

Raudan valmistus masuunissa

Valtaosa maailman rautamalmista valmistetaan raakaraudaksi masuuneissa. Pääosa raakaraudasta käytetään sulana teräksen valmistukseen. Masuuni on ikivanha keksintö. Todennäköisesti ensimmäiset masuunit toimivat Kiinassa noin vuonna 200 e.Kr. Länsi-Eurooppaan masuunit tulivat vuoden 1100 jälkeen.

Nykyajan masuunit ovat suuria tuotantolaitoksia. Suurimpien korkeus 70 metriä on ja pesän halkaisija 15 metriä. Vuorokautinen raakaraudan tuotanto on 12 000 tonnia.

Kuinka rautaoksideista poistetaan happi

Masuuni on jatkuvatoiminen kuilu-uuni. Rautaraaka-aineet panostetaan masuuniin ylhäältä sintterinä, pelletteinä tai palamalmia ja masuunin alaosassa olevista hormeista puhalletaan hapella rikastettua, kuumaa ilmaa. Rautaoksidien, hematiitin (Fe_2O_3) ja magnetiitin (Fe_3O_4), lisäksi raaka-aine sisältää kuonanmuodostajia, jotka ovat pääasiassa piin, kalsiumin, alumiinin ja magnesiumin oksideja.

Raudan valmistuksessa rautaoksidit pelkistetään eli niistä poistetaan happi. Pelkistämiseen tarvitaan ainetta, joka

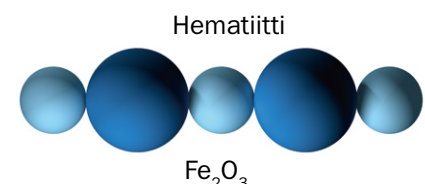
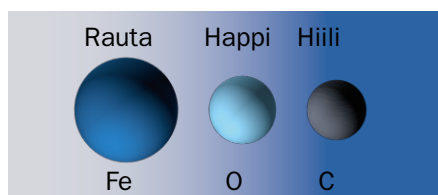
pystyy erottamaan hapen rautaoksidista. Masuunissa pelkistiminä toimivat hiilimonoksidi, vety ja hiili. Ne sitovat itseensä rautaoksidien hapen, siirtävät sen kaasun ja kuljettavat sen kaasun mukana ulos masuunista. Pelkistykseen tarvittava hiilimonoksidi ja vety syntyvät masuunissa koksista ja öljystä.

Masuuniprosessissa käytetään pelkistämisen ja energian tuottamiseen hiiltä, joka on metallurgisen koksen muodossa. Koksi sisältää hiiltä noin 90 %. Loppu on epäpuhtausoksideja, jotka muodostavat koksen palaessa tuhkaa. Koksen

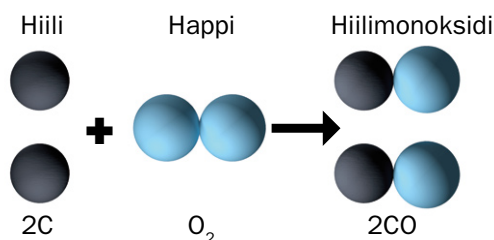
on oltava niin lujaa, ettei se jauhaudu hienoksi masuunin kuilussa. Osa koksista voidaan korvata kivihiili jauheella tai raskaalla polttoöljyllä, joita injektoidaan yhdessä puhallusilman kanssa hormien kautta masuuniin. Pelkistäminen sekä raudan ja sivukiven sulattaminen vaativat lämpöenergiaa.

Koksen ja öljyn polttamiseen tarvittava ilma kuumennetaan $1\,000\ldots 1\,300\text{ }^\circ\text{C}$:een esikuumentimissa masuunikaasua polttamalla. Puhallusilman esikuumentus on välttämätön masuunin lämpötalouden kannalta.

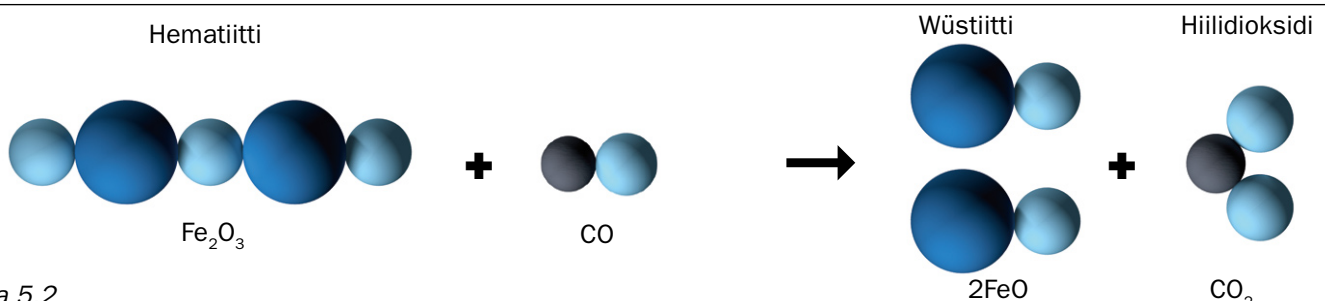
Kuvat 5.1...5.3. Hapen poistuminen rautaoksideista.



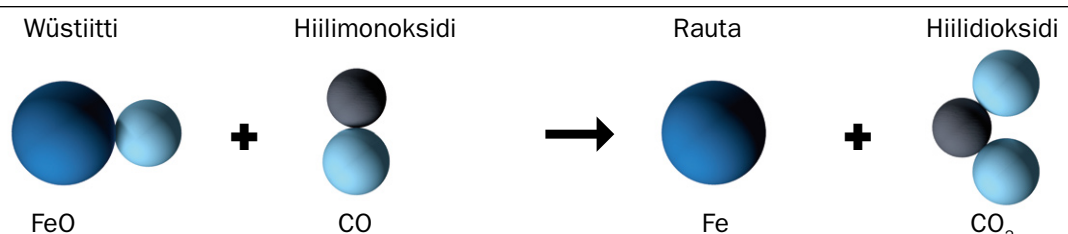
Kuva 5.1



Kuva 5.2



Kuva 5.3



Rautaoksidien pelkistyminen masuunissa

(Kuvat 5.6 ja 5.7)

Raaka-aineet ja koksi panostetaan masuuniin ylhäältä. Alaosaan puhalletaan hormien kautta esikuumennettua ilmaa, jonka happi polttaa kaksin hiilen hiilimonoksidiksi. Samalla syntyy pu-

hallusilman kosteudesta ja injektoitavien materiaalien hiilivedyistä vetyä. Lämpötila hormien läheisyydessä on 2 000...2 400 °C. Kuumat palamiskaa-

taen pelkistyneen raudan ja kuonan. Samalla kun panos vajotessaan kuumenee, kaasu ylöspäin virratessaan luovuttaa lämpönsä panokseen ja poistuu masuunin yläosasta 120...230 °C:n lämpötilassa.

Pelkistys hiilimonoksidilla

Kuilun yläosassa lämpötila-alueella n. 400...1 050 °C hematitiitti ja magnetiitti reagoivat ylöspäin virtaavan hiilimonoksidin kanssa. Hematiitti ja magnetiitti pelkistyvät vähemmän happea sisältäväksi rautaoksidiksi, wüstiitiksi (FeO) (kuva 5.2). Osa wüstiitistä pelkistyy

hiilimonoksidin vaikutuksesta raudaksi (kuva 5.3). Tällä alueella lämpötila on liian matala, jotta hiili reagoisi suoraan rautaoksidien kanssa. Jos pelkistäjänä käytetään lisäksi hiilivetyä, esimerkiksi öljyä, sen sisältämä vety pelkistää hiilimonoksidin tavoin raudan oksideja.

Vedyn reagoiessa rautaoksidin kanssa syntyy vesihöyryä.

Pelkistystä hiilimonoksidilla sanotaan epäsuoraksi pelkistykseksi siksi, että hiili ei suoraan ota osaa reaktioon.

Hiilen osallistuminen pelkistykseen

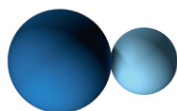
(kuva 5.4)

Kuilun alaosan aktiivisen kaksin vyöhykkeessä, jossa lämpötila on yli 1 000 °C, kaksin hiili alkaa osallistua reaktioihin. Se on joko suorassa yhteydessä rautaoksidien kanssa tai välillisesti hiilimonoksidin avulla. Hiilimonoksidi

toimii välittäjänä pelkistyksessä, sillä hiilimonoksidin ja wüstiitin reagoiessa syntynyt hiilidioksidi reagoi välittömästi hiilen kanssa muodostaen uudelleen hiilimonoksidia. Hiili pelkistää myös suoraan sulaan tai kuonaan liuenneita rautaoksidgeja. Hiilellä suoraan tapahtu-

valle pelkistykselle on ominaista suuri lämmöntarve. Noin 30 % kokonaislämpömäärästä kuluu pelkistykseen kuilun alaosassa.

Wüstiitti



FeO

+

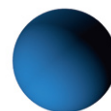
Hiili



C



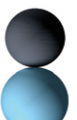
Rauta



Fe

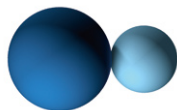
+

Hiilimonoksidi



CO

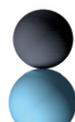
Wüstiitti



FeO

+

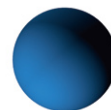
Hiilimonoksidi



CO



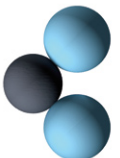
Rauta



Fe

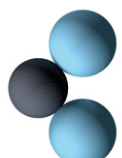
+

Hiilidioksidi



CO₂

Hiilidioksidi



CO₂

+

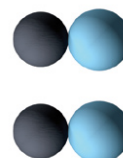
Hiili



C



Hiilimonoksidi



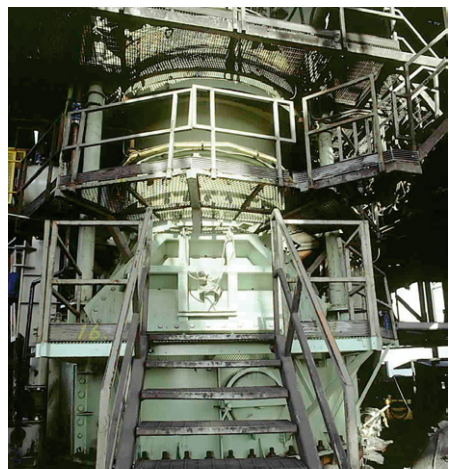
2CO

Kuva 5.4 Hiilellä pelkistäminen.

Masuunin rakenne

(Kuva 5.6)
Masuuni on noin 30 metriä korkea, teräslevystä rakennettu ja tulenkestävillä tiilillä ja jäähdytyslaatoilla vuorattu kuilu-uuni. Masuunin yläosassa on panostuslaitteisto. Panostuslaitteistoja on kahta eri tyyppiä, kelloton ja kellollinen. Panostuslaitteet on rakennettu kaasunpitäväksi, jolloin masuunikaasua ei panostuksen aikana pääse sen kautta ulos. Suurimman osan uunia muodostaa kuilu, joka alapäästään liittyy pesään. Pesän alaosassa on raudan laskuaukko eli rautareikä.

Pellettejä	376 kg
Sintteriä	1162 kg
Koksia	330 kg
Ilmaa	930 Nm ³
Hapetta	75 Nm ³
Öljyä	120 kg
Jäähdytysvettä	19 m ³



Kuva 5.5 Panostustaso.

Raudan sulaminen

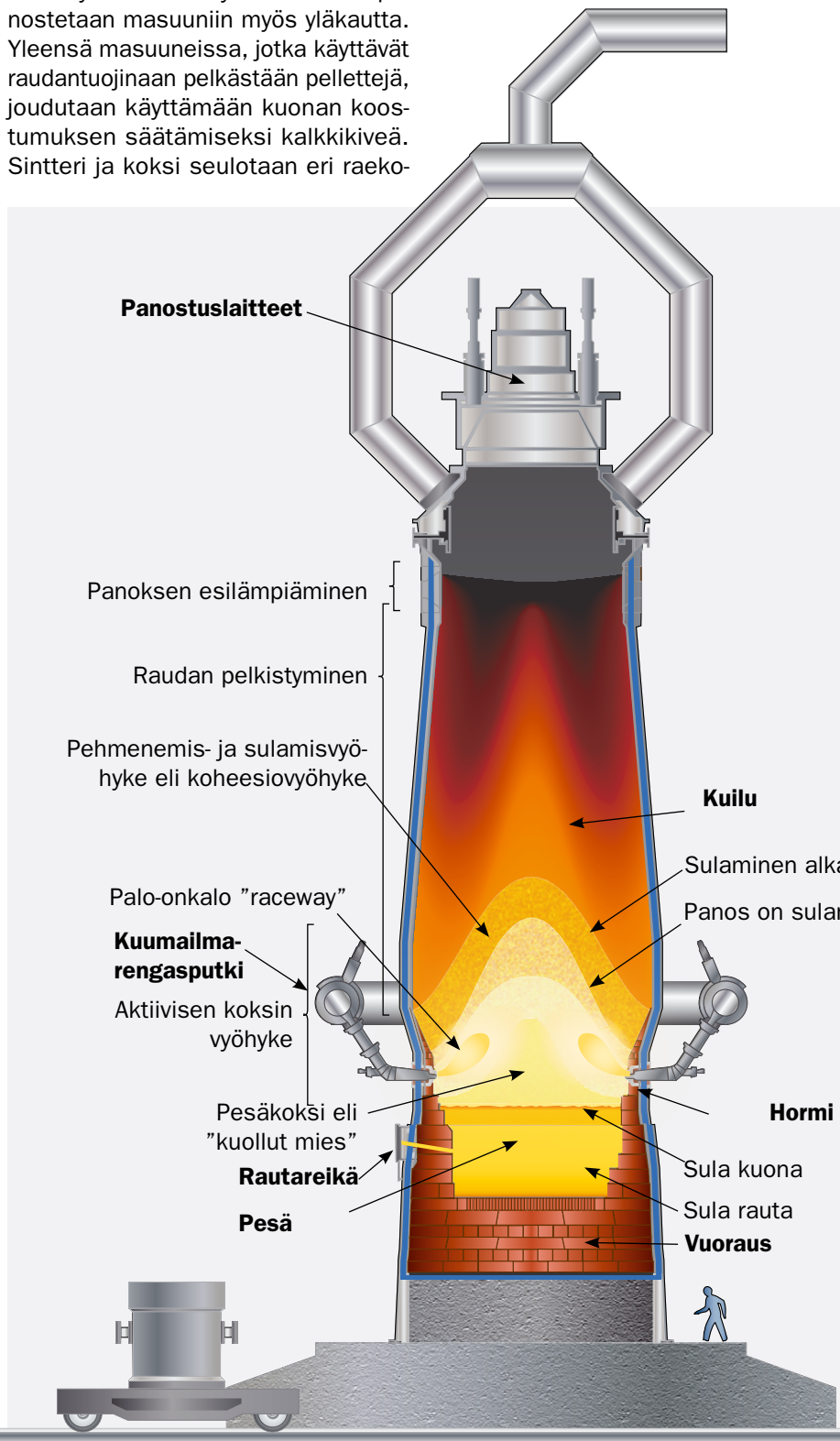
Pelkistynyt rauta on aluksi edelleen kiinteässä muodossa. Vajotessaan alaspäin rauta liuottaa itseensä hiiltä noin yhden painoprosentin. Kun lämpötila on noussut 1 450 °C:een rauta sulaa ja valuu koksikappaleiden lomitse masuunin pesään. Sula rauta hiilletty valuessaan koksikerroksen läpi. Raakaraudan hiilipitoisuus on 4...5 % ja sulamislämpötila noin 1 150 °C.

Kuva 5.6 Rautaoksidien pelkistyminen masuunissa.

Pesän yläosassa on uunin seinämän läpi pistävät kupariset, vesijäähdytteiset hormit. Yli 1 100 °C:een kuumennettu ilma johdetaan rengasputken välityksellä hormien kautta uuniin.

Masuuniin panostetaan yläkautta raudantuojina sintteriä ja/tai pellettejä sekä joskus myös palamalmia. Pelkistysaineena käytettävä koksi panostetaan masuuniin myös yläkautta. Yleensä masuuneissa, jotka käyttävät raudantuojinaan pelkästään pellettejä, joudutaan käyttämään kuonan koostumuksen säätämiseksi kalkkikiveä. Sintteri ja koksi seulotaan eri raeko-

koluokkiin ja panostetaan annoksittain erillisinä kerroksina. Osa koksista voidaan korvata polttoöljyllä, kivihiilellä, tervalla, maakaasulla tai muovilla, joita injektoidaan hormien kautta. Puhallusilmaan lisätään yleensä myös happea. Oheinen taulukko on esimerkki yhden tonnin raakarautamäärän tuottamiseen tarvittavista aineista:



Sivukivestä kuona

Osa sivukiven sisältämistä fosforin, mangaanin ja piin oksideista pelkistyy hiilellä. Nämä aineet liukenevat pelkistysessään raakarautaan. Koksi ja polttoöljy sisältävät epäpuhtautena rikkiä, joka sekin osittain liukenee rautaan. Suurin osa sivukiven oksideista jää kuitenkin pelkistymättä. Lämpötila-alueella

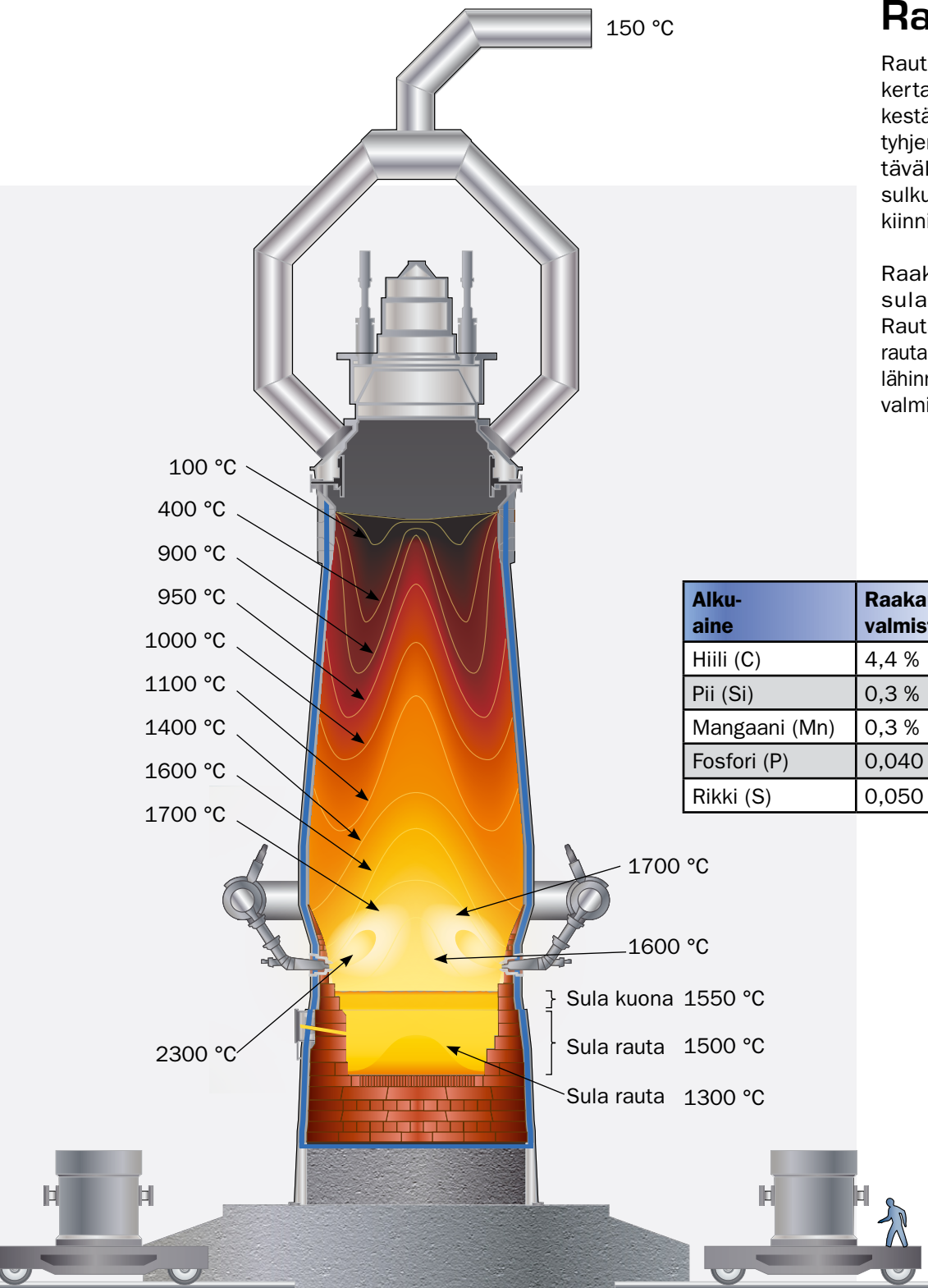
1 400...1 500 °C nämä oksidit sulavat muodostaen yhdessä koksen tuhkan ja kuonanmuodostajien kanssa kuonan, joka valuu alas pesään ja jää kerrokseksi sulan raudan päälle. Kuonan tehtävänä on sitoa ei-toivotut oksidit ja rikki itseensä. Sen oikea koostumus on masuunin toiminnan kannalta tärkeä.

Useimmat puhtaat oksidit eivät sula vielä masuunin alaosan lämpötilassa. Sopivilla lisäaineilla panoksessa säädetään kuonan koostumus sellaiseksi, että sulamislämpötila alenee ja muodostuu helposti juokseva sula kuona.

Raakarauta

Rauta lasketaan masuunista 6...12 kertaa vuorokaudessa. Raudan lasku kestää tavallisesti 90 minuuttia. Pesän tyhjennettyä reikä suljetaan tulenkestävällä massalla, joka injektoidaan sulkutykillä. Reikä on laskujen välissä kiinni 30 min.

Raakarauta käytetään pääasiassa sulana teräksen valmistukseen. Rautavalimot käyttävät valimoraakautaa harkkoina. Sen koostumus eroaa lähinnä piipitoisuuden suhteen teräksen valmistukseen käytettävästä.



Kuva 5.7 Masuunin lämpötilavyöhykkeet.

Masuunilaitoksen kaavio

(Kuva 5.10)

Masuunilaitokseksi kutsutaan koko sitä osaa tehtaasta, jossa rautaa valmistetaan.

Tärkeimpiä apulaitteita ovat puhallusilman esikuumentimet, kaasunpuhdistuslaitteet, kuonan käsittelylaitos ja raaka-aineiden käsittelylaitteet (kuljettimet, silot, panostuslaitteet).

Puhallusilman esikuumentimet

Masuunilaitoksella on yleensä 3 esikuumenninta eli cowperia masuunia kohti. Kuumentimet toimivat jaksollisesti siten, että ne ovat vuorotellen kuumennus- ja käyttövaiheessa. Esikuumentimessa puhallusilma kuumennetaan 1 100...1 300 °C:een. Kuumentimessa on kaksi kuilua, jotka yläpäästään ovat yhteydessä toisiinsa. Kapeammassa kuilussa poltetaan masuunikaasua. Kuumat palamiskaasut kulkevat suuremman kuilun läpi, jonka täytteenä on tiiliä. Kun

tiilet ovat kuumenneet 1 500 °C:een, kuumennus lopetetaan. Puhaltimesta johdetaan nyt kylmää ilmaa päinvastaiseen suuntaan kuumien tiilien läpi. Tiilet luovuttavat lämpöä ilmaan, joka puolestaan kuumenee. Kuumennettu ilma virtaa polttokuilun kautta edelleen masuunin hormoneihin.

Kuumennus kestää 90 minuuttia. Laite voi sen jälkeen luovuttaa lämpöä 45 minuutin ajan.



Kuva 5.8 Raahan masuunit.



Kuva 5.9 Masuunin esikuumentimet eli cowperit.

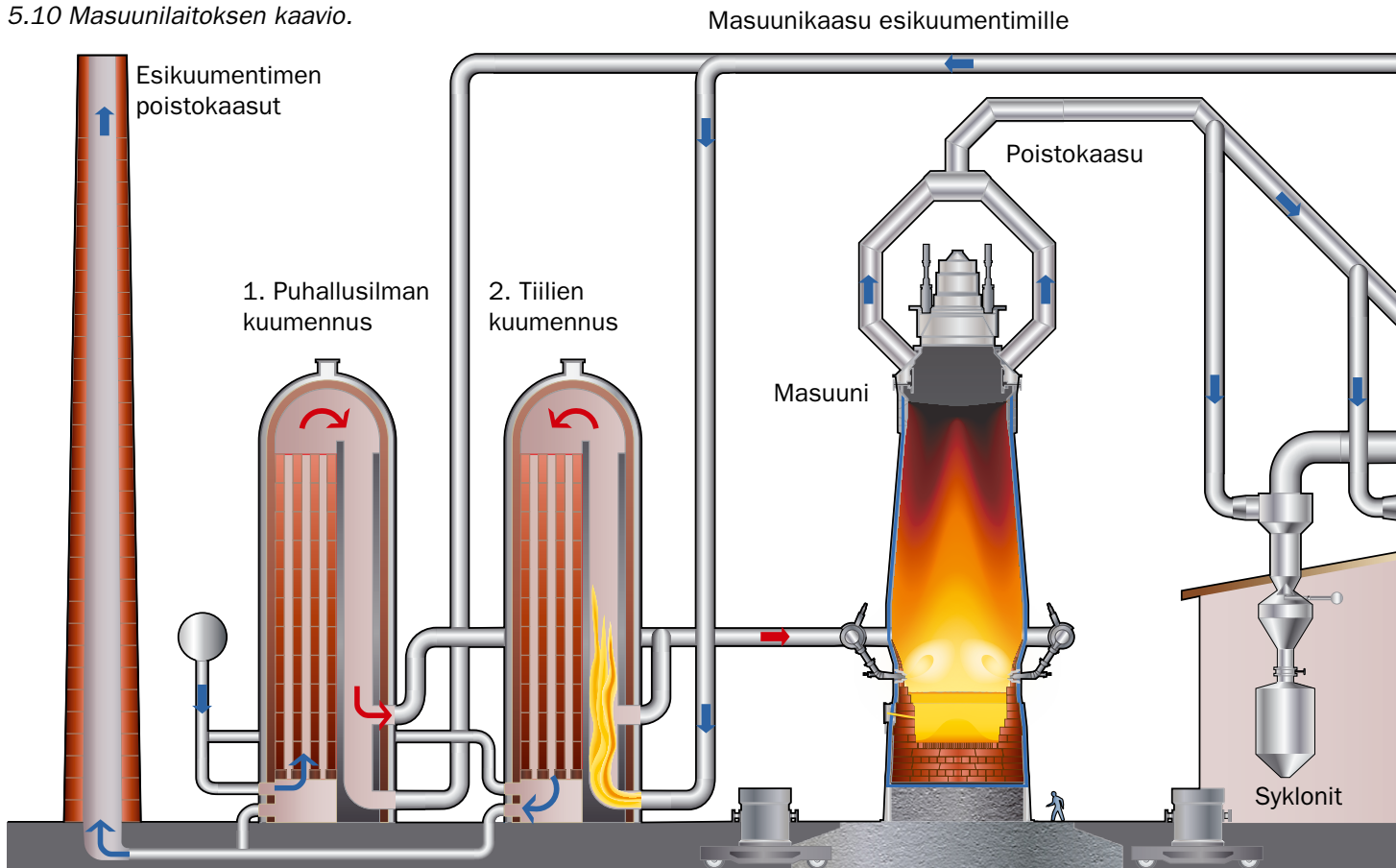
Raaka-aineiden käsittelylaitteet:

Masuunilaitos tarvitsee runsaasti siloja, seuloja ja kuljetinlaitteita sinterin, pellettien, koksen ja ilman käsittelyyn

ja siirtämiseen sekä raakaraudan, kuonan ja masuunikaasun talteenottoon. Masuunin panostukseen käytetään

joko hihnakuljettimia tai itsekipppaavia vaunuja. Kaasuja johdetaan putkistoissa puhaltimen avulla

Kuva 5.10 Masuunilaitoksen kaavio.



Lukuja masuunilaitoksesta

Oheiset luvut osoittavat, että masuuni on erittäin suuri tuotantolaitos. Esimerkkimasuuni 1 300 000

tonnia raakarautaa vuodessa. Luvut osoittavat vuorokautista kulutusta tai tuotantoa.

Sintteriä	4 066 t	Jäähdytysvettä	60 000 m ³
Pellettejä	1 503 t	Raakarautaa	3 650 t
Koksia	1 241 t	Masuunikaasua	4 970 000 Nm ³
Öljyä	439 t	Masuunipölyä	15 t
Ilmaa	3 285 000 Nm ³	Kuonaa	800 t
Happea	279 600 Nm ³		



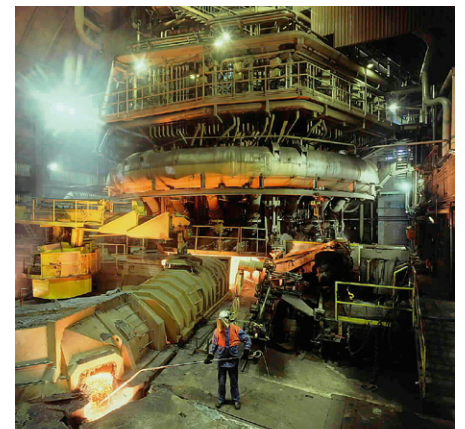
Kuva 5.11 Hormitaso.

Puhaltimet

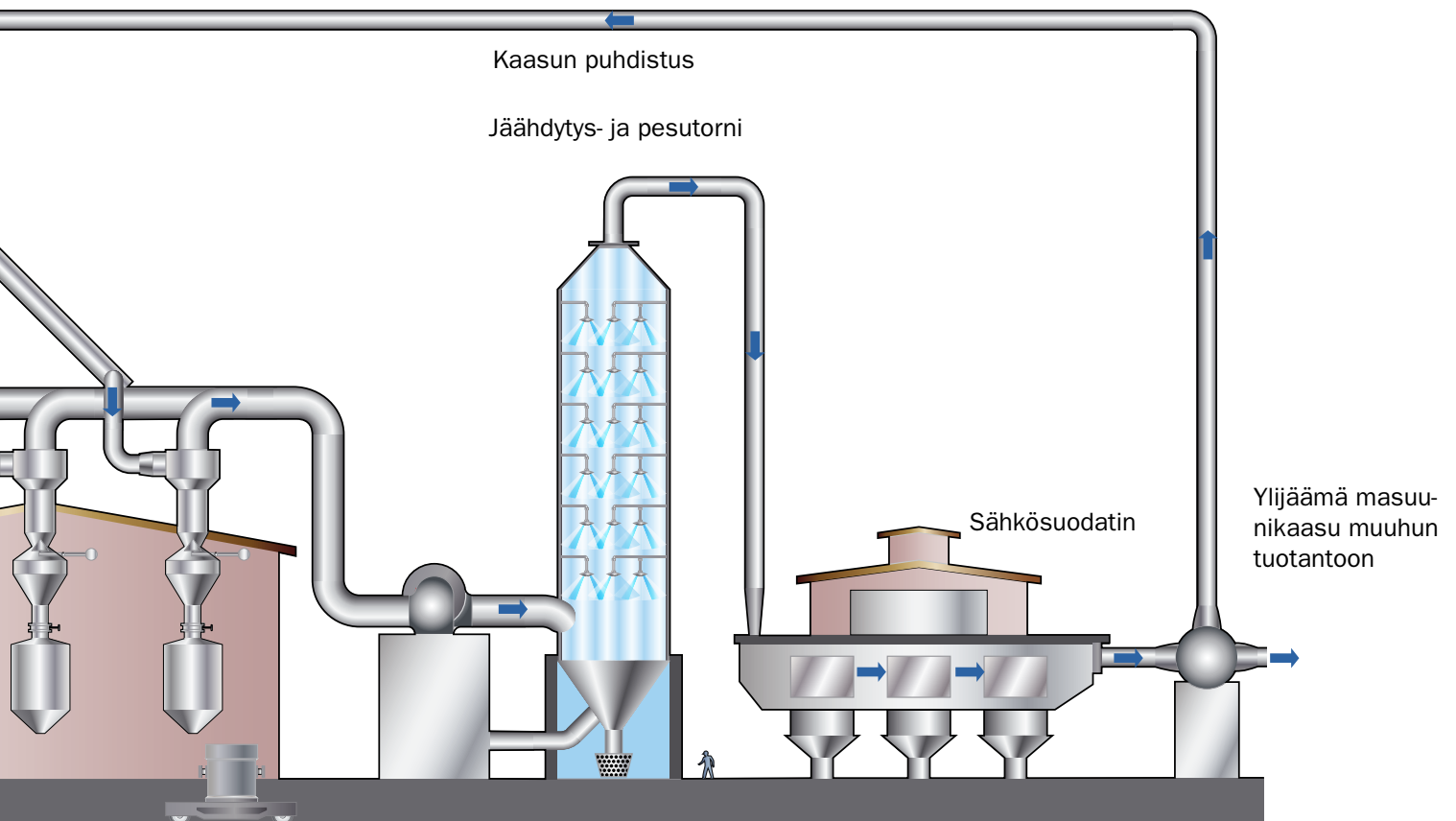
Esikuumentimiin on puhallettava ilmaa suurella nopeudella. Tämä tapahtuu käyttämällä pääasiassa turbopuhaltimia.

Seuraavat luvut kuvaavat 1,3 miljoonaa tonnia vuodessa tuottavan masuunin puhaltimia:

Ilmamäärä	3 290 000 Nm ³ /vrk
Paine	(absoluuttinen paine) 3,7 bar
Teho	(Ylipainetta 2,7 bar) 10 000 kW



Kuva 5.12 Raakaraudan lasku.



Kaasujen puhdistus

Masuuni tuottaa kaasua enemmän kuin tarvitaan esikuumentimien kuumentamiseen. Masuunikaasu on arvokasta polttoainetta, jota käytetään mm. sähköenergian tuottamiseen ja lämmitykseen. Masuunista virtaava kaasu on puhdistettava pölystä, jotta sitä voitaisiin käyttää polttoaineena. Ensimmäinen puhdistus tehdään sykloneilla ja pesureilla.

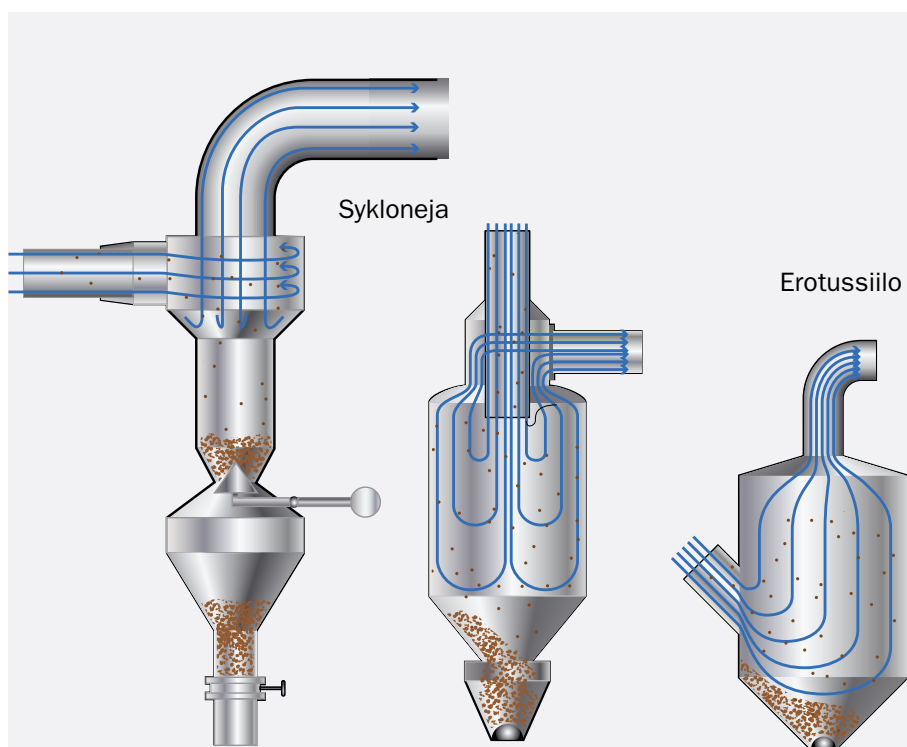
Raskaimmat hiukkaset jäävät erotussiiloihin ja sykloneihin, joiden pohjalle

ne vajoavat kaasuvirran nopeuden pienentyessä (kuva 5.13).

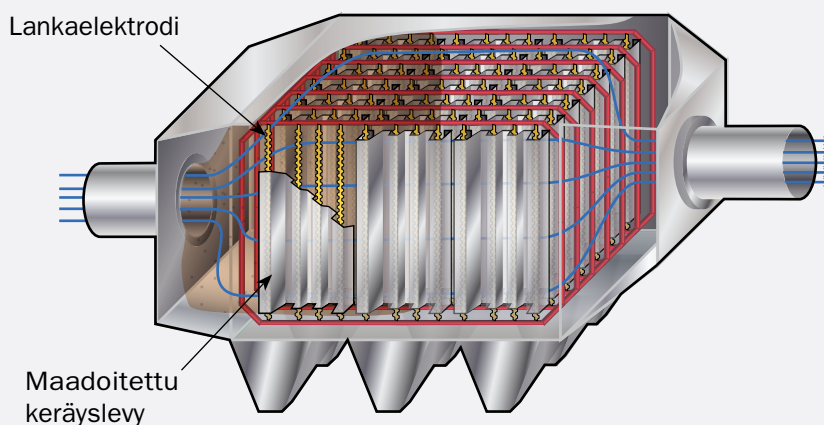
Sykloneissa kaasuvirta pakotetaan kiertävään liikkeeseen lieriömäisessä kammiossa. Hiukkaset lentävät kammiion seinille ja putoavat alas. Syklonit erottavat hienompaa ainesta kuin erotussiilot (kuva 5.13).

Lopullisesti kaasu puhdistetaan pesureissa ja sähköstaattisissa suodattimissa.

Pesureissa kaasu kulkee vesisuihkujen läpi, joissa vesipisarat vievät pölyhiukkaset mukanaan. Sähköstaattiset suodattimet erottavat kaikkein hienoimmat hiukkaset. Hiukkaset latautuvat sähköisesti kulkiessaan lankaelektrodien ohi ja tarttuvat maadoitettuun keräyslevyihin (kuva 5.14).



Kuva 5.13 Mekaanisia kaasunpuhdistimia.



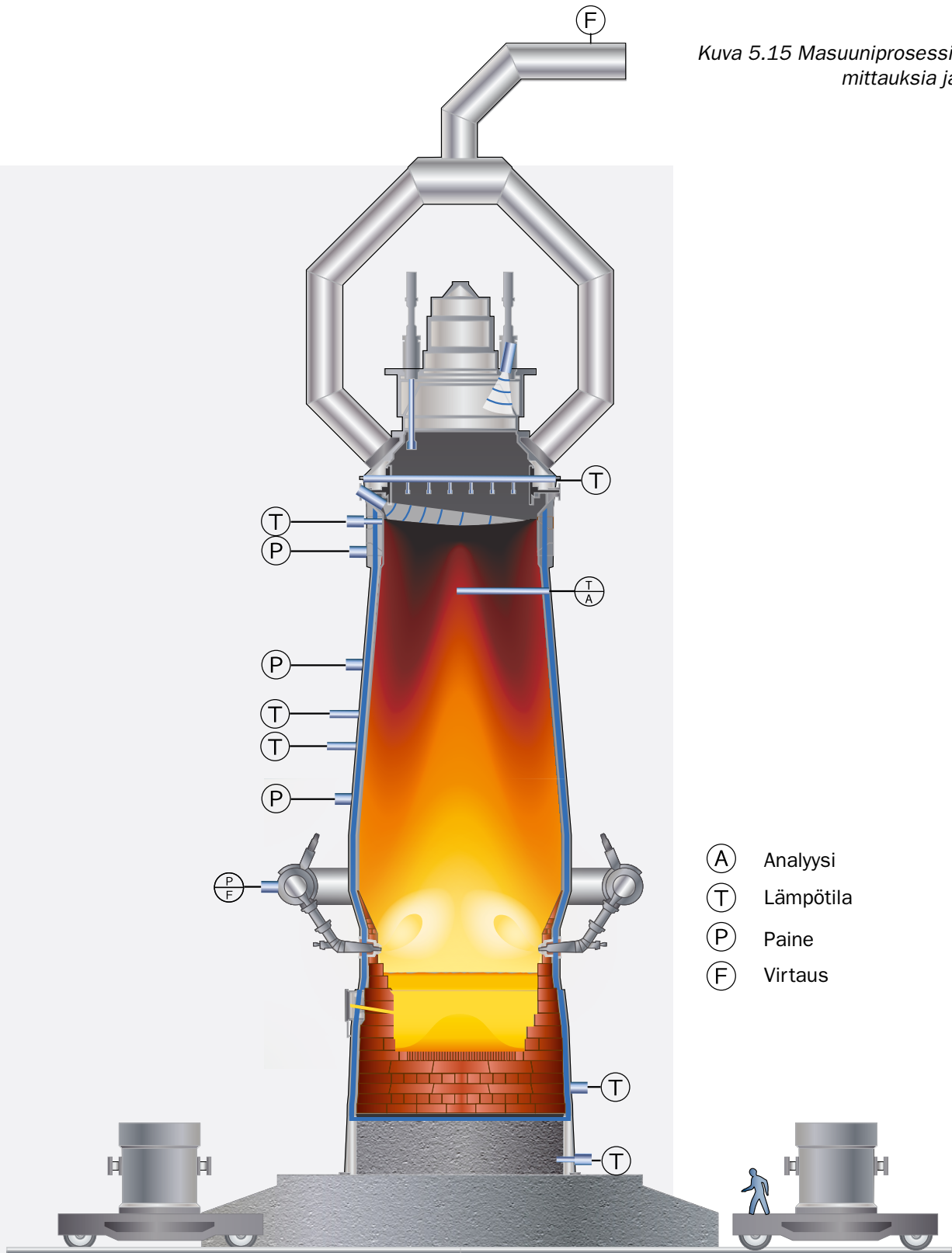
Kuva 5.14 Sähköstaattinen suodatin.

Mittaus- ja säätölaitteet

Jotta masuunia apulaitteineen voitaisiin ohjata, on mitattava erilaisia suureita kuten lämpötiloja, paineita ja virtauksia. Mittaustulokset siirtyvät au-

tomaattisesti automaatiojärjestelmään ja prosessitietokantaan. Varsinaiset säädöt tapahtuvat automaatiojärjestelmässä. Asiantuntijajärjestelmä antaa

ohjeita käyttöhenkilöille masuunin ohjauksesta käyttäen hyväksi prosessitietokantaa.





Kuva 5.16 Saksalaisen ROGESA-yhtiön masuuni no. 5 yövalaistuksessa. [Dillinger Hütte]

Raakaraudan käsittely



Kuva 5.17 Raakaraudan kaato mikseriin.

Masuunin tuottama sula raakarauta käytetään pääasiassa teräksenvalmistukseen. Tavallisesti terästehdas on masuunin välittömässä yhteydessä. Raakarauta siirretään terästehtaan sulan raakaraudan välivarastoon, mikseriin (kuva 5.17).

Mikserin tehtävät ovat

- tasata raakaraudan tuotanto- ja kulu-

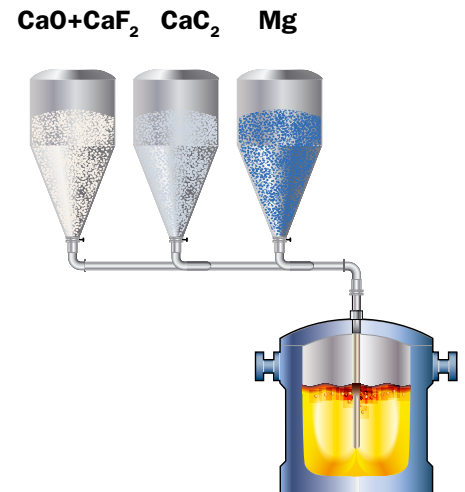
tusrytmi jatkuvatoimisen masuuniprosessin ja panostyyppisen konvertteriprosessin välissä

- tasata raudan lämpötila ja koostumus, jolloin teräksenvalmistus helpottuu. Mikseri on makaavan lieriön muotoinen, tulenkestävällä magnesiittitiilillä vuorattu kuumennettava säiliö, jonka varastointikyky on 500...2 500 tonnia.

Raakarauta voidaan myös valaa harkoiksi. Valu suoritetaan harkkovalukoneessa avokokilleihin. Rautaharkko painaa 20...40 kg.

Usein raakaraudalle tehdään erilaisia käsittelyjä, joista tavallisin on rikinpoisto. Terästen laatuvaatimusten kasvaessa on raakaraudan rikinpoisto tullut entistä tärkeämmäksi.

Tyypillinen menetelmä on injektioikästitelmä senkassa (kuva 5.18). Sulaan raakarautaan injektoidaan erilaisia jauheita. Yleisin on poltetun kalkin (CaO) ja fluspaatin (CaF_2) seos. Kalsium sitoo



Kuva 5.18 Rikinpoisto injektoimalla raakarautasenkassa.

raakaraudan rikin, joka siirtyy kuonaan kalsiumsulfidina (CaS). Fluspaatti parantaa kuonan juoksevuutta. Muita rikinpoistoaineita ovat kalsiumkarbidi (CaC_2) ja magnesium (Mg). Näitä voidaan käyttää yksittäin tai eri jauheiden yhdistelminä.

Masuunikuonan käyttö

Kuonaa syntyy masuunissa n. 150...250 kg raakarautatonna kohti. Se lasketaan masuuneista kuonaseenkoihin raudan laskun yhteydessä. Suurin osa kuonasta voidaan käyttää hyödyksi. Käyttötarkoitus määrää sulan kuonan jatkokäsittelyn.

Nykyisin suurimmasta osasta sulaa kuonaa valmistetaan nopealla vesijäähdytyksellä hiekkamaista, raekooltaan

alle 5 mm:n kuonagranulia. Nopean jäähtymisen ansiosta kuona on granulissa lasimaista. Granulia käytetään seosaineena sementissä, sideaineena betonissa, maanrakennuksessa sekä maanparannusaineena.

Sula kuona voidaan myös kaataa kuonan varastointialueella kuonakuoppaan, jossa sen annetaan jäähtyä. Murskattuna tällaista kuonaa käytetään luonnon

kiven sijasta mm. tienrakennuksessa, betoni- ja elementtiteollisuudessa ja kuonavillan valmistuksessa.

Rummussa pienellä vesimäärällä jäädyttämällä kuonasta voidaan valmistaa myös huokoista ja kevyttä kuonapellettiä. Kuonapellettiä käytetään runkoaineena betoniteollisuudessa, lämmöneristysaineena ja seosaineena sementin valmistuksessa.

Masuunikaasu

Masuunista poistuvan kaasun koostumus on seuraava:

Hiilimonoksidi, CO	22...23 %
Hiilidioksidi, CO_2	22...23 %
Vety, H_2	5...6 %
Typpi, N_2	loppuosa

Kaasussa on myös aina pölyä. Eniten pöly sisältää hiiltä ja rautaoksideja. Pöly erotetaan kaasunpuhdistuslaitteissa ja käytetään usein uudelleen sintraamolla.

Hiilimonoksidi ja vety ovat energiaa sisältäviä, palavia kaasuja. Masuunikaasua käytetään polttoaineena mm. masuunin puhallusilman esikuumentimissa ja sähköntuotannossa.

Hiilimonoksidi on myrkyllinen kaasu. Jo 0,1 % hiilimonoksidia ilmassa saattaa olla tappava määrä. Se on lisäksi hajutonta, minkä vuoksi se voidaan todeta vain erikoislaitteilla.