

Vetykrakkaus



Elinkeino-, liikenne- ja
ympäristökeskus

OSAO

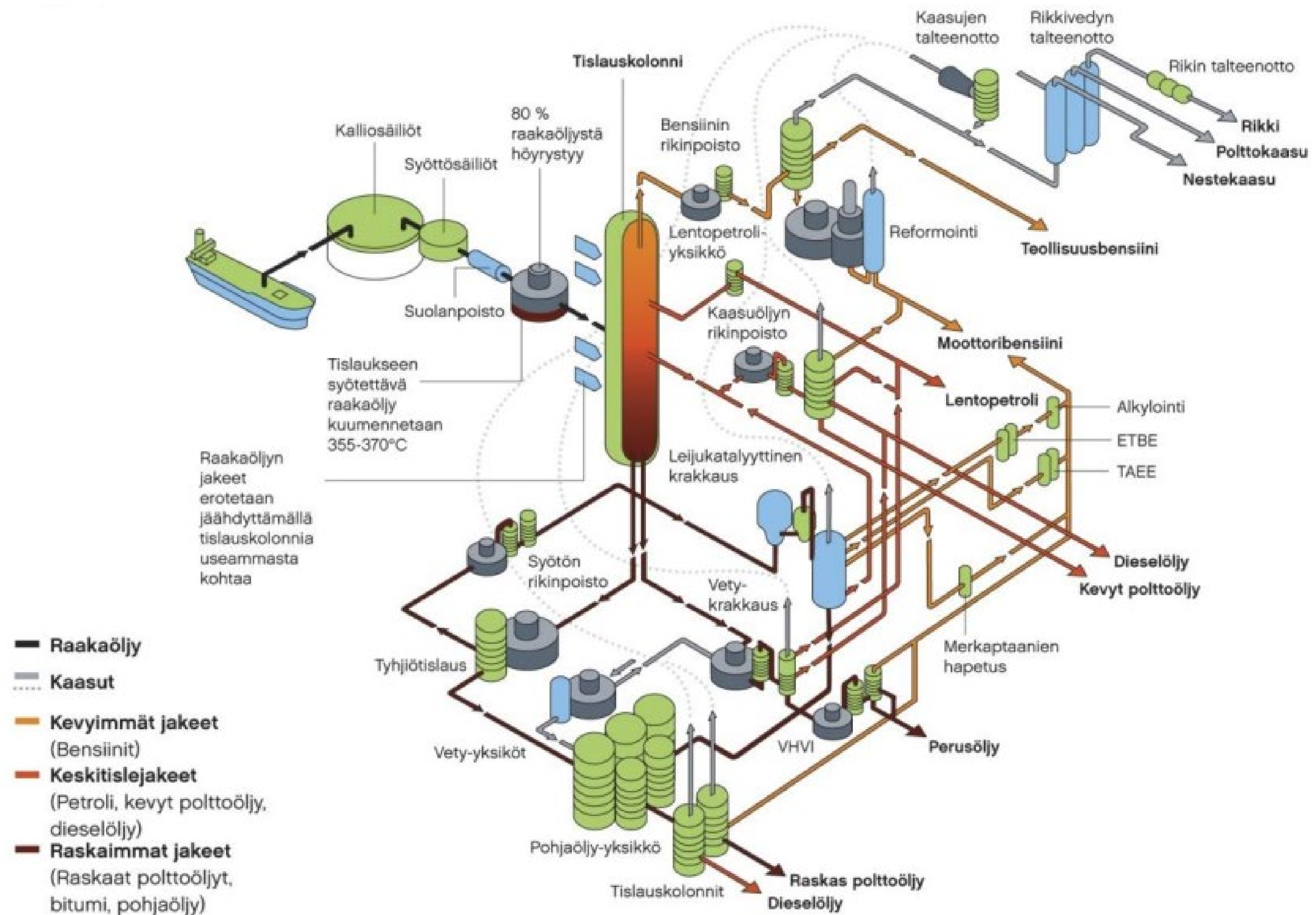


**Euroopan unionin
osarahoittama**

Kuvan lähde: <https://www.uusimaa.fi/paikalliset/8483677>

Vetykrakkaus

- vetykrakkaus on jalostusprosessi, jossa tislauksolonnin pohjaosaa - raskaita hiilivetyjä pilkotaan kevyemmiksi katalyytin ja korkean vetypaineen avulla. Se on monipuolisuutensa ja jalostusarvon noston takia suosituimpia öljynjalostusprosesseja
- vetykrakkausyksikkö voidaan jakaa karkeasti reaktori- ja tislauksosaan.
 - reaktoriosaa koostuu prosessiuunista, kahdesta kiintopetireaktorista, tuore- ja kiertovetykompressorista sekä korkea- ja matalapaine-erottimesta
 - tislauksosa koostuu kahdesta tislauksolonnista sekä kaasuöljy- ja petrolistripperistä.



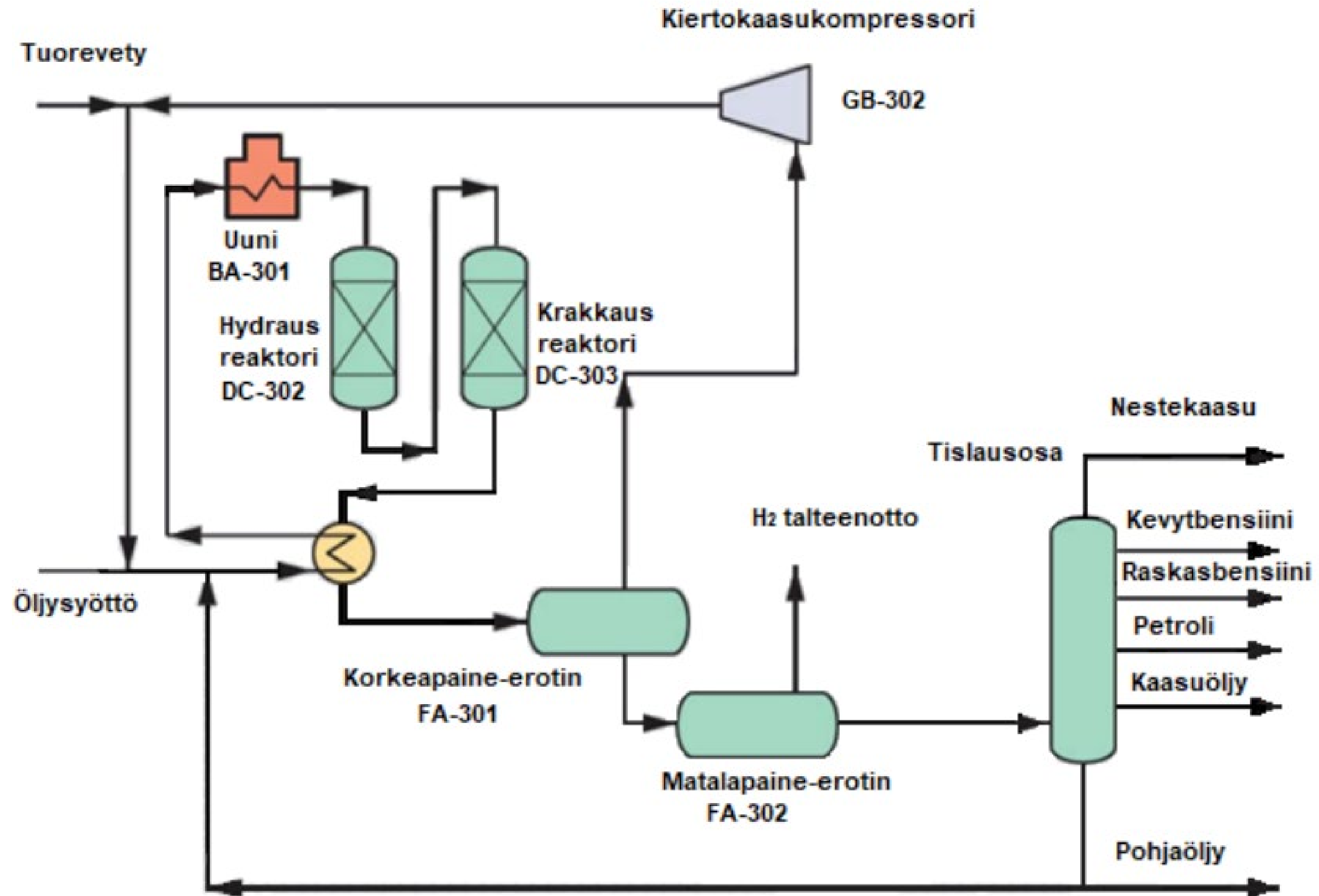
**Euroopan unionin
osarahoittama**

Kuvan lähde:

<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/101327/Keskittisleiden%20mikrobimaaritysmenetelmien%20vertailu.pdf?sequence=1>

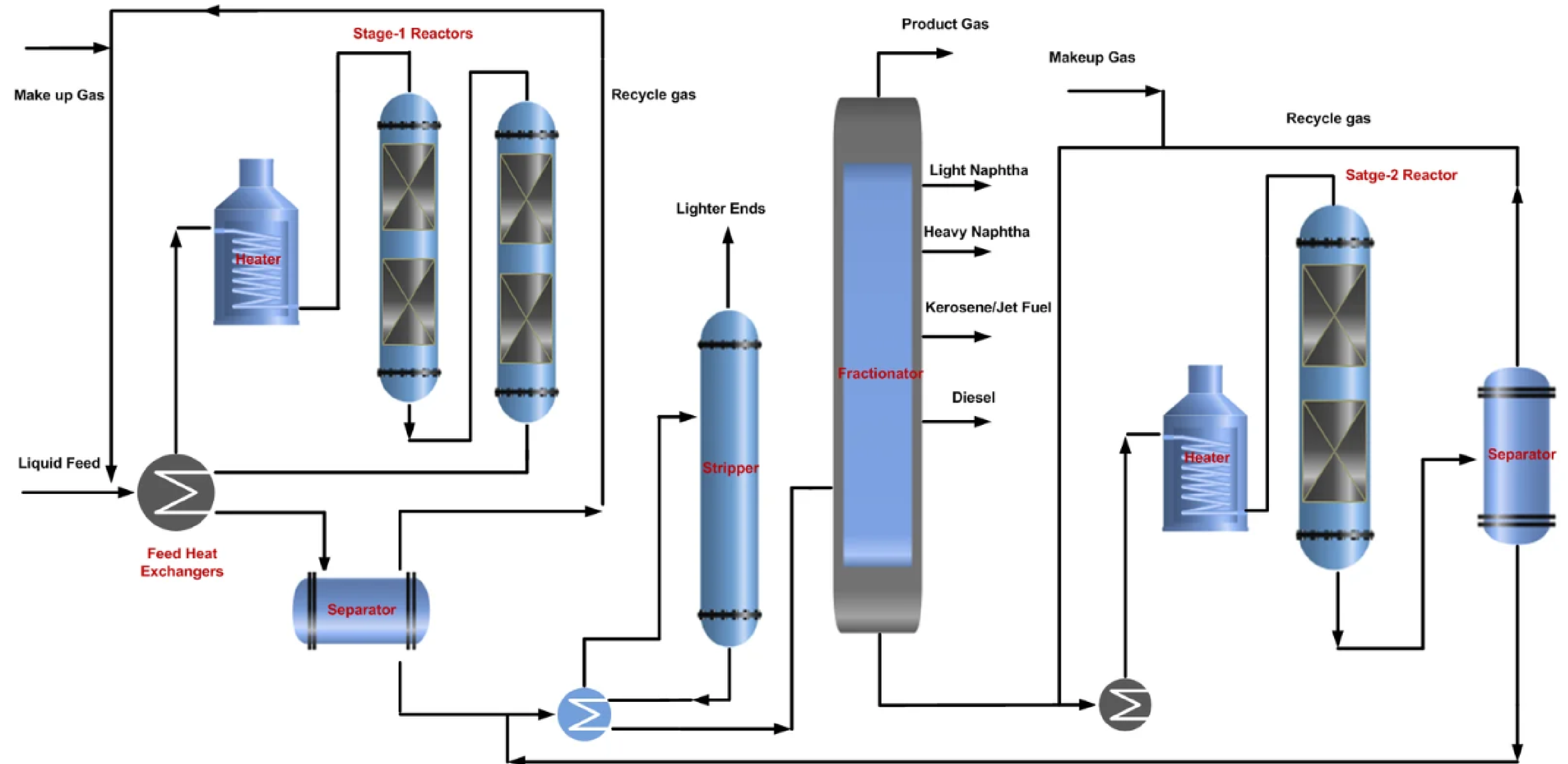
Vetykrakkaus

- Porvoon jalostamollareaktoriosassa yksikköön tuleva syöttö esilämmitetään prosessiuunissa BA-301. Tämän jälkeen esilämmitetty syöttö johdetaan vetysyötön kanssa kahden sarjassa olevan reaktorin läpi. Ensimmäisessä reaktorissa DC-302 syötön mukana tulevat epäpuhtaudet, typpi-, rikki ja happiyhdisteet hydrataan hydrauskatalyytin avulla rikkivedyksi, ammoniakiksi ja vedeksi.
- toisessa reaktorissa DC-303 hiilivetymolekyylit pilkotaan krakkauskatalyytin ja vedyn avulla lyhyemmiksi hiilivetymolekyyleiksi.
- tislauksosassa erotetaan yksikön tuotteet toisistaan tislaukskolonneissa
 - ensiksi butaaninpoistokolonissa DA-301 erotetaan kevyet nestekaasujakeet
 - tämän jälkeen pääkolonnissa DA-302 erotetaan loput yksiköstä tuotteena saatavat komponentit, kevytbensiini, raskasbensiini, petroli, kaasuöljy sekä pohjaöljy.



Vetykrakkaus

- kaksivaiheinen krakkausprosessi
- kemiallinen yksikköprosessi
- "strippaus" tarkoittaa erotusmenetelmää, jossa kaasufaasista poistetaan liuenneita komponentteja (tai päinvastoin nesteestä poistetaan kaasuja) käyttämällä nesteen ja kaasun välistä massansiirtoa
- strippauksessa haihtuva aine siirretään nesteestä kaasuun (esim. höyryyn tai ilmaan) lämmön ja/tai paineen avulla.
- käytetään tyypillisesti kolonnia jossa neste virtaa alaspäin ja kaasu (esim. höyry) virtaa ylöspäin.



**Euroopan unionin
osarahoittama**

Kuvan lähde:
<https://thepetrosolutions.com/hydrocracking-process-in-oil-refinery/>

Vetykrakkaus

- esilämmitetty öljysyöttö syötetään hydrausreaktoriin reaktorin päältä yhdessä tuore- ja kiertovedyn kanssa kaksifaasivirtauksena.
- hydrausreaktorin yläosassa reaktorisytöltä otetaan suurin liike-energia pois hajottamalla virtaus tulohajottimella (engl. inlet diffuser).
 - tarkoitus on jakaa reaktoriin tuleva prosessivirta tasaisesti sekä suojata katalyyttiä mekaaniselta hajoamiselta.
 - prosessivirran epätasainen jakautuminen reaktorissa johtaa tuotteen laadun heikentymiseen, hotspotteihin katalyyttipedissä sekä lyhyempään käyntijaksoon katalyytin deaktivoitumisnopeuden kasvaessa.
- lopullisesta prosessivirran jakautumisesta vastaa syötönjakajat, jotka sijaitsevat ennen jokaista katalyyttipetiä

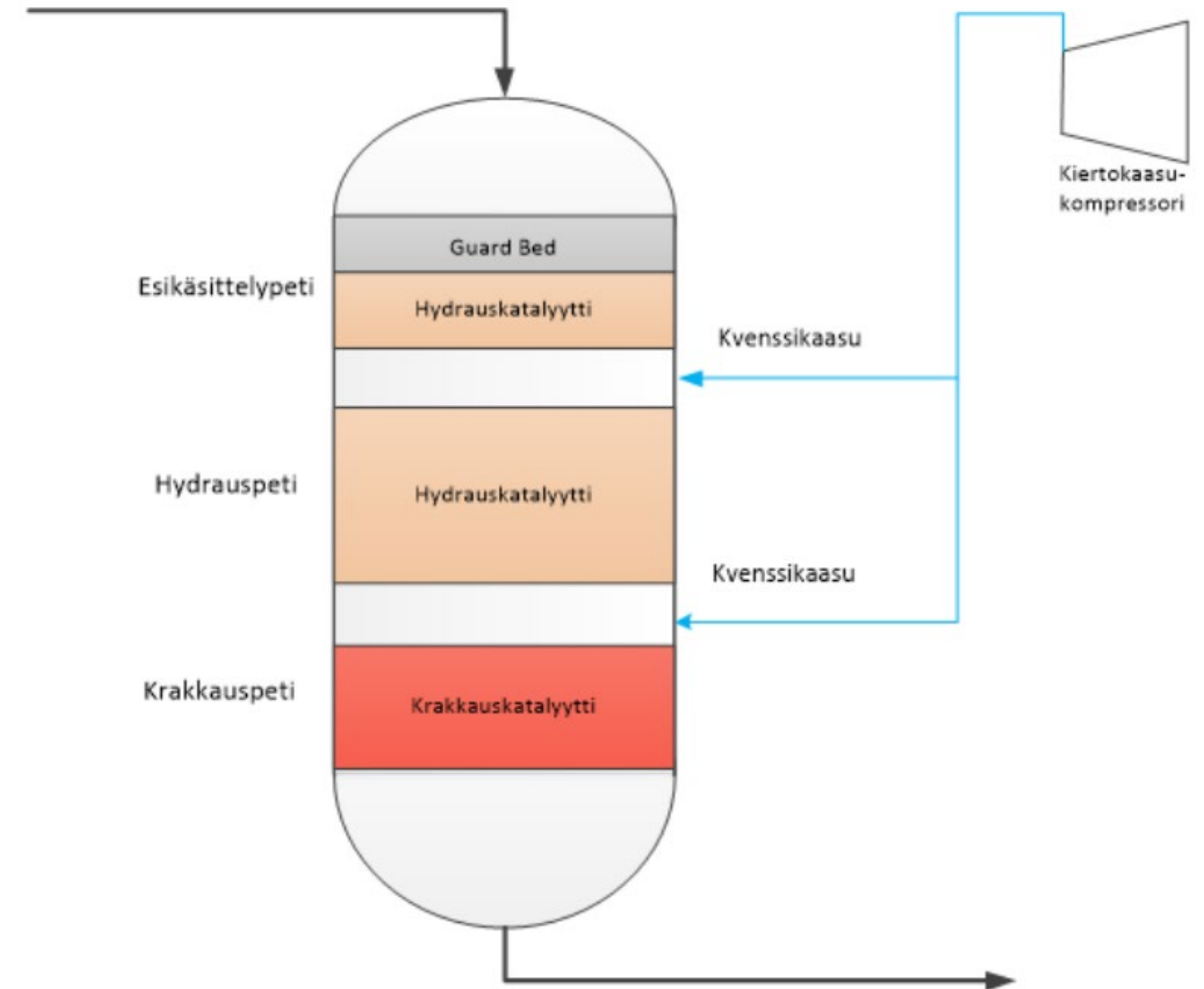


**Euroopan unionin
osarahoittama**

Kuvan lähde:
<https://www.costacurta.com/applications/refining/hydrocracking/>

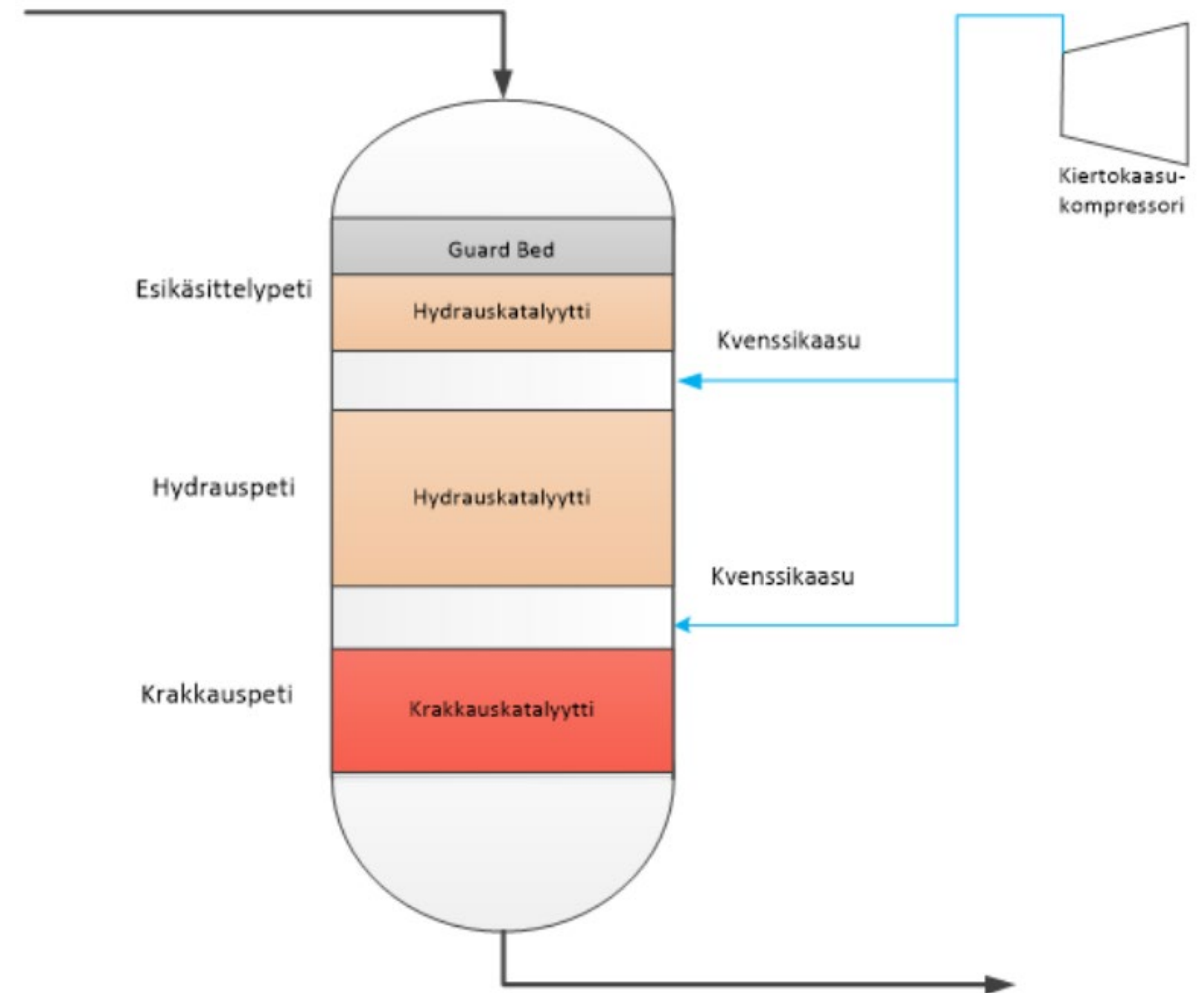
Vetykrakkaus

- reaktorit koostuvat usein kahdesta tai useammasta katalyyttipedistä.
 - Syötönjakajan jälkeen ensimmäisenä on suojakatalyyttikerros. Suojakatalyyttikerros on esikäsittely hydrausreaktoriin tulevalle syötölle ennen hydrauskatalyyttiä.
 - Se koostuu erikokoisista ja -muotoisista katalyyttipartikkeleista suuremmasta pienempään, joiden avulla suojataan edempänä reaktorissa olevaa katalyyttiä isommalta painehäviöltä.
 - Syötön mukana tulevat organometallit, kuten nikkeli ja vanadiini, poistetaan myös tässä vaiheessa, koska hydraus- ja krakkauskatalyytit eivät pysty käsittelemään suuria määriä metalleja.
- Metallisten epäpuhtauksien poistossa (engl. demetallization) käytetään NiMo-katalyyttiä, joka muodostaa reaktiotuotteena esimerkiksi NiS ja V3S4 tyyppisiä metallisulfideja.
- Metallisulfidit kerrostuvat metallinpoistokatalyytin huokosiin peittäen sen pinnan, jolloin metallinpoistokatalyytin huokokset tukkeutuvat vähitellen
- Suojakatalyyttikerroksen ja metallinpoiston jälkeen hydrausreaktorissa on hydrauskatalyytti. Hydrauskatalyyttinä käytetään yleensä korkea-aktiivista NiMo- tai CoMo-katalyyttiä rikin, typen, hapen ja muiden epäpuhtauksien poistoon vedyn avulla.



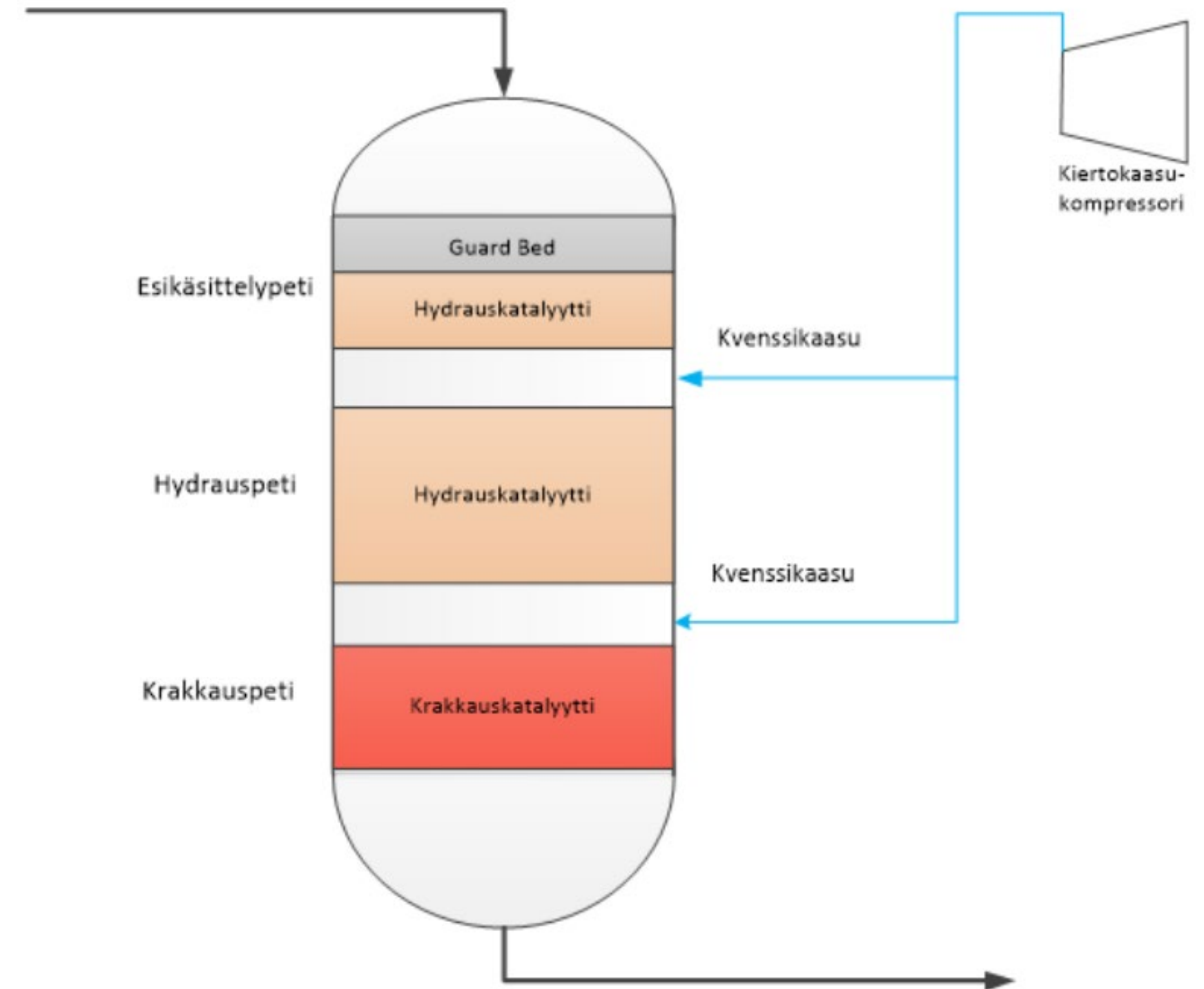
Vetykrakkaus

- krakkauskatalyyttinä käytetään nikkeli-volframi-katalyyttiä, jonka aktiivisuus määräytyy sen happopintojen perusteella. Katalyytin kantoaineena on yleensä joko alumiinioksidi, piioksidi tai hiili
- hydrauspedistä läpi pääsevä orgaaninen typpi neutraloi katalyytin happopintoja, jonka takia krakkauskatalyytti on huomattavasti aktiivisempaa reaktorin alemmilla tasoilla
- krakkauskatalyytin jälkeen on yleensä vielä jälkikäsittelypeti
- jälkikäsittelypeti sisältää hydrauskatalyyttiä, jossa muutetaan krakkauspedeissä syntyneet merkaptaanit rikkivedyksi ja hiilivedyksi, koska merkaptaanirikkiä ei voida myöhemmin stripata pois tuotteista toisin kuin rikkivetyä
- krakkauksessa syntyneet olefiinit hydrataan myös alkaaneiksi jälkikäsittelyssä



Vetykrakkaus

- reaktoreita operoidaan noin 400 °C lämpötilassa ja 15 MPa paineessa.
- reaktoreissa tapahtuvat reaktiot ovat eksotermisiä, jonka takia reaktorin lämpötilaa on pystyttävä hallitsemaan reaktioiden karkaamiselta. Lämpötilaa hallitaan syöttämällä katalyyttipetien väliin kvenssikaasua, jonka tehtävänä on jäähdyttää reaktorin lämpötilaa.
 - kvenssikaasu on kiertovetykompressorilta saatavaa kiertokaasua, joka koostuu pääosin vedystä
- katalyytin likaantuessa vähitellen, se menettää aktiivisuuttaan, jolloin myös yksikön konversio huononee. Tätä voidaan kuitenkin kompensoida nostamalla reaktorien operointilämpötilaa
- vetyä käytetään öljynjalostusprosesseissa myös muihin tarkoituksiin kuin krakkaus:
 1. rikinpoisto
 2. typenpoisto
 3. hapenpoisto
 4. olefiinien hydraus
 5. aromaattiset yhdisteet
 6. katalyyttien suojaus



Vetyperoksidin valmistusprosessi



OSAO



**Euroopan unionin
osarahoittama**

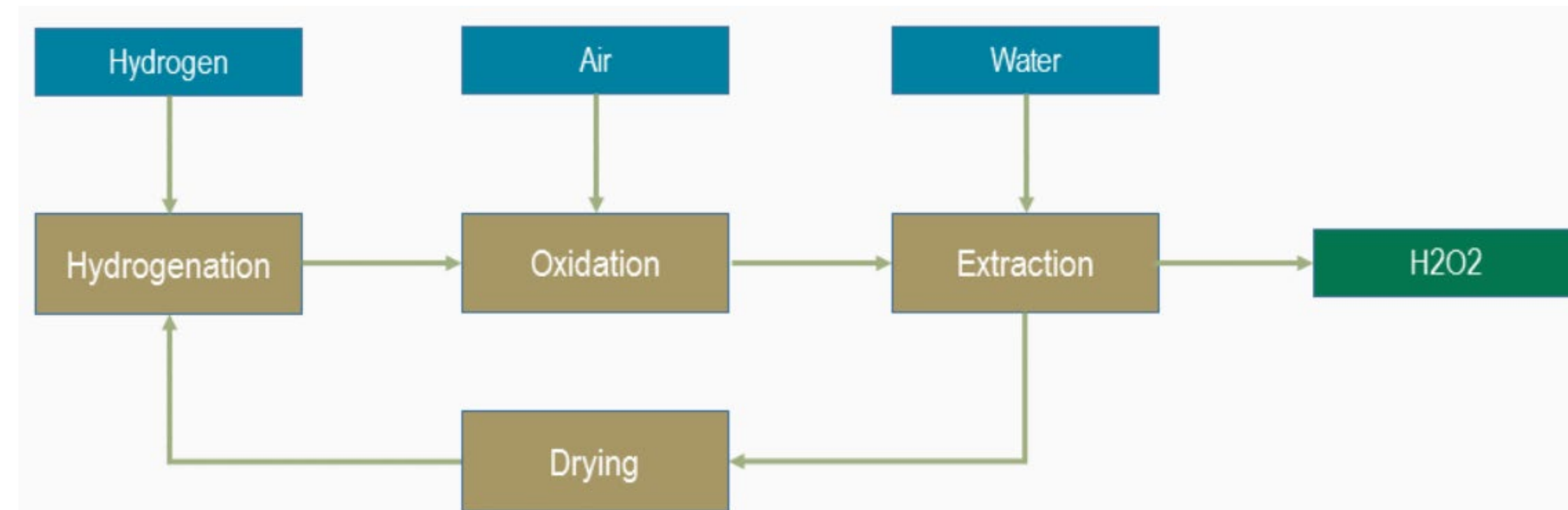
Vetyperoksidin valmistusprosessi

Vetyperoksidi yleistä:

- kemiallinen kaava H_2O_2
- täysin veteen liukeneva pistävän hajuinen, väritön neste
 - laimea liuos on hajutonta
- voimakkaasti hapettava aine, joka hajoaa lämmitettäessä vedeksi ja hapeksi vapauttaen energiaa aiheuttaen ympäristön paineen kasvua
 - hajoamisen estämiseksi voidaan lisätä stabiloimisainetta esim esim. fosfori-, rikki-, boori- tai sitruunahappoa.
- epäpuhtaudet ja metallit toimivat hajoamisprosessin katalyytteina – kaikki vetyperoksidin kanssa kosketuksiin joutuvien laitteiden on oltava vetyperoksidille soveltuvia ja paineen muodostuminen on niissä estettävä varolaittein (varoventtiilit).
 - laitteet on puhdistettava ja niiden metallipinnat passivoitava ennen käyttöönottoa
- vetyperoksidia käytetään mekaanisen massan, sellun ja tekstiilien valkaisuun
- desinfiointiaineena elintarvike- ja lääketeollisuudessa ja jätevesien sekä jätekaasujen puhdistuksessa
- kemikaalien valmistukseen, metalliteollisuudessa galvanointikylpyjen puhdistamiseen sekä elektroniikkateollisuudessa etsaukseen ja puhdistukseen.

Vetyperoksidin valmistuksen päävaiheet:

- työliuoksen kierto (kuvan ruskea alue)
- vedyn valmistus ja hydraus (käytetään katalyyttiä)
- katalyytin suodatus
- ilman komprimointi ja hapetus
- demiveden valmistus ja uutto
- työliuoksen palautus regeneroitavaksi ja kiertoon



**Euroopan unionin
osarahoittama**

Lähde:

<https://chematur.se/hydrogen-peroxide-3/>

<https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/44569/nbnfi-fe200903311277.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Vetyperoksidin valmistusprosessi

Vetyperoksidi yleistä:

- vetyperoksidi ei reagoi ruostumattoman teräksen eikä alumiinin kanssa
 - käsittely alumiini- tai ruostumattomissa teräsastioissa
 - pumppujen putkistot on yleisesti tehty ruostumattomasta teräksestä
- käsittele aina erillään syttymis- ja lämmönlähteistä
- ei ole erityisen vaarallinen ympäristölle - hajoaa valon ja lämmön vaikutuksesta vedeksi ja hapeksi.



**Euroopan unionin
osarahoittama**

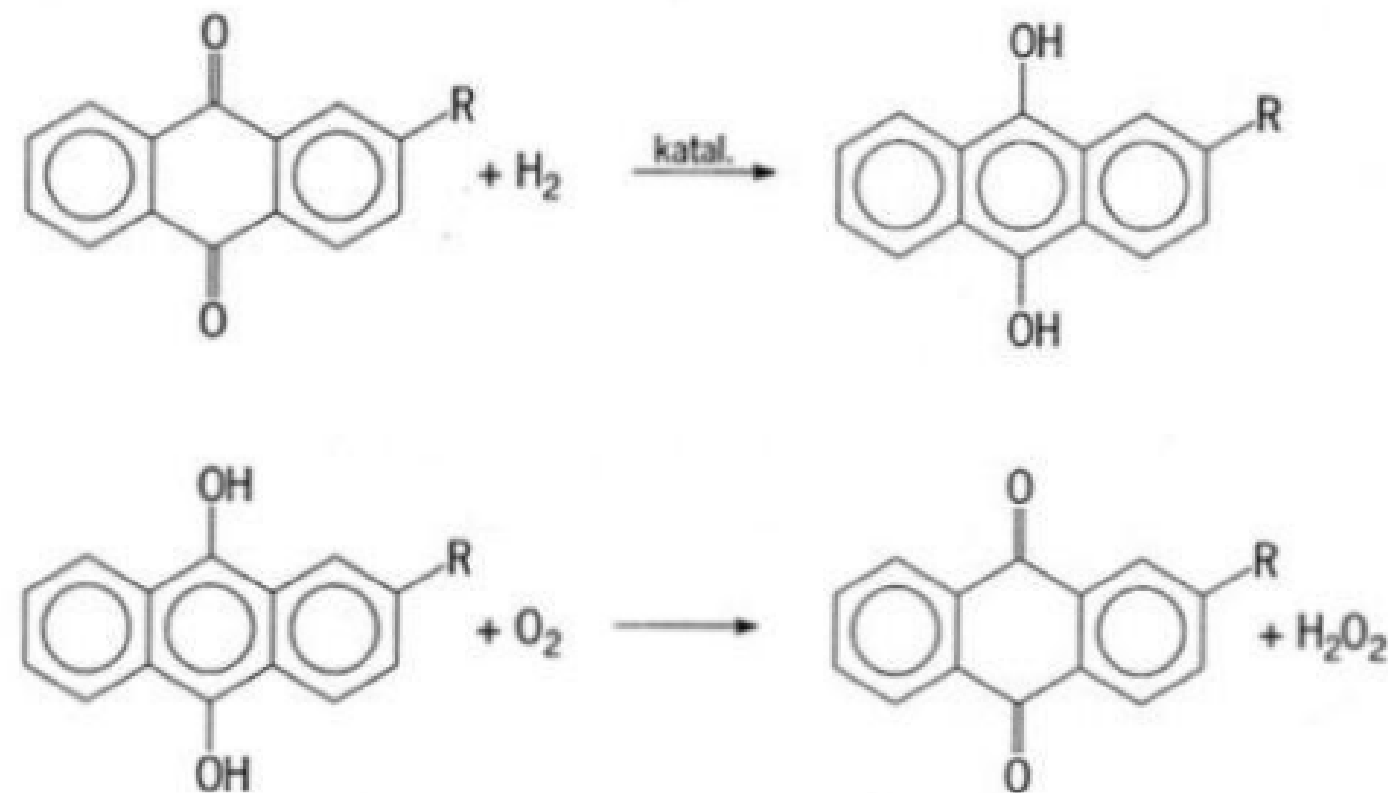
Lähde:

<https://chematur.se/hydrogen-peroxide-3/>

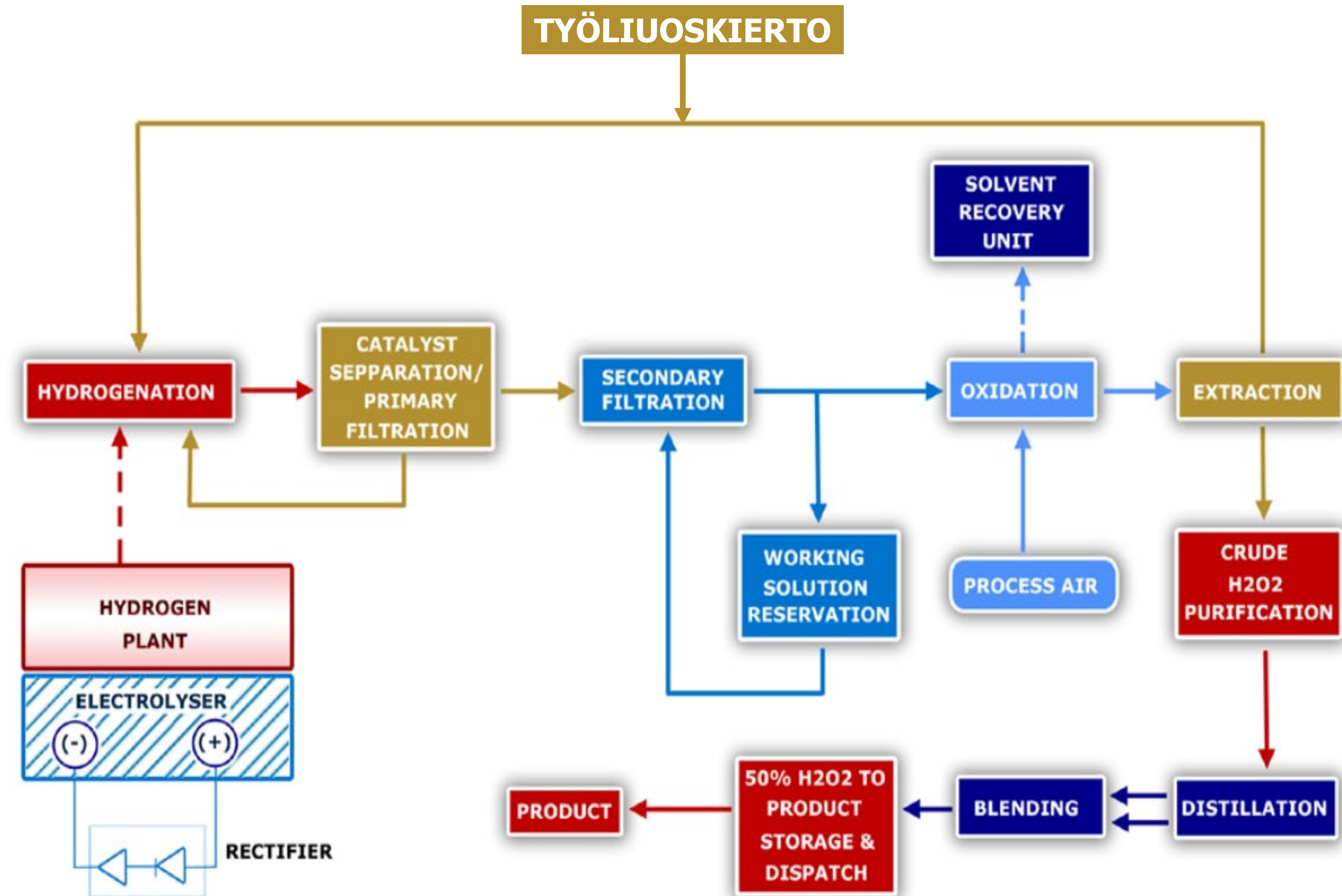
<https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/44569/nbnfi-fe200903311277.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Vetyperoksidin valmistusprosessi

- päämenetelmä vetyperoksidin valmistamiseksi on ns antrakinoni menetelmä
- antrakinonimenetelmä perustuu työliuoksen eli antrakinoyhdisteen vuorotteeseen hydraukseen, hapetukseen ja regenerointiin
 - hydrattua kinonia hapetettaessa, syntyy vetyperoksidia sekä alkuperäinen kinoniyhdiste
 - avullatyöliuos toimii vetyproksidin kokoajana ja kantajana uuttovaiheeseen saakka, jossa työliuos ja vetyperoksidi erotetaan



- hydraus- ja hapetuskierrrossa antrakinonit muuttavat muotoaan, joten niitä on regeneroitava katalyytin ja mikroaaltojen avulla



**Euroopan unionin
osarahoittama**

Lähde:

<https://www.nubergepc.com/hydrogen-peroxide-plant.html>

<https://patentimages.storage.googleapis.com/cd/f6/41/de3dd888de2363/FI108432B.pdf>

<https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/44569/nbnfi-fe200903311277.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Fossiilivapaa teräksen valmistus



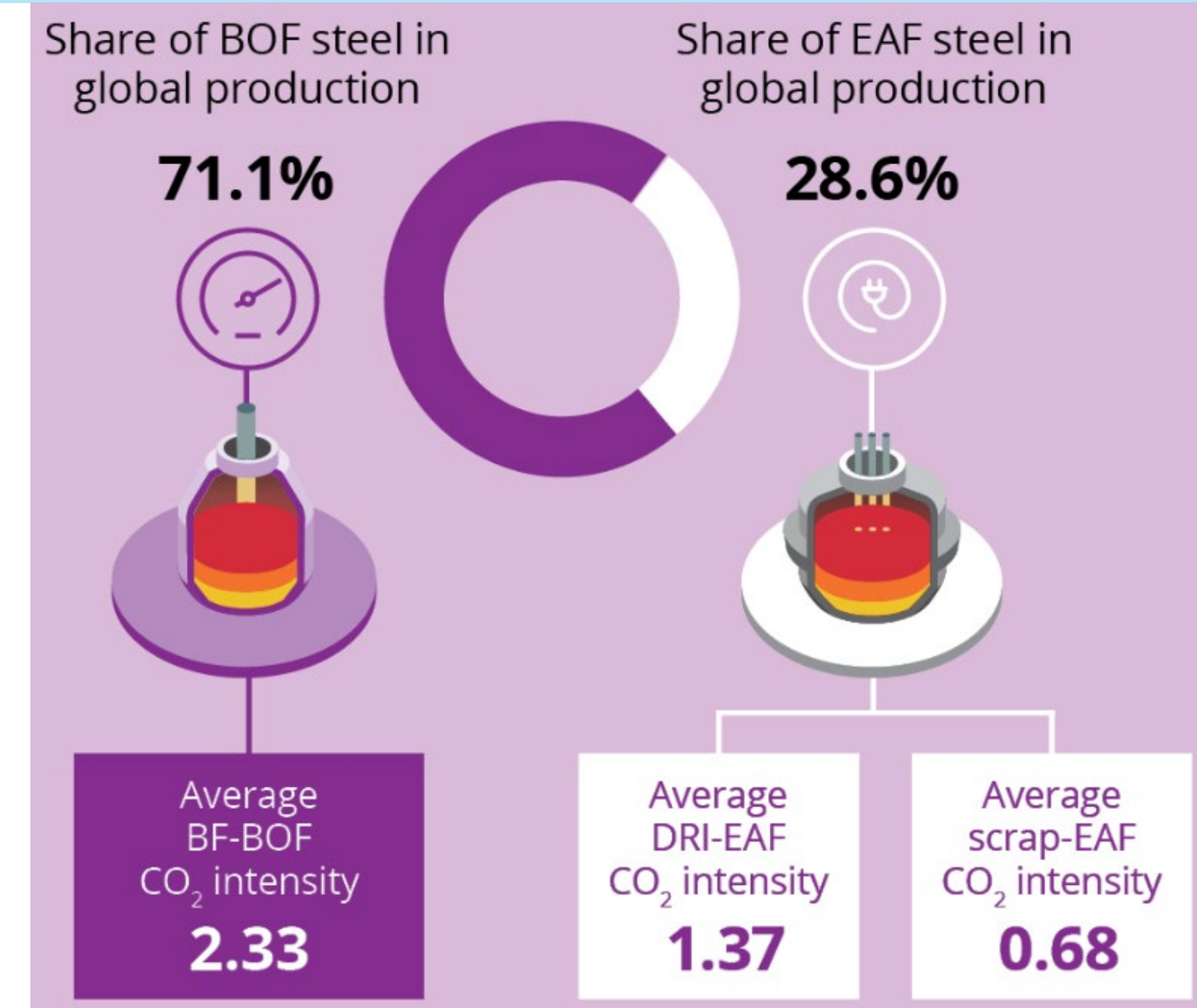
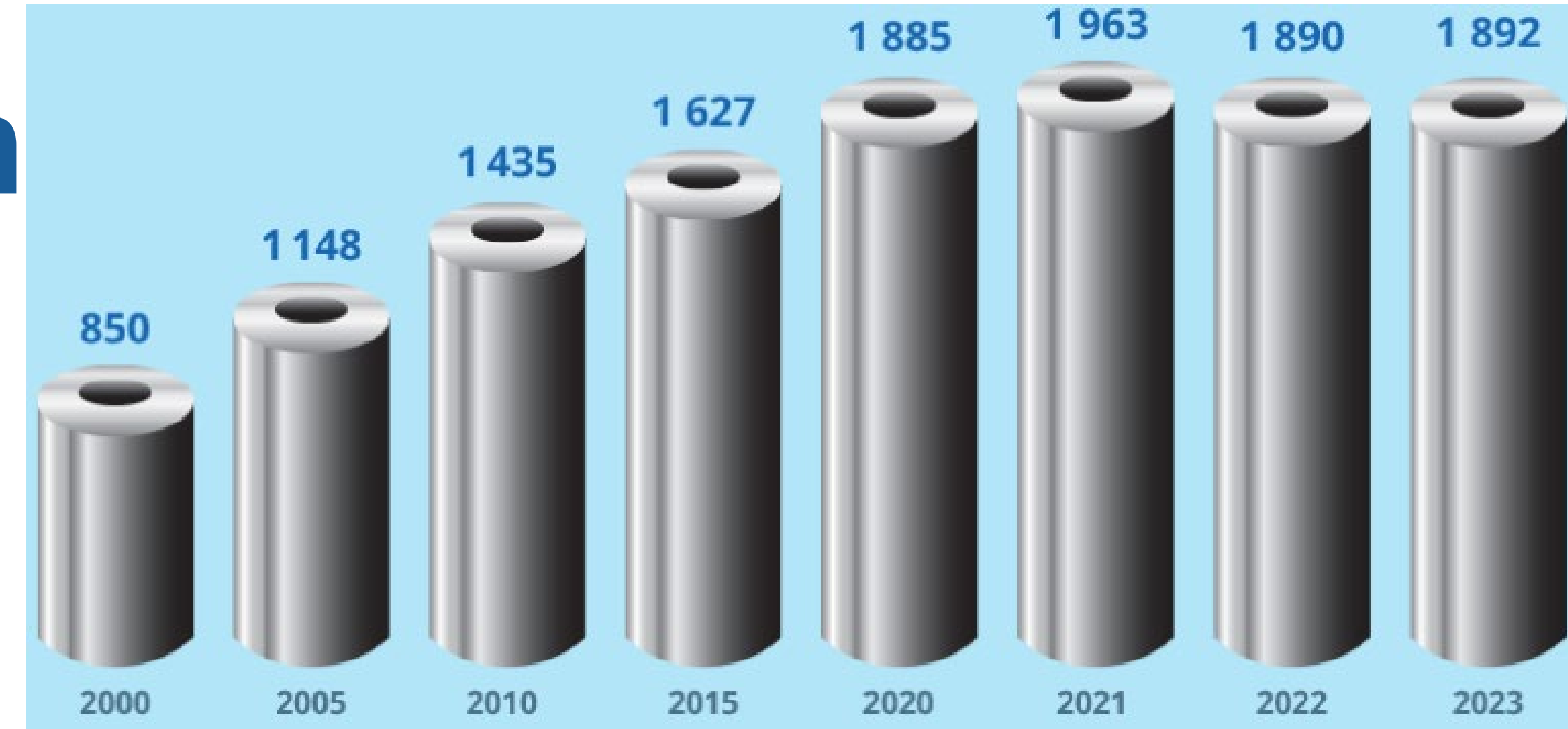
OSAO



**Euroopan unionin
osarahoittama**

Teräksen valmistuksen tunnuslukuja

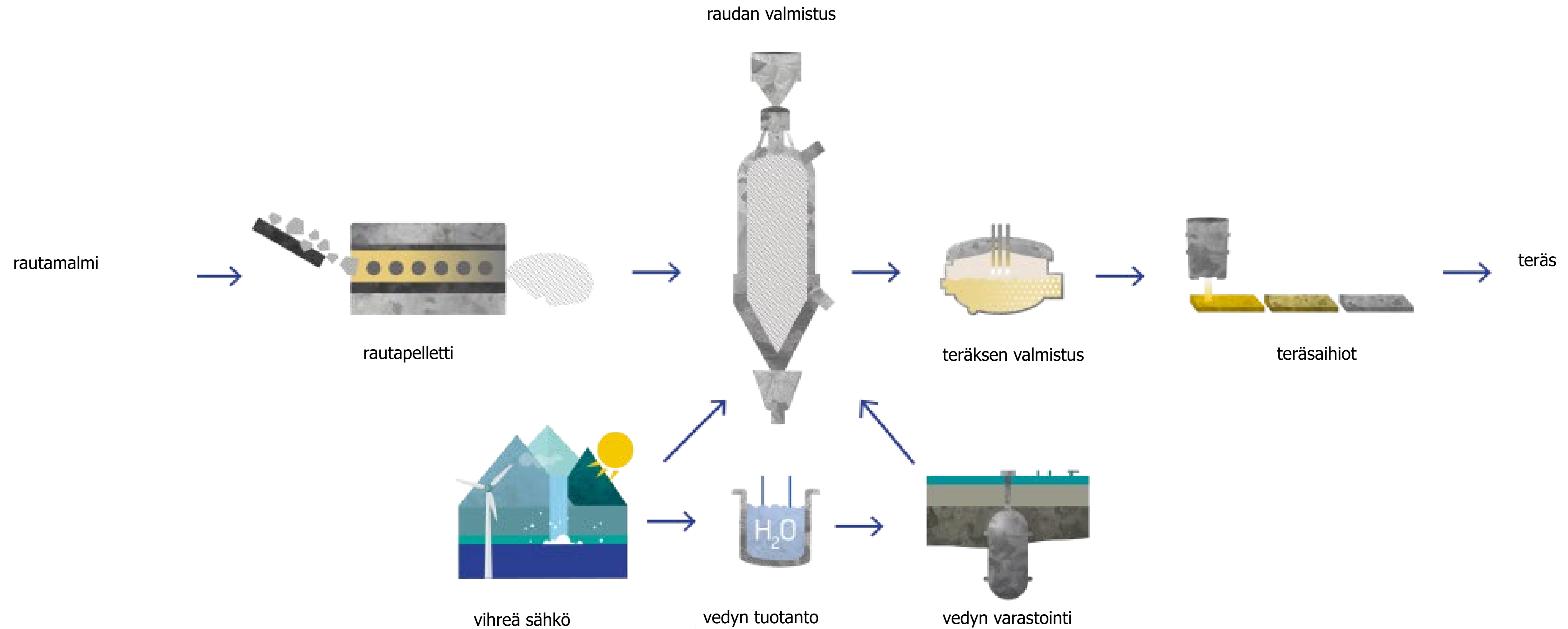
- globaalisti teräksen tuotantomäärä (Mton) on pysynyt tasaisena vuodesta 2020
- perinteisen, CO₂ intensiteetiltään korkeimman, teräksen valmistusmenetelmän osuus tuotannosta on ollut noin 70 % vuonna 2023
- globaalisti teräksen valmistuksen osuus CO₂ päästöistä on vajaa 10 %
- teräksen valmistuksen CO₂ päästöjen vähentämiseksi rautaa pelkistetään vedyllä (DRI, direct reduction iron – EAF, electric arc furnace) reitti)
 - pelkistäminen hiilellä – reaktiotuote CO/CO₂
 - pelkistäminen vedyllä – reaktiotuote H₂O



Euroopan unionin
osarahoittama

Lähde: <https://elements.visualcapitalist.com/all-the-metals-we-mined-in-one-visualization-2/>

Fossiilivapaan teräksen valmistusprosessi

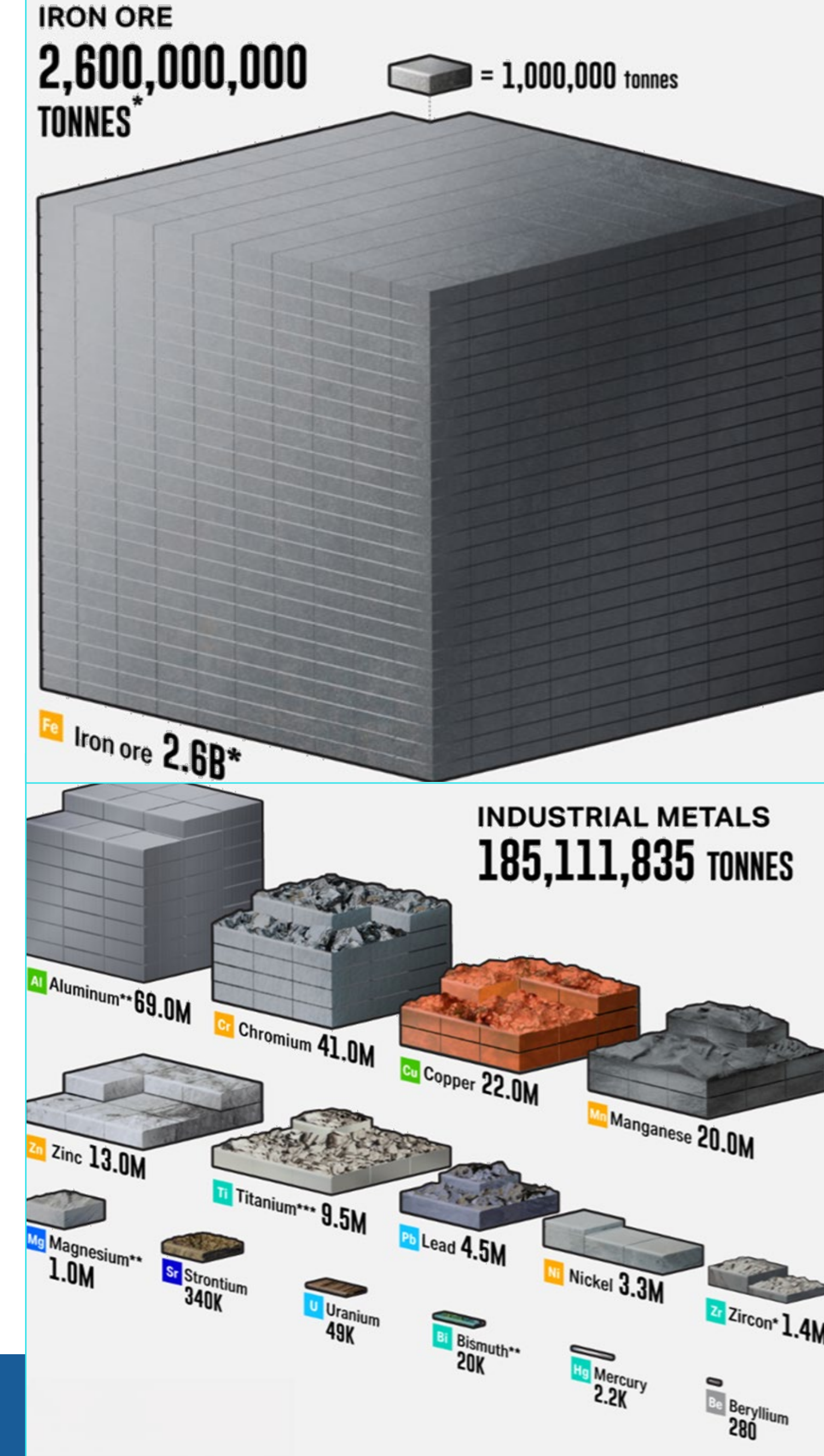


**Euroopan unionin
osarahoittama**

Lähde: <https://www.hybritdevelopment.se/en/> (muokattu suomennoksien osalta)

Fossiilivapaan teräksen valmistus

- rautamalmia louhitaan globaalisti yli 2,5 miljardia tonnia vuosittain
 - metallien käyttömäärät tulevat vain kasvamaan tulevaisuudessa
- metallien louhiminen ja hyödyntäminen kuluttaa lähes 10 %:a energian tuotannosta ja tuottaa 40 %:a teollisista kasvihuonekaasuista
- rauta on maankuoren lähes yleisin alkuaine ja metalli
- "teräs on rautaa, jossa on matala hiilipitoisuus"
- maankuoressa rauta on yhdisteenä hapen kanssa – happi tulee poistaa pelkistämällä
 - magnetiitti - Fe_3O_4
 - Hematiitti – Fe_2O_3
 - wustiitti – FeO
 - pelkistäminen hiilellä – reaktiotuote CO/CO_2
 - pelkistäminen vedyllä – reaktiotuote H_2O



Euroopan unionin
osarahoittama

Fossiilivapaan teräksen valmistus - pelletöinti

- lajitteluvaiheessa malmi seulotaan. Seulonnan ylite murskataan ja alite johdetaan suoraan magneettiseen rikastukseen, jossa erotellaan sivukiveä ja malmia. Lajittelun avulla malmin rautapitoisuus nousee 45 %sta noin 60 %iin.



Lähde: https://www.researchgate.net/figure/Production-of-iron-ore-pellets-process-overview-to-the-left-and-grate-kiln-indurating_fig1_360415671

- rikastusvaiheessa malmia edelleen jauhetaan ja rikastetaan magneettisesti. Malmista erotetaan epäpuhtauksia kuten piitä, natriumia, kaliumia, fosforia ja apatiittia. Samassa yhteydessä lisäaineita kuten oliviini, kvartsi, kalkkikivi ja dolomiitti voidaan lisätä malmilietteeseen.
- pelletöintivaiheessa lietteestä muodostuu pitkässä rummussa pyöriessään pyöreitä palloja ns pellettejä. Lopuksi pelletit kuivataan ja esilämmitetään ennen kuin ne lopulta lämmitetään 1250 °Ceen, jolloin malmipartikkelit kiinnittyvät toisiinsa.
 - fossiilivapaan teräksen valmistuksessa kuivaukseen ja lämmitykseen tulee käyttää fossiilisten öljypohjaisten polttoaineiden sijaan biopolttoaineita tai vihreitä polttoaineita.

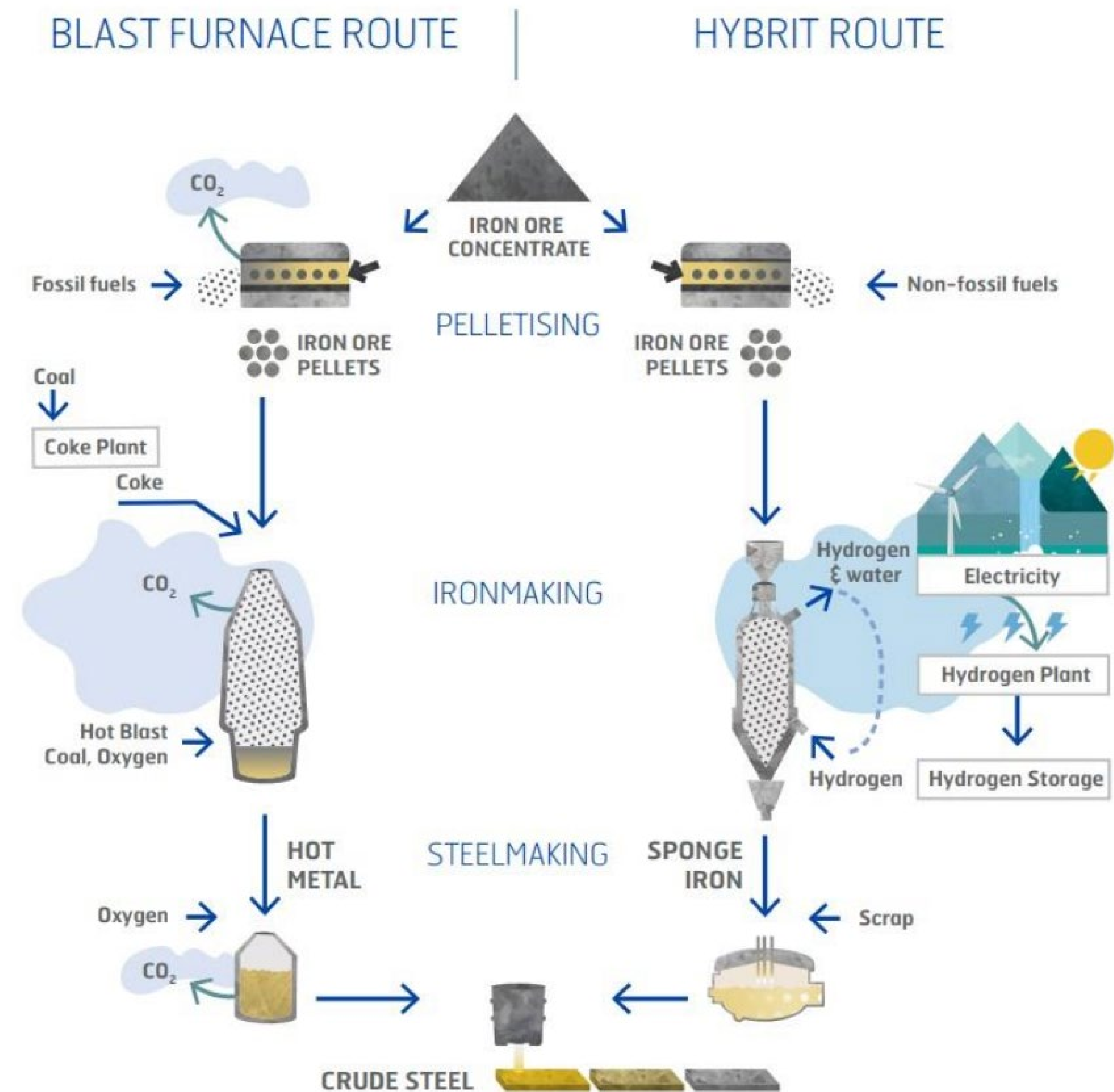


**Euroopan unionin
osarahoittama**

Lähde: <https://lkab.com/en/what-we-do/from-mine-to-port/>

Fossiilivapaan teräksen valmistus – raudan pelkistys

- rautamalmi on oksidi, jossa rauta on yhdessä hapen kanssa – teräksen valmistamiseksi happi tulee poistaa malmista
- perinteisessä pelkistyksessä happi poistetaan hiilellä (koksi), jolloin muodostuu hiilidioksidia – pelkistyksen jälkeen sula rauta lasketaan ulos uunista ja viedään sulana teräksen valmistamiseksi jälkikäsittelyihin
- vetypelkistyksessä happi poistetaan vedyn avulla, jolloin muodostuu vettä – pelkistyksen jälkeen sula rauta valetaan kiinteiksi kappaleiksi (rautasieni) eli rauta menee kiinteänä jälkikäsittelyihin
- <https://www.ssab.com/fi-fi/fossiilivapaa/oivallus/hybrit-uusi-vallankumouksellinen-teraksenvalmistuksen-teknologia>



**Euroopan unionin
osarahoittama**

Lähde:

https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/163963/Kandidaatinty%C3%B6_Kurvi_Miika.pdf?sequence=1

Teräksen valmistus

Vanhassa menetelmässä oksidipitoiset rautapelletit reagoivat häkäkaasun kanssa muodostaen rautaa ja hiilidioksidia.

RAUDAN PELKISTÄMINEN HIILELLÄ

LÄHDE: SSAB



RAUTAPELLETIT + HÄKÄ = RAUTA + HIILIDIOKSIDI

RAUDAN PELKISTÄMINEN VEDYLLÄ

LÄHDE: SSAB



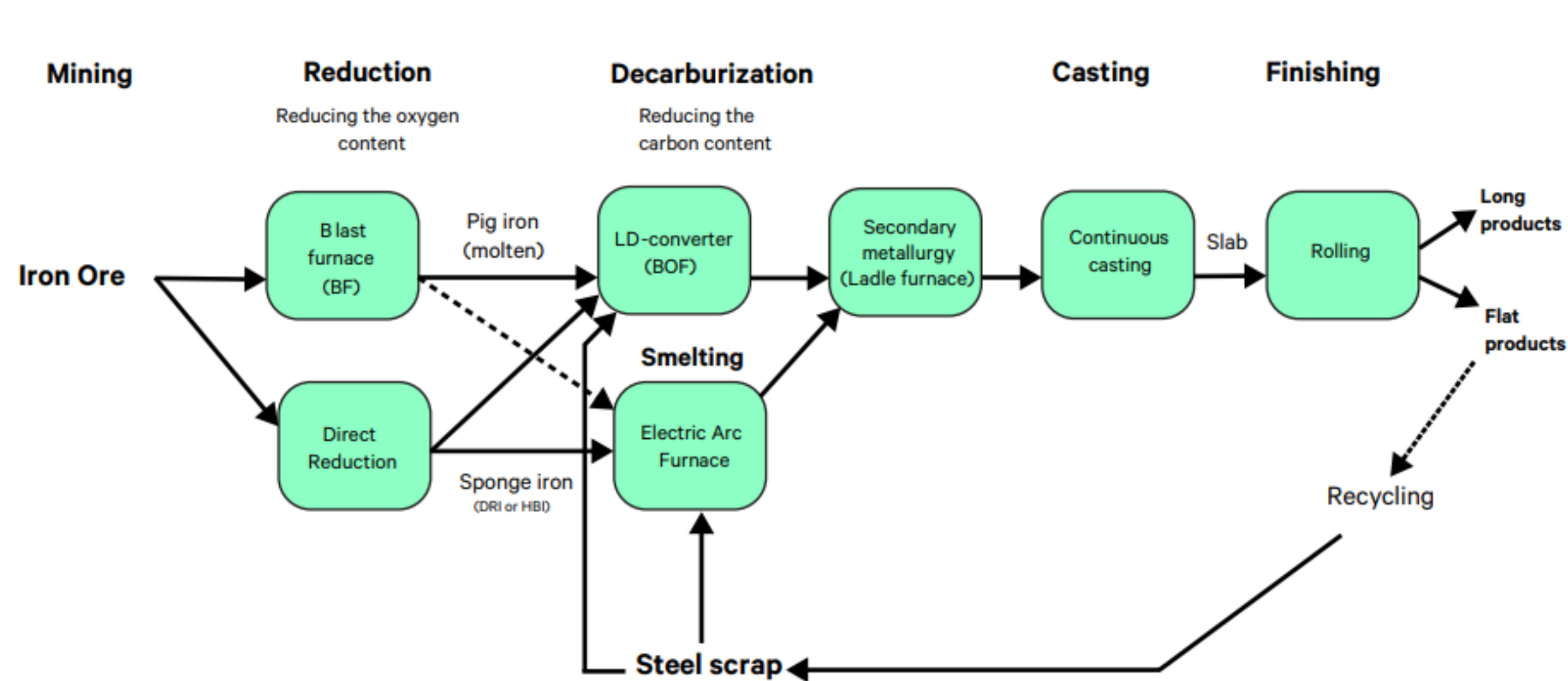
RAUTAPELLETIT + VETY = RAUTASIENI + VESI



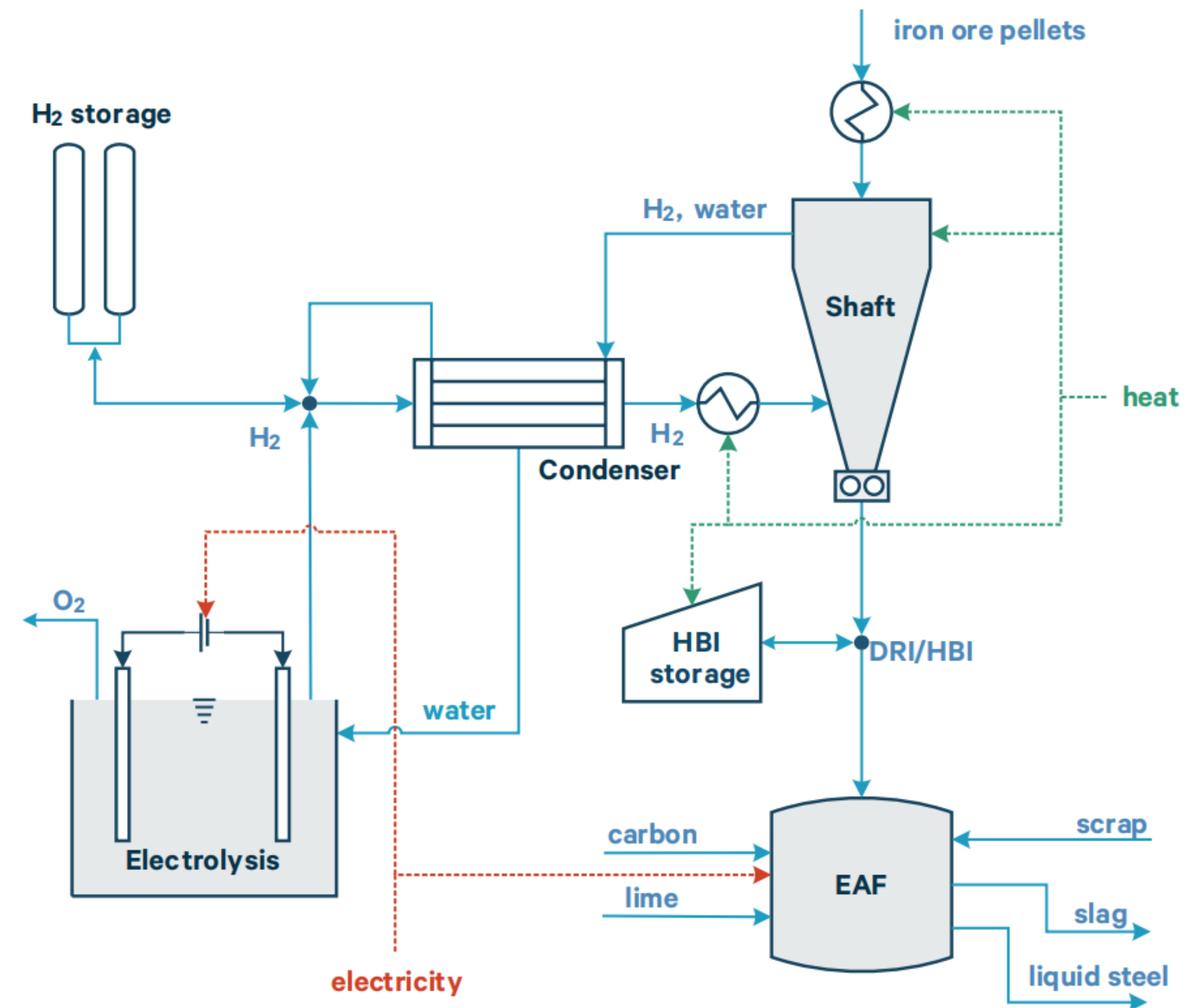
Euroopan unionin
osarahoittama

Lähde: <https://yle.fi/a/3-9908906> (viitattu 19.9.2024)

Miksi vedystä puhutaan niin paljon



- perinteisessä teräksen valmistuksessa sulaa rauta käsitellään konvertterissa hapella, jolloin muodostuu lisää hiilidioksidia
- vetypelkistetty rautasieni sen sijaan panostetaan kiinteässä muodossa valokaariuuniin yhdessä kierrätysteräksen ja lisäaineiden kanssa – kiinteä materiaali sulatetaan sähköön avulla



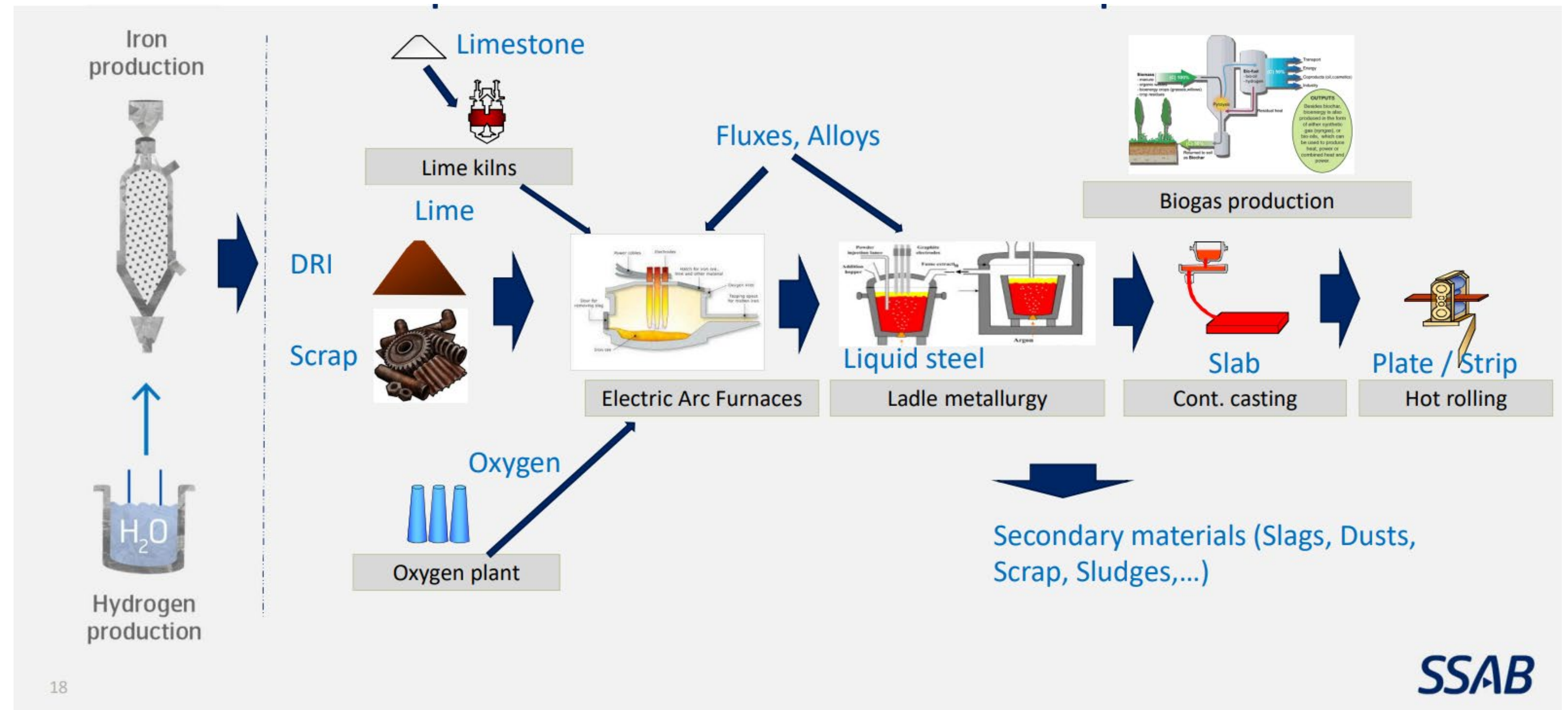
Lähde: <https://www.sei.org/wp-content/uploads/2018/09/hydrogen-steelmaking-for-a-low-carbon-economy.pdf>



Euroopan unionin
osarahoittama

Teräksen valmistuksen jatkokäsittelyt

- teräksen jatkokäsittelyt ovat samanlaisia riippumatta raudan pelkistysmenetelmästä.
- energialähteinä pyritään käyttämään fossiilittomia vaihtoehtoja



Lähde: <https://www.businessfinland.fi/49cde1/globalassets/finnish-customers/02-build-your-network/bioeconomy--cleantech/alykas-energia/jarmo-lilja.pdf>



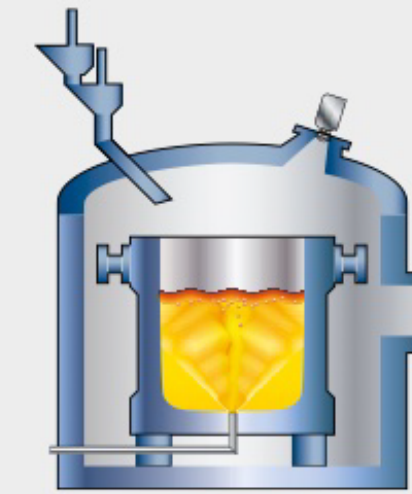
Euroopan unionin
osarahoittama

Lähde: <https://yle.fi/a/3-9908906> (viitattu 19.9.2024)

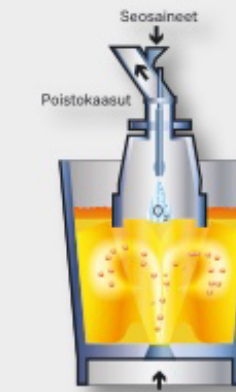
Teräksenvalmistuksen jatkokäsittelyt

- tyhjökäsittely
 - kaasujen poisto tyhjökäsittelyllä ja alkuseostus
- CAS-OB
 - koostumuksen täsmäys seostamalla ja argon huuhtelun avulla
- langansyöttö
 - koostumuksen täsmäys seoslankoja syöttämällä
- senkkauuni
 - raakasulan lämpötilan säätö

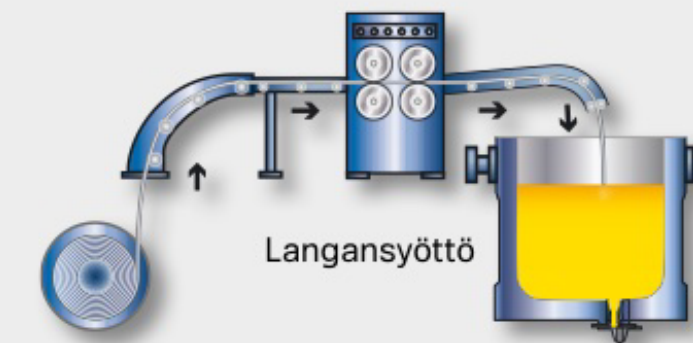
Sulan käsittely
(vaihtoehtoja ja
yhdistelmiä)



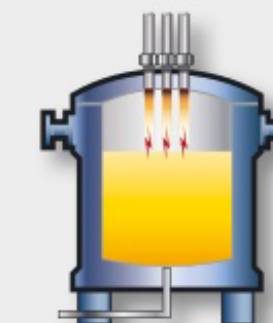
Tyhjökäsittely



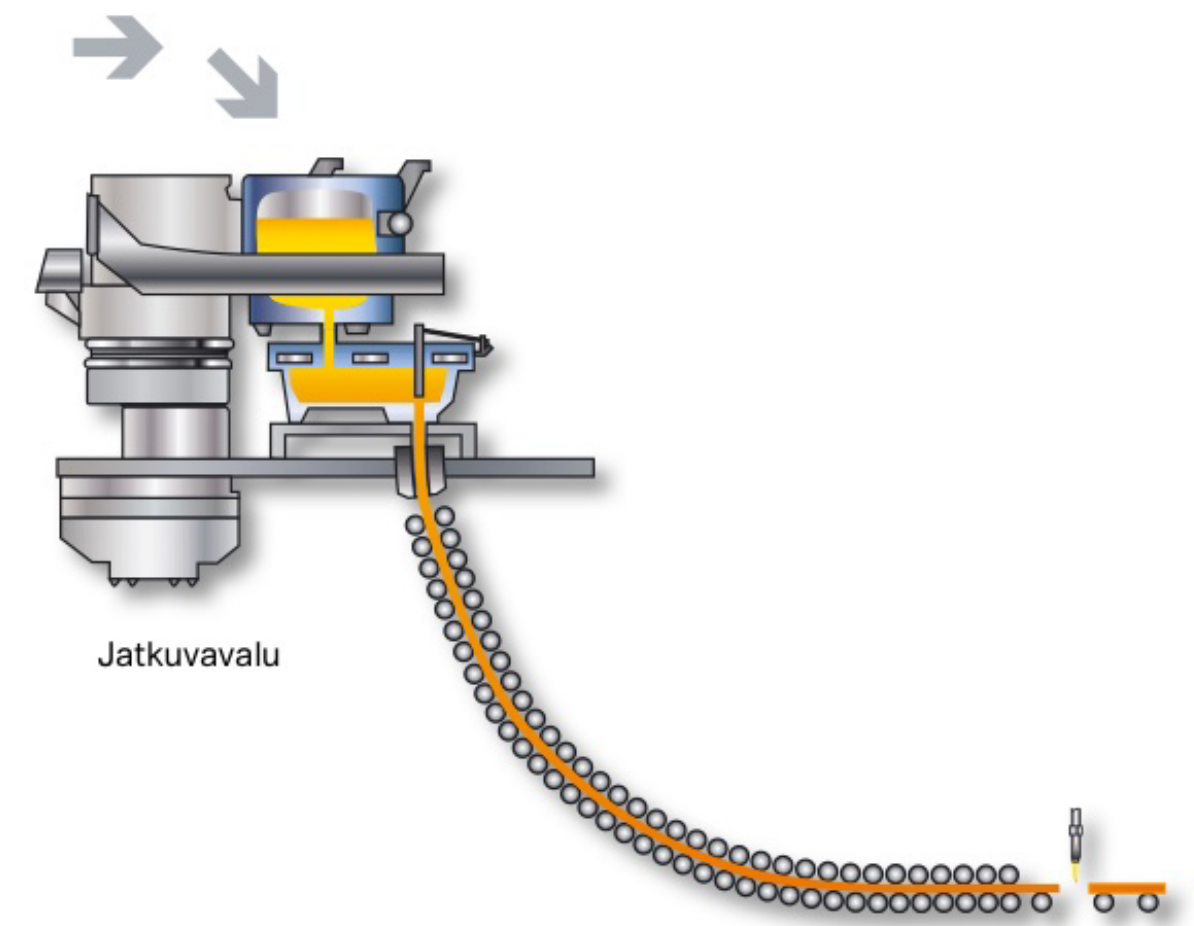
CAS-OB



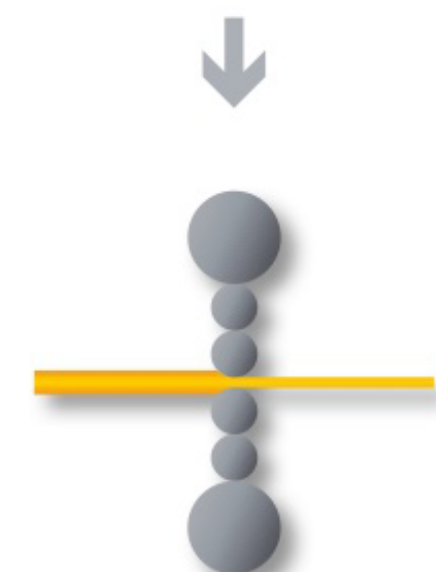
Langansyöttö



Senkkauuni



Jatkuvavalu



Valssaus

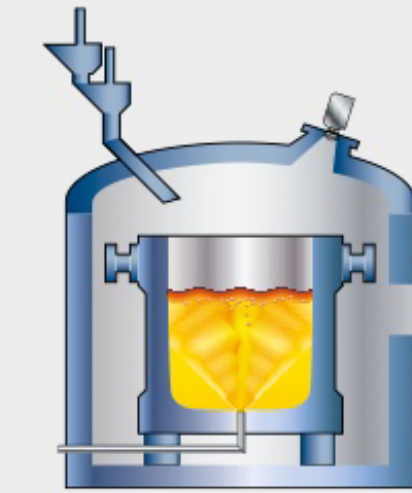


Euroopan unionin
osarahoittama

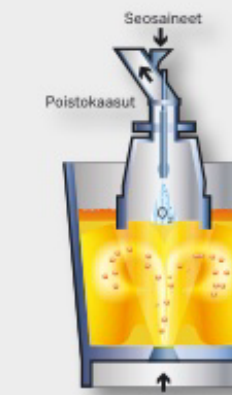
Teräksenvalmistuksen jatkokäsittelyt

- jatkuvavalu
 - sulan teräksen muuttaminen kiinteään muotoon
jatkokäsittelyjä varten
- valssaus
 - jatkuvavalussa syntyvien aihoiden muokkaaminen
nauhaksi tai levyksi

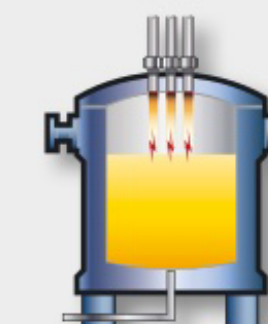
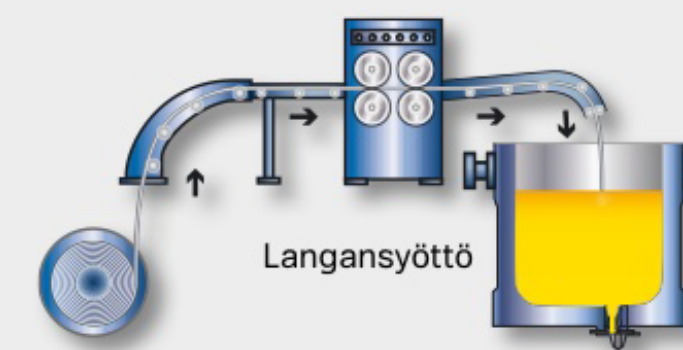
Sulan käsittely
(vaihtoehtoja ja
yhdistelmiä)



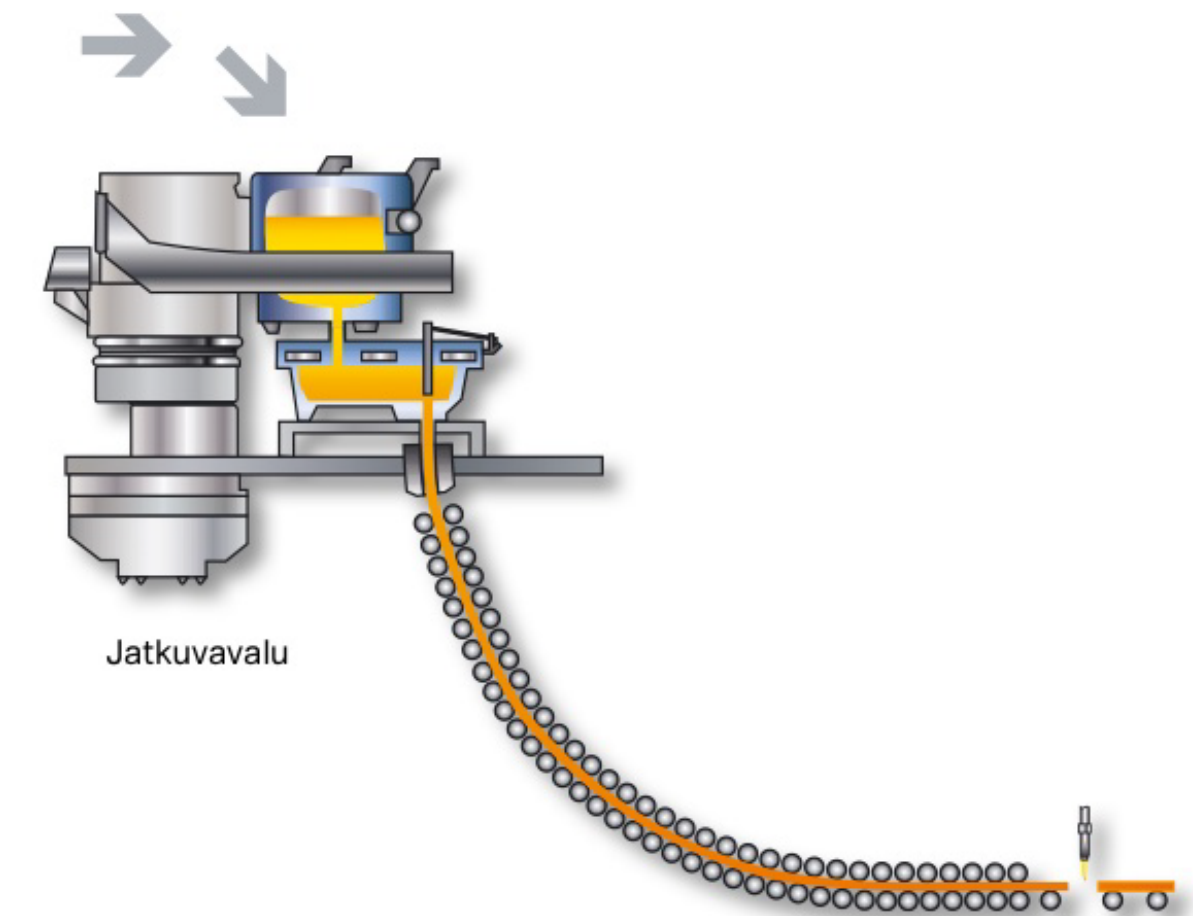
Tyhjäkäsittely



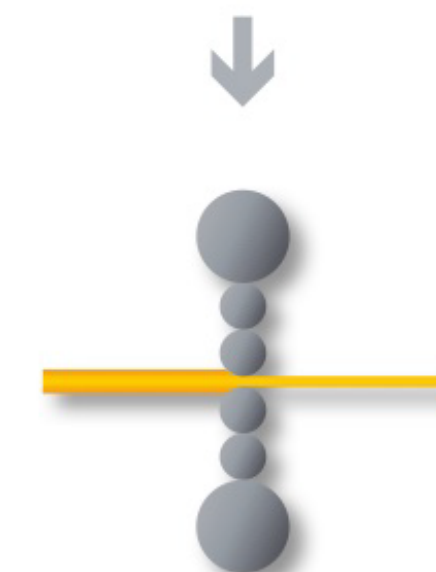
CAS-OB



Senkkauuni



Jatkuvavalu



Valssaus



Euroopan unionin
osarahoittama

Rikkivedyn valmistus



OSAO



**Euroopan unionin
osarahoittama**

Rikkivedyn käyttö teollisuudessa

rikkivedyn valmistuksessa vety pakotetaan kulkemaan sulan rikkipatjan läpi, jolloin muodostuu rikkivetyä.

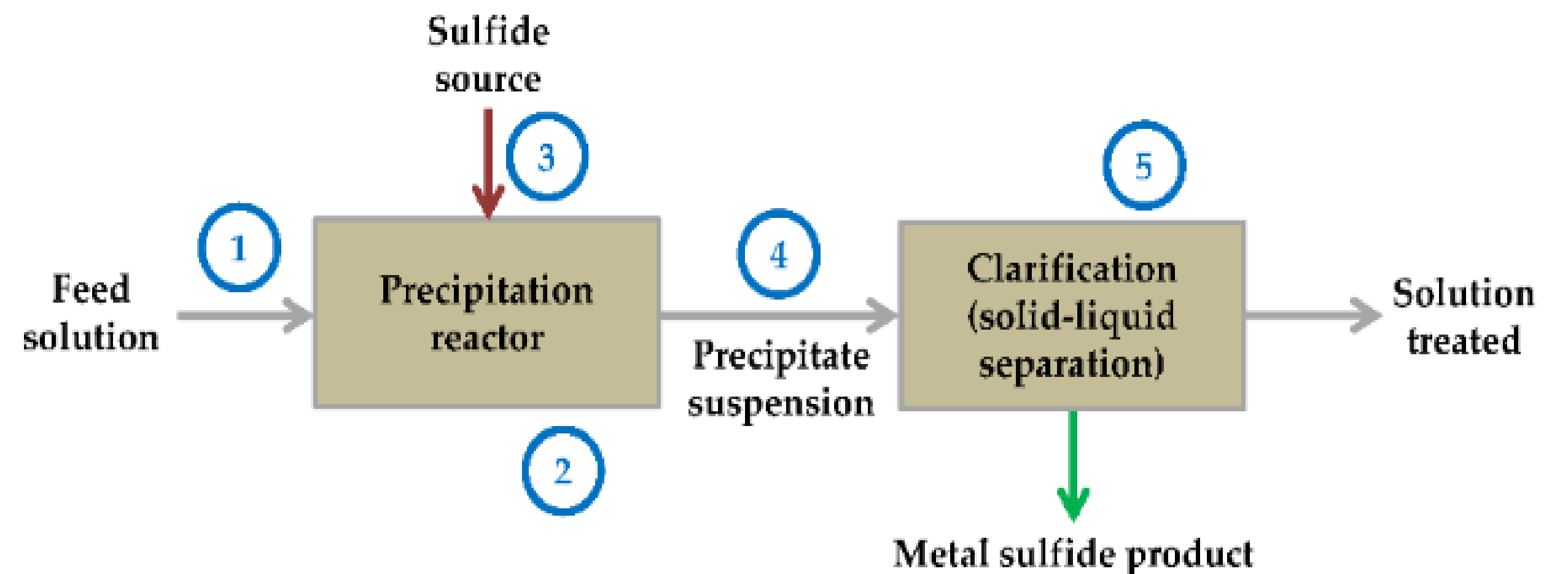
rikkivetyä käytetään muun muassa kaivosteollisuudessa metallien saostamisessa

lisättäessä rikkivetyä sulfaattiliuokseen muodostuu sulfidia. Liuoksen pH:n alentaminen muuttaa metallien liukoisuutta, jolloin sulfidit eivät pysy enää liukoisena vaan saostuvat kiintoaineena ulos liuoksessa

kestävän kehityksen mukaisessa rikkivedyn tuotannossa vety tuotettaisiin vihreämmällä tavalla



Lähde: <https://www.uniteltech.com/wp-content/uploads/H2Sbrochure-4-5.pdf>



Lähde: <https://encyclopedia.pub/entry/17207>

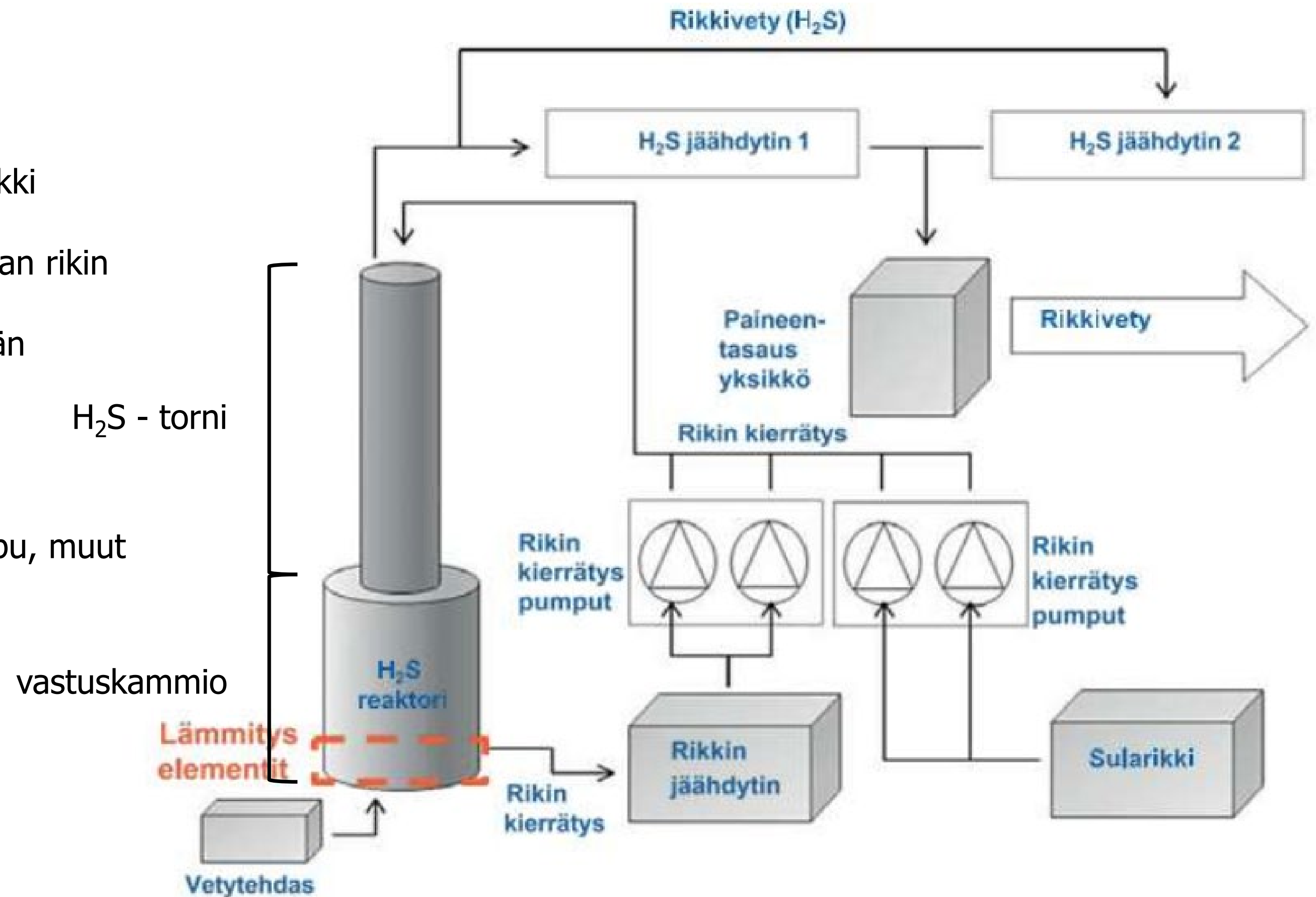


Euroopan unionin
osarahoittama

Rikkivedyn valmistus

Rikkivetylaitos koostuu seuraavista laitteista:

- H_2S -kehitin/reaktori, jossa vetykaasu ja sularikki reagoivat - tuotteena H_2S
- vastuskammio, jossa sähkövastuksilla nostetaan rikin lämpötilaa
- H_2S -torni, jossa syntynyt rikkivety jäähdytetään kiertorikillä
 - torniosassa on täytekappaleita kontaktipinnan lisäämiseksi
- H_2S -kaasun jäähdytin
- paineentasaussäiliö, syöttösäiliö, syöttöpumppu, muut pumput



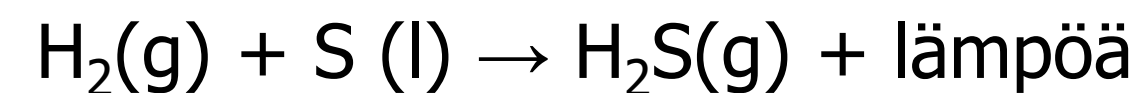
Euroopan unionin
osarahoittama

Lähde: https://www.ymparisto.fi/sites/default/files/documents/Terrafame_tuotanto_YVA_selostus_180817.pdf

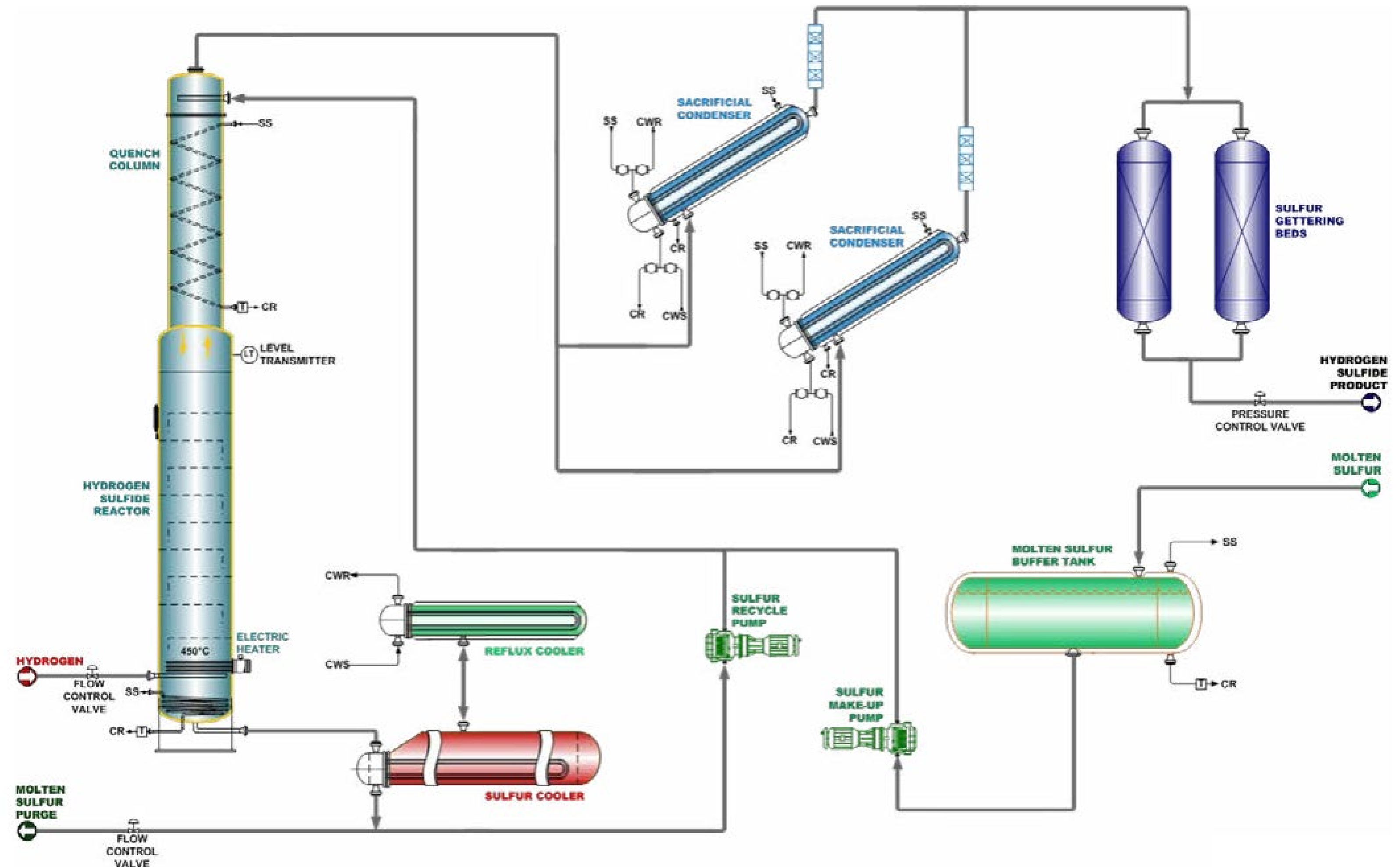
Rikkivedyn valmistus

Tuotannon parametrejä:

- systeemin operointipaine $\approx 6,5 - 8$ bar
- H_2 syöttöpaine >10 bar
- raaka-aine rikin lämpötila $\approx 135^\circ\text{C} - 150^\circ\text{C}$
- reaktiolämpötila $\approx 425^\circ\text{C} - 480^\circ\text{C}$
- vetykaasu ja sula rikki reagoivat keskenään korkeammassa lämpötilassa muodostaen rikkivetyä reaktioyhtälön mukaisesti



- rikkivedyn seassa oleva rikki poistetaan rikkivedyn puhdistusvaiheessa ja palautetaan takaisin reaktoriin

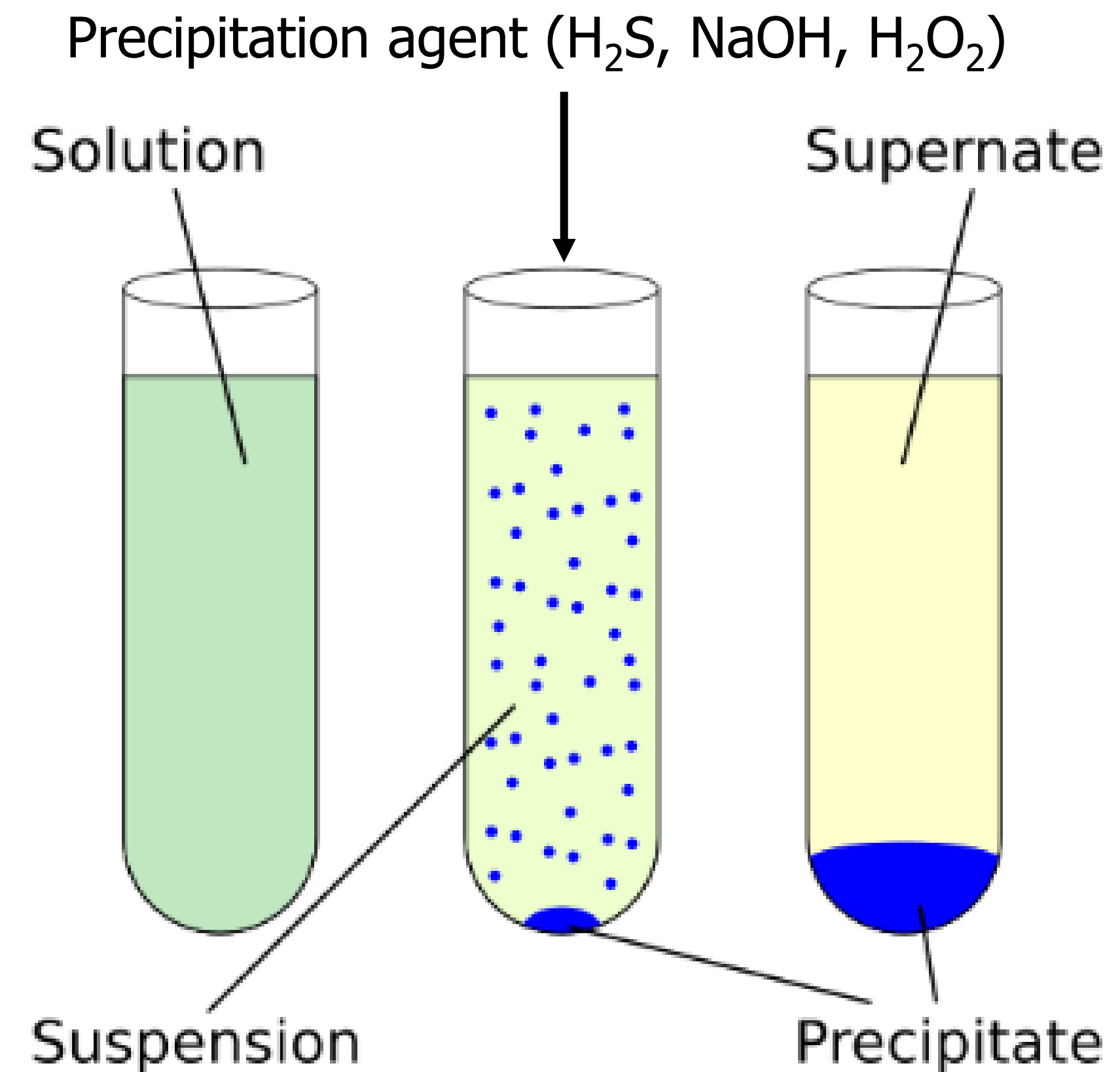


Euroopan unionin
osarahoittama

Lähde: <https://www.uniteltech.com/wp-content/uploads/H2Sbrochure-4-5.pdf>

Saostus metallien erotusprosessissa

- saostamisessa kaksi liuosta tai kaasumainen reagenssi ja liuos sekoitetaan keskenään, mikä johtaa kiinteään faasiin eli saostuman syntymiseen.
- kiinteä faasi eli saostuma vaatii muodostuakseen ylikylläiset olosuhteet.
 - kemiallisessa saostamisessa ylikylläisyys saadaan aikaiseksi kemiallisen reaktion avulla.
- kylläinen liuos on liuos, joka on tietyssä lämpötilassa tasapainossa siihen liuenneen kiinteän aineen kanssa – se miten paljon kiinteää ainetta voi olla liukoisena liuoksessa riippuu kiinteän aineen liukoisuudesta
 - liukoisuus on aineen pitoisuus liuoksessa
- yhdisteiden liukoisuudet ovat voimakkaasti pH riippuvaisia
- muuttamalla liuoksen pH:ta kiinteän aineen liukoisuus muuttuu ja liuoksesta voi tulla ylikylläinen, jolloin muodostuu kiinteä faasi, joka saostuu ulos liuoksesta

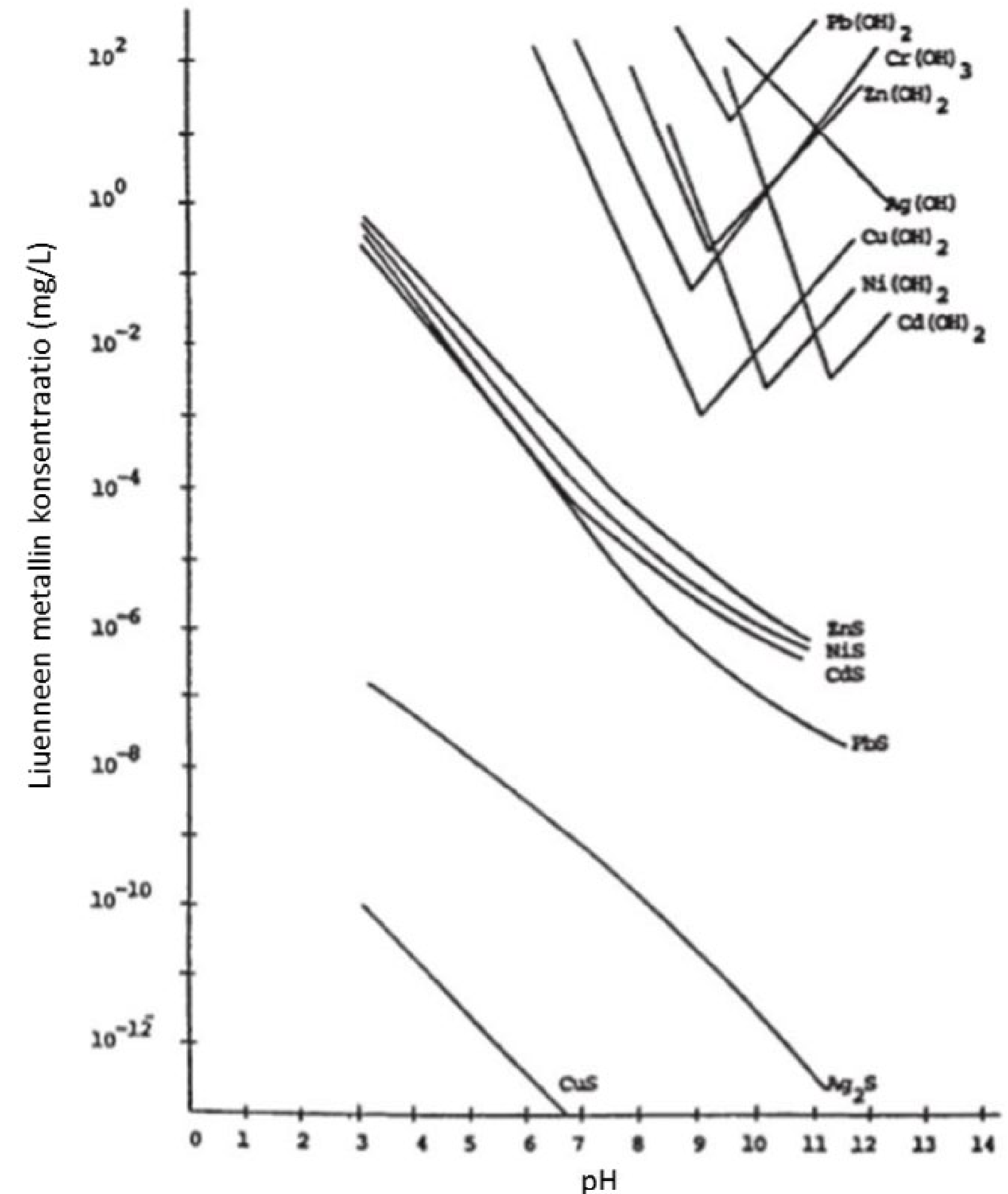


Rikkivety metallien erotusprosessissa - saostus

- metallit ovat liuenneena sulfaattiliuoksessa esim rikkihappoliuos. Johdettaessa sulfaattiliuos kontaktiin rikkivetykaasun kanssa tapahtuu metallien pelkistyminen sulfaateista sulfideiksi.
- reaktioyhtälö sulfaatista sulfidiksi

metallisulfaatti (MeSO_4) + rikkivety (H_2S) $\rightarrow$
rikkihappo (H_2SO_4) + metallisulfidi (MeS)

- sulfidien liukoisuus liuoksessa on riippuvainen liuoksen pH:sta – muuttamalla liuoksen pH:ta saadaan haluttu metalli saostumaan liuoksesta kiintoaineena
 - mikäli metallin pitoisuus liuoksessa on liukoisuusrajaa suurempi on liuos ko metallin suhteen ylikylläinen, josta seuraa metallin saostuminen kiintoaineena



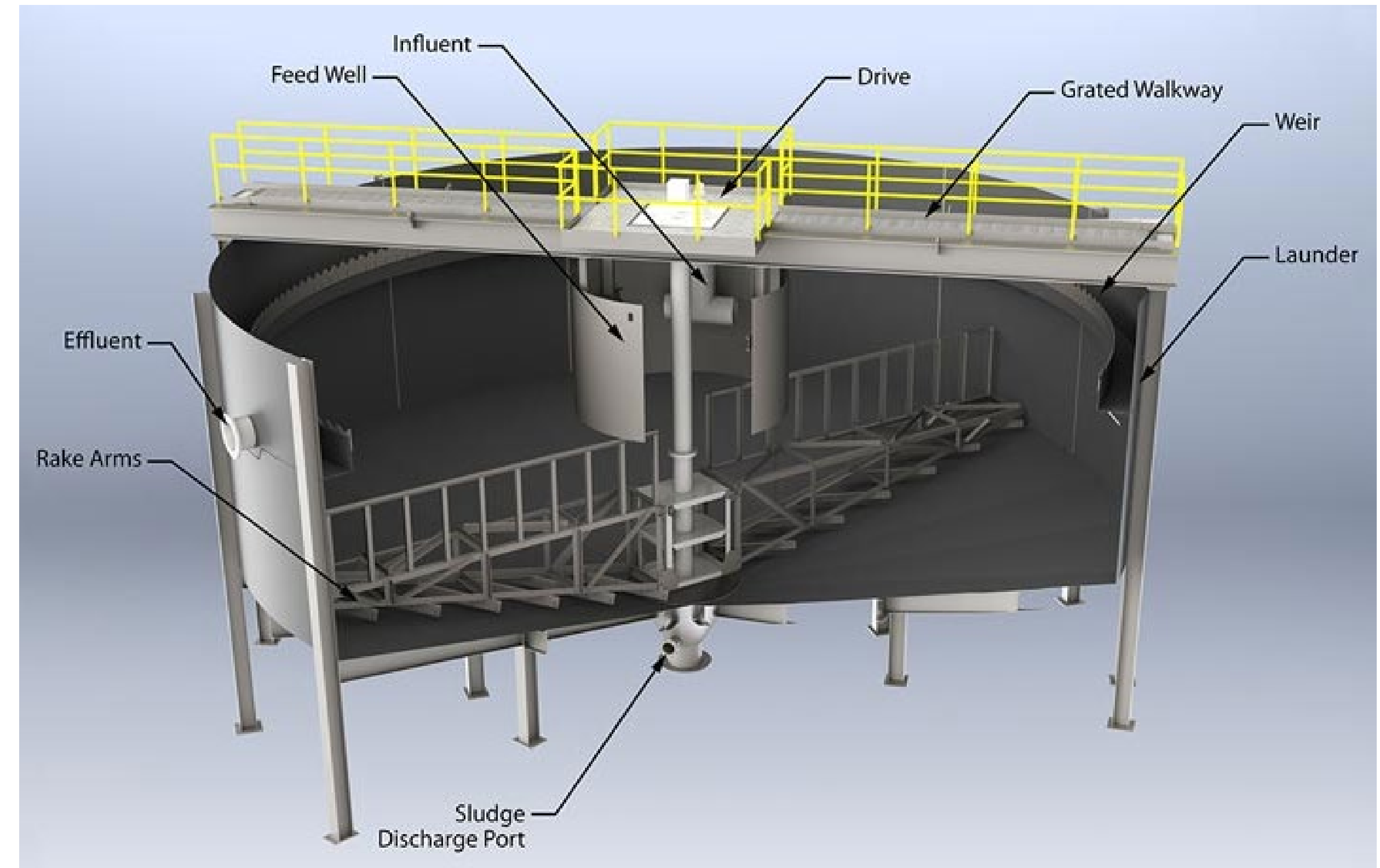
**Euroopan unionin
osarahoittama**

Lähde:

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/151703/Mikko_Uusitalo.pdf;jsessionid=016DE5BDA3ACC4A4EF9331C5C5D7506F?sequence=1

Rikkivety metallien erotusprosessissa - sakeutin

- sakeuttimessa neste ja kiinteä aine erotetaan toisistaan painovoiman perusteella
- kiinteää ainetta sisältävä nestemäinen liete pumpataan sakeuttimen syöttökaukaloon
- syöttökaukalossa lietteeseen voidaan lisätä flokkulanttia kiinteän aineen laskeutumisen edistämiseksi
- painovoimaan perustuen kiinteä aine laskeutuu sakeuttimen pohjalle.
- sakeuttimessa pyörii hiljaisella nopeudella hara pitäen muodostuvaa kiintoaine patjaa ilmavana
- sakeuttimen alaosasta kiinteä aine pumpataan kuivaukseen



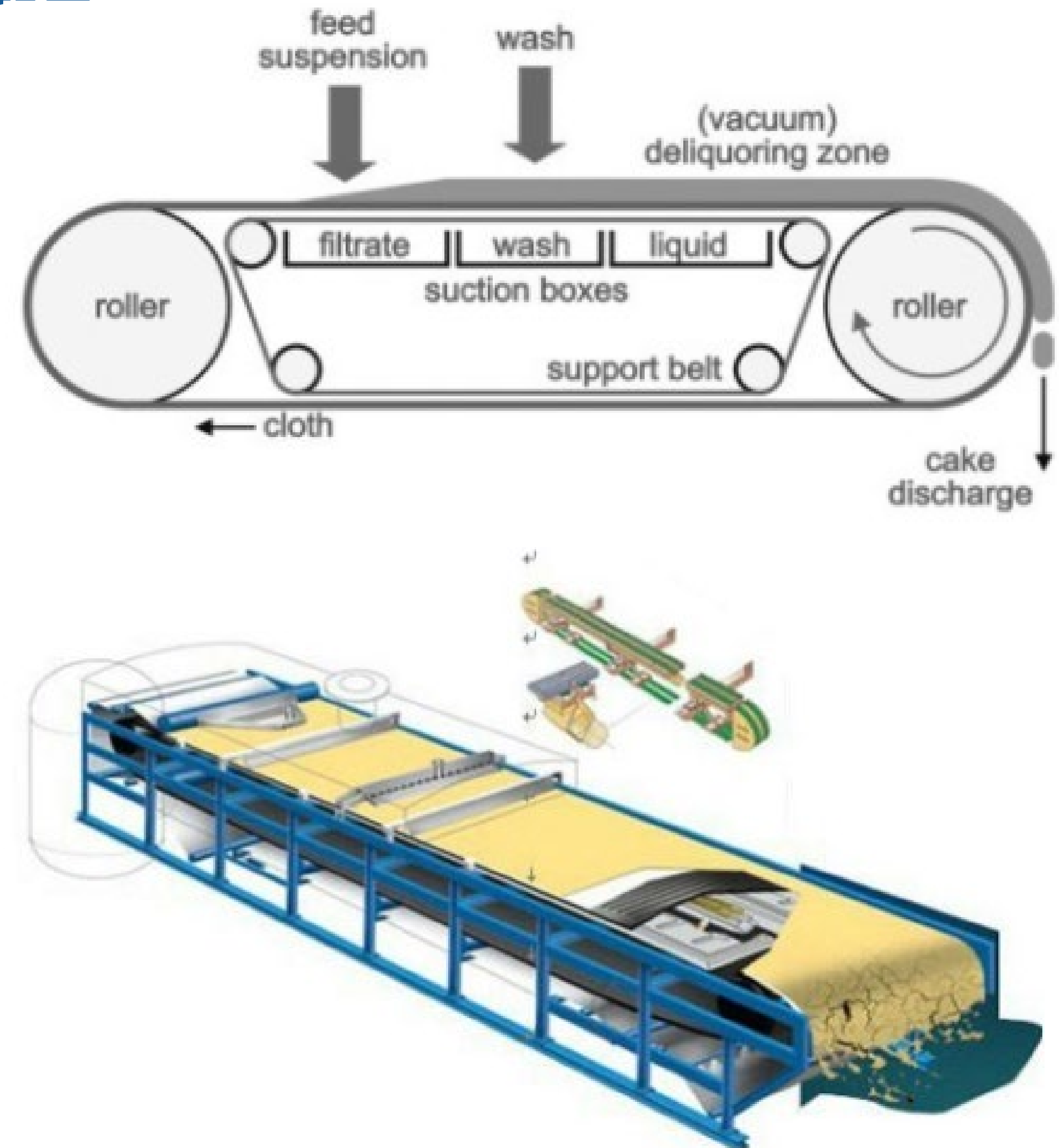
Lähde: [https://www.monroenvironmental.com/water-and-wastewater-treatment/circular-clarifiers-and-thickeners/circular-thickeners/#iLightbox\[66e3762dc12a27f134b\]/0](https://www.monroenvironmental.com/water-and-wastewater-treatment/circular-clarifiers-and-thickeners/circular-thickeners/#iLightbox[66e3762dc12a27f134b]/0)



Euroopan unionin
osarahoittama

Rikkivety metallien erotusprosessissa - kuivaus

- eräs tyypillinen kiintoaineen kuivausmenetelmä on ns nauhasuodatus
- kiintoaineliete syötetään pyörivälle hihnalle, jonka alapuolella sijaitsevat imulaatikot
- alipaineen vaikutuksesta lietteen neste kulkeutuu hihnan läpi suodoslaatikoon erilleen kiintoaineesta
- kiintoaine ohjautuu hihnan päällä, mahdollisten pesuvaiheiden jälkeen hihnan loppuun, jolloin kaavari poistaa kiintoaineen/puhdistaa hihnan paluurullan vaiheessa



**Euroopan unionin
osarahoittama**

Lähde: <https://www.sungda.com/index.php/efficient-solid-liquid-separation-the-working-principle-and-maintenance-of-vacuum-belt-filters/>