitletudki. Hiljem (1997) sõnastust täpsustati ja direktiiv 2014/52/EL esitab selgelt alternatiivide käsitlemise nõude (p 31).

Pöder 2017. [http://www.envir.ee/sites/default/files/poder\\_kmh\\_kasiraamat.pdf](http://www.envir.ee/sites/default/files/poder_kmh_kasiraamat.pdf)

### Peamised keskkonnamõjud: õhk

Process	Emissions
Energy generation	Particulates, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub>
Recovery boiler	Particulates, SO <sub>2</sub> , TRS
Lime kiln	Particulates, TRS
Burning malodorous gases	SO <sub>2</sub> , TRS
Pulp bleaching	ClO <sub>2</sub> , VOC (methanol, chloroform)
Others	VOC

**Table 3.** Average emissions to the atmosphere from kraft pulp mill (Genco and Heiningen, 2001)

Source of emission	Total gaseous S kg/t	NO <sub>x</sub> kg/t	Particulates kg/t
Recovery boiler	0.01-2.0	0.8-1.8	0.2-1.8
Lime kiln	0.07-0.7	0.02-0.6	0.02-0.9
Bark boiler	0.02-0.06	0.03-0.2	0.03-0.3
Digesters	0.01-2	-	-
Total emissions from pulp mill	0.04-4.1	0.85-2.60	0.25-3.1

Peamised keskkonnamõjud:  
tahked jäätmed

	<i>Landfill</i>
Tahked jäätmed	Taaskasutusse
Ohtlikud jäätmed	Energiaks

Table 5. Waste generation in a sulfate pulp mill

Solid wastes	Yield, kg/t pulp
<b>A. Wood wastes:</b>	
1. Sawdust coming from the slasher deck	10-30
2. Bark falling from the debarking drum	100-300
3. Pins and fines from chip screening	50-100
4. Wood waste from woodyard	0-20
<b>Total A:</b>	<b>160 – 450</b>
<b>B. Knots from pulp deknottling</b>	
	25-70
<b>C. Sodium salts from recovery boiler</b>	
	5-15
<b>D. Dregs and grit from causticizing:</b>	
1. Dregs	5-10
2. Grit	10-30
<b>Total D:</b>	<b>15-40</b>
<b>Total A, B, C, D:</b>	<b>220-615</b>

Gavrilescu et al. 2012. EEMJ

Peamised keskkonnamõjud: võimalik mõju inimese tervisele ja heaolule

Mõju terviseriski tunnetamise ja häirituse kaudu: saaste (s.h lõhna) tajumine ja negatiivsed assotsiatsioonid tekitavad stressi-vastuse autonoomses närvisüsteemis.

Uskumus aine ohtlikkusest (olenemata tegelikust ohtlikkusest) ja seonduv mure põhjustavad olulisi tervisesüмптоmeid – notseebo efekt (Claeson *et al* 2013; Orru *et al* 2017). Teadmatus ja usaldamatus võimendavad riskitunnetust.

Uurimisküsimus: millised on elanike hoiakud, ootused, hirmud ja riskitunnetus seoses planeeritava tehase ja selle mõjudega?

Meetod: küsitlusuuring

Lisaks: Skandinaavias uuringud näitavad olulisi töötavishoiu probleeme puidu rafineerimistehastes. Uurimisküsimus: Millised on töötingimused, potentsiaalne eksponeeritute hulk?

	<i>Landfill</i>
Tahked jäätmed	Taaskasutusse
Ohtlikud jäätmed	Energiaks

Table 2.18: Examples of residues generated in pulp and paper processes

Process	Examples of generated solid residues/waste
Wood handling	Bark and wood fragments, sand and stone
Raw water treatment	Sludge from flocculation
Kraft pulping	Excess lime, dregs and grits from the recovery system, extracted ESP ash, rejects and fibre from the fibre line
Sulphite pulping	Ash from the recovery boiler, sludge from the cooking liquor system, rejects and fibre from the fibre line
Mechanical pulping	Sand and wood fragments from chip washing, rejects and fibre from the fibre line
Processing paper for recycling	Rejects from stock cleaning (non-fibre rejects, e.g. sand, metal scrap), fibre rejects and deinking sludge
Papermaking	Rejects and fibre, fibrous sludge, coating pigments
Power boilers	Ash
Effluent treatment	Fibre sludge, biosludge and chemical sludge
Common residues	Metals, plastics, glass, building waste, domestic waste, hazardous residues such as chemicals, spilled oil and lubricants

[http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/PP\\_revised\\_BREF\\_2015.pdf](http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/PP_revised_BREF_2015.pdf)

Peamised keskkonnamõjud: võimalik mõju inimese tervisele ja heaolule

#### 7.2.7. Inimeste tervis ja heaolu

Tervise mõju hindamine piirdub KMH raames sageli sellega, et võrreldakse prognoositud ohtkorda keskkonna kvaliteedinormidega. Sellised on eelkõige välisõhu ja vee kvaliteedile kehtestatud normid, mille järgimise korral võib eeldada, et negatiivne mõju tervisele puudub.

Õigusaktidega kehtestatud kvaliteedinormid on olemas võrdlemise piiratud koguse ainete jaoks, vahel ka üldistatult tervele ainegrupile. Õhu ja vee kvaliteedile kehtestatud normidest on abi otsese mõju käsitlemisel. Keerulisemaks läheb olukord, kui on vaja silmas pidada ka kaudseid mõjusid, nt keskkonda suunatud ohtlike ainete migratsiooni keskkonnakomponentide vahel, mõnikord ka muundumist, ning nende jõudmist inimestesse, sh toidu ja vee kaudu. Lisaks tekib raskusi eri mõjurite koostõu käsitlemisel, s.o olukordi, kus igaüks eraldi on talle kehtestatud normi piires, kuid nende koostoimel võib olla oluline tagajärg.

Pöder 2017. [http://www.envir.ee/sites/default/files/poder\\_kmh\\_kasiraamat.pdf](http://www.envir.ee/sites/default/files/poder_kmh_kasiraamat.pdf)

Peamised keskkonnamõjud:  
tahked jäätmed

	<i>Landfill</i>
Tahked jäätmed	Taaskasutusse
Ohtlikud jäätmed	Energiaks

Table 5. Waste generation in a sulfate pulp mill

Solid wastes	Yield, kg/t pulp
<b>A. Wood wastes:</b>	
1. Sawdust coming from the slasher deck	10-30
2. Bark falling from the debarking drum	100-300
3. Pins and fines from chip screening	50-100
4. Wood waste from woodyard	0-20
<b>Total A:</b>	<b>160 – 450</b>
<b>B. Knots from pulp deknottling</b>	
	25-70
<b>C. Sodium salts from recovery boiler</b>	
	5-15
<b>D. Dregs and grit from causticizing:</b>	
1. Dregs	5-10
2. Grit	10-30
<b>Total D:</b>	<b>15-40</b>
<b>Total A, B, C, D:</b>	<b>220-615</b>