



SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS
FINNISH RECOVERY BOILER COMMITTEE

Suomen Soodakattilayhdistys ry

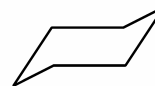
**SOODAKATTILOIDEN
RASKASMETALLITASEET**

**Loppuraportti perustuen diplomityöhön,
Freya Böök, Jukka Konttinen, Mikko Hupa
Åbo Akademi, 5.12.2006**

Raportti 8B/2007

25.6.2007





Soodakattiloiden raskasmetallitaseet

Loppuraportti (perustuen diplomityöhön Freya Bөөk)

Laadittu soodakattilayhdistykselle:

**Freya Bөөk
Jukka Konttinen
Mikko Hupa**

**Åbo Akademi
Process Chemistry Centre
Combustion and Materials Chemistry
Biskopsgatan 8
FIN-20500 Åbo, Finland
Internet: <http://www.abo.fi/fak/ktf/cmc/>**

5.12.2006

Sisältö

Sisältö	i
1. Tausta.....	1
2. Tavoite.....	1
3. Työn toteutus.....	1
4. Analyysimenetelmät.....	3
5. Taseiden laskennasta	4
6. Työn tulokset	4
7. Yhteenveto	6
8. Liitteet	7

1. Tausta

Tiettyt raskasmetallit ovat mukana EU:n jätteenpolttodirektiivissä (2000/76/EC):

EU directive on incineration of waste containing fuels

Sb + As + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + Pb + V	0.5 mg/m ³ n* (twice a year)
Cd + Tl	0.05 mg/m ³ n* (twice a year)
Hg	0.05 mg/m ³ n* (twice a year)

*6 % O₂, dry gases

0.5 mg/m³n* in flue gases ~ **2.5 ppm** (mg/kg) in BLS

Myös US EPA on laatinut säännöksiä metalleille As Cd Cr Mn Ni Pb Hg. Raskasmetallien käyttäytymisestä soodakattiloilla on vähän tietoa kirjallisuudesta. Vain yksittäisiä pitoisuuksia mustalipeissä ja soodakattiloitten päästömittauksia on tehty.

Wikstedt et al. (ICRC 2004) teki ensimmäisen julkaisun kuuden raskasmetallin taseesta yhdellä tehtaalla.

2. Tavoite

Projektin tavoitteena oli tuottaa kvantitatiivista tietoa tärkeimpien raskasmetallien käyttäytymisestä suomalaisilla soodakattiloilla. Mukana ovat ns. EU 12-metallit: As, Cd, Cr, Cu, Co, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Tl, V. Työn tuloksena välittömästi voidaan selvittää ko. metallien päästöt ilmaan sekä jätevirtojen läjityksessä tehtaalta poistuvat määrät.

Tämän tiedon avulla voidaan valmistautua pitämään sellutehtaan raskasmetallien päästöt nykyisten ja tulevien ympäristömääräyksen mukaisina.

3. Työn toteutus

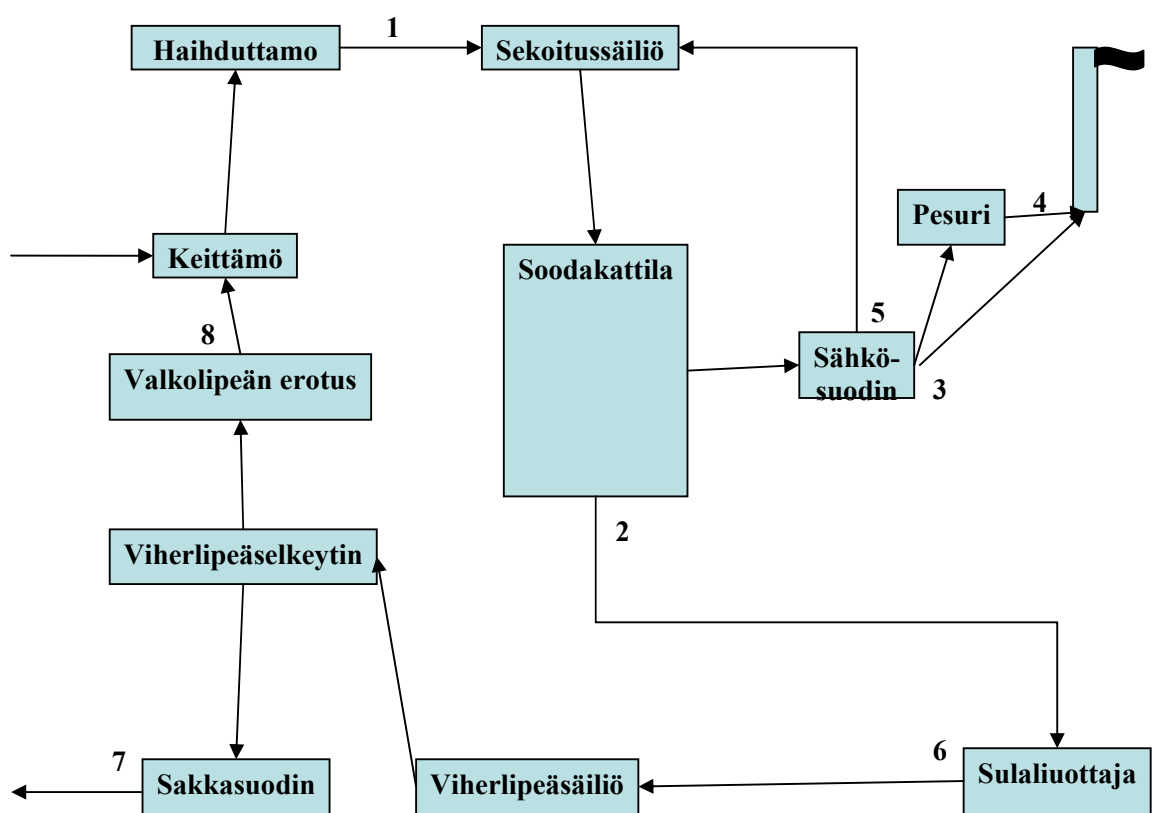
Mittausten ja taseiden kohteeksi valittiin kuusi suomalaista soodakattilaa

- Metsä-Botnia, Joutseno
- Metsä-Botnia, Äänekoski
- UPM, Kymi
- UPM, Pietarsaari
- Stora Enso, Veitsiluoto
- Stora Enso, Varkaus

Näiltä tehtailta kerättiin edustavat näytteet seuraavista virroista:

1. ”virgin” mustaliipeä,
2. sula,
3. savukaasut ennen pesuria,
4. savukaasut pesurin jälkeen (tarvittaessa),
5. sähkösuodattimen pöly,
6. viherlipeä,
7. viherlipeäsakka ja
8. valkolipeä

Kaaviokuva ko. näytteenottoaikoista on seuraavassa:



Näytteistä analysoitiin raskasmetallit (EU 12) sekä Na, S, Cl, K ja Ca.

Prosessitietojen avulla selvitettiin kunkin tehtaan ainevirrat soodakattilan ympärillä em. luettelon mukaisista virtauksista. Näiden pohjalta laskettiin raskasmetallien ainetaseet soodakattilan ympärillä.

Johtopäätöksinä arvioitiin mahdollisten raskasmetalli-päästöjen merkitystä. Tarvittaessa voidaan tarkastella myös mahdollisia lisäkeinoja päästöjen hallintaan. Nämä asiat käydään läpi seuraavassa kappaleessa.

Työ aloitettiin syksyllä 2005 ja suoritettiin loppuun vuoden 2006 aikana.

4. Analyysimenetelmät

Nab Labs Prosessianalytiikka Oy mittasi savukaasut viidellä tehtaalla kuudesta. UPM Pietarsaaressa mittauksen teki Pöyry Energy Oy. Savukaasujen raskasmetallinäytteen otot perustuivat standardeihin SFS-EN 13211 (elohopea) ja SFS-EN 14385 (muut alkuaineet). Muiden kuin savukaasunäytteiden tulokset analysoitiin Analytica AB:llä Ruotsissa.

Raskasmetallien pitoisuuksien määrittämiseen käytettiin eri ICP-(Inductively Coupled Plasma) tekniikoita kuten ICP-MS (Inductively Coupled Plasma- Mass Spectrometry), ICP-AES (Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry) ja ICP-SFMS (Inductively Coupled Plasma-Sector Field Mass Spectrometry). Alla olevassa taulukossa on esitetty kuhunkin näytteeseen käytetyt menetelmät. Käytetyt menetelmät määräytyvät näytteiden alkuainepitoisuuksien mukaan. Hyvin alhaiset pitoisuudet ovat analysoitu ICP-SFMS tekniikalla.

Nro	Menetelmä
1	ICP-MS
2	ICP-AES/ ICP-SFMS
3	ICP-AES/ ICP-MS
4	ICP-AES/ ICP-MS
5	ICP-AES/ ICP-SFMS
6	ICP-AES/ ICP-SFMS
7	ICP-AES/ ICP-SFMS
8	ICP-AES/ ICP-SFMS

Tehtailta kerättiin yhteensä $6 \cdot 8 + 6 = 54$ näytettä. Näistä saatiin siis $54 \cdot 17 = 918$ analyysitulosta. Ylimääräinen 6 näytteen sarja lähetettiin Analyticalle valikoiden ylimääräinen neste- tai kiintoainenäyte eri paikasta jokaisesta tehtaasta. Tällä tavoin saimme jokaiselle neste- ja kiintoainenäytteelle yhden vertailunäytteen joiden avulla voitiin arvioida analyysien toistettavuutta eli siis luotettavuutta. Näytteet pyrittiin merkitsemään niin että analysoija ei pysty määrittelemään niiden tarkkaa alkuperää.

Analyysimenetelmissä oli tiettyjä epävarmuuksia, koska jokaiselle periaatteessa jokaiselle raskasmetallille, jokaiseen näytematriisiin erikseen pitäisi kokemusperäisesti valita sopivin analyysimenetelmä etukäteen. Työn uutuudesta johtuen tämä ei ollut täysin mahdollista, vaan piti luottaa Analytica AB:n arvioon ja kokemukseen. Tuloksia raportoidessa Analytica antoi seuraavat epävarmuudet analyysitarkkuuksille:

- ”virgin” mustalipeä $\pm 50 \%$
- muut näytteet $\pm 20 - 30 \%$

Savukaasunäytteissä kokonaisepävarmuus oli $\pm 30 \%$ ja kloorille $\pm 50 \%$.

Etenkin näytevirralle 1 eli ”virgin” mustalipeä käytetty menetelmä (ICP-MS) oli varsin semikvantitatiivinen, mikä näkyi tuloksissa suurenakin epätarkkuutena. Monessa kohtaa voidaan epäillä esim. sulanäytteen perusteella, paljon suurempaa virhettä kuin tuo arvioitu $\pm 50 \%$. Analyysissä samalla ajossa mitattiin 70 eri alkuainetta, mukaanlukien EU 12- raskasmetallit sekä tuhkan pääkomponentit kuten Na, S, Cl ja K. Toisaalta, kuten liitteistä näkee, tietyissä virroissa tietyn raskasmetallin pitoisuus saattaa mennä detektorin alapuolelle. Kuitenkin tarkempia

menetelmiä käytettäessä analyysikustannukset olisivat nousseet merkittävästi. Taulukon mukaisilla menetelmillä saatiin kuitenkin kohtuullinen pitoisuustaso määritettyä raskasmetalleille eri virtauksissa.

5. Taseiden laskennasta

Tehtailta pyrittiin keräämään dataa eri näytepisteiden kokonaisvirtauksista. Näissä tiedoissa oli suurtakin epävarmuutta ja tietyistä virtauksista ei ollut ollenkaan suoraa mittausta vaan se piti arvioida tai laskea muiden prosessitietojen avulla.

Tehtaiden taselaskennan perustaksi otettiin soodakattilaan syötettävä polttoliipeä joka tieto oli joka tehtaalta helppo saada sekä tasekohtaisena tietona että tehtaan suunnittelukapasiteettina. ”Virgin” mustaliipeästä poimittiin virtaustietoa (l/s) prosessien näytöltä mutta johtuen välivarastoinnista ja muusta käsittelystä nämä virtaustiedot, suhteutettuna polttoliipeään, epävarmuutta oli paljon. Päätimme laskea ”**virgin**” **mustaliipeän** virtausmäärän polttoliipeän määrästä, tästä erottaen kierrossa oleva tuhkalisäys.

Soodakattilan pohjalta poistuvan **sulan** määrälle ei ollut virtausmittausta tai edes tapaa arvioida sitä luotettavasti muista tiedoista. Täten se arvioitiin täysin laskennallisesti olettamalla että käytännössä kaikki epäorgaaninen aines ja osa hiilestä käytännössä menee sulaan, muodostaen seoksen K_2S , Na_2S , $NaCl$ ja Na_2CO_3 .

Taseita varten **savukaasut ennen pesuria ja pesurin jälkeen** laskettiin myös polttoliipeävirtauksen palamislaskun kautta. Monelta tehtaalta saatiin myös mittaustieto näistä määristä ja määrät olivat lähellä palamislaskun kautta laskettuja. Savukaasut normeerattiin 6 % O_2 kuivakaasun pitoisuuteen, EU-direktiiviä varten.

Sähkösuodattimen pölyn määrän mittausta ei ollut millään tehtaalla suoraan. Joiltain tehtaalta saimme siitä arvioita. Nämä arviot vaihtelivat kuitenkin kovasti. Päätimme laskea pölymäärät käyttäen Vakkilaisen (2006) taselaskenta-raportista saatavia kaavoja joiden perusteella pölymääräksi tuli noin 11 % mustaliipeän syötöstä.

Viherliipeälle liuottajasta virtausmääristä saimme myös prosessitietoa tehtailta (l/s). Viherliipeästä oli kuitenkin vaikea arvioida mikä oli kuiva-ainetta ja mikä vettä, joten raskasmetallitaseita varten siinäkin käytimme kirjallisuudesta saatavaa suhdelukua jonka mukaan viherliipeän kokonaismäärä on noin 2.7 kertaa polttoliipeän kuiva-ainepitoisuus.

Prosessista poistuvan **viherliipeäsakan** määrälle käytimme tehtailta saatuja arvioita. Tämä arvo vaihteli jonkin verran eri tehtailla.

Keittoon menevän **valkoliipeän** määrälle tehtailta saadut virtausmäärät vaihtelivat hyvin ”järkevässä” rajoissa joten niitä voitiin käyttää jatkolaskennoissa suoraan.

6. Työn tulokset

Työn tuloksena saadut raskasmetallitaseet ovat liitteissä A ja B. Liitteessä A ovat EU-direktiivien mukaiset raskasmetallit (As, Cd, Cr, Cu, Co, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Tl, V) ja liitteessä B ns. tuhkan pääkomponenttien (Na, K, S, Cl ja Ca) taseet. Käsiteltävät ainevirrat on numeroitu kappaleessa 3 esitetyn luettelon mukaisesti 1:stä 8:aan. Kussakin kuvassa ko. 8 ainevirtaa on esitetty jokaiselle 6 tehtaalle allekkain. Tuloksissa on ensin esitetty alkuaine-metallien pitoisuudet ko. ainevirrassa, ja

sitten prosentuaalisina osuuksina ”virgin” mustalipeästä. Savukaasupitoisuudet ovat normalisoitu direktiivin (2000/76/EC) edellyttämään 6 % O₂ kuivan kaasun pitoisuuteen. Seuraavassa on esitetty yhteenveto jokaisesta raskasmetallista (EU 12) erikseen

Arseeni (As): Arseenin pitoisuus savukaasuissa millään tehtaalla ei ole suuri. Viherlipeäsakkaan sitä ei poistu.

Kadmium (Cd): Kadmiumin pitoisuus savukaasuissa ei ole kovin suuri. Cd rikastuu merkittävästi soodakattilan sisäiseen tuhkakiertoon. Samantyyppinen tulos on saatu aiemmista mittauksista (Wikstedt, 2004). Cd poistuu prosessista pääosin viherlipeäsakkaan.

Koboltti (Co): Kobolttin pitoisuus mustalipeässä on suurempi kuin monella muulla EU-12-metallilla. Kobolttin pitoisuus savukaasuissa on varsin suuri Joutsenon ja Kymin tehtaalla. Mittaajalta asiaa kysyttäessä (Nablabs) nämä epäilivät syyksi ko. tehtaiden seinämämateriaalien mukana savukaasuun kulkeutuneet aineet. Co näyttää jonkin verran rikastuvan soodakattilan sisäiseen tuhkakiertoon. Viherlipeäsakkaan sitä poistuu jonkin verran.

Kromi (Cr): Kromin pitoisuus savukaasuissa ei ole kovin suuri. Viherlipeäsakassa kromia poistuu jonkin verran.

Kupari (Cu): Kuparin pitoisuus mustalipeässä on varsin suuri verrattuna moneen muuhun EU 12-metalliin. Pitoisuus savukaasuissa millään tehtaalla ei ole kovin suuri. Kupari rikastuu jonkin verran soodakattilan sisäiseen tuhkakiertoon. Kuparia poistuu viherlipeäsakkaan jonkin verran.

Elohopea (Hg): Elohopeaa on mustalipeässä hyvin vähän, kuten ylipäänsä koko kierrossa, mukaan lukien savukaasut. Pitoisuudet ovat pienet ja monessa paikkaa alle detektiorajan. Mikä on tietysti hyvä uutinen päästöjen kannalta.

Mangaani (Mg): Mangaania on mustalipeässä kertaluokkia enemmän kuin muita EU12-metalleja. Savukaasussa sen pitoisuus vaihtelee tehtaasta riippuen. Mn poistuu suurimmaksi osaksi viherlipeäsakkaan.

Nikkeli (Ni): Nikkeli rikastuu jonkin verran soodakattilan tuhkakiertoon. Viherlipeäsakkaan poistuu jonkin verran.

Lyijy (Pb): Lyijy rikastuu selvästi soodakattilan tuhkakiertoon. Se poistuu pääasiassa viherlipeäsakkaan.

Antimoni (Sb): Antimoni jonkin verran soodakattilan tuhkakiertoon. Viherlipeäsakkaan sitä ei poistu.

Tallium (Tl): Tallium rikastuu merkittävästi soodakattilan tuhkakiertoon. Viherlipeäsakkaan sitä poistuu jonkin verran.

Vanadiini (V): Vanadiinia on mustalipeässä kertaluokkia enemmän kuin muita EU12-metalleja. Todennäköinen lähde on meesauunin öljynpoltto, kemikaalikierron kautta. Vanadiinia poistuu jonkin verran viherlipeäsakkaan.

Tulokset on esitetty **yhteenvetona vielä seuraavassa taulukossa**. Mustalipeästä näkee kunkin alkuaineen pitoisuuden suuruusluokan ”virgin” lipeässä (mg/kg ka). Savukaasun pitoisuudet ovat

yksikössä $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{n}$ kuivaa savukaasua 6 % O_2 -tasolla. Tuhkakierto-prosentista voidaan nähdä alkuaineen käyttäytyminen mustalipeän poltossa, siis mitä suurempi % on, sitä enemmän alkuainetta höyrystyy tulipesästä poistuviin savukaasuihin ja sitten härmistyy takaisin tuhkakiertoon. Viherlipeäsakan merkinnät tarkoittavat: ++ = alkuaine saostuu suurimmaksi osaksi sakkaan; + = saostuu osittain viherlipeäsakkaan ja on osittain lipeäliukoinen, eli jää kemikaalikiertoon; - = alkuaine on täysin lipeäliukoinen eli jää kemikaalikiertoon.

Alkuaine	Mustalipeässä	Savukaasussa	Tuhkakiertossa	Viherlipeäsakassa
Yksikkö	mg/kg ka	$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{n}$	%	
As	0.05-0.1	0.02-0.1	32	-
Cd	0.03-0.13	0.02-0.2	400-1000	++
Co	0.2-0.78	0.01-6.3	1-30	+
Cr	0.06-0.5	0.3-1.3	2-4	+
Cu	0.95-1.4	0.03-0.2	1-18	+
Hg	0.004-0.01	0.05-1.1	-	
Mn	54-100	0.3-9.1	5-8	++
Ni	0.6-2	0.1-0.2	3-19	+
Pb	0.1-0.2	0.1-0.4	62-160	++
Sb	0.05-0.45	0.01-0.1	6-15	-
Tl	0.01-0.2	0.001-0.07	250-480	+
V	2.5-30	0.03-1.4	3-8	+

Johtuen epätarkkuuksista sekä analyyseissä että prosessitiedoissa, taselaskennan tuloksia kannattaa lukea yllä olevan taulukon ”suuruusluokka”-tasolla. Esim. tehdaskohtaisia taseita ei, epävarmuustekijöiden takia, ei raportoinnissa ole tarkoitus esittää. Yo. taulukon trendit esim. höyrystyvien ja tuhkakiertoon ja toisaalta viherlipeäsakkaan menevistä metalleista ovat samansuuntaisia kuin aiemmin tehdyissä töissä (Wikstedt et al., 2004)

7. Yhteenveto

Projektin tavoitteena oli tuottaa kvantitatiivista tietoa tärkeimpien raskasmetallien käyttäytymisestä suomalaisilla soodakattiloilla. Mukana ovat ns. EU 12-metallit: As, Cd, Cr, Cu, Co, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Tl, V. Työn tuloksena välittömästi voidaan selvittää ko. metallien päästöt ilmaan sekä jätevirtojen läjityksessä tehtaalta poistuvat määrät.

Mittausten ja taseiden kohteeksi valittiin kuusi suomalaista soodakattilaa, eli Metsä-Botnia Joutseno ja Äänekoski, UPM Kymi ja Pietarsaari sekä Stora Enso Veitsiluoto ja Varkaus. Työ suoritettiin syksyllä 2005 ja vuonna 2006.

Näiltä tehtailta kerättiin edustavat näytteet seuraavista virroista: 1. ”virgin” mustalipeä, 2. sula, 3. savukaasut ennen pesuria, 4. savukaasut pesurin jälkeen (tarvittaessa), 5. sähkösuodattimen pöly, 6. viherlipeä, 7. viherlipeäsakka ja 8. valkolipeä

Tuloksena määritettiin EU 12-metallien pitoisuudet eri näytevirtauksista sekä eri virtauksien raskasmetallien prosentuaaliset osuudet suhteutettuna näytevirtaan 1 (”virgin” mustalipeä). Tulosten

mukaan mikään EU 12-metalleista ei ylitä jätteenpolttodirektiivien mukaisia päästörajoja. Mikäli viherlipeäsakan raskasmetalli-päästöille asetetaan rajoituksia, projektin tuloksia niistä voidaan käyttää arvioitaessa sitä, aiheuttavatko rajoitukset vaatimuksia sakan käsittelylle. Tietyillä metalleilla, kuten Cd, Pb ja Tl on taipumusta rikastua soodakattilan sisäiseen tuhkakiertoon. Johtuen epätarkkuuksista sekä analyyseissä että prosessitiedoissa, työssä saavutettuja raskasmetallitaseiden tuloksia kannattaa lukea ”suuruusluokka”-tasolla. Työssä todetut trendit esimerkiksi tuhkakiertoon tai viherlipeäsakkaan kulkeutumisesta ovat samansuuntaisia kuin aiemmin tehdyissä töissä. Samoin savukaasumittausten arvot antavat hyvän indikaation että minkään yksittäisen raskasmetallin päästö ilmaan ei ole ”hälyttävällä” tasolla.

8. Liitteet

Liitteissä on käytetty lyhenteitä: JO/A: Metsä-Botnia Joutseno, KY/B: UPM Kymi, VA/C: Stora Enso Varkaus, ÄÄ/D: Metsä-Botnia Äänekoski, PI/E: UPM Pietarsaari, VE/F: Stora Enso Veitsiluoto.

Liite A. EU-päästädirektiivien mukaisten raskasmetallien (As, Cd, Cr, Cu, Co, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Tl, V) pitoisuudet eri näytevirroissa sekä prosentuaaliset osuudet ”virgin” mustalipeästä.

Liite B. Tuhkan pääkomponenttien (Na, K, S, Cl ja Ca) pitoisuudet eri näytevirroissa sekä prosentuaaliset osuudet ”virgin” mustalipeästä

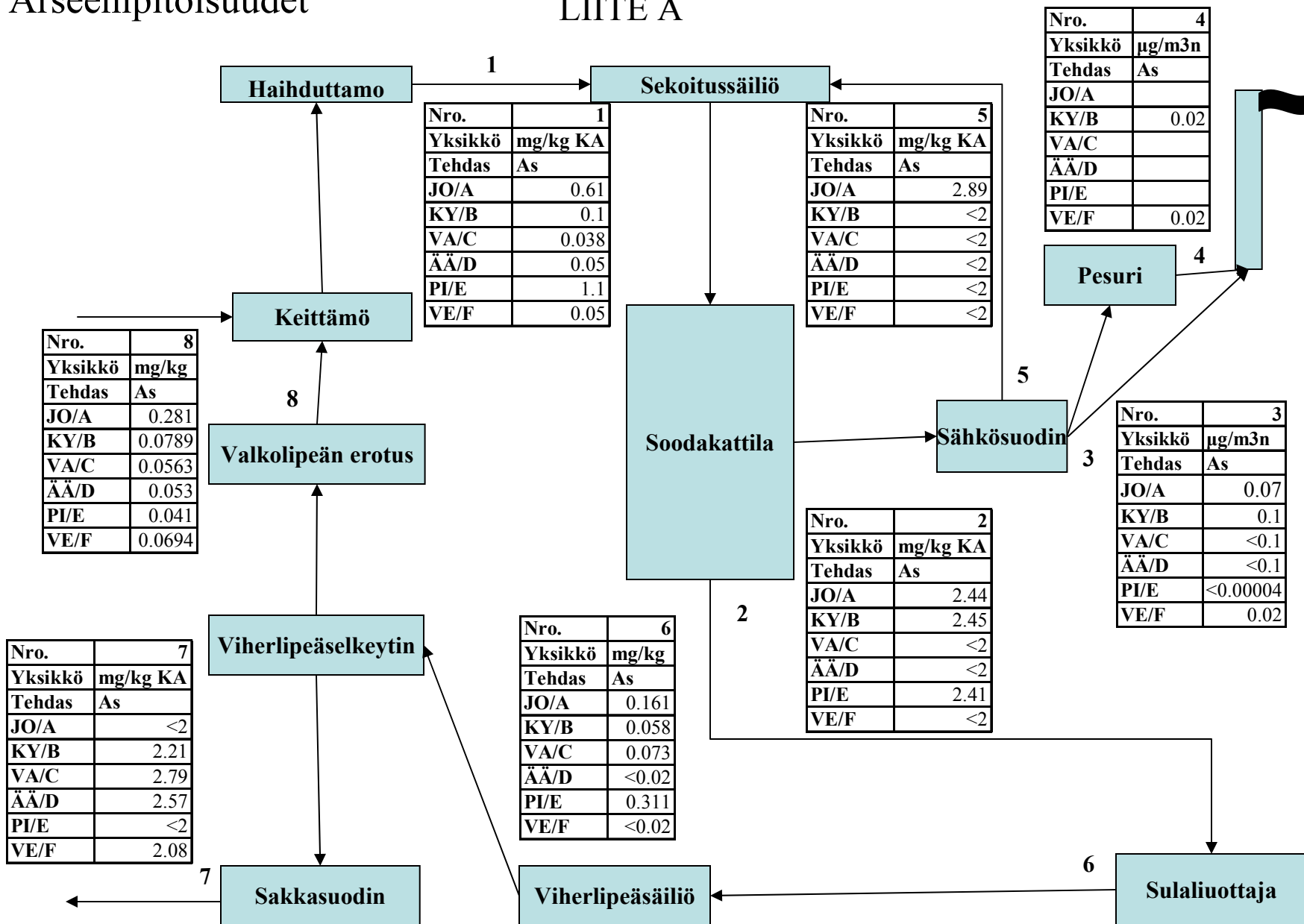
Soodakattiloiden raskasmetallitaseet
LIITE A

EU12-raskasmetallit

Arseenipitoisuudet

Soodakattiloiden raskasmetallitaseet

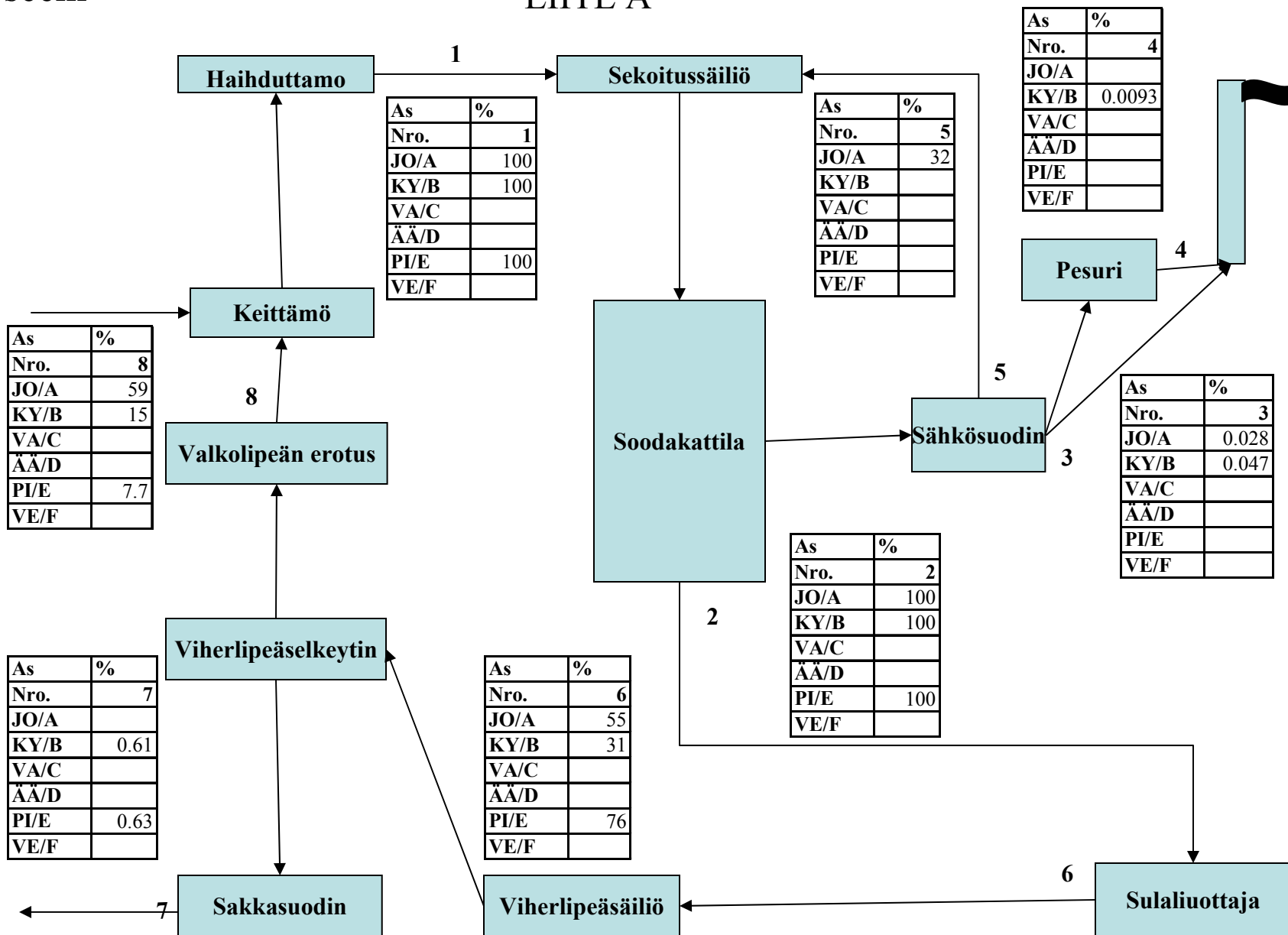
LIITE A



Arseeni

Soodakattiloiden raskasmetallitaseet

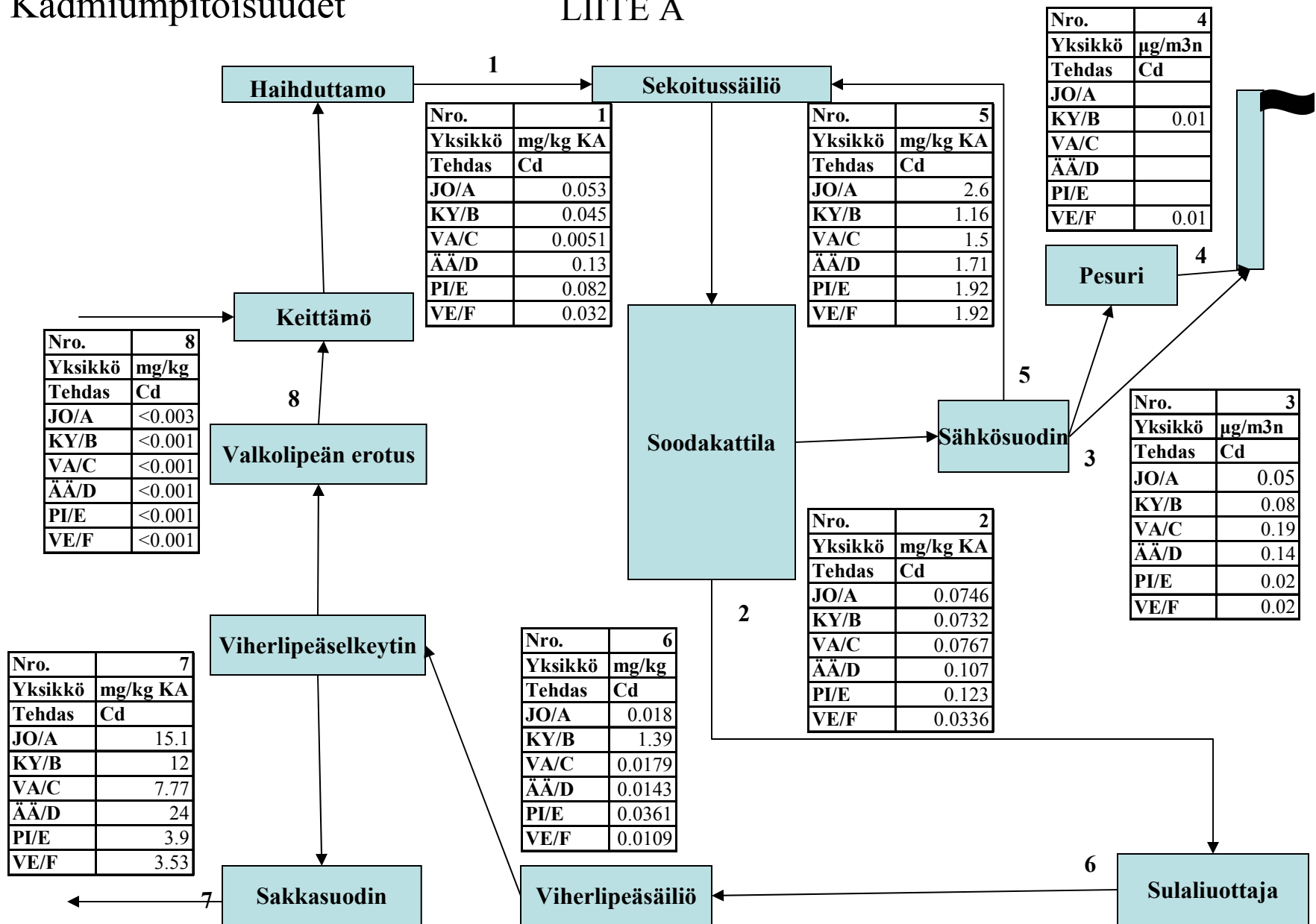
LIITE A



Soodakattiloiden raskasmetallitaseet

Kadmiumpitoisuudet

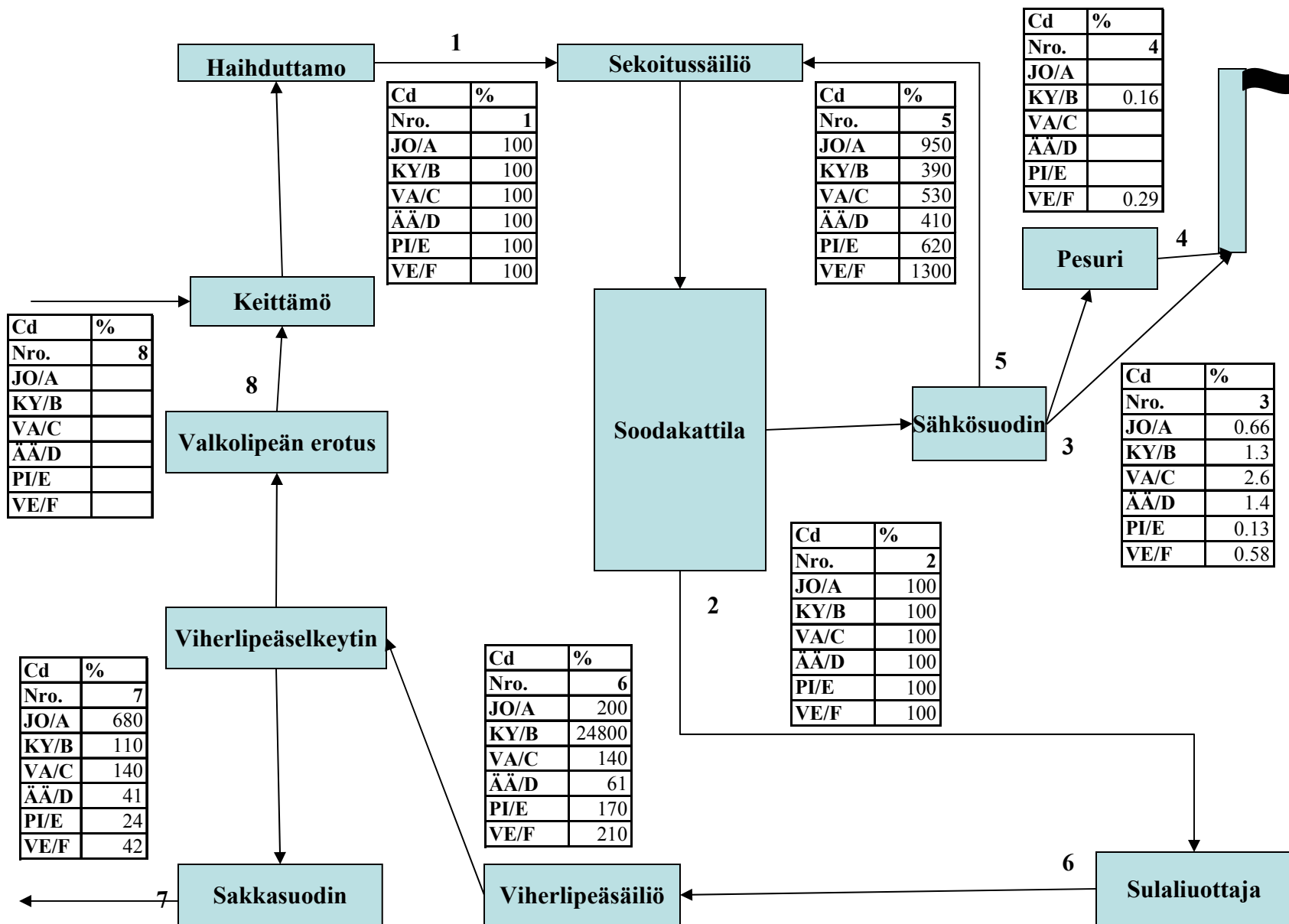
LIITE A



Kadmium

Soodakattiloiden raskasmetallitaseet

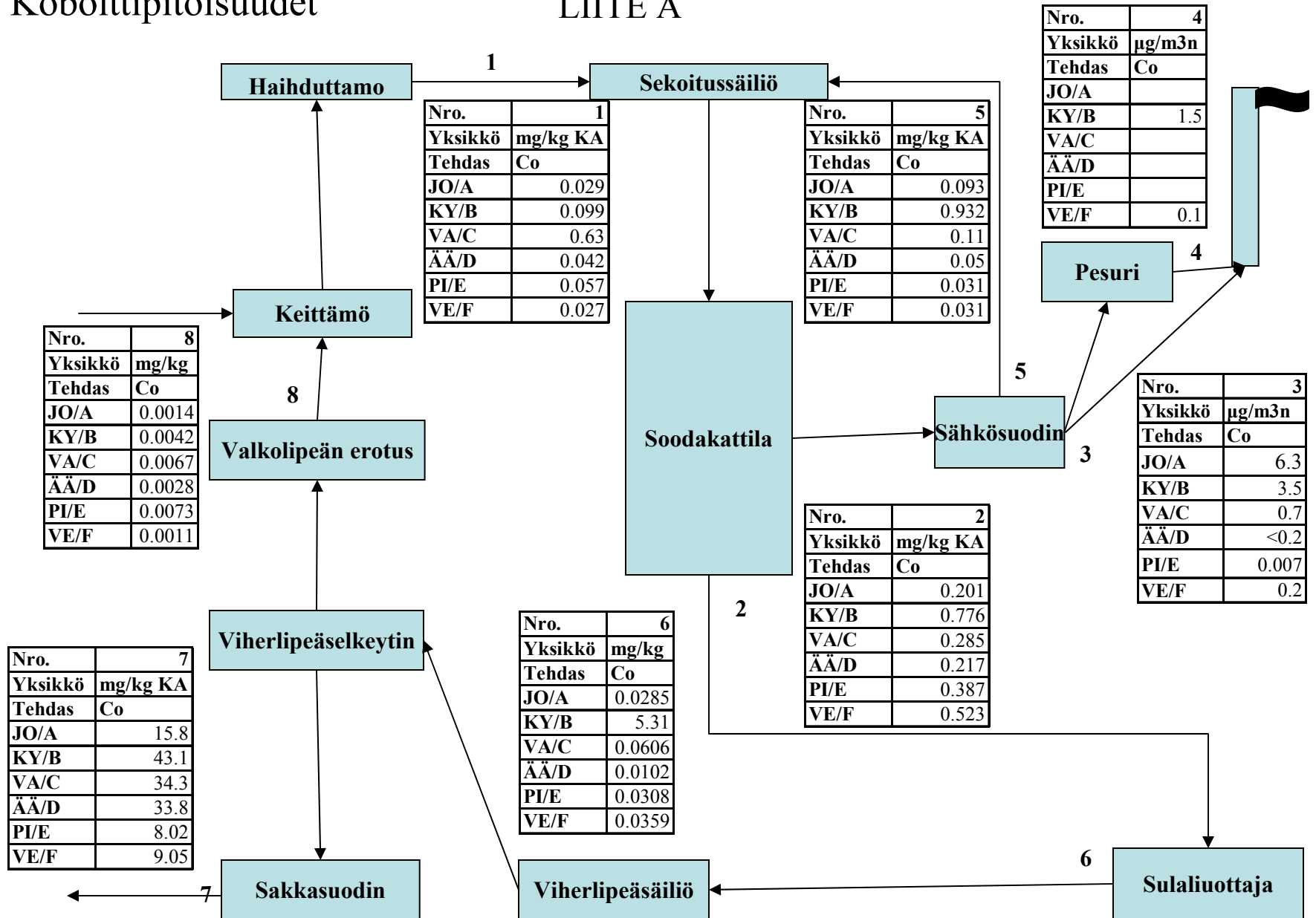
LIITE A



Soodakattiloiden raskasmetallitaseet

Kobolttipitoisuudet

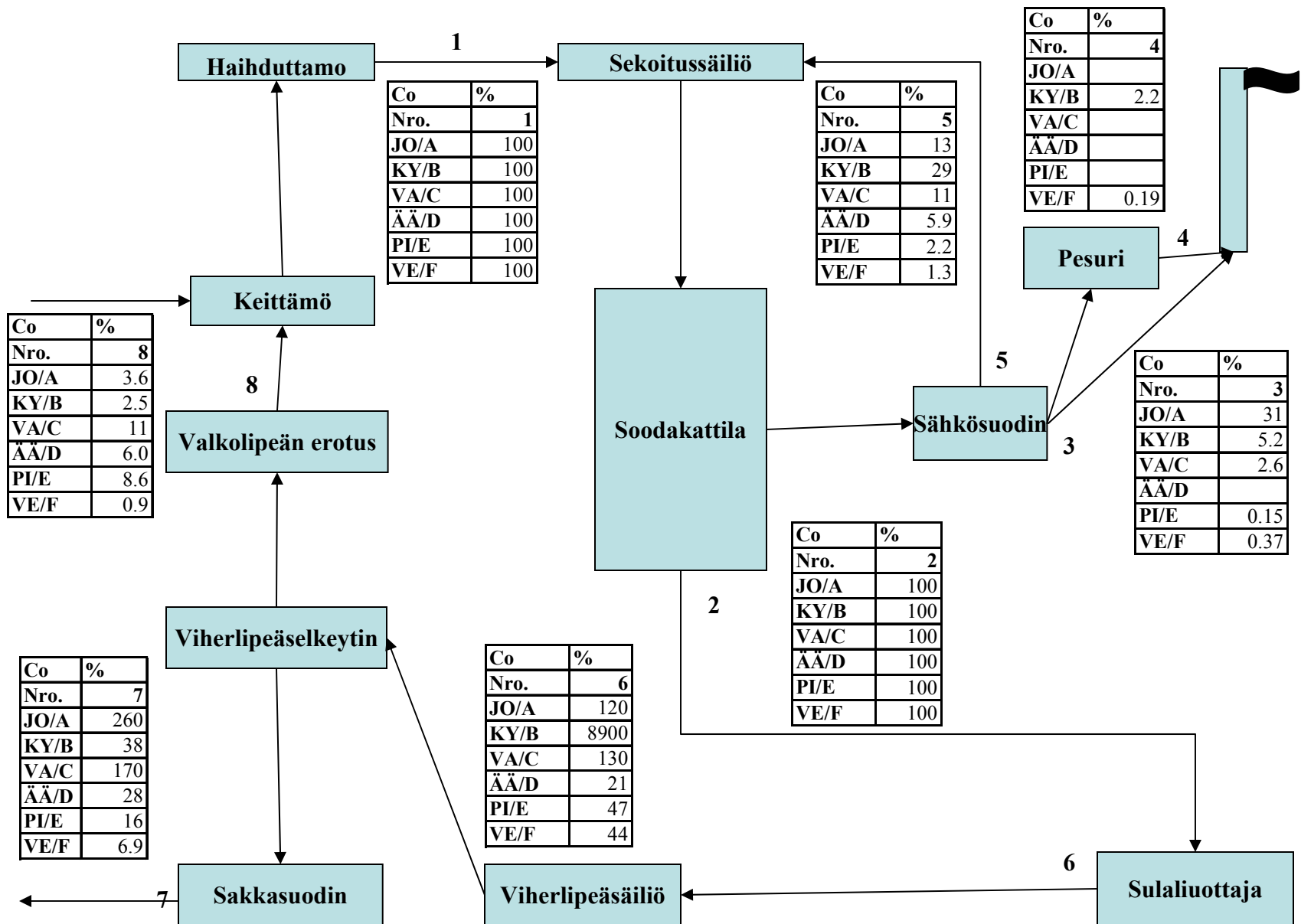
LIITE A



Koboltti

Soodakattiloiden raskasmetallitaseet

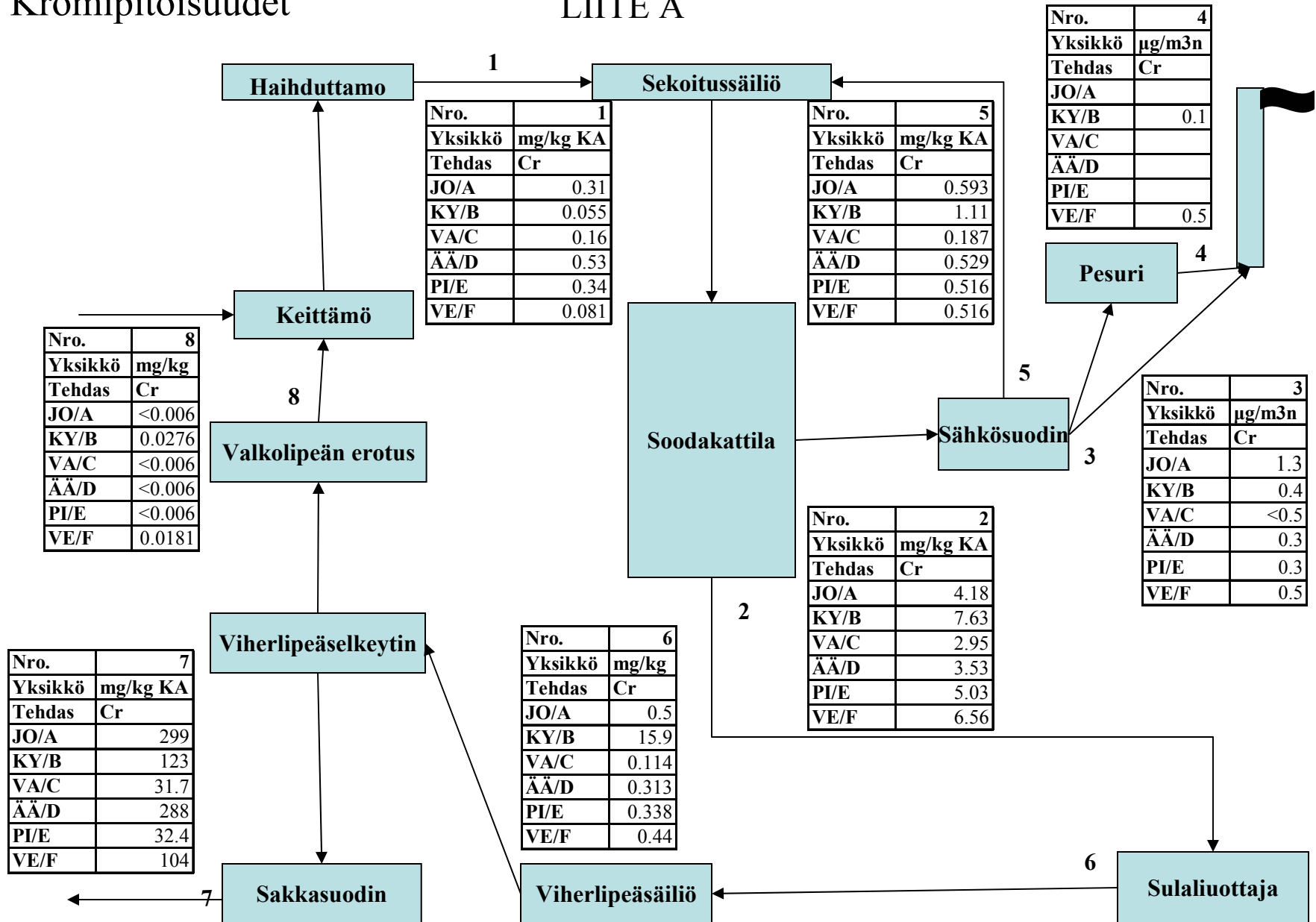
LIITE A



Soodakattiloiden raskasmetallitaseet

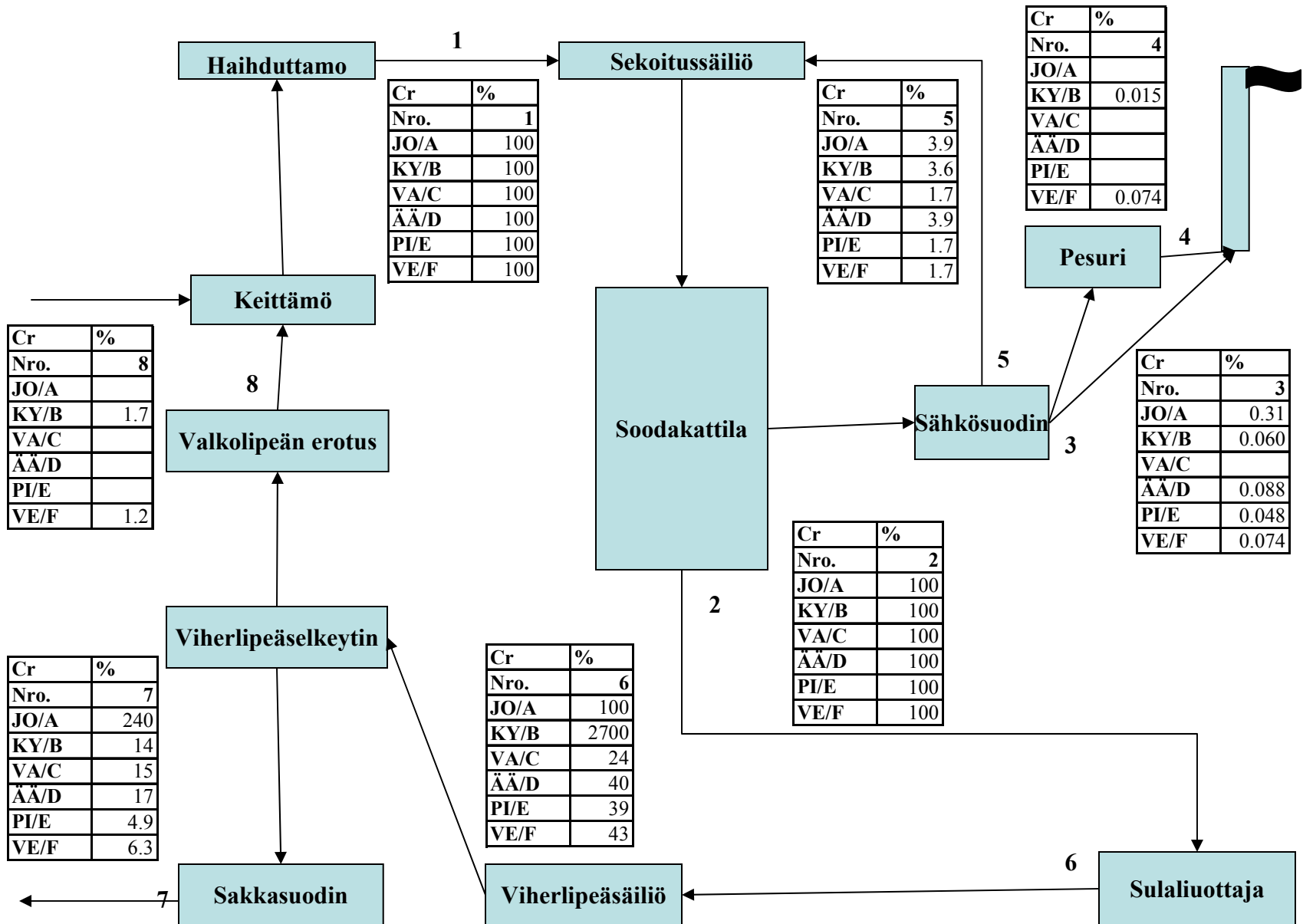
Kromipitoisuudet

LIITE A



Kromi

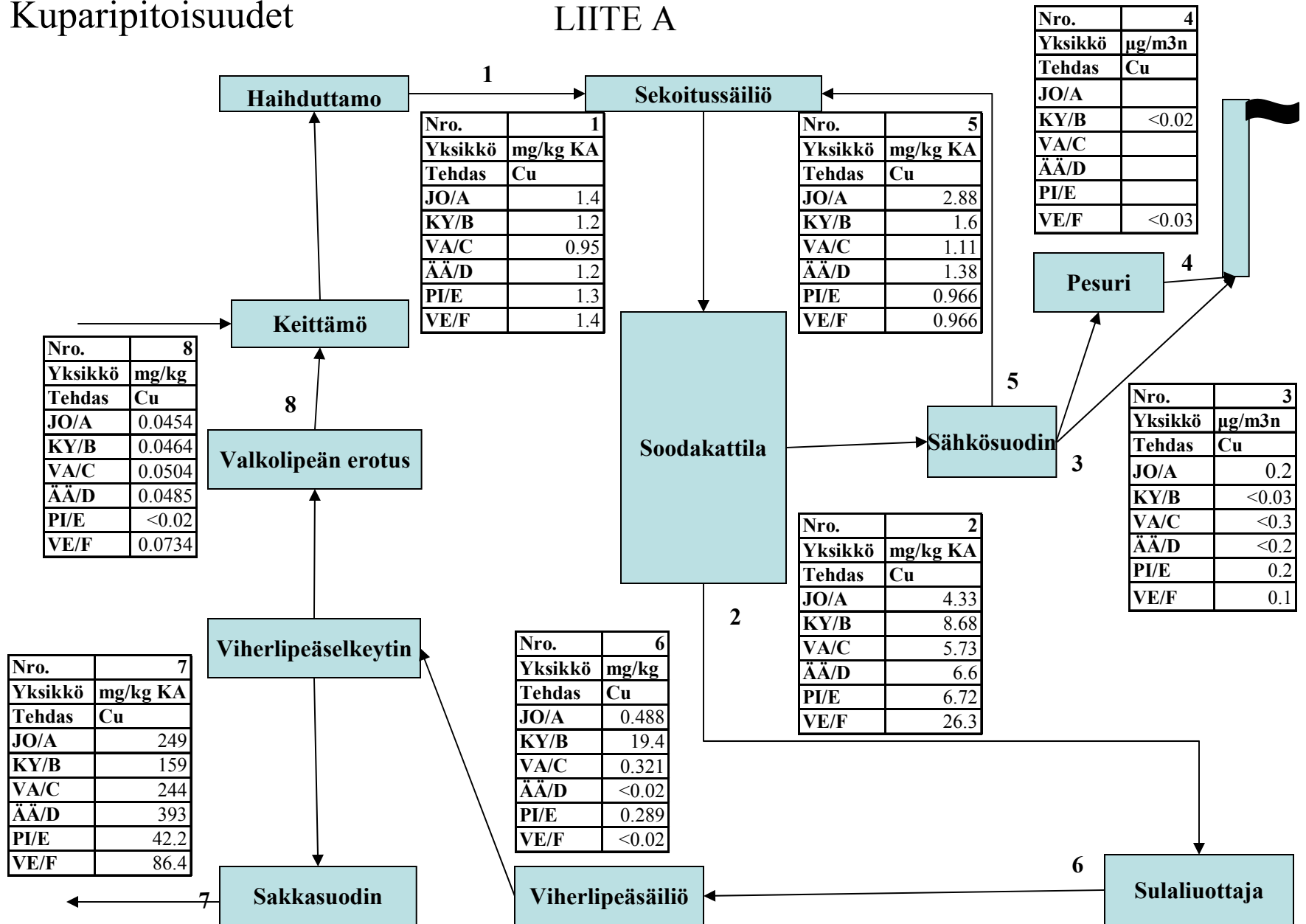
Kromi



Soodakattiloiden raskasmetallitaseet

Kuparipitoisuudet

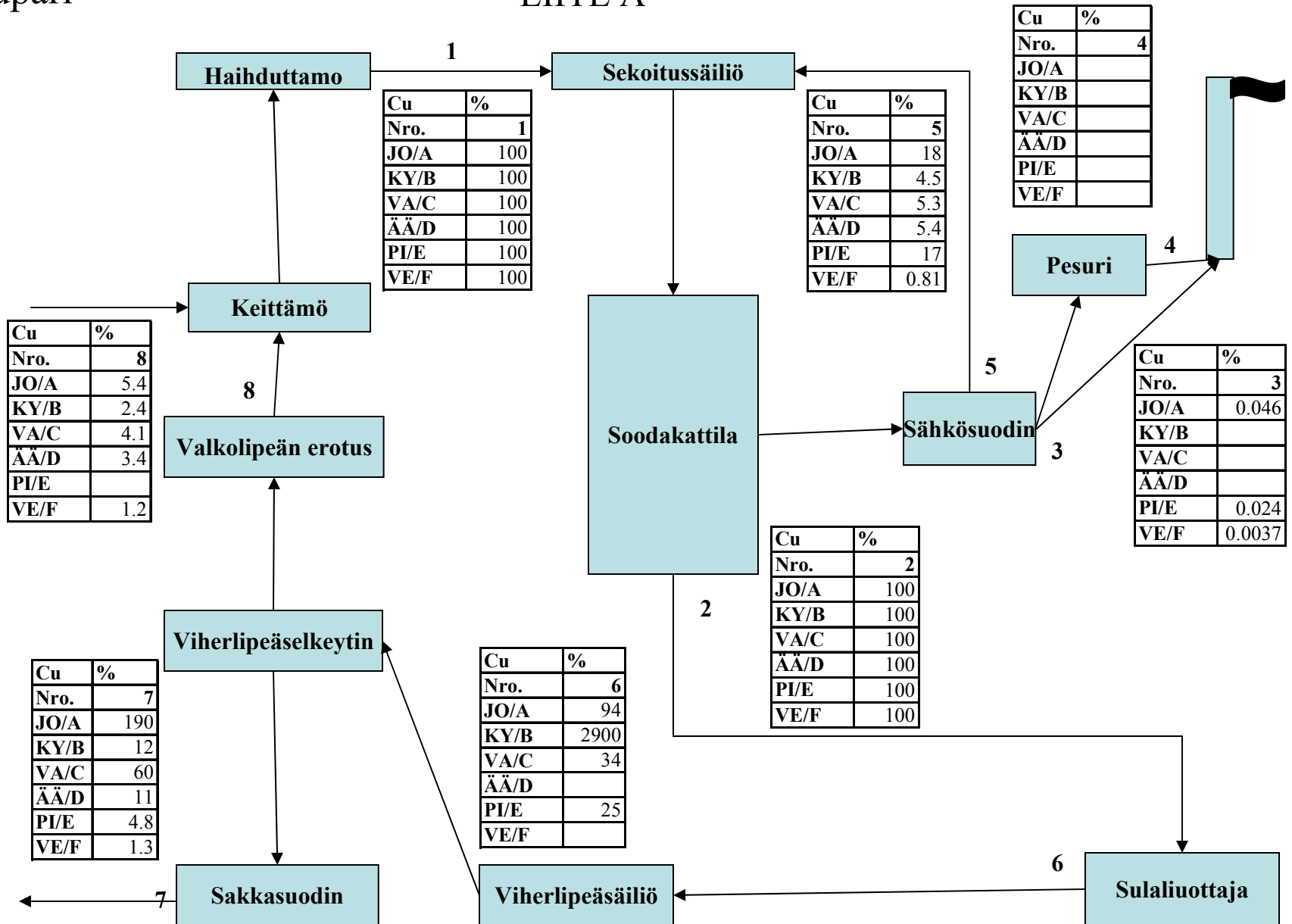
LIITE A



Soodakattiloiden raskasmetallitaseet

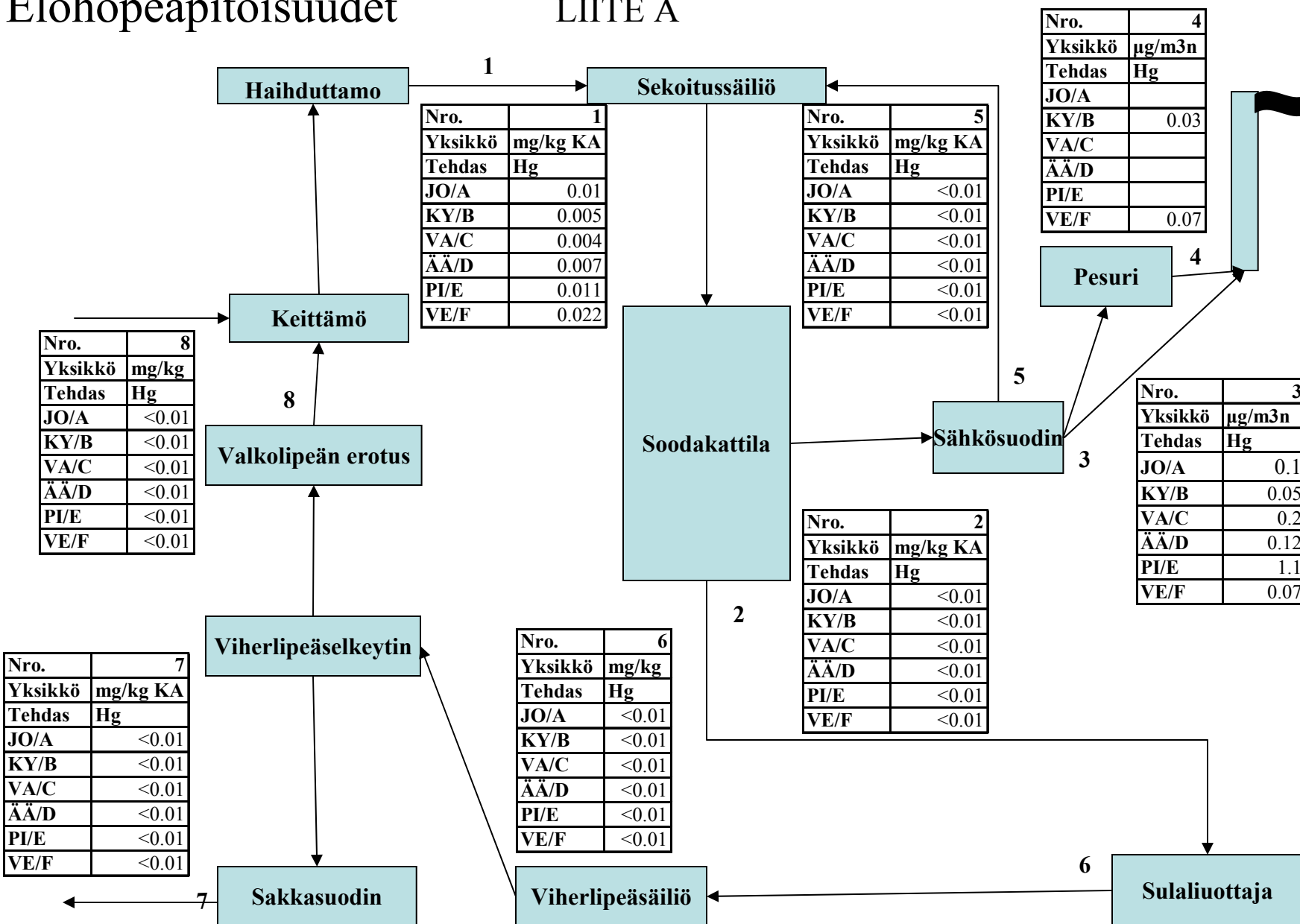
LIITE A

Kupari



Elohopeapitoisuudet

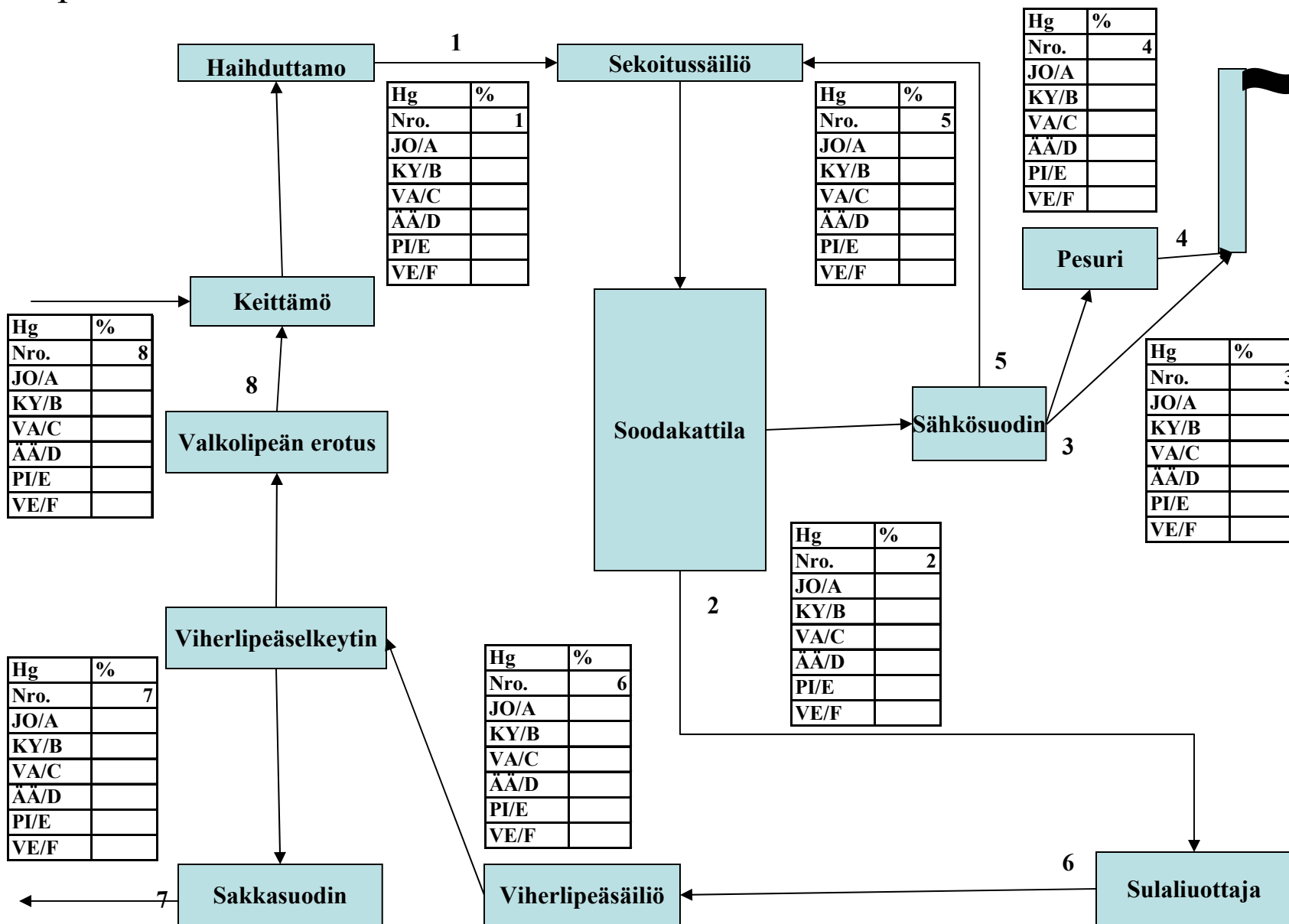
LITE A



Elohopea

Soodakattiloiden raskasmetallitaseet

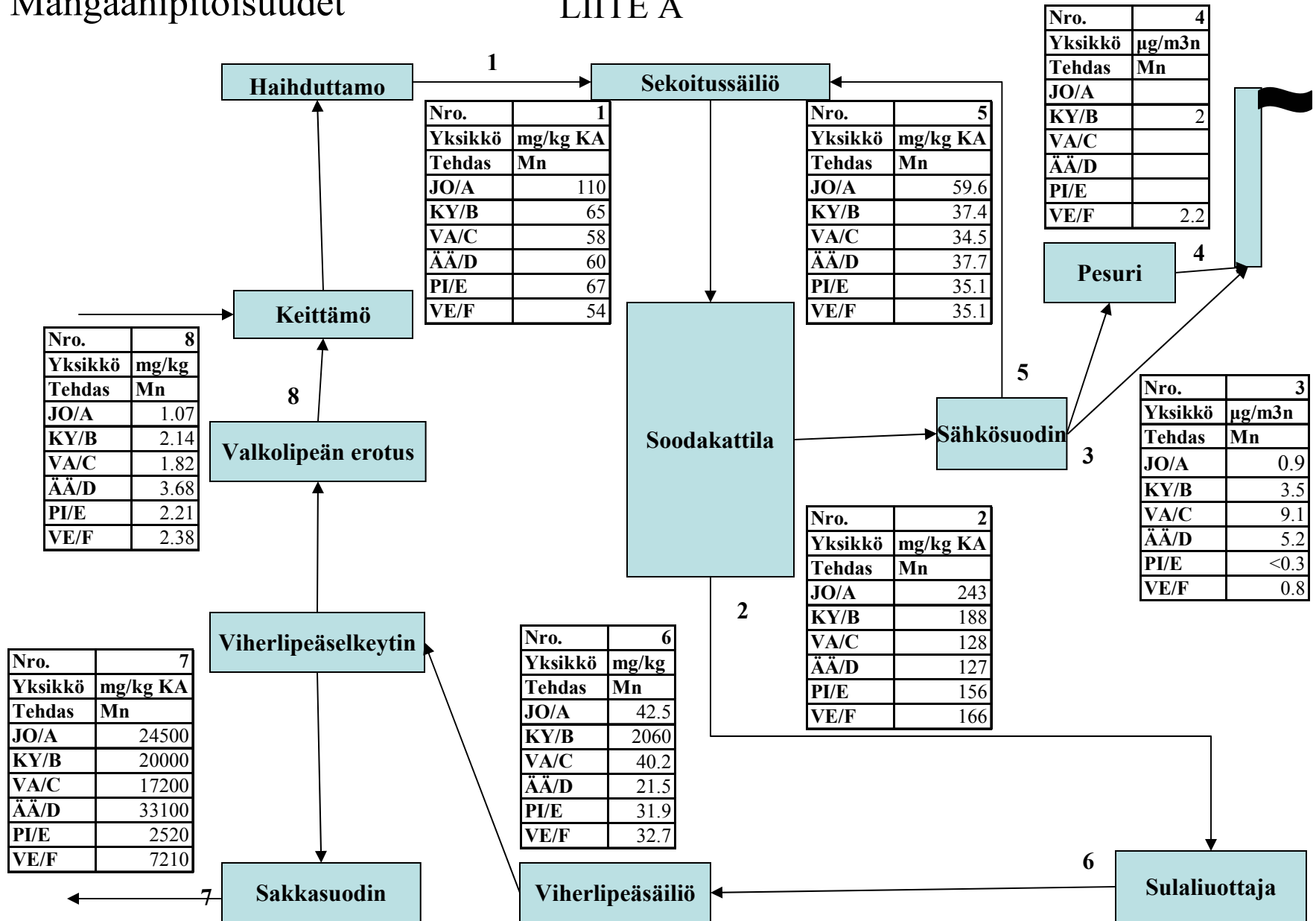
LIITE A



Soodakattiloiden raskasmetallitaseet

Mangaanipitoisuudet

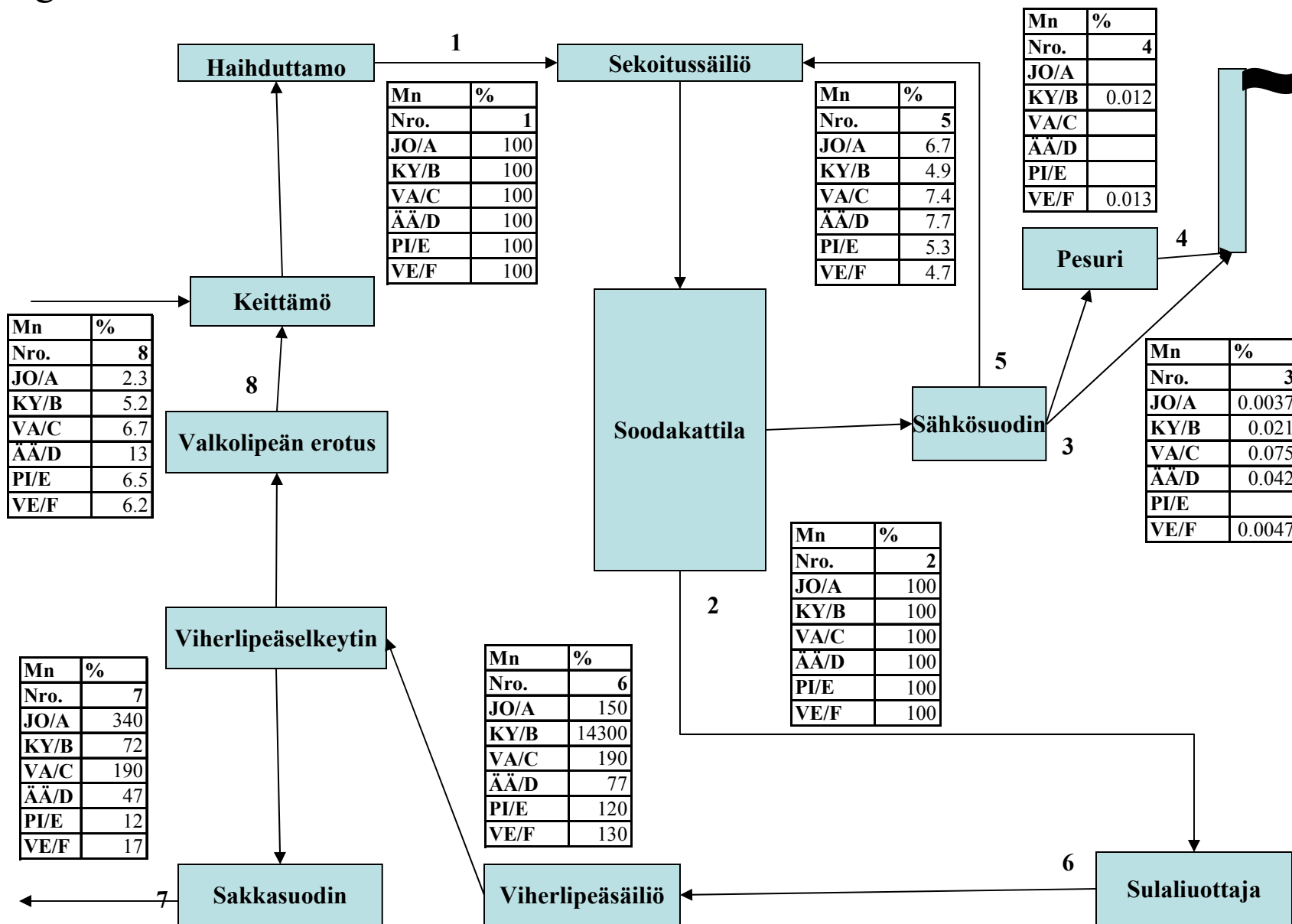
LIITE A



Mangaani

Soodakattiloiden raskasmetallitaseet

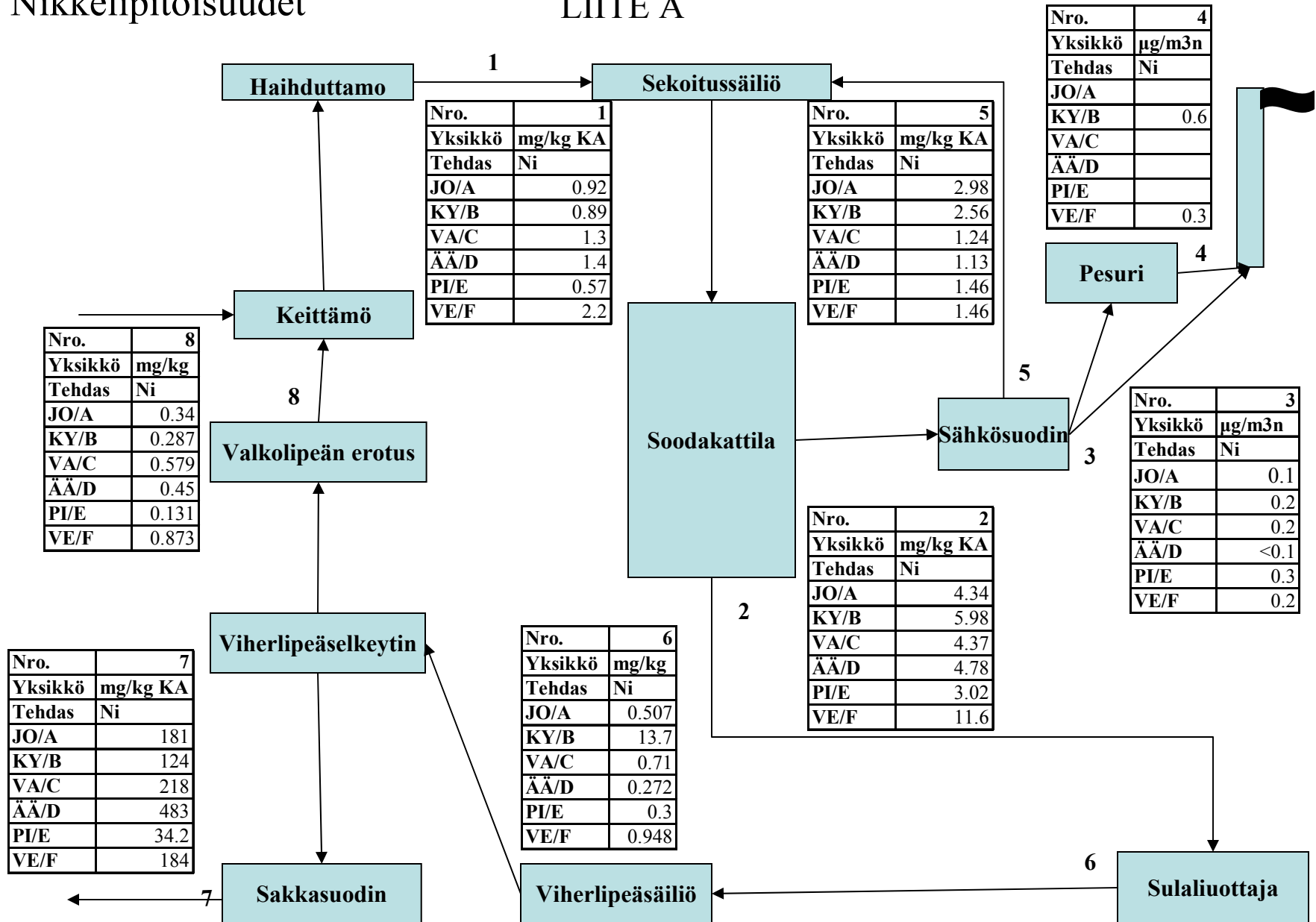
LIITE A



Soodakattiloiden raskasmetallitaseet

Nikkelipitoisuudet

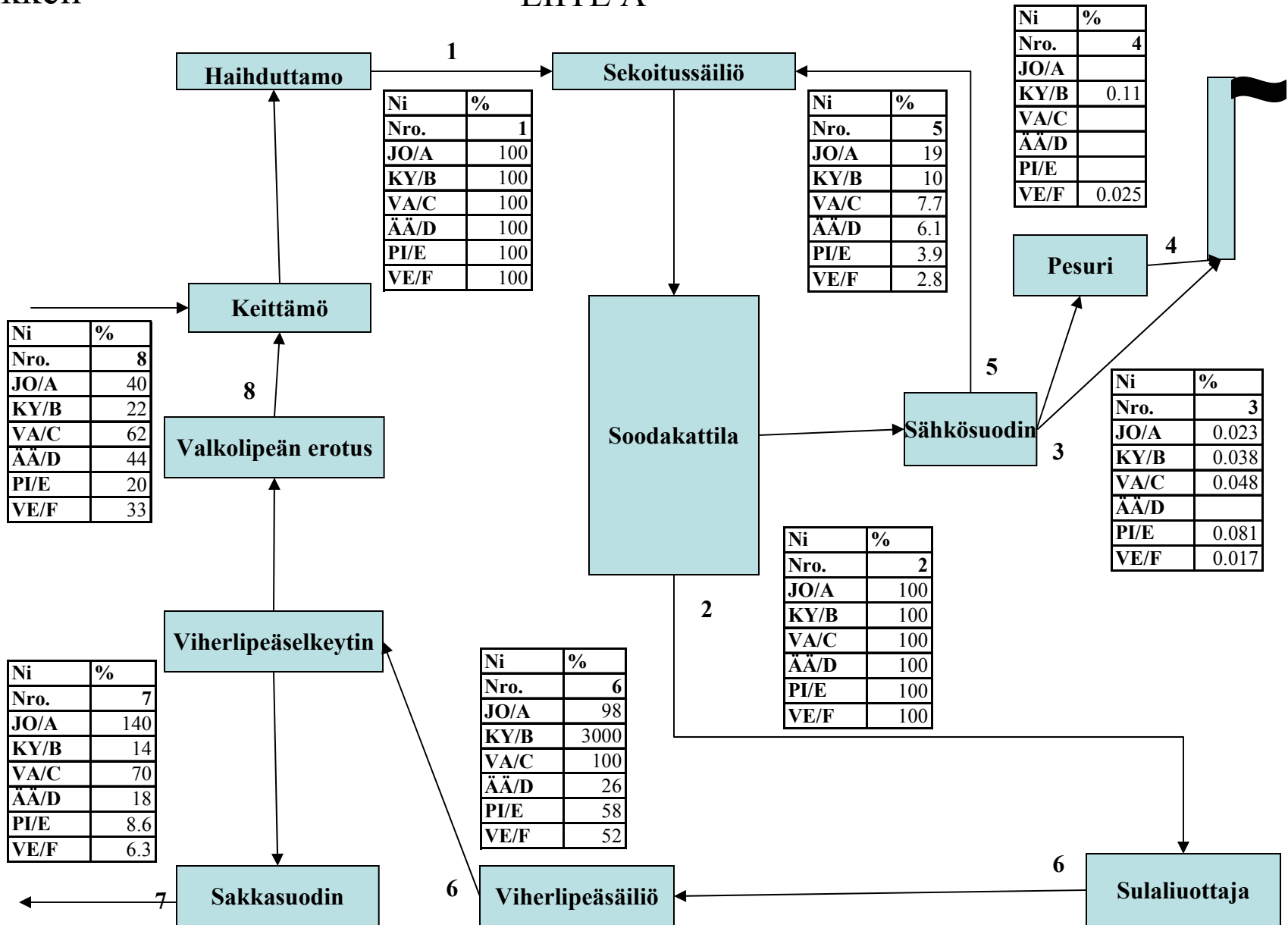
LIITE A



Soodakattiloiden raskasmetallitaseet

LIITE A

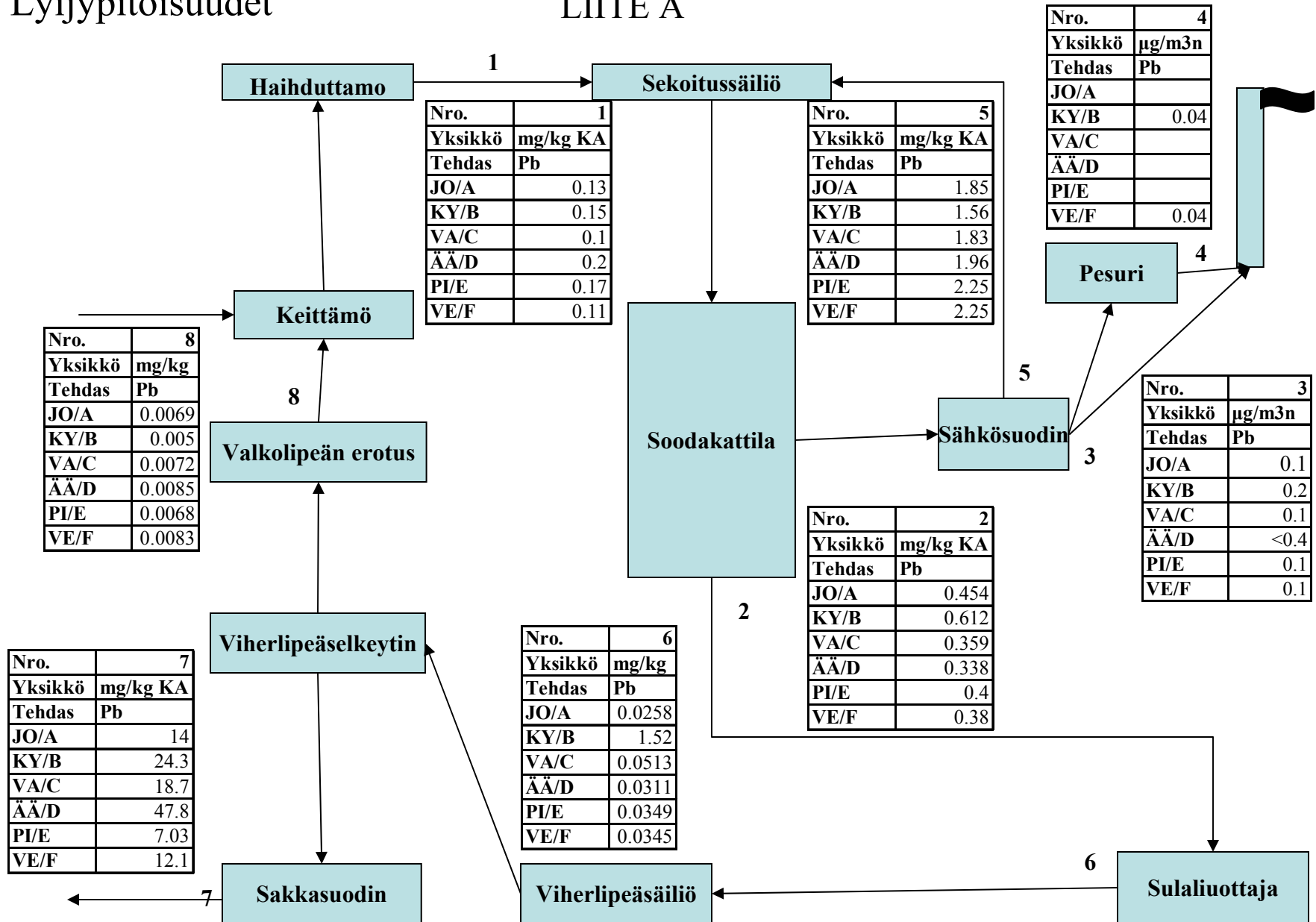
Nikkeli



Soodakattiloiden raskasmetallitaseet

Lyijypitoisuudet

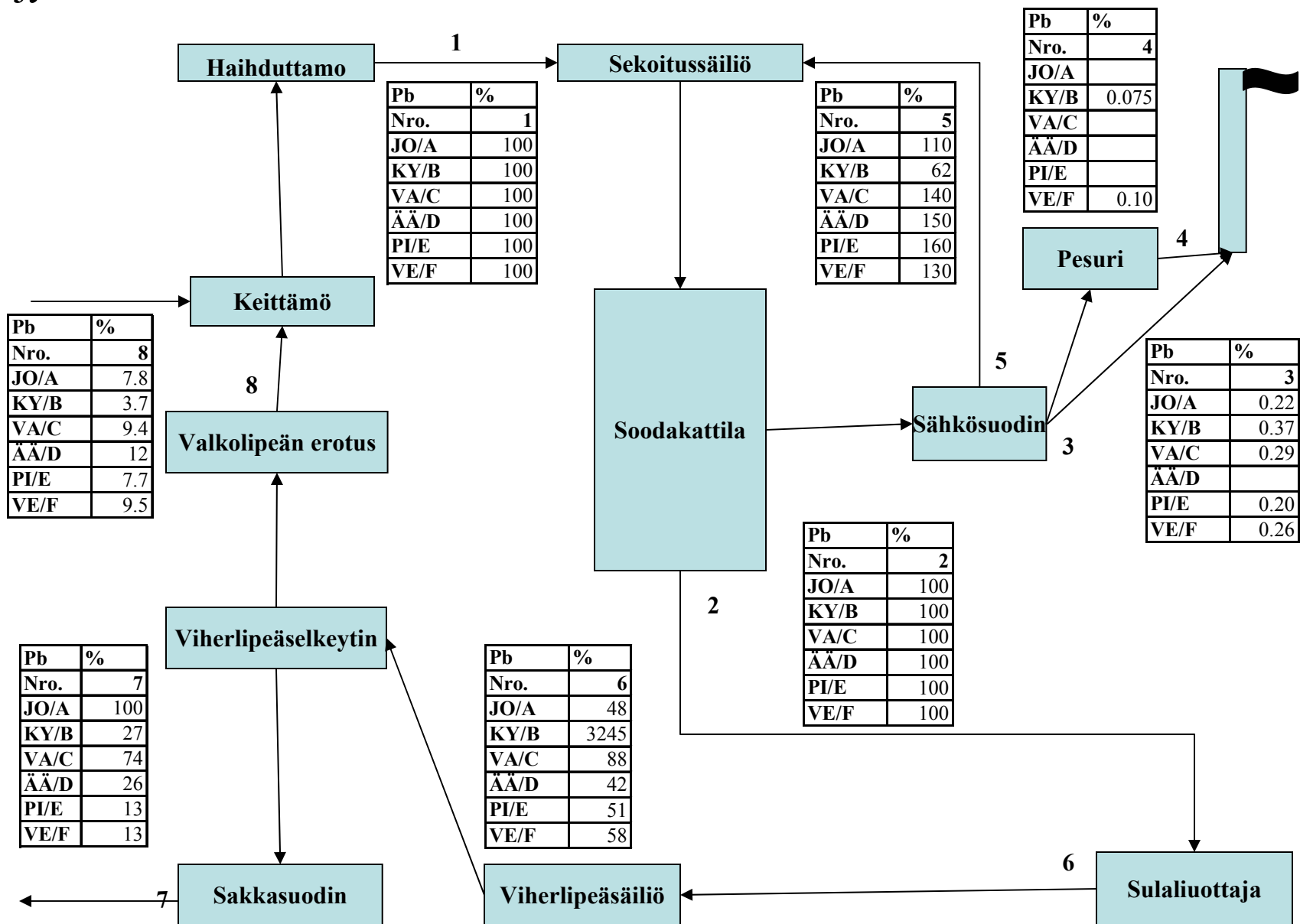
LIITE A



Lyijy

Soodakattiloiden raskasmetallitaseet

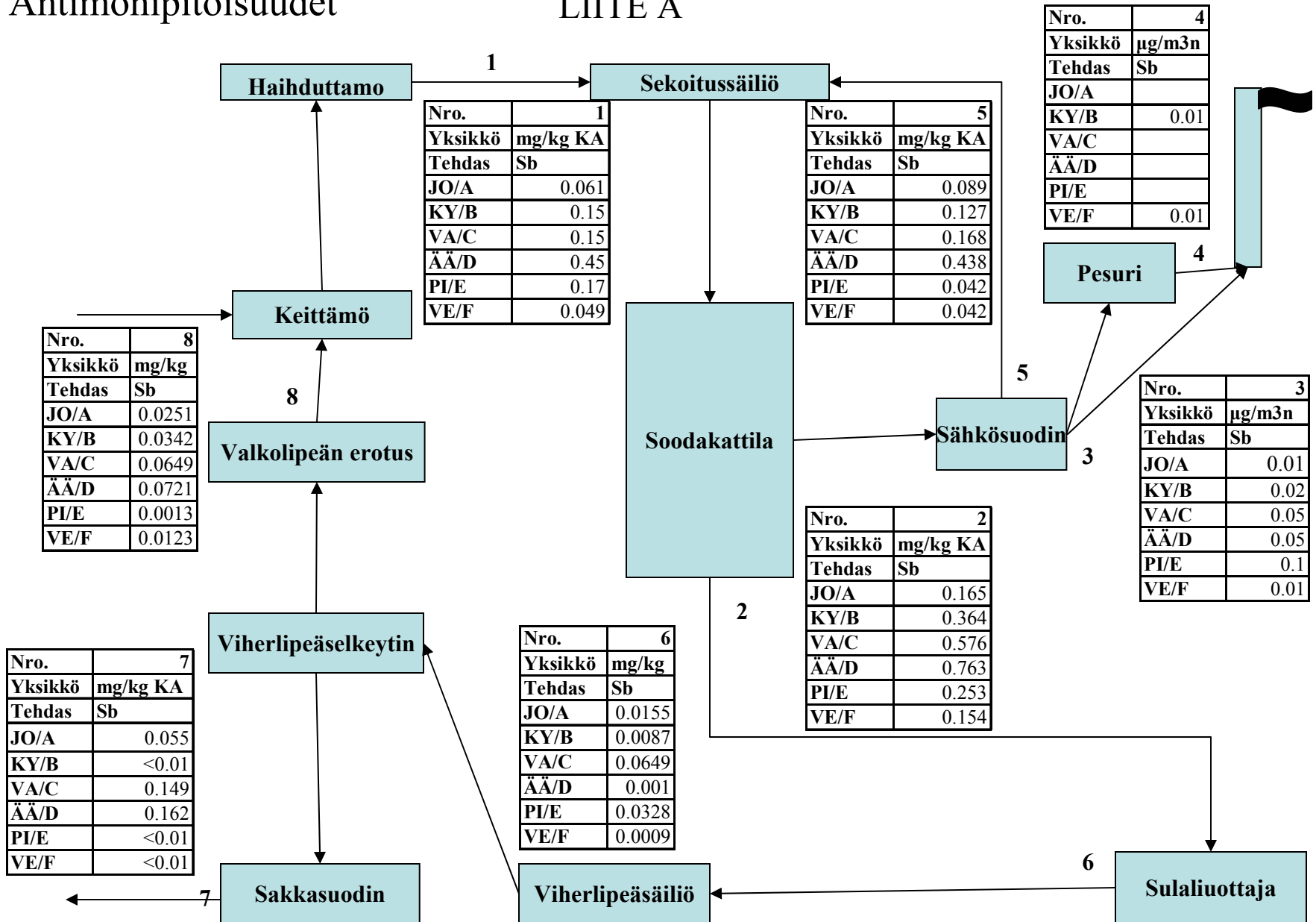
LIITE A



Soodakattiloiden raskasmetallitaseet

Antimonipitoisuudet

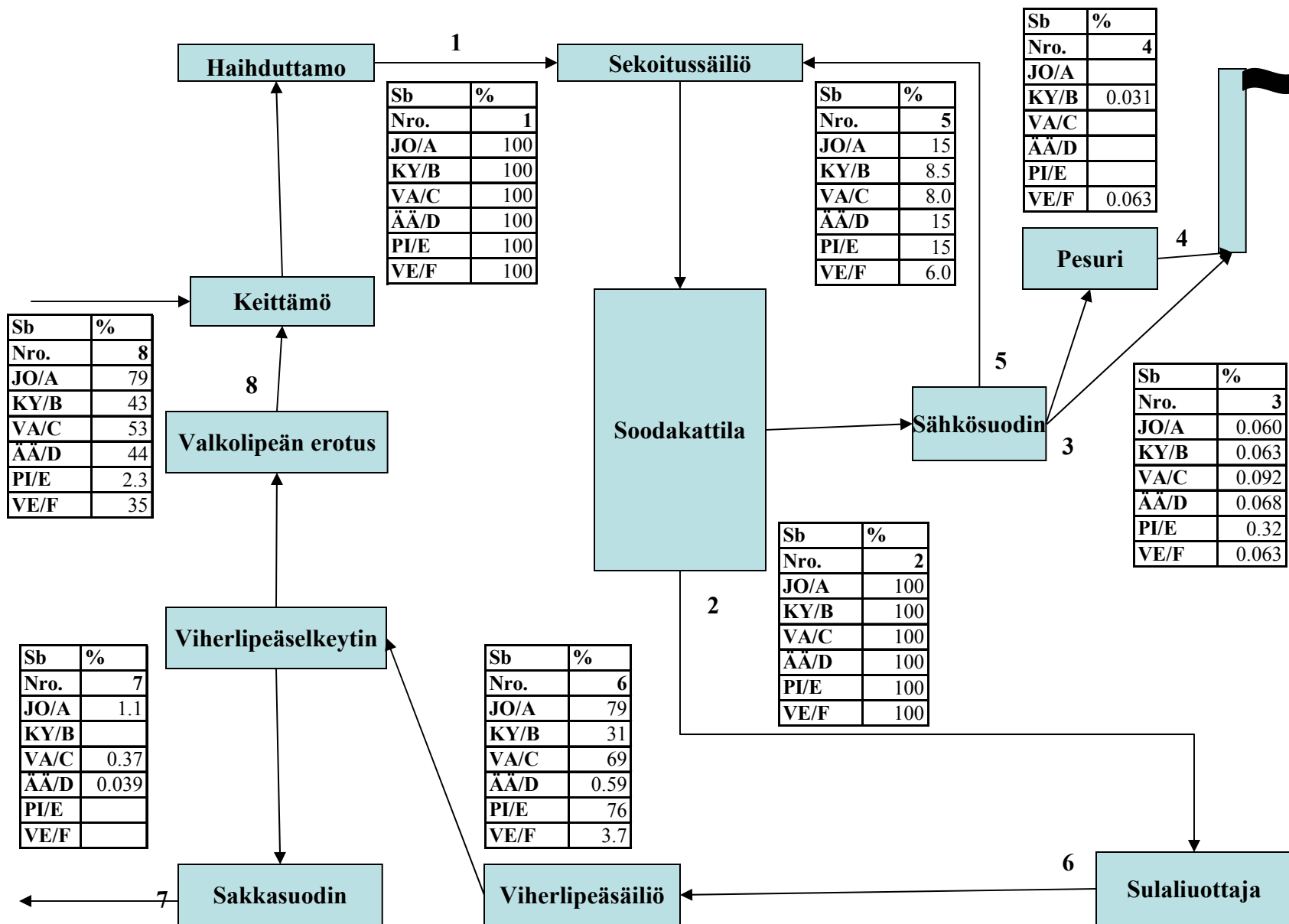
LIITE A



Antimoni

Soodakattiloiden raskasmetallitaseet

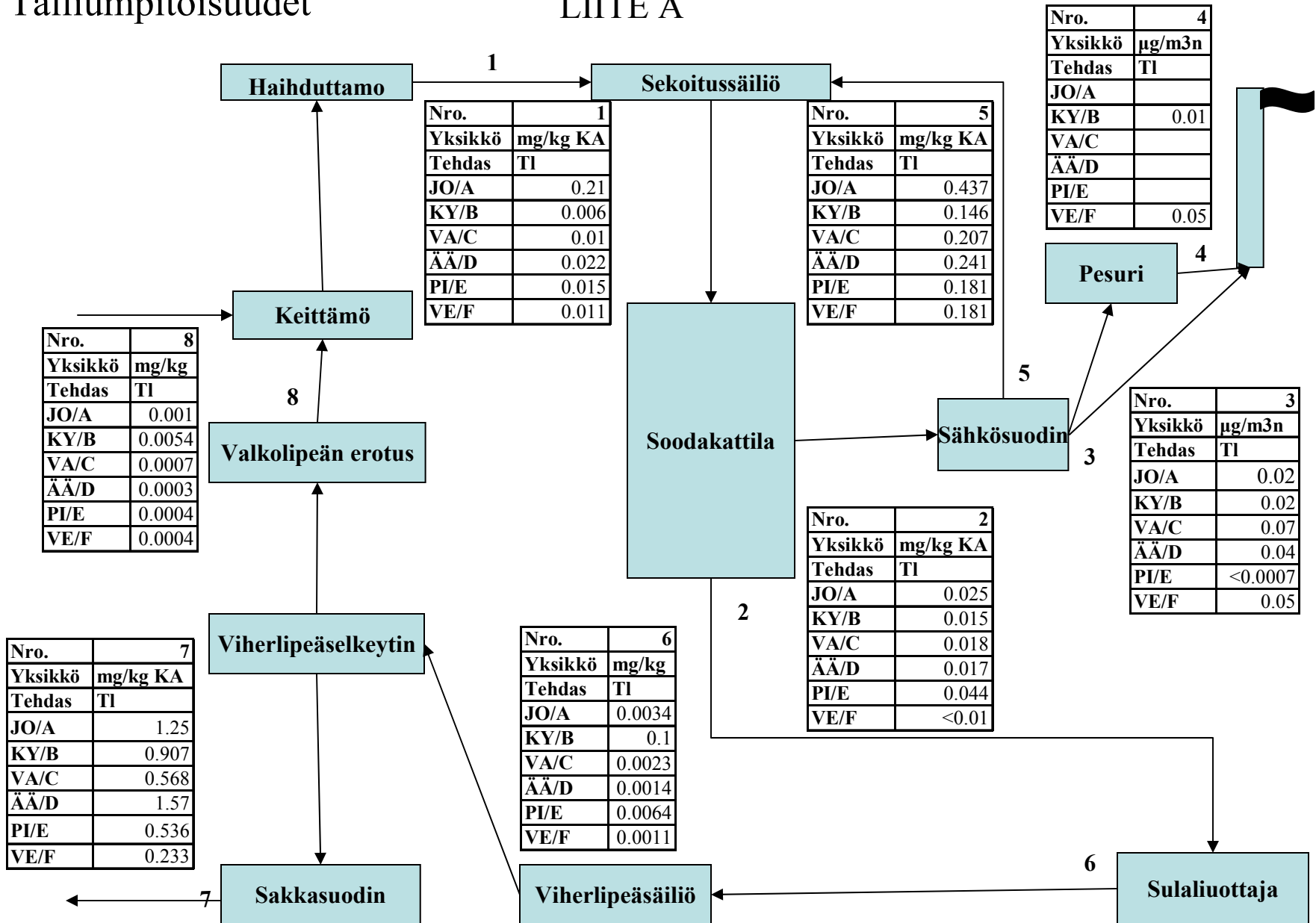
LIITE A



Soodakattiloiden raskasmetallitaseet

Talliumpitoisuudet

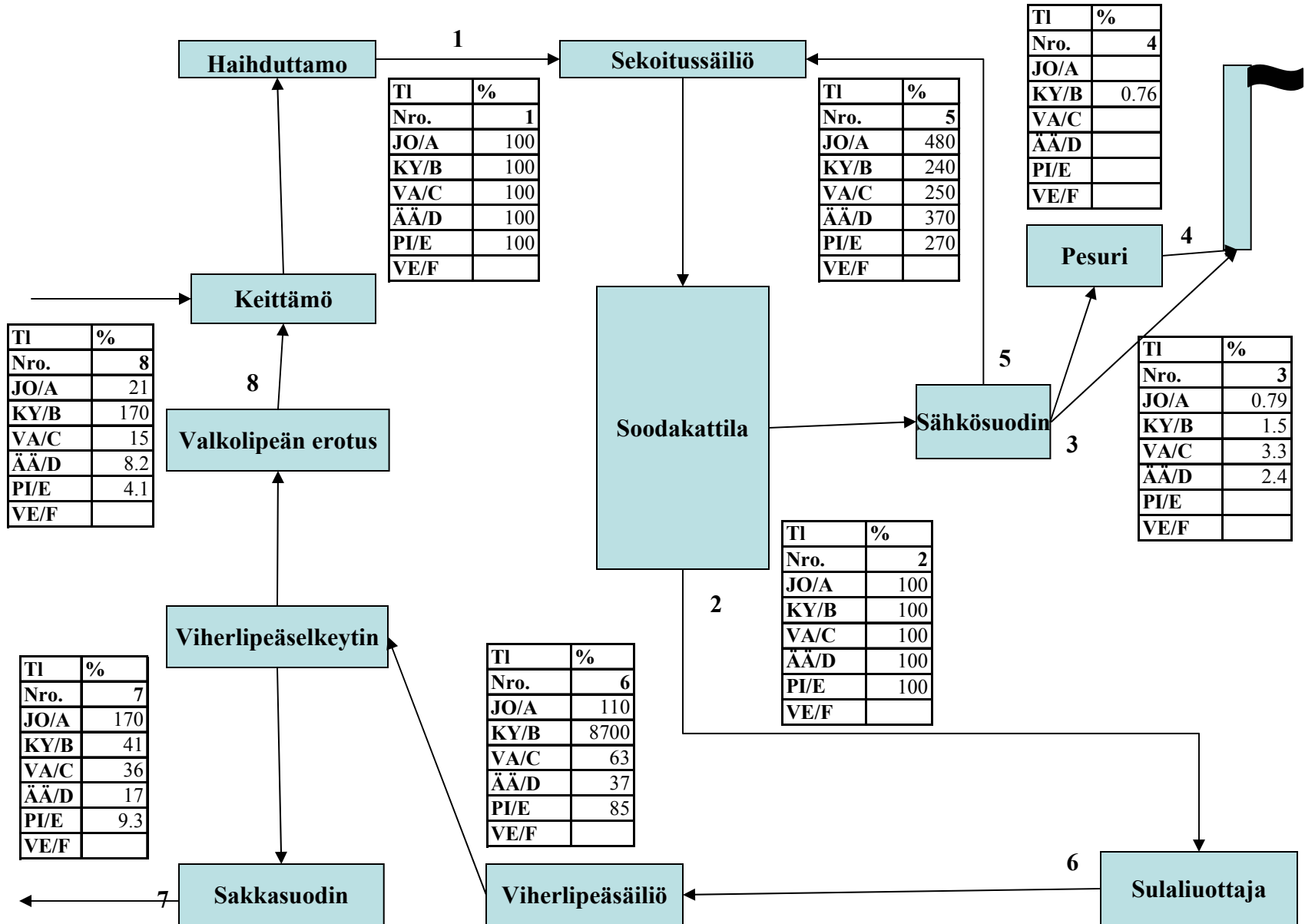
LIITE A



Soodakattiloiden raskasmetallitaseet

LIITE A

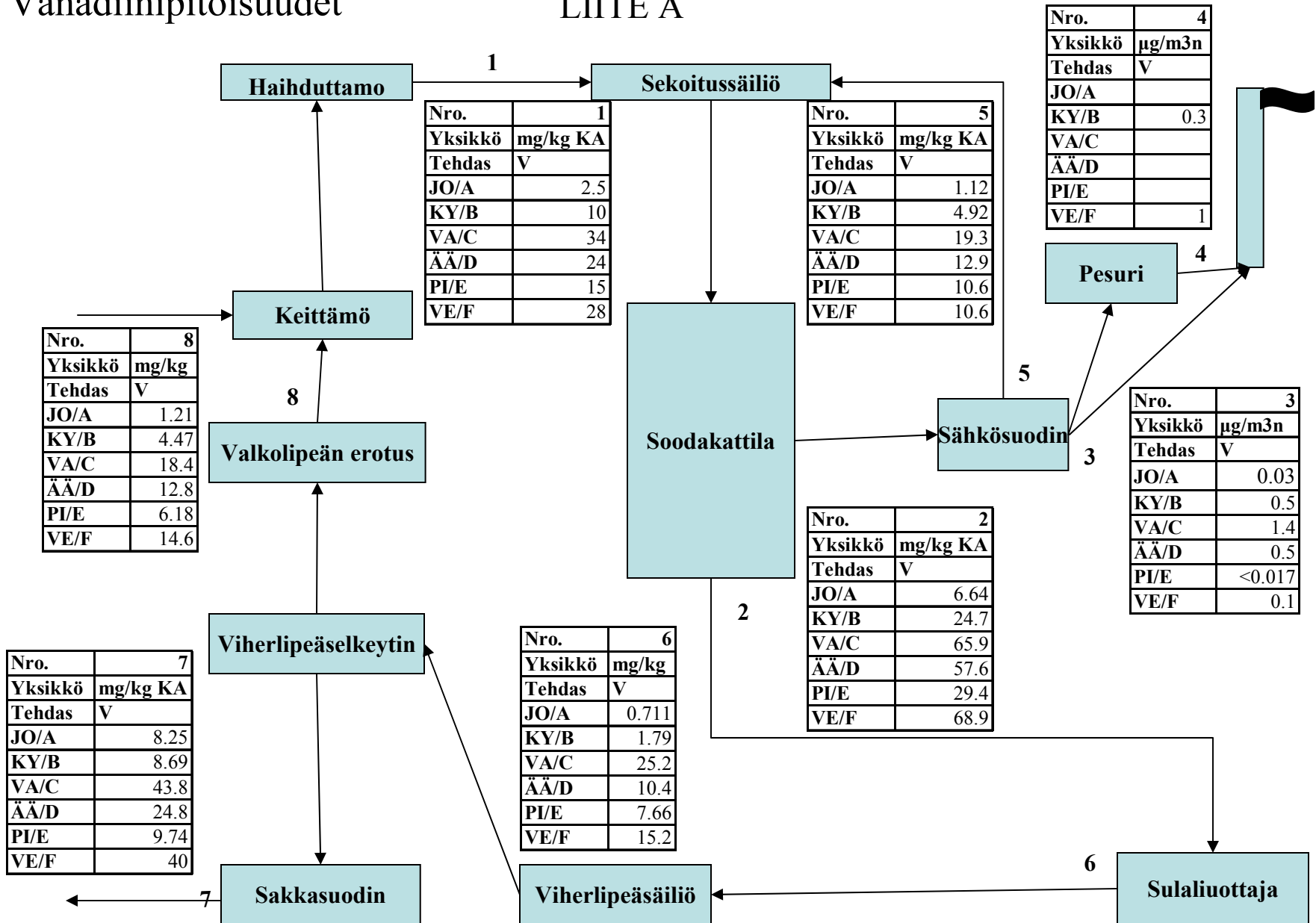
Tallium



Soodakattiloiden raskasmetallitaseet

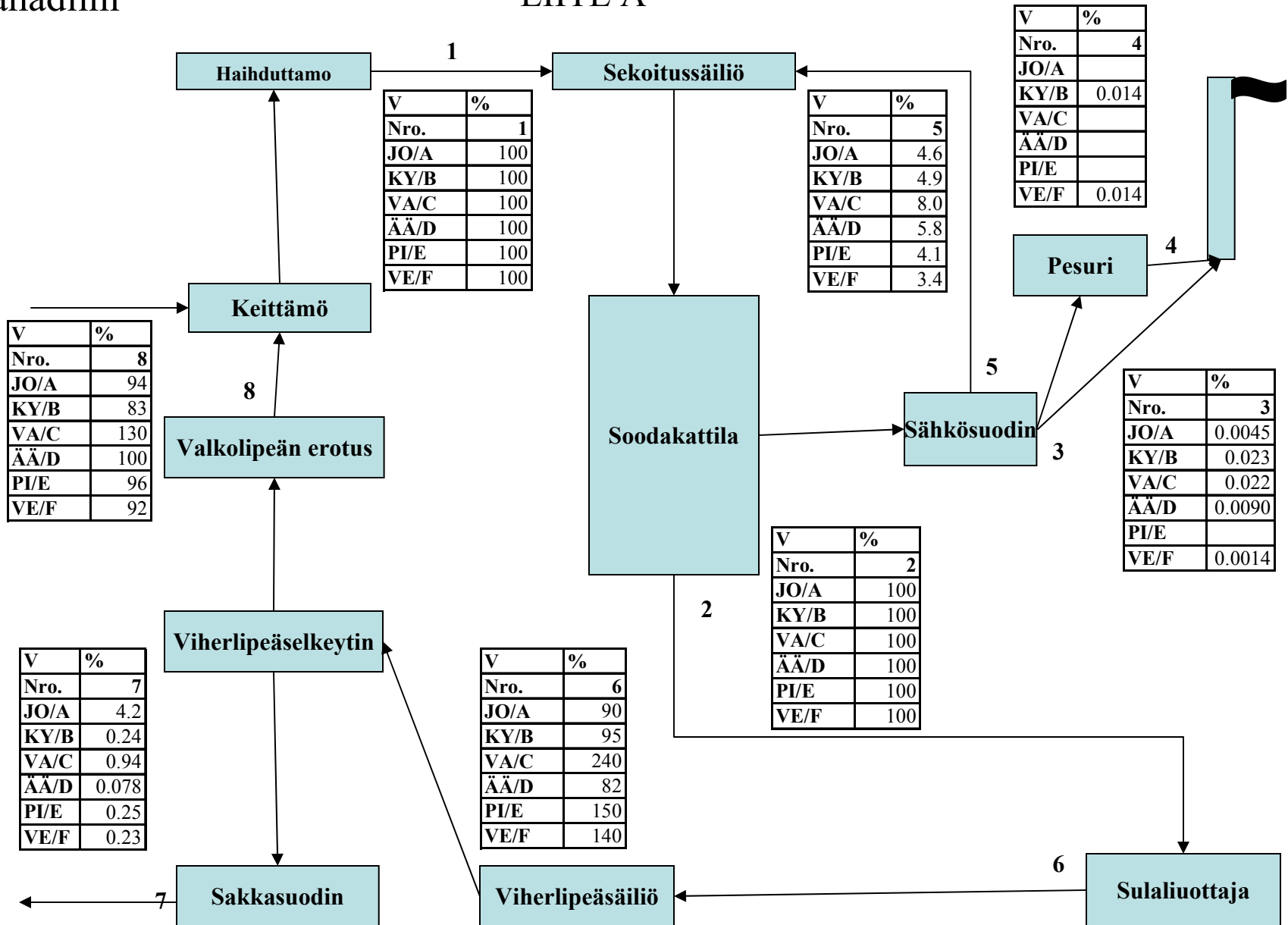
Vanadiinipitoisuudet

LIITE A



LIITE A

Vanadiini



Soodakattiloiden raskasmetallitaseet

LIITE A

Yhteenvedo

Alkuaine	Mustalipeässä	Savukaasussa	Tuhkakierrossa	Viherlipesäksäksä
Yksikkö	mg/kg KA	µg/m³n	%	
As	0.05-0.1	0.02-0.1	32	-
Cd	0.03-0.13	0.02-0.2	400-1000	++
Co	0.2-0.78	0.01-6.3	1-30	+
Cr	0.06-0.5	0.3-1.3	2-4	+
Cu	0.95-1.4	0.03-0.2	1-18	+
Hg	0.004-0.01	0.05-1.1	-	
Mn	54-100	0.3-9.1	5-8	++
Ni	0.6-2	0.1-0.2	3-19	+
Pb	0.1-0.2	0.1-0.4	62-160	++
Sb	0.05-0.45	0.01-0.1	6-15	-
Tl	0.01-0.2	0.001-0.07	250-480	+
V	2.5-30	0.03-1.4	3-8	+

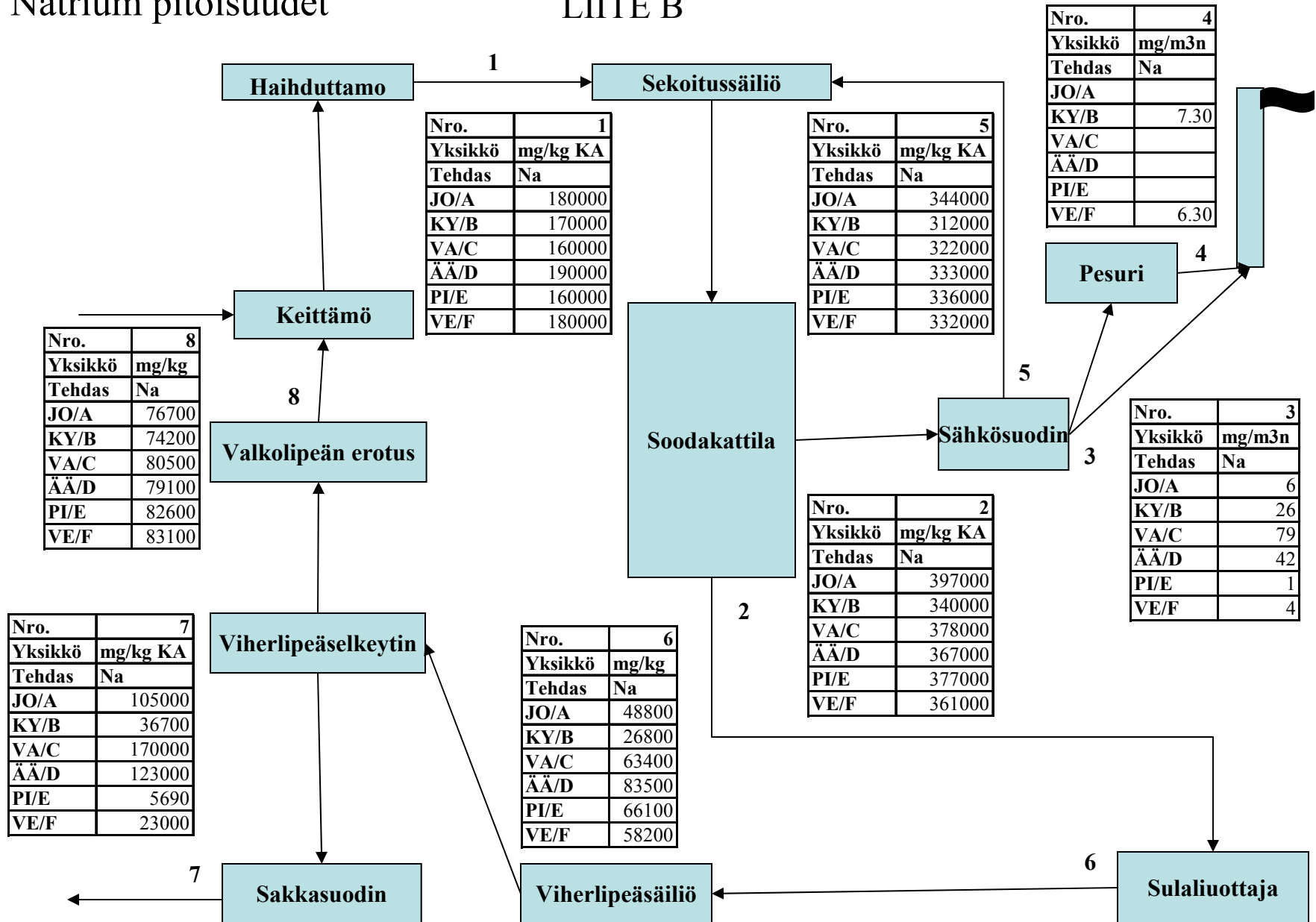
Soodakattiloiden raskasmetallitaseet
LIITE B

pääkomponentit

Soodakattiloiden raskasmetallitaseet

Natrium pitoisuudet

LIITE B

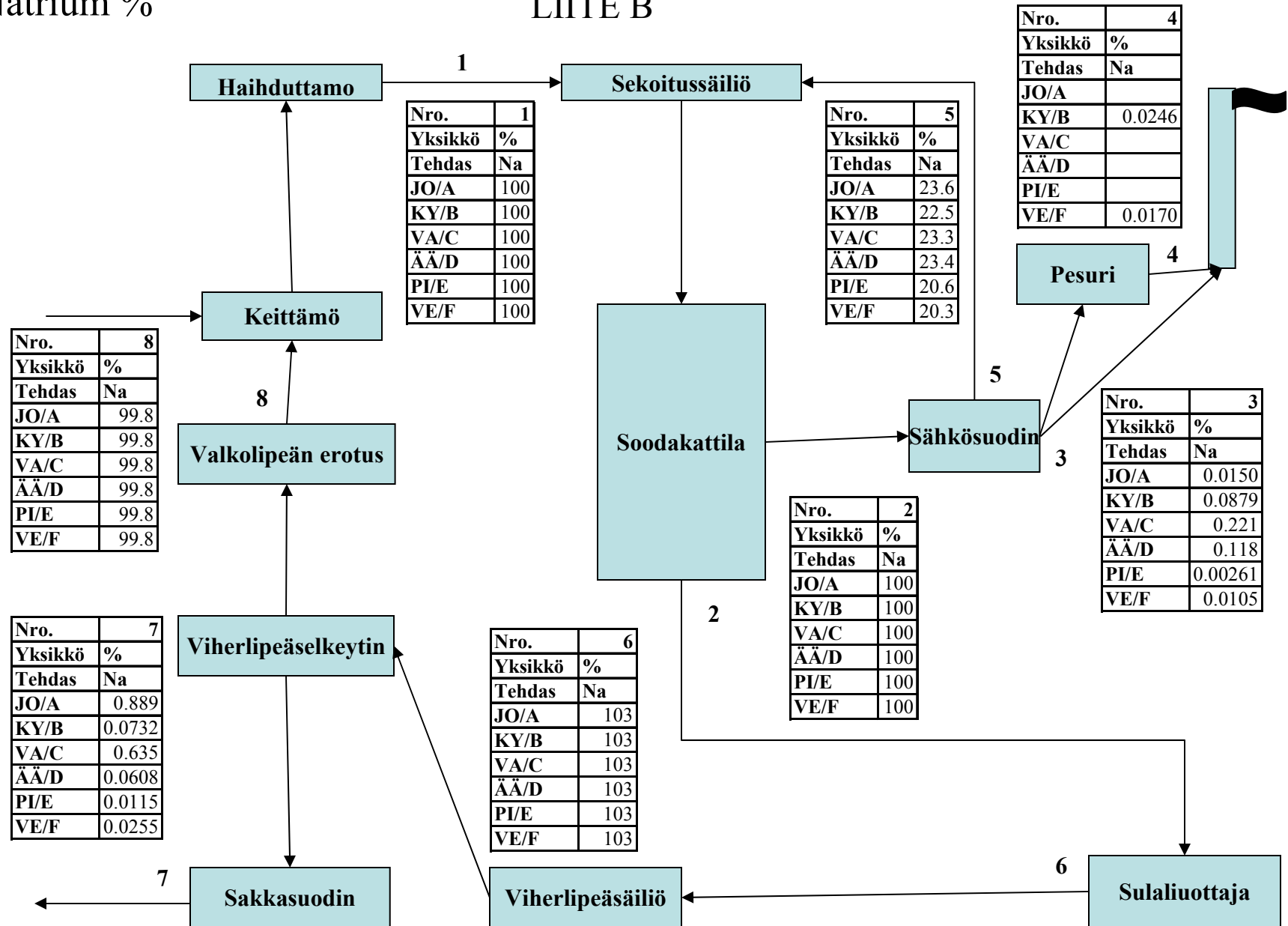


Soodakattiloiden raskasmetallitaseet

LIITE B

LIITE B

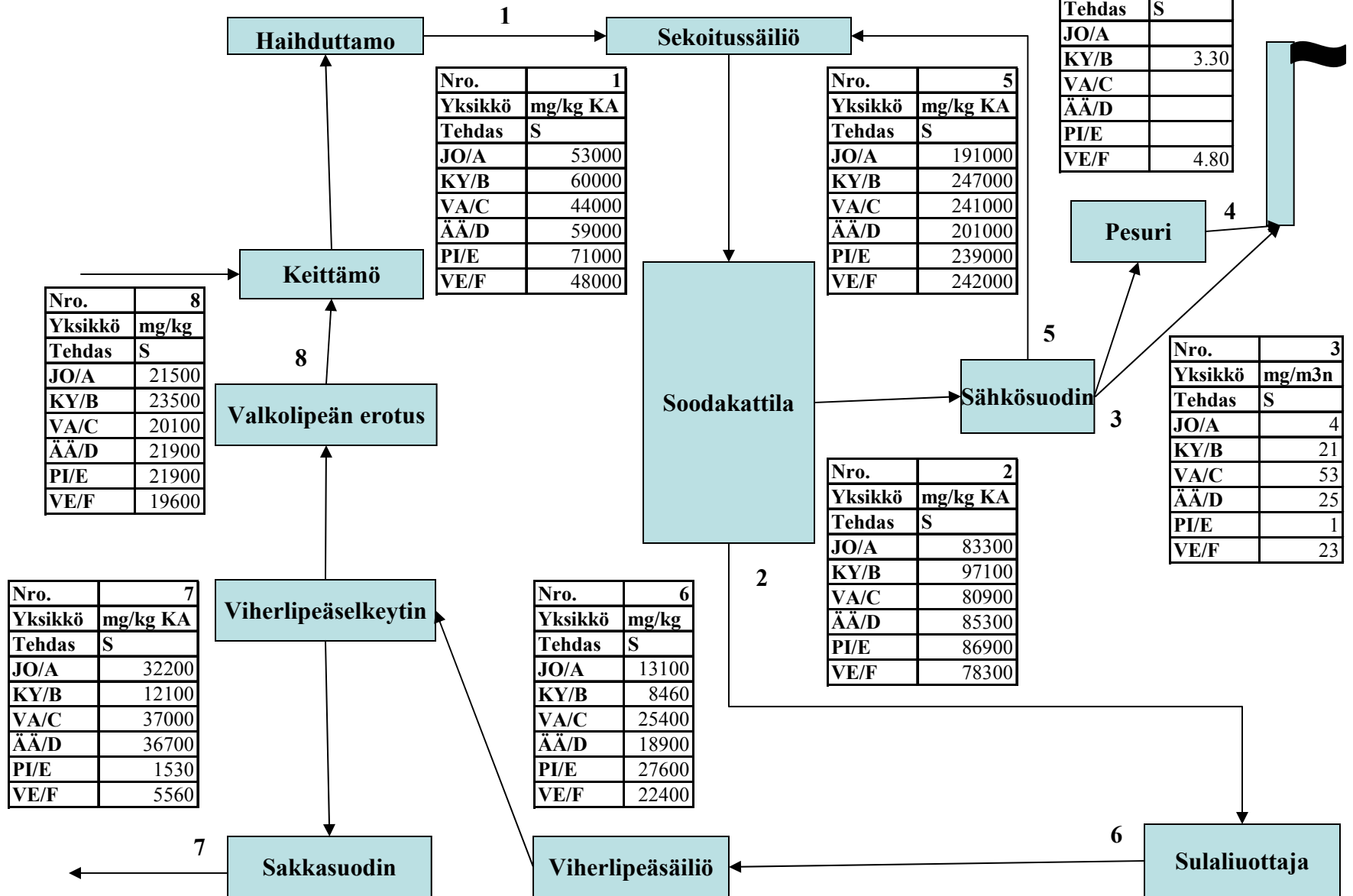
Natrium %



Soodakattiloiden raskasmetallitaseet

Rikki pitoisuudet

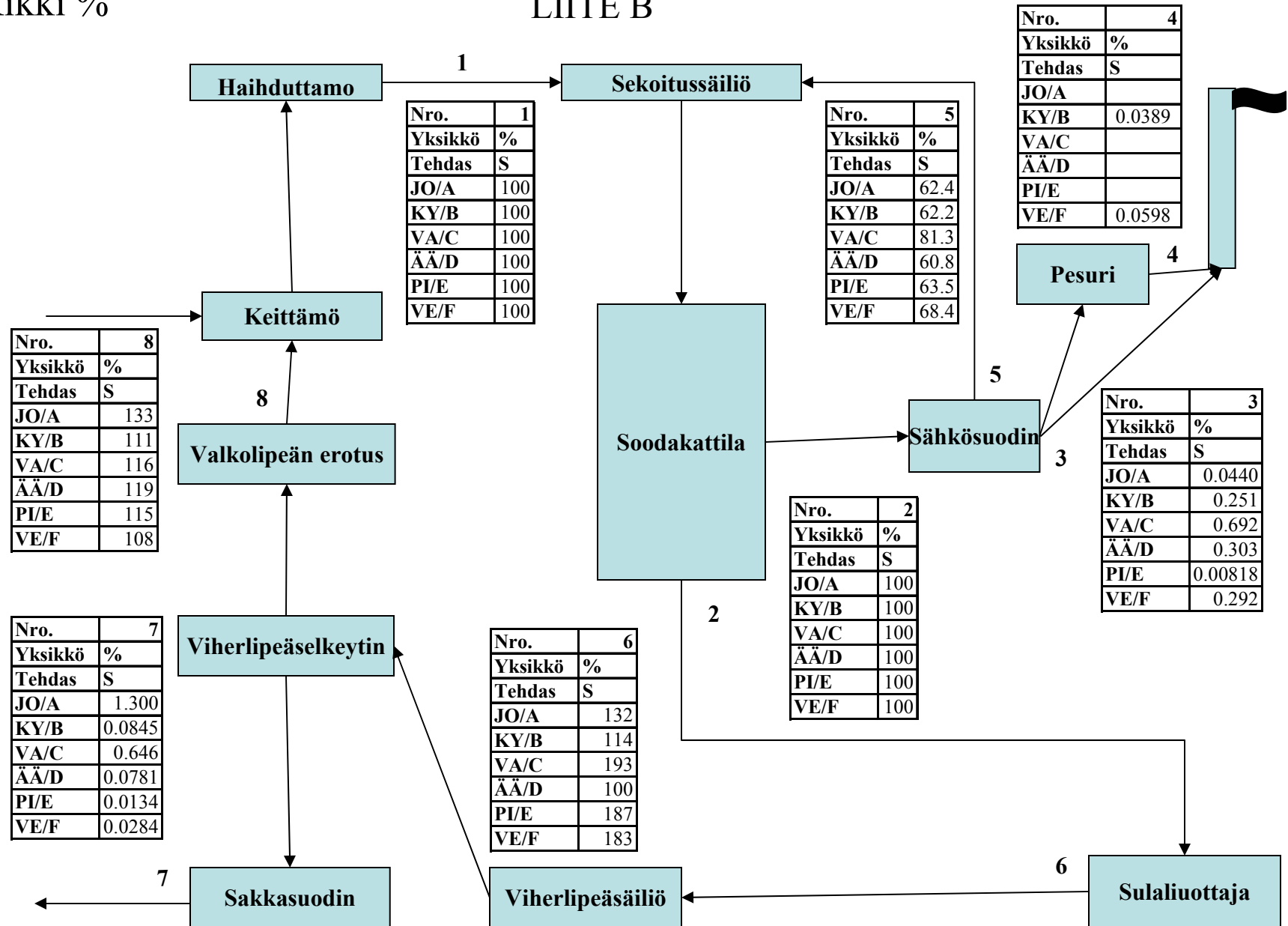
LIITE B



Soodakattiloiden raskasmetallitaseet

LIITE B

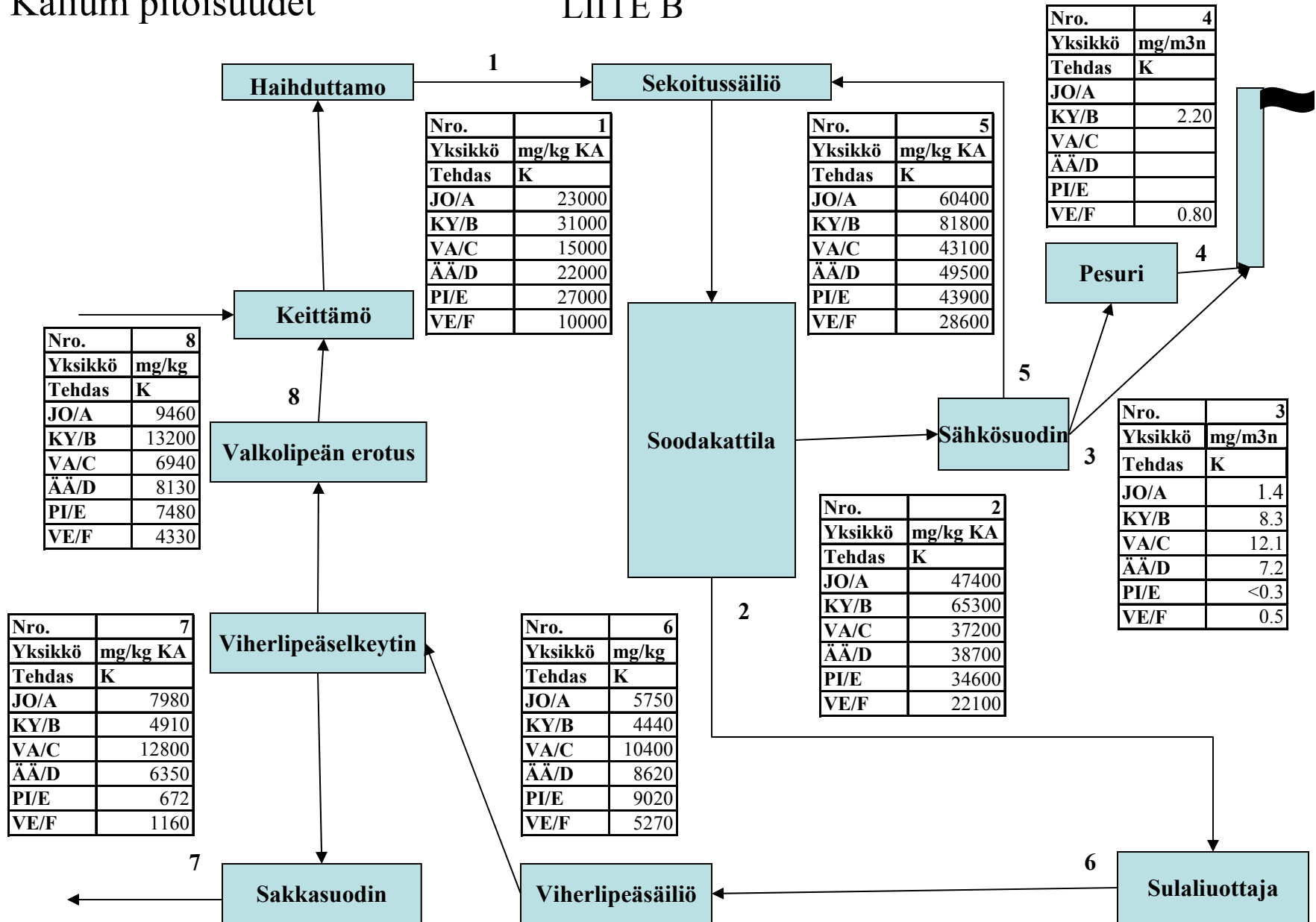
Rikki %



Soodakattiloiden raskasmetallitaseet

Kalium pitoisuudet

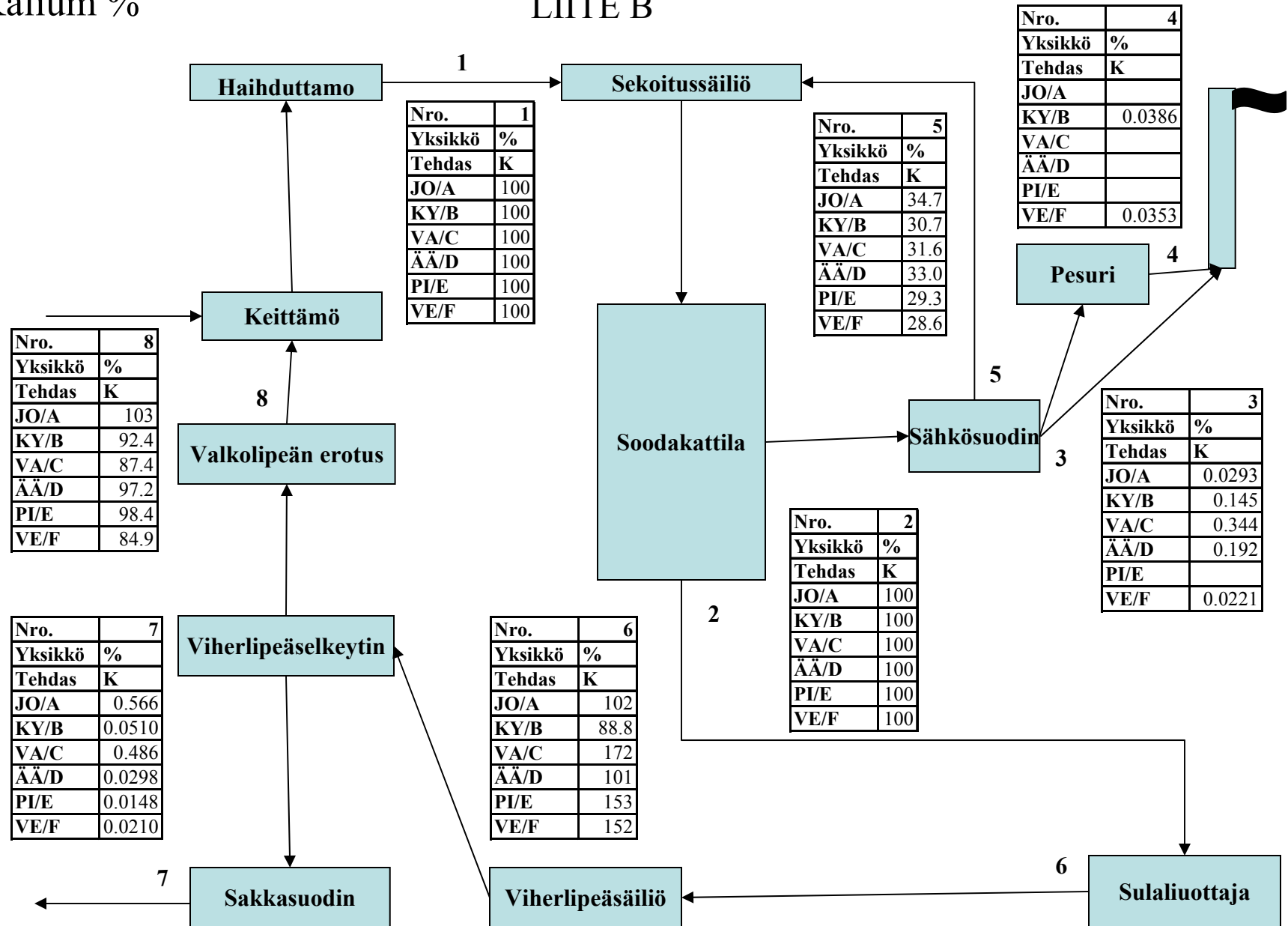
LIITE B



Soodakattiloiden raskasmetallitaseet

LIITE B

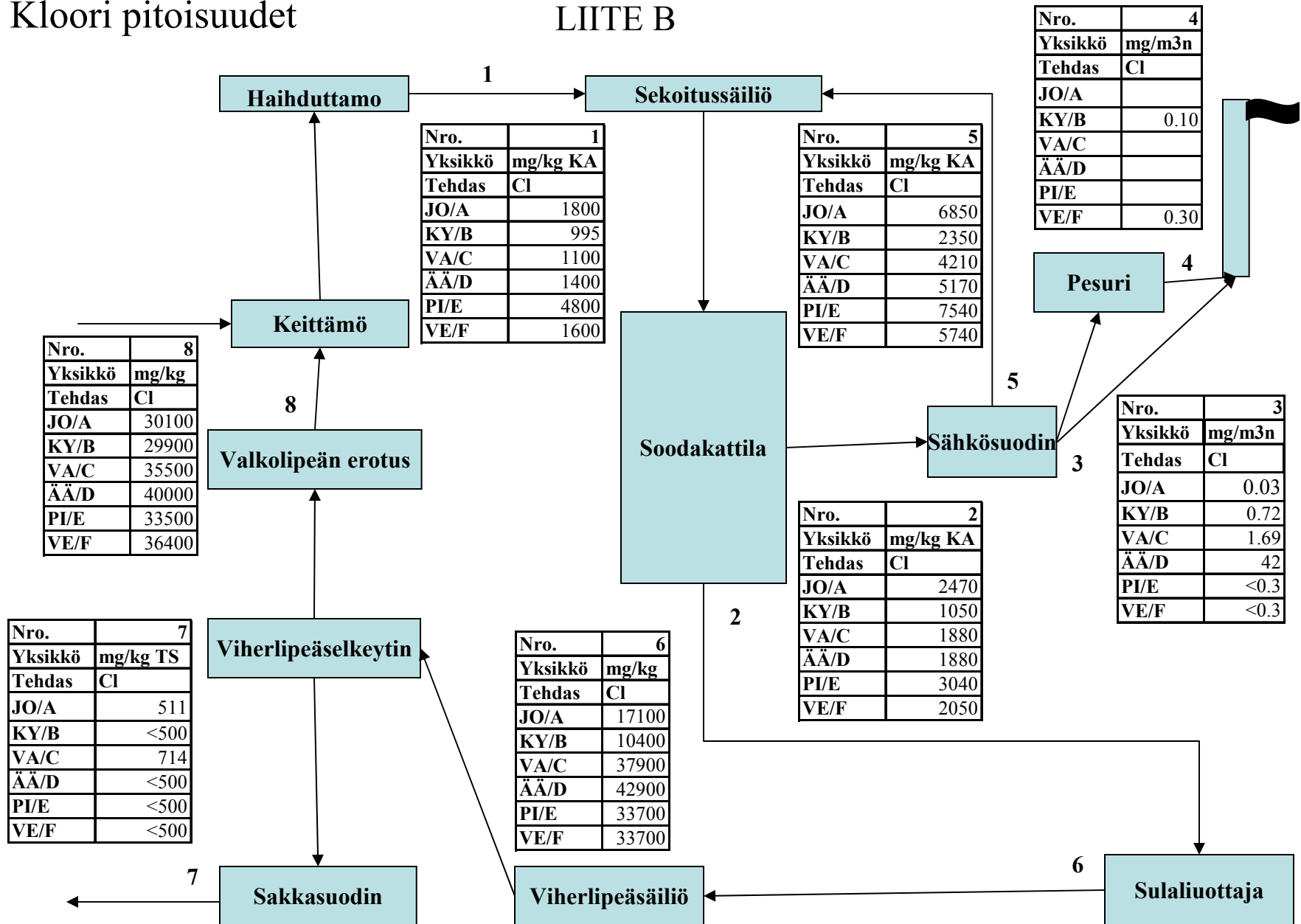
Kalium %



Soodakattiloiden raskasmetallitaseet

Kloori pitoisuudet

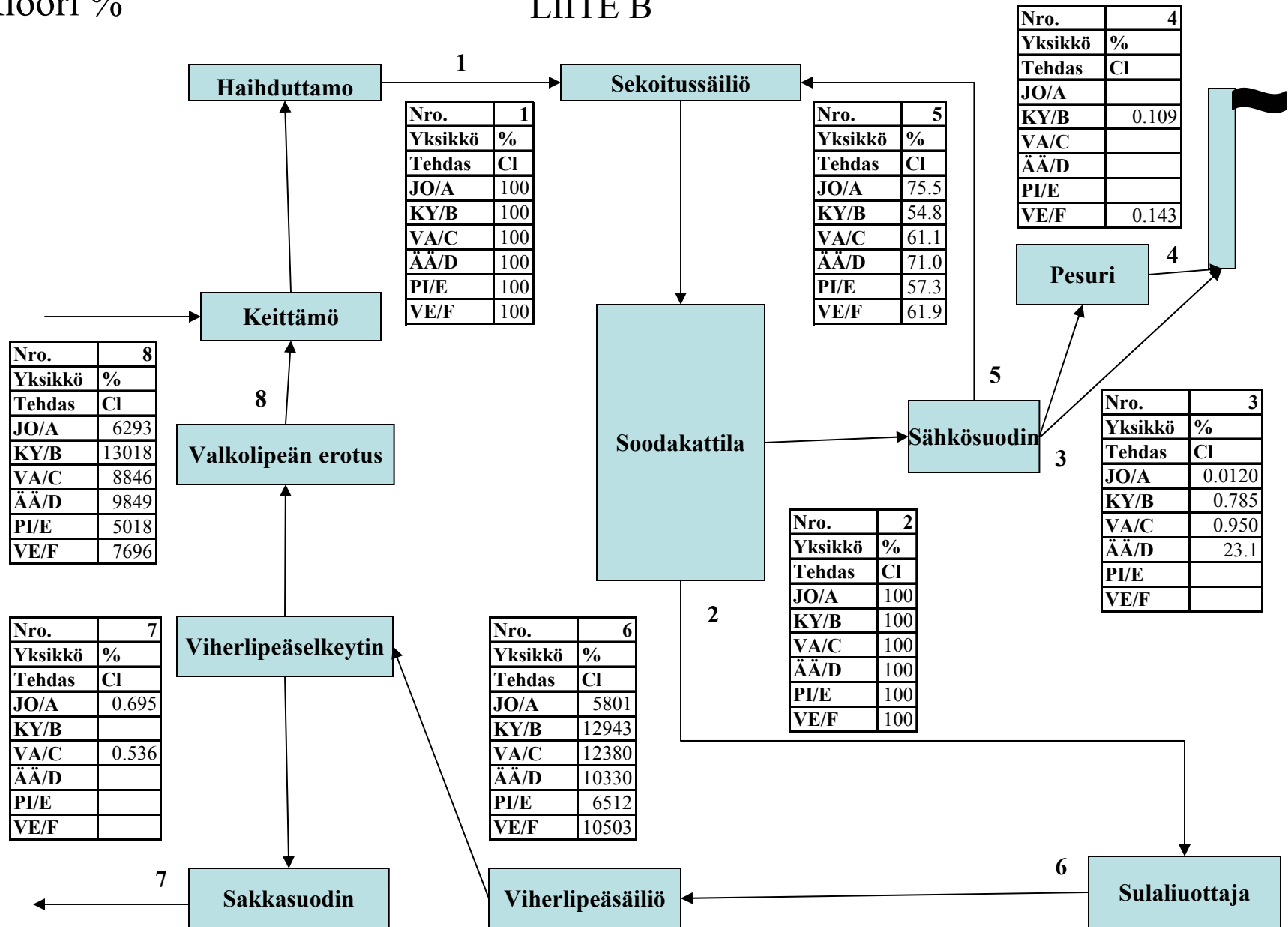
LIITE B



Soodakattiloiden raskasmetallitaseet

LIITE B

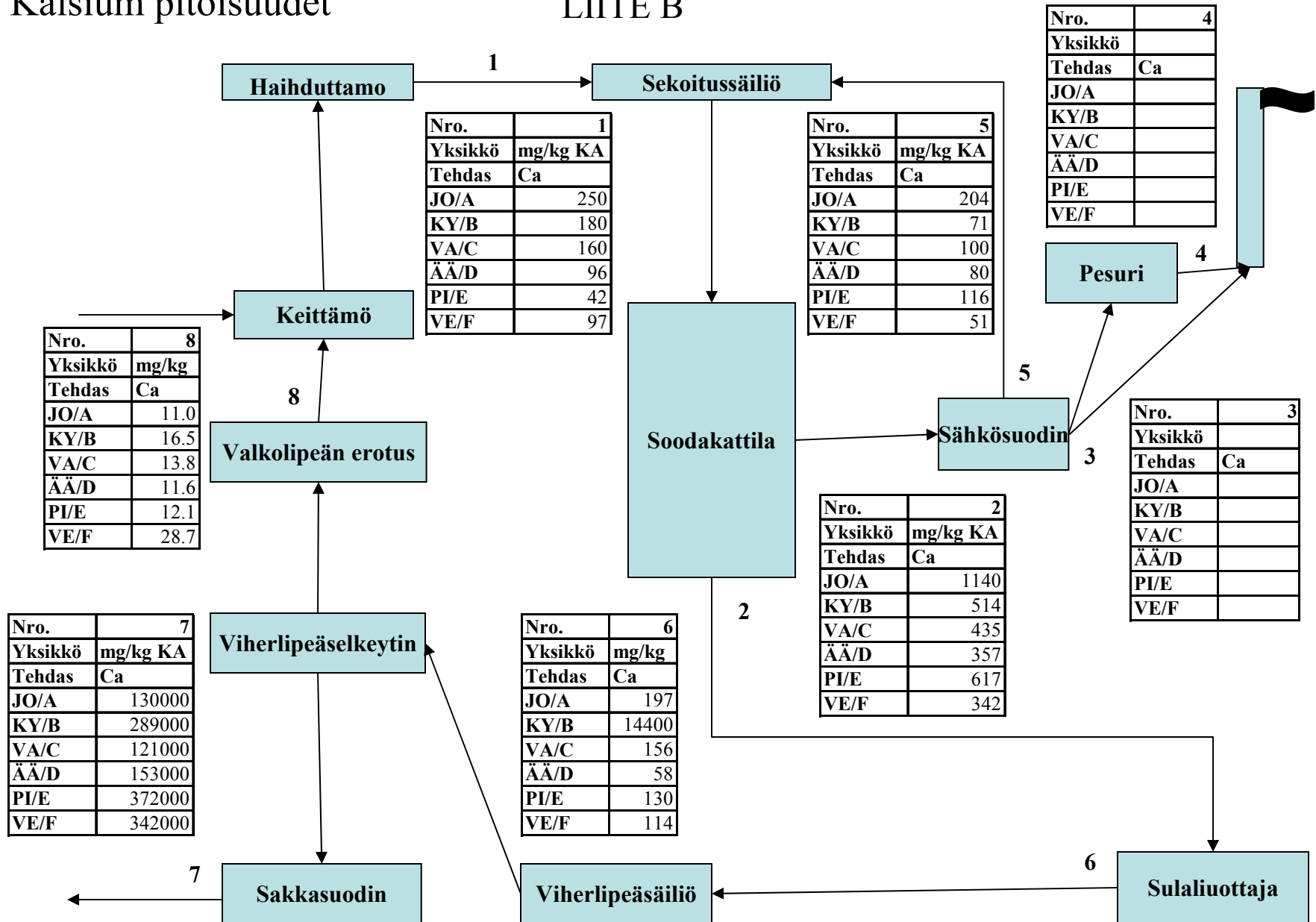
Kloori %



Soodakattiloiden raskasmetallitaseet

Kalsium pitoisuudet

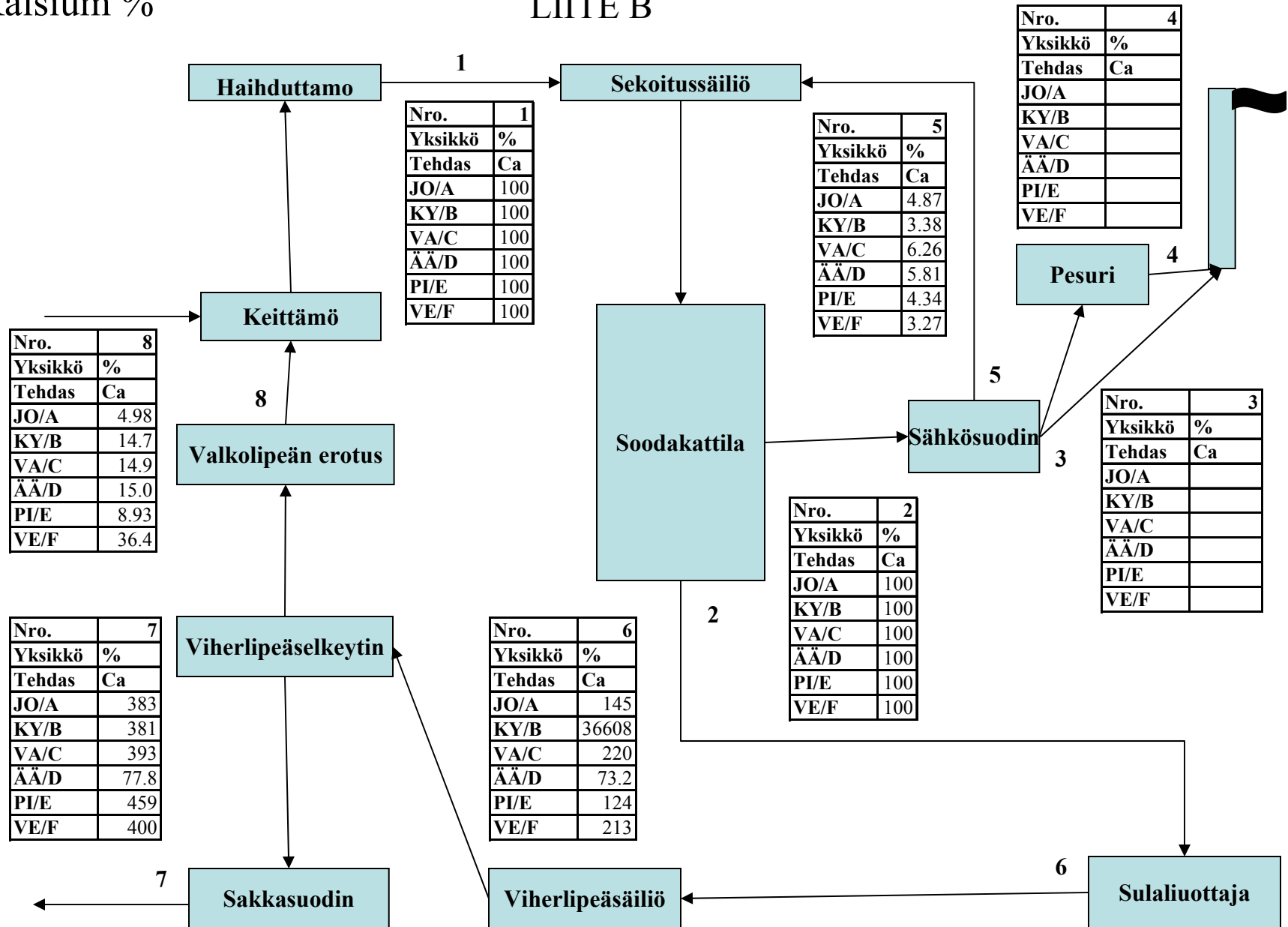
LIITE B



Soodakattiloiden raskasmetallitaseet

LIITE B

Kalsium %



SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS RY
RAPORTTISARJA

- 1/2006 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Konemestaripäivä 26.1.2006, esitelmät
Sokos Hotelli Seurahuone/Laminating Papers Oy, Kotka
(16A0913-E0072) 18.1.2006
- 2/2006 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattila-alan yhteistoiminta
Vuosikertomus 2005
(16A0913-E0073) 30.3.2006
- 3/2006 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Vuosikokous 30.3.2006, If Vahinkovakuutusyhtiö Oy, Helsinki
Pöytäkirja (16A0913-E0074)
- 4/2006 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattilapäivä 1.-3.11.2006
Viking Line
(16A0913-E0075)
- 5/2006 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattilan vastaanottokokeet
Materiaali- ja energiatase
Esa Vakkilainen, Pöyry Forest Industry Oy
(16A0913-E0078) 4.12.2006

SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS RY
RAPORTTISARJA

- 1/2007 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Konemestaripäivä 25.1.2007, esitelmät
Kulttuurikeskus, Kemi / Oy Metsä-Botnia Ab, Kemin tehdas / Hotelli Cumulus Kemi
(16A0913-E0079) 12.1.2007
- 2/2007 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Mustalipeän sisältämien rikkiyhdisteiden haihtuvuudet eri tehtailla
Paterson McKeough ja Eero Leppämäki, VTT (tutkimusraportti VTT-R-00513-07)
(16A0913-E0080) 22.1.2007
- 3/2007 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Sähkösuodintuhkan puhdistus ja käsittely
Osa III, Kuljetusmuoto ja radioaktiivisuus
Kurt Sirén, 12.12.2006 (KCL työ 0522546)
(16A0913-E0081) 26.2.2007
- 4/2007 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattila-alan yhteistoiminta
Vuosikertomus 2006
(16A0913-E0082) 29.3.2007
- 5/2007 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Ohje soodakattilan päästöjen laskentaan
(16A0913-E0084) 19.4.2007
- 6/2007 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Vuosikokous 29.3.2007, Alstom Finland Oy, Vantaa
Pöytäkirja (16A0913-E0085)
- 7/2007 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattilan päästömittausten menetelmät
Pekka Jussila, Pöyry Forest Industry Oy
(16A0913-E0086), 14.6.2007
- 8A/2007 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Kartlägg
,gning av tungmetallsfördelning i och omkring sex sodapannor
Freya Emilia Böök, diplomarbete, Åbo Akademi, 11.5.2007
(16A0913-E0087), 25.6.2007
- 8B/2007 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattiloiden raskasmetallitaseet
Loppuraportti perustuen diplomityöhön,
Freya Böök, Jukka Kontinen, Mikko Hupa, Åbo Akademi, 5.12.2006
(16A0913-E0088), 25.6.2007