



Prosessi- ja ympäristötekniikan perusta

Aihe 2: Materiaalitaseet

Oulun yliopisto



Tavoite

Tavoitteena on oppia tasetarkastelun käsite ja oppia tuntemaan, miten materiaalitaseita voidaan hyödyntää kokonaisprosessien sekä yksikköprosessien tarkastelussa

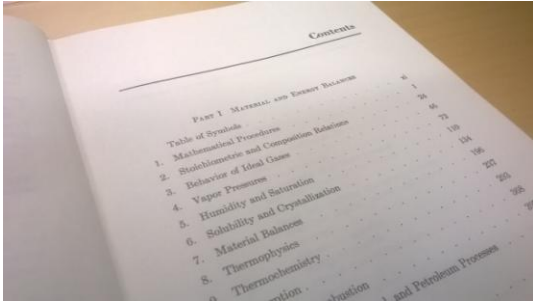
Miksi tasetarkastelut ja materiaalitaseet?

- Materiaalivirtojen suhteiden arviointi
 - Paljonko tiettyä tuotetta saadaan tietyistä raaka-ainemäärästä
 - Paljonko raaka-aineita tarvitaan tietyn tuotemäärän valmistamiseen
 - jne.
- Mitatun datan täydennys
 - Puuttuvat, epätäydelliset tai epätarkat mittaukset
 - Massa ja koostumus
- Materiaalitaseet toimivat pohjana energiataseille
 - Energiantarve
 - Lämpötilan ja -häviöiden arviointi

Oulun yliopisto



Sisältö



Taseajattelu

- Keskittyminen materiaali- eli ainetaseisiin

Mihin/miten ainetaseita voidaan hyödyntää?

- Esimerkkejä tasetarkastelun hyödyntämisestä

Esimerkki ainetaseen laatisemisesta

- Teräksenvalmistuksen konvertertiprosessi

Ainetasetarkasteluissa huomioitavia materiaaliavirtoja

- Raaka-aineet, tuotteet, poisteet, jätteet, jne.

Mitä ainetaseiden laidinnassa tarvitaan?

- Tietoa materiaaliavirroista
- Pitoisuuksien esittäminen

Aiheen 2 tehtävä

Oulun yliopisto



Taseajattelu

Taustalla aineen (ja energian) häviämättömyys

- Materiaali- eli ainetaseissa alkuaiteiden häviämättömyys
 - Poikkeuksena ydinreaktioita sisältävät systeemit
- (Energia- eli lämpötaseissa taustalla termodynamiikan 1. pääsääntö energian häviämättömyydestä)

Tarkasteluna kohteena aineen kertymä valitussa tasealueessa

- Tasealueen mielekäs valinta tavoitteiden mukaan
- Voi olla kokonaisprosessi tai yksikköprosessi

Kertymä tasealueeseen

= Aine sisään – Aine ulos

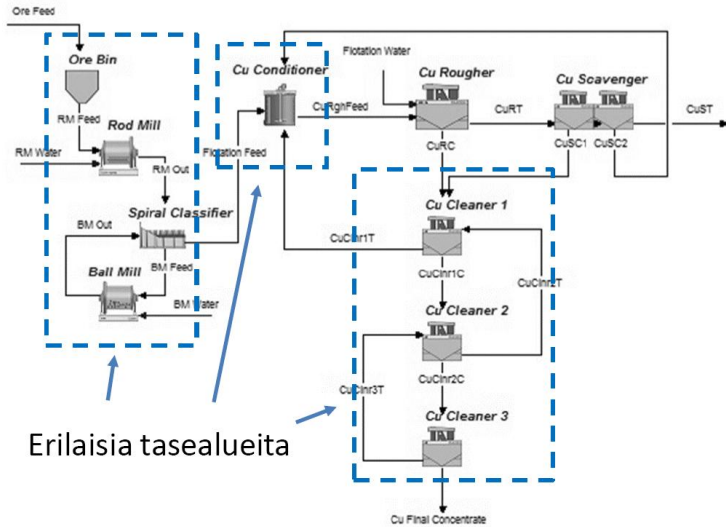
- Mikäli kertymä $\neq 0$, tasealueeseen joko kertyy ainetta (kertymä > 0) tai tasealueesta poistuu ainetta (kertymä < 0)
- Dynaaminen tila: tasealueen kertymä $\neq 0$
- Stationääri- eli vakiotila: tasealueen kertymä = 0

Oulun yliopisto



Taseajattelu

OMS MINIPILOT
Grinding and Cu Flotation



Erlaisia tasealueita



Taseajattelu

Kertymä tasealueeseen
= Aine sisään – Aine ulos

Huomioidaan kaikki sisääntulo- ja ulosmenovirrat

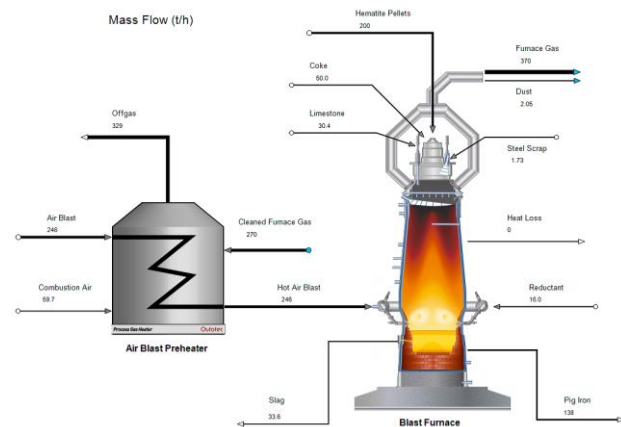
- Raaka-aineet
- Tuotteet, päästöt, jätteet

Tarkastelu alkuainekohtaisesti

- Yhdisteitä voi hajota ja muodostua kemiallisissa reaktioissa
- Faasien määrät voivat muuttua
 - olomuodonmuutosten seurauksena
 - aineiden siirtyessä faasista toiseen (esim. liukeneminen)
- Periaatteessa alkuaineetkin voivat muuttua toisiksi ydinreaktioissa
 - Ei kuitenkaan "normaaleissa" prosessitarkasteluissa



Mihin ainetaseita käytetään?



Lähde: HSC Sim, Outotec.

Oulun yliopisto

Prosessien ja niiden toiminnan arvioinnissa, simuloinnissa ja suunnittelussa

Materiaalivirtojen suhteiden arviointi

- Tuotteet, raaka-aineet, jätteet

Täydennetään mittausdataa

- Kaikki materiaalivirtojen määrät ja koostumukset eivät aina mitattavissa
- Mittaukset epätarkkoja tai liian hitaita prosessinohjaukseen
- Mittaukset epätäydellisiä
 - esim. koostumusmittaus ei kata kaikkia komponentteja

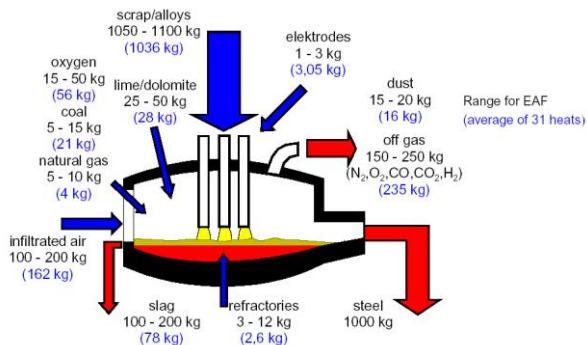
Visualisointi yhdistämällä tasetarkastelun tulokset prosessikaavioon

Materiaalitaset toimivat pohjana energiataseille



Esimerkkejä tasetarkastelujen hyödyntämisestä

Materiaalivirrat valmistettaessa tonni terästä valokaariuunissa:



Lähteet:

L Sundqvist-Ökvist: CIRROS-koulutusaineisto, 2019.
H Pfeifer & M Kirschen: 7th European Electric Steelmaking conference, Venice, Italy. 26-29.5.2002.

Oulun yliopisto

Arvio materiaalivirtojen keskinäisistä suhteista

- esim. arvioidaan tarvittavien raaka-aineiden tai syntyvien jätteiden määrät tuotettua tuotetonna kohden

Tietyn aineen kulkeutuminen ja kertymä

- Alkuperä, kulkeutuminen ja loppusijoittuminen
- Jakautuminen eri materiaalivirtojen kesken

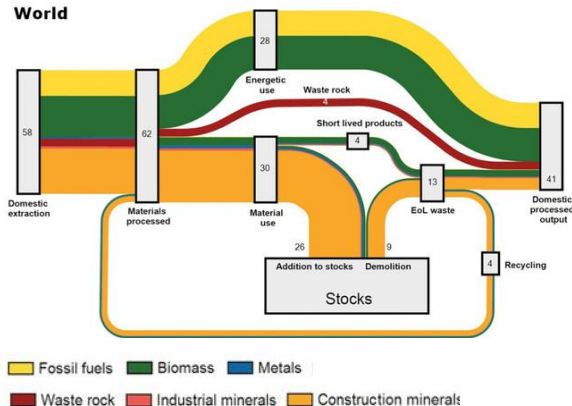
Tarkasteluja voidaan tehdä hyvin erikokoisille tasealueille

- (Pieni) tilavuusyksikkö prosessin sisällä
 - Osana prosessimallinnusta (esim. virtausmallinnus)
- Tietty prosessivaihe
- Useamman prosessivaiheen muodostama kokonaisuus
- Tuotantolaitos
- Tuotannon ala
- Valtio tai muu laajempi maantieteellinen alue
- Koko maapallo
- Yleensä tarkkuus kärsii siirryttäessä suurempaan mittakaavaan



Esimerkkejä tasetarkastelujen hyödyntämisestä

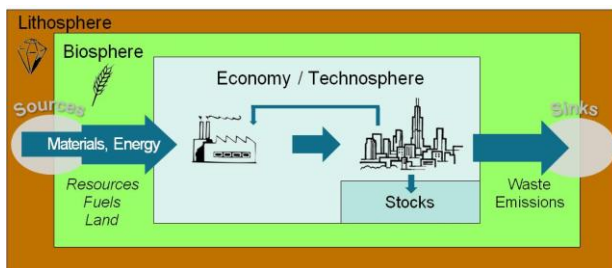
World



Lähteet:
 A Di Maria: CIRRUUS-koulutusaineisto, 2019.
 W Haas, F Krausmann, D Wiedenhofer & M Heinz: Journal of Industrial Ecology. 2015.

Material Flow Analysis (MFA)

- Materiaalivirtojen ja varastojen systemaattinen arviointi ajallisesti ja paikallisesti määrättyssä tasealueessa
- Yhdistää lähteet, reitit, välikohteet ja lopulliset kertymät
- Hyödynnetään päätöksenteon apuvälineenä resurssien ja niiden käyttöön, jätteisiin sekä ympäristövaikutuksiin liittyen
- Lisätietoa:
 - Brunner & Rechberger: Practical Handbook of Material Flow Analysis



Domestic extraction (DE):
 Input from natural environment to be used in the economy.

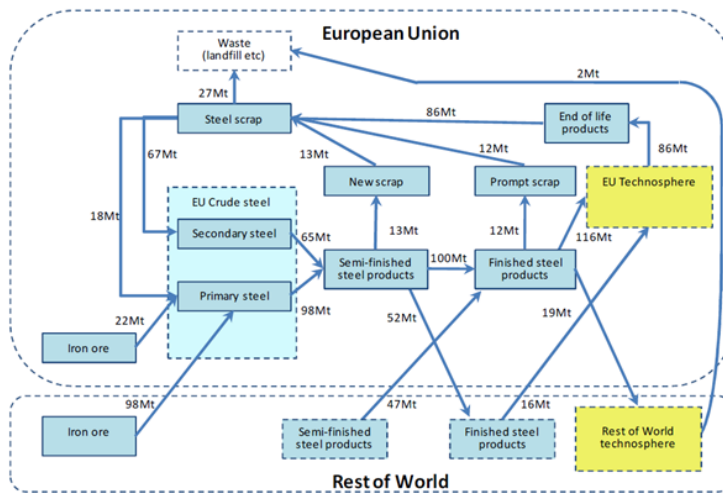
Oulun yliopisto



Esimerkkejä tasetarkastelujen hyödyntämisestä

Esimerkki: MFA teräkselle EU:ssa (2000)

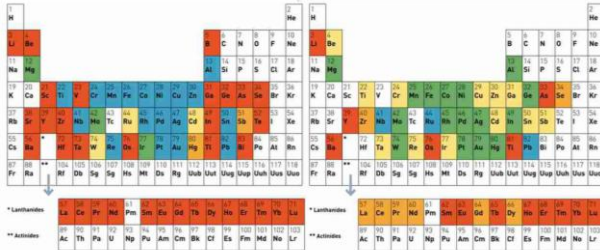
Overview of iron & steel flows, European Union, 2000 (Mt=million tonnes)



Lähteet:
 A Di Maria: CIRRUUS-koulutusaineisto, 2019.
 OECD: Measuring Material Flows and Resource Productivity, 2008.



Esimerkkejä tasetarkastelujen hyödyntämisestä



EOL-RR for sixty metals: The periodic table of global average end-of-life (post-consumer) functional recycling (EOL-RR) for sixty metals. Functional recycling is recycling in which the physical and chemical properties that made the material desirable in the first place are retained for subsequent use. Unfilled boxes indicate that no data or estimates are available, or that the element was not addressed as part of this study. These evaluations do not consider metal emissions from coal power plants.

The periodic table of global average recycled content (RC; the fraction of secondary (scrap) metal in the total metal input to metal production) for sixty metals. Unfilled boxes indicate that no data or estimates are available, or that the element was not addressed as part of this study.

d: end-of-life (EOL) products (metal content) n: tailings and slag content
e: EOL metal collected for recycling o: in-use dissipation
f: EOL metal separated for non-functional recycling

Lähde:
A Di Maria: CIRRUUS-koulutusaineisto, 2019.

Tietyn alkuaineen (usein metalli) kierrätysasteen arviointi MFA:ta hyödyntäen

- e/d = Keräysaste (Scrap Collection Rate, CR)
- g/e = Kierrätysprosessin kierrätysaste (Recycling Process efficiency rate)
- g/d = Kokonaiskierrätysaste (End-of-life Recycling Rate, EOL-RR)
- $(j+m)/(a+j+m)$ = Kierrätetyn materiaalin osuus (Recycled content, RC)

Eri alkuaineiden/metallien kierrätysasteissa on hyvin suuria eroja

- EOL-materiaalin kerääminen?
- Materiaalien erotus toisistaan?
- Kierrätysprosessit?
 - Tekninen toteutus, taloudellinen kannattavuus, ymp.vaiikutukset
- Kierrätysasteen vaikutus tuotteen laatuun?

Lisää kiertotaloudesta aiheen 8 yhteydessä

Oulun yliopisto



Materiaalitaseet lähestymistapana?

Miksi tasetarkastelut (erityisesti ainetaseet) ovat tärkeitä prosessi- ja ympäristö-tekniikassa?

- Mitä hyötyjä tasetarkasteluilla voidaan mielestäsi saavuttaa? Mikä on mielestäsi suurin hyöty?

Pohdi jotain omaan kokemusmaailmaasi liittyvää kohdetta, johon mielestäsi voisi soveltaa taseajattelua?

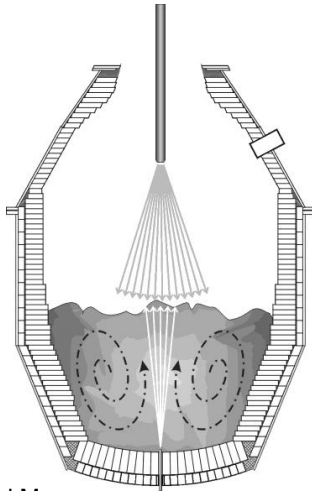
- Miten tasetarkasteluja voitaisiin soveltaa valitsemassasi kohteessa?
- Mitä hyötyä niistä voisi olla?



Oulun yliopisto



Esimerkki ainetaseesta



Kuva: Petri Mure.

Tarkastellaan teräksen valmistuksessa käytettävää konverteriprosessia

- Raaka-aineena hiiltä ja piitä sisältävä raakarauta
- Tuotteena teräs, jossa C- ja Si-määrät pienemmät
- Prosessiin puhalletaan happea ylääänilanssilla
- Pii hapettuu SiO_2 :ksi ja kuonautuu yhdessä kuonanmuodostajan käytettävän kalkin kanssa
- Hiili hapettuu (CO) ja kaasuuntuu

Laaditaan ainetase, jonka avulla saadaan luotua parempi käsitys siitä, mitä prosessissa tapahtuu.

Oulun yliopisto



Esimerkki ainetaseesta

Halutaan tietää:

- Paljonko raakarautaa tarvitaan?
- Paljonko kuonaa muodostuu?
- Paljonko kalkkia tarvitsee lisätä kuonanmuodostajaksi?
- Paljonko kaasua muodostuu?
- Paljonko happea on puhallettava?
- (kaikki yhtä tuotettua terästonnia kohden)

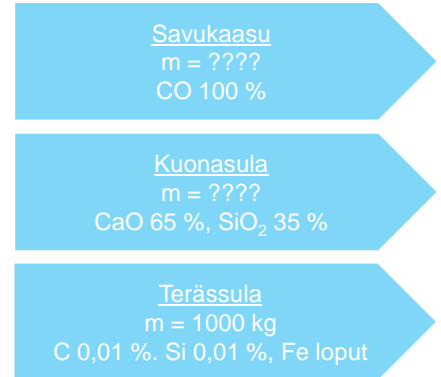
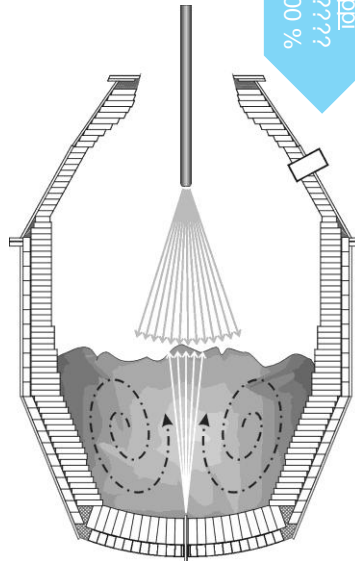
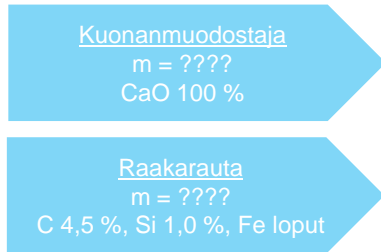
Tiedetään/oletetaan, että:

- Raakaraudassa on 4,5 % hiiltä ja 1,0 % piitä (lopun Fe)
 - Oikeasti sisältää myös muita alkuaineita
- Teräksessä on 0,01 % hiiltä ja 0,01 % piitä (lopun Fe)
 - Oikeasti sisältää myös muita alkuaineita
- Loppukuonassa on 65 % CaO, 35 % SiO_2
 - Oikeasti sisältää myös FeO, MnO, Al_2O_3 , MgO
- (prosentit massaprosentteja)

Oulun yliopisto



Esimerkki ainetaseesta



Kuva: Petri Mure.

Oulun yliopisto



Esimerkki ainetaseesta

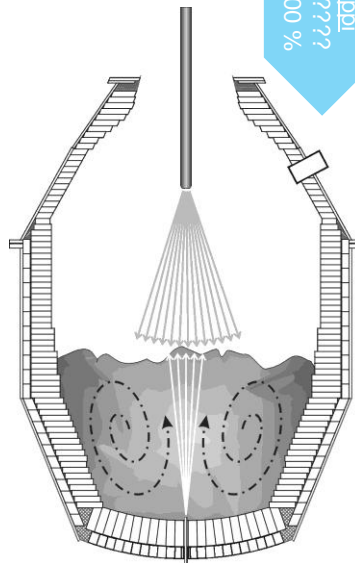
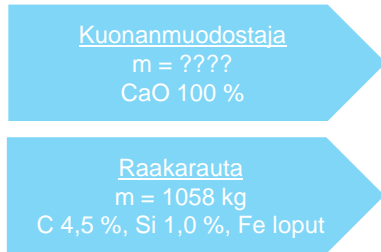
Paljonko raakarautaa tarvitaan?

- Tarkastelu tehdään yhtä terästonnin kohden
- 0,01 % hiiltä vastaa 0,1 kg
- 0,01 % piitä vastaa 0,1 kg
- Teräksessä on rautaa $(1000 - 0,1 - 0,1)$ kg = 999,8 kg
- Tämä rautamäärä pitää löytyä myös lähtöaineista eli raakaraudasta
- Raakaraudassa on 4,5 % hiiltä ja 1,0 % piitä eli jäljelle jää 94,5 % rautaa
- $0,945 \cdot m_{\text{Raakarauta}} = 999,8$ kg
- $m_{\text{Raakarauta}} = 999,8 \text{ kg} / 0,945 = \underline{1058 \text{ kg}}$

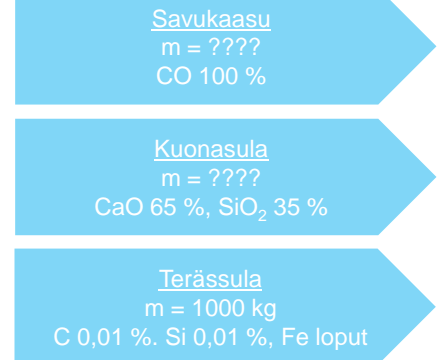
Oulun yliopisto



Esimerkki ainetaseesta



Happi
m = ????
O₂ 100 %



Kuva: Petri Mure.

Oulun yliopisto



Esimerkki ainetaseesta

Paljonko kuonaa muodostuu?

- Raakarautaa tarvitaan siis 1058 kg tonnia terästä kohden
- Piitä on 1,0% eli 10,58 kg
- Tästä 0,1 kg päätyy terässulaan (0,01 % teräksestä)
- Loput eli 10,48 kg päätyy kuonaan SiO₂:na
- SiO₂:sta 46,7 % on piitä ja 53,3 % happea (Moolimassat!)
- Toisaalta kuonassa on 35 % SiO₂:a
- Ts. $0,467 \cdot 0,35 \cdot m_{\text{Kuona}} = 10,48 \text{ kg}$
- $m_{\text{Kuona}} = 10,48 \text{ kg} / (0,467 \cdot 0,35) = \underline{64,1 \text{ kg}}$

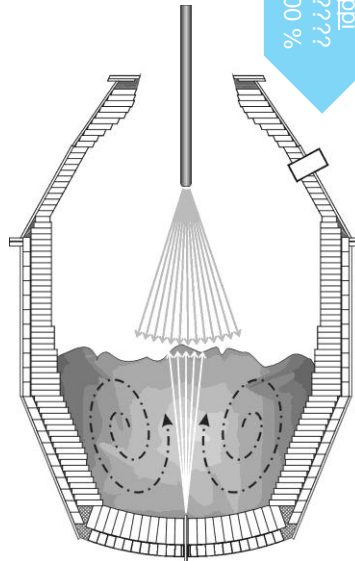
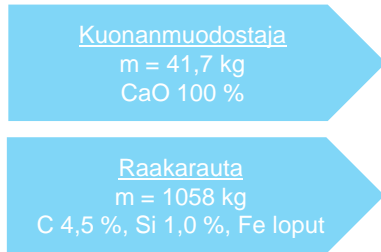
Paljonko kalkkia tarvitaan?

- Kuonaa muodostuu yhteensä 64,1 kg
- Kuonasta CaO:a on 65 % eli $0,65 \cdot 64,1 \text{ kg} = 41,7 \text{ kg}$
- Tämä määrä poltettua kalkkia täytyy lisätä kuonanmuodostajaksi: 41,7 kg

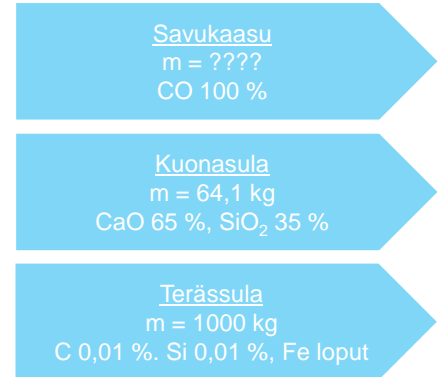
Oulun yliopisto



Esimerkki ainetaseesta



Happi
m = ????
O₂ 100 %



Kuva: Petri Mure.

Oulun yliopisto



Esimerkki ainetaseesta

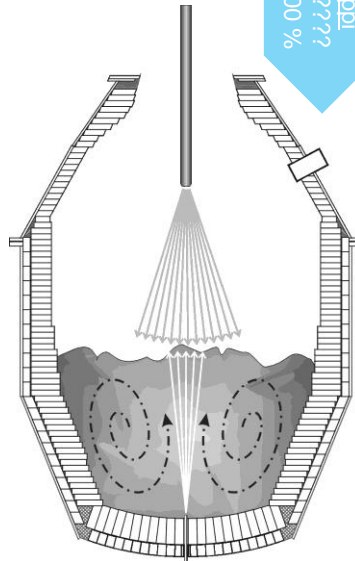
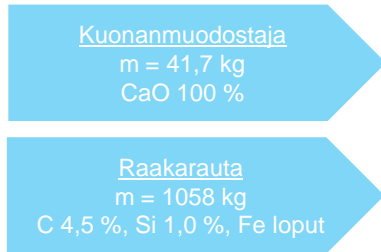
Paljonko kaasua muodostuu?

- Hiiltä tulee prosessiin raakaraudan mukana.
- Raakarautaa on 1058 kg ja siitä 4,5 % on hiiltä
- Ts. hiiltä tulee prosessiin $0,045 \cdot 1058 \text{ kg} = 47,6 \text{ kg}$
- Prosessista poistuvassa terässulassa on hiiltä 0,1 kg
- Loput prosessiin tulevasta hielestä päätyy kaasufaasiin hiilimonoksidina: $(47,6 - 0,1) \text{ kg} = 47,5 \text{ kg}$
- Hiilimonoksidissa on 42,9 % hiiltä ja 57,1 % happea (Moolimassat!)
- Ts. $0,429 \cdot m_{\text{Kaasu}} = 47,5 \text{ kg}$
- $\rightarrow m_{\text{Kaasu}} = 47,5 \text{ kg} / 0,429 = \underline{110,7 \text{ kg}}$

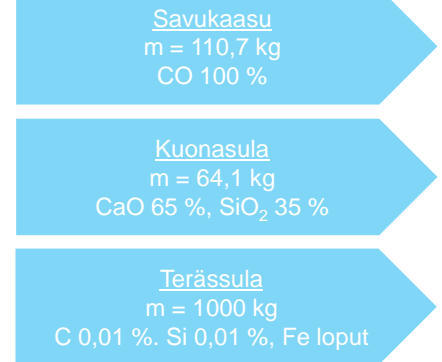
Oulun yliopisto



Esimerkki ainetaseesta



Happi
m = ???
O₂ 100 %



Kuva: Petri Mure.

Oulun yliopisto



Esimerkki ainetaseesta

Paljonko happea on puhallettava?

- Puhallushappea kuluu piin ja hiilen hapettumiseen
 - SiO₂:a muodostui kuonaan 22,4 kg (= 0,35-64,1 kg)
 - CO:a muodostui kaasuun 110,7 kg
- Näistä saadaan moolimassat tuntemalla laskettua hapen osuudet:
 - Happea SiO₂:ssa 11,9 kg
 - Happea CO:ssa 63,2 kg
- Yhteensä happea tarvitaan siis 75,1 kg

Tarkistus

- | | | | |
|---------------------|----------|---|---------------|
| - Lähtöaineet | | | |
| - Raakarautaa | 1058 kg | | |
| - Kuonanmuodostajaa | 41,7 kg | | |
| - Happea | 75,1 kg | Σ | 1174,8 kg |
| - Tuotteet | | | |
| - Terästä | 1000 kg | | |
| - Kuonaa | 64,1 kg | | |
| - Savukaasua | 110,7 kg | Σ | 1174,8 kg |
| - Tase | | | <u>0,0 kg</u> |

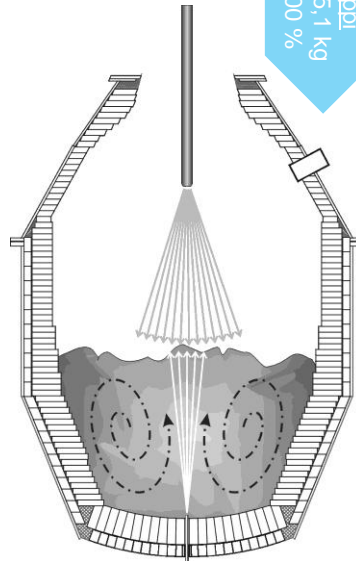
Oulun yliopisto



Esimerkki ainetaseesta

Kuonanmuodostaja
m = 41,7 kg
CaO 100 %

Raakarauta
m = 1058 kg
C 4,5 %, Si 1,0 %, Fe loput



Savukaasu
m = 110,7 kg
CO 100 %

Kuonasula
m = 64,1 kg
CaO 65 %, SiO₂ 35 %

Terässula
m = 1000 kg
C 0,01 %, Si 0,01 %, Fe loput

Kuva: Petri Mure.

Oulun yliopisto



Esimerkki ainetaseesta



Kuva: Timo Paananen, SSAB Europe, Raahе.

Mittauksista (SSAB Europe) tiedetään, että:

- Yhteen terästönniin tarvitaan noin 1080 kg raakarautaa
- Poltettua kalkkia tarvitaan noin 40 – 60 kg/tte
- Kuonaa syntyy noin 50 – 100 kg/tte

Eli jopa hyvin karkea ja erittäin yksinkertaistettu tasetarkastelu antaa kohtalaisen kuvan prosessista

Mistä epätarkkuudet/virheet johtuvat?

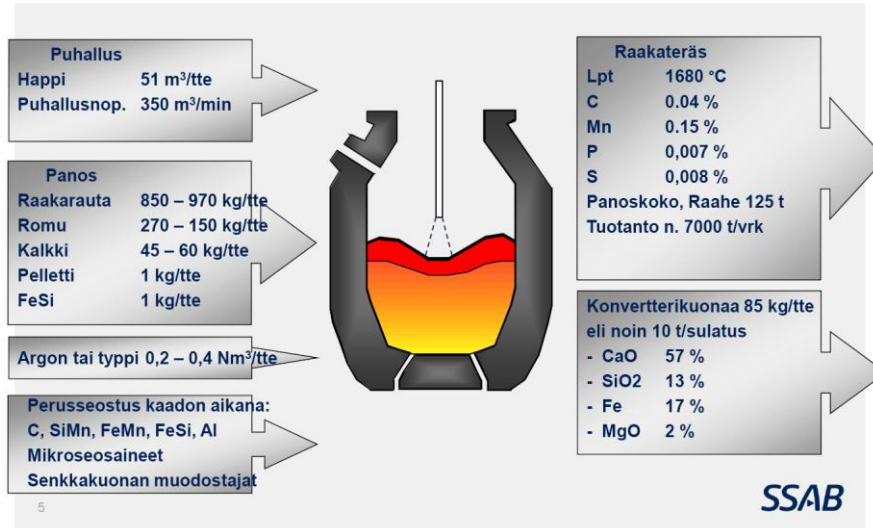
- Koostumukset eivät tarkkoja
- Jotkut komponentit jätetty kokonaan huomiotta
 - Kuonassa ja metallissa paljon muitakin komponentteja
- Jopa jotkut materiaalivirrat on jätetty huomiotta
 - Esim. pölyt
- Liian yksinkertaistetut oletukset
 - Esim. kaikki rauta ei päädy metallifaasiin vaan sitä myös kuonautuu – tämä tulisi huomioida
 - Saannot eivät ole todellisuudessa 100 %
 - Kaikki happi ei reagoi piin ja hiilen kanssa

Oulun yliopisto



Esimerkki ainetaseesta

Lähde: Tuomas Antolan esitys POHTOssa 12.4.2018.



Ainetase-tarkasteluissa huomioitavia materiaaliveirtoja

Tuotteet

- Kiinteät tuotteet, esim. metalli, paperi, ...
- Nestemäiset tuotteet, esim. rikkihappo, olut, ...
- Kaasumaiset tuotteet, esim. synteesikaasu, ...
- Päätuotteen lisäksi mahdolliset sivutuotteet

Raaka-aineet

- Pääraaka-aineet, esim. malmi, puu, ...
- Erilaiset lisäaineet ja prosessin toiminnan kannalta merkittävät "apuaineet", esim. kuonanmuodostajat, liuottimet, ...

Jätteet ja poistees

- Savukaasut, esim. palamistuotteet, ...
- Kiinteät jätteet, esim. kuonat, lietteet, ...
- Päästöt ilmaan, esim. vieraat kaasut, pölyt, pisarat, ...
- Päästöt veteen, esim. vieraat nesteet ja kiintoaineet, ...



Ainetase- tarkasteluissa huomioitavia materiaalivirtoja

Tuotteet ja pääraaka-aineet on yleensä helppoa määrittellä

- Dokumentoitu prosessikuvauksissa

Kaikkia sivutuotteita ja jätteitä ei välttämättä osata huomioida. Esimerkkejä erilaisista jätevirroista:

- Ilmansaasteet
 - kaasuja kuten CO₂, NO_x, SO_x, ...
 - nestepisaroita
 - hiukkaspäästöt
- Jätevedet
- Kiinteät jätteet
- Tasetarkastelun avulla voidaan esimerkiksi tarkastella tietyn aineen jakautumista tuotteen ja eri jätevirtojen (ilmansaasteet, päästöt vesitöihin, kiinteät jätteet) välillä

Oulun yliopisto



Mitä ainetaseiden laadinnassa tarvitaan?

Tieto materiaalivirroista ja/tai prosessista

- Materiaalivirtojen määrät, koostumukset
- Mitä prosessissa tapahtuu (reaktiot, faasimuutokset, ...)
- Miten eri aineet jakautuvat eri tuotefaaseihin?
- Osa tiedoista tunnettava, osa voidaan määrittää tunnettujen tietojen pohjalta

Ainekohtaista dataa

- Materiaalivirroissa esiintyvien komponenttien stökiometriset suhteet
- Komponenttien moolimassat

Vaadittavat matemaattiset taidot

- Peruslaskutoimituksilla pärjää

”Todellisten” materiaalitaseiden laadinta ei ole periaatteeltaan yhtään vaikeampaa, mutta se voi olla työlästä, kun kaikki materiaalivirrat ja koostumukset huomioidaan!

HUOM! Miten tasealue määritetään?

Oulun yliopisto



Mitä ainetaseiden laadinnassa tarvitaan?

| Pitoisuusmuuttuja | Laskentaakaava | Käyttö |
|------------------------------------|---|--------------------------------|
| Mooliosuus | $x_i = \frac{n_i}{n_{tot}}$ | Kemialliset tarkastelut |
| Mooli/Atomi-prosenttiosuus | $[at-\%]_i = 100 \cdot \frac{n_i}{n_{tot}}$ | Kemialliset tarkastelut |
| Välisijaosuus tai osuus alihilasta | $y_i = \frac{n_i^s}{n_{tot}^s}$ | Kiteiset metalli- ja ionihilat |
| Painoprosenttiosuus | $[p-\%]_i = 100 \cdot \frac{m_i}{m_{tot}}$ | Teolliset sovellukset |
| Konsentraatio | $c_i = \frac{n_i}{V}$ | Vesiliuokset |
| Molaalisuus | $M_i = \frac{n_i}{m_s}$ | Vesiliuokset |

n_i on komponentin i ainemäärä
 n^s on komponentin i ainemäärä hilapaikassa s
 m_i on komponentin i massa

n_{tot} on kokonaismäärä
 n_{tot}^s on kokonaismäärä hilapaikassa s
 m_{tot} on kokonaismassa
 m_s on liuotteen massa
 V on seosfaasin tilavuus

Aineiden koostumus voidaan määrittää ja ilmoittaa usein eri tavoin – Ole tarkkana!

- Erilaiset pitoisuusyksiköt
 - Mooliosuus, massaosuus, massaprosentit, konsentraatio, jne.
- Erilaiset komponentit
 - Alkuaineet, molekyylit/yhdisteet, ionit
- Eri muodossa olevat aineet/komponentit
 - Liunneena, omina erkautuneina faaseinaan, jne.

Huomioi myös, ettei koostumuksen esittämistä aina vastaa sitä, missä muodossa aineet todellisuudessa esiintyvät

- esim. kuonasulan koostumus voidaan esittää
 - alkuainepitoisuuksina (Ca = ..., Si = ..., O = ..., jne.)
 - yhdistepitoisuuksina (CaO = ..., SiO₂ = ..., CaS = ..., jne.)
 vaikka se koostuu oikeasti erilaisista ioniyhdisteistä
 - Ca²⁺, O²⁻, SiO₄⁴⁻, Si₂O₇⁶⁻, jne.
- Koostumuksen esitystapa riippuu yleensä siitä, millä menetelmällä koostumus on määritetty

Oulun yliopisto



Tasetarkastelut tulevissa opintojaksoissa

Tasetarkasteluihin tutustutaan tarkemmin mm. seuraavilla opintojaksoilla:

- 477052A: Virtaustekniikka, 5 op
- 477221A: Aine- ja energiataseet, 5 op
- 477401A: Termodynaamiset tasapainot, 5 op
- 477222A: Reaktorianalyysi, 5 op
- 477323A: Aineen- ja lämmönsiirto, 5 op
- 477304A: Erotusprosessit, 5 op
- 477203A: Prosessisuunnittelu, 5 op

Oulun yliopisto



Tehtävä

Kuvaile tarkastelun kohteena olevaa prosessia materiaalitaseiden näkökulmasta.:

- Mitä raaka-aineita tuotantoprosessiin tarvitaan?
 - Huomioi pääraaka-aineen lisäksi myös muut mahdollisesti tarvittavat aineet; esim. liuottimet liuotusprosessissa, jne.
- Mitä tuotteita, sivutuotteita, jätteitä ja poisteita prosessissa muodostuu?
- Millaisia välituotteita ja kiertäviä materiaaleja prosessissa esiintyy?
- Mitkä ovat prosessin kokonaisuuden kannalta tärkeimmät materiaalit (lähtöaineet, tuotteet, jne.)?
 - Huomaa, että hyvin kalliiden tuotteiden tai erittäin haitallisten jätteiden osalta jo pienet määrät tekevät niistä merkittäviä.
- Miten eri materiaalien määrät suhteutuvat toisiinsa?
 - Tarkkoja määriä ei ole tarpeen etsiä. Arvioi keskeisimpien materiaaliavirtojen osalta niiden määriä suhteessa toisiinsa.
- Voit myös tarkastella joidenkin prosessin kannalta keskeisten (alku)aineiden kulkeutumista prosessissa.

Sopiva pituus 1-3 sivua

Oulun yliopisto



Miten alat suorittamaan tehtävää?

Mihin kysymyksiin haet vastauksia?

Mitä (lisä)tietoa tarvitset?

Mistä aiot hakea tarvitsemaasi tietoa?

Miten?

Millaisella aikataululla teet annetun tehtävän?

Paljonko varaat siihen aikaa?



Oulun yliopisto



Yhteenveto

Taseajattelu auttaa ymmärtämään, mitä prosessissa tapahtuu

Tasetarkastelut perustuvat aineen ja energian häviämättömyyteen

- Materiaalitaseet alkuaineiden pohjalta

Ainetaseita hyödynnetään mm. mitatun datan täydennykseksi ja energiataseiden pohjana