



Energia- ja ympäristötekniikan osasto

En2010200 Energiatekniikan kandidaatintyö ja seminaari

## Höyrykattiloiden kuumankestävät materiaalit

Lappeenrannassa 16.4.2007

Antti Kirssi 0261136

1)Johdanto.....	3
2)Kattilaympäristön asettamat vaatimukset .....	4
2.1) Lämpötilat.....	4
2.2) Korroosio.....	4
2.3) Eroosio.....	5
3)Teräkset.....	5
3.1) Viruminen .....	6
3.2)Väsyminen .....	11
3.3)Kuumankesto .....	13
3.4)Terässtandardit .....	14
4)Seostamattomat teräkset.....	18
5)Niukkaseosteiset teräkset.....	18
6)Martensiittiset teräkset.....	19
7)Austeniittiset teräkset.....	20
8)Superseokset.....	21
9) Keraamit, muovit ja muut materiaalit.....	21
9.1) Keraamit.....	22
9.2) Muovit.....	23
9.3) Pinnoitteet .....	23
10)Lämpöpintojen materiaalivalinta .....	24
11)Höyrystin.....	25
12)Tulistin .....	26
13)Syöttöveden esilämmitin (Ekonomaiser).....	28
14)Palamisilman esilämmitin (Luvo) .....	28
15)Yhteenveto.....	29
Lähteet.....	31

Liitteet:

Liite 1: Rautaruukin painelaiteteräsputkien vertailutaulukoita.

Liite 2: Rautaruukin ruostumattomien terästen vertailutaulukoita

# Symboliluettelo

## Kreikkalaiset kirjaimet

$\sigma$	jännitys [N/mm <sup>2</sup> ]
$\alpha$	pituuuden lämpötilakerroin

# 1)Johdanto

Höyrykattilaympäristö asettaa moninaisia vaatimuksia kattilan ja kattilassa sijaitsevien laitteiden materiaaleille. Tulipesän lämpötilan vaihdellessa 800–1300 °C välillä, ja savukaasujen lämpötilan ollessa vielä tulistimienkin jälkeen noin 600–800 °C, vaaditaan käytettäviltä materiaaleilta hyvää kuumankestävyyttä. Myös korroosiota ja eroosiota esiintyy kattiloissa voimakkaina, joten pelkkä kuumankesto ei yleensä ole ainut vaatimus materiaaleille. Tämän työn tarkoituksena on antaa selvitys nykyään yleisimmin käytettyjen materiaalien ominaisuuksista ja käyttökohteista höyrykattiloissa.

Yleisimmin käytettyjä materiaaleja ovat erilaiset teräkset, joten tässä työssä selvitetäänkin erityisesti erilaisten teräslaatuojen, kuten seostamattomien, niukkaseosteisten, austeniittisten sekä martensiittisten terästen ominaisuuksia ja soveltuvuuksia kattilan eri lämpöpinnoiksi. Lisäksi tarkastellaan erilaisten keraamien ja muovien käyttömahdollisuuksia.

## **2)Kattilaympäristön asettamat vaatimukset**

Höyrykattilaympäristö on erittäin vaativa ympäristö materiaalien kannalta. Mahdollisimman täydelliseen palamiseen ja hyvään sähkön- tai lämmöntuotannon hyötysuhteeseen pyrittäessä pidetään lämpötilat ja putkistopaineet mahdollisimman korkeina. Usein juuri materiaalien kuumankesto määrittelee lämpötiloille ylärajat, joten oikealla materiaalinvalinnalla saavutetaan monia etuja. Tämän lisäksi polttoaineesta riippuen lämpöpinnoilla esiintyy korroosiota, sekä erityisesti leijukerroskattiloissa eroosiota, joita erilaiset materiaalit kestävätkin eri tavoin. Seuraavassa edellä mainittuja ongelmia käsitellään seikkaperäisemmin.

### **2.1) Lämpötilat**

Kattiloissa lämpötilat ovat korkeimmillaan tulipesässä, ja tulipesässä savukaasujen lämpötila nouseekin yleensä 800–1300 °C:n välille. Tulipesästä savukaasut johdetaan tulistimiin, joissa tulistetaan höyryä 450 – 550 °C: seksi. Savukaasut ovatkin vielä tulistimilta lähtiesään noin 600–800°C lämpötilassa. Vaikka lämpöintojen oikealla sijoittelulla voidaankin vaikuttaa pintojen kestävyYTEEN, näin kuumat lämpötilat rajaavat käytettävät materiaalit lähinnä teräksiin. Teräksienkin kuumankesto vaihtelee merkittävästi eri teräslaaduilla./1/

### **2.2) Korroosio**

Lähes kaikki metallit muodostavat hapen kanssa reagoidessaan oksidikerroksen, joka vähentää metallin ja hapen välisiä reaktioita, eli korroosiota. Korroosio on kattilan pintoja eniten kuluttava ilmiö ja se voidaan jakaa korkea- ja matalalämpötilakorroosioon.

Korkealämpötilakorroosio johtuu tulipesässä pelkistävästä oloista, kun hapen osapaine ei riitä oksidikerroksen muodostumiseen. Tulistimissa korroosiota syntyy erityisesti ylikorkeista pintalämpötiloista, sillä muodostuva oksidikerros on yleensä suojausteholtaan heikompi kuumissa lämpötiloissa. Esimerkiksi raudan pinnalle yli 570 °C:een lämpötilassa muodostuva oksidikerros, wustiitti, on melko tehoton. Kaikilla kuumilla lämpöpinnoilla sulasta tuhkaasta muodostuneen faasin vaikutuksesta esiintyy korroosiota, sillä reaktiot ovat nopeam-

pia nesteessä kuin kiinteässä faasissa. Lisäksi savukaasuissa olevat muut komponentit, erityisesti rikkioksidi ja kloori, saattavat vaikuttaa korroosioon voimistamalla sitä merkittävästi.

Sulfidoituminen on suuri ongelma rikkiä sisältäviä polttoaineita käytettäessä, sillä metallin ja rikkioksidin reagoitessa syntyvä sulfidikerros heikentää suojaavia oksidikerroksia. Klooria runsaasti sisältävät polttoaineet kuten esim. biopolttoaineet, muodostavat puolestaan klorideja jotka omalta osaltaan heikentävät pintojen korroosionkestoa.

Matalalämpötilakorroosiota taas esiintyy lähinnä luvon ja savupiipun alueilla. Matalalämpötilakorroosiota esiintyy lähinnä poltettaessa rikkiä sisältäviä polttoaineita. Se alkaa kun lämpötila laskee rikkihappokastepisteen alapuolelle, joka vaihtelee polttoaineesta riippuen 100–160 °C välillä, ja voimistuu vesikastepisteen (n. 50 °C) alittuessa. Tällöin savukaasuissa oleva rikkitrioksidi  $SO_3$  pääsee pelkistymään vesihöyryn kanssa rikkihapoksi, joka on voimakas happo, ja aiheuttaa voimakasta korroosiota lämpöpinnoilla. /1,4,5/

### **2.3) Eroosio**

Eroosiolla tarkoitetaan savukaasuissa olevien pienten, kovien hiukkasten aiheuttamaa kulumista. Savukaasujen mukana liikkuvat hiukkaset iskeytyvät pinnoille suurilla nopeuksilla, ja aiheuttavat näin kulumista. Eroosio ei ole erityisen merkittävä ongelma korroosioon nähden, paitsi jos polttoaine sisältää paljon kuluttavia hiukkasia. Lisäksi kiertopetikatiloissa kiertävä hiekka voi kuluttaa lämpöpinnoja voimakkaasti. /1,5/

### **3) Teräkset**

Teräksiksi kutsutaan rauta-hiili-seoksia, joiden hiilipitoisuus on alle 2,11 %, ja tätä korkeampia hiilipitoisuuksilla valuradaksi. Tässä työssä keskitytään teräksiin, koska ne ovat höyrykattiloissa yleisempiä parempien kuuman- ja korroosionkesto-ominaisuuksien ansiosta. Höyrykattiloissa yleisimmin käytetyt teräkset taas voidaan jaotella seostamattomiin hiiliteräksiin, niukkaseosteisiin ferriittiteräksiin, runsasseosteisiin martensiittiteräksiin sekä run-

sasseosteisiin austeniittiteräksiin. Jaottelu perustuu teräksen kiderakenteeseen, joka voi olla esim. ferriittinen, austeniittinen, martensiittinen, tai niiden sekoitus (esim. austeniittisferriittinen, ns. duplex-teräs), sekä seosaineiden määrään. Tämän työn rajoissa ei ole mahdollista käsitellä teräksien kiderakenteita tarkemmin, mutta koska martensiittiset ja erityisesti austeniittiset teräkset ovat hyvin yleisiä höyrykattiloissa, tarkastellaan niiden erityispiirteitä kappaleissa 6 ja 7. Lisäksi tässä työssä tarkoitetaan niukkaseosteisillä teräksillä kaikkia seosteräksiä, joiden kiderakenne ei ole martensiittinen tai austeniittinen.

Kuumankestäviltä teräksiltä vaadittavia ominaisuuksia ovat hyvä virumis- ja väsymiskestävyys. Ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa seosaineilla ja valmistusmenetelmillä, jotka kuitenkin nostavat teräksen hintaa. Teräksen ominaisuuksia muokataan erityisesti lämpökäsittelyillä, joita ovat mm. karkaisu, nuorutus ja hehkutus sekä valssaus, joka tosin voidaan suorittaa myös kylmävalssauksena. Työn rajoissa ei ole mahdollista käydä läpi kaikkia muokkauksissa kidetasolla tapahtuvia reaktioita, joten menetelmistä selvitetään vain peruseriaatteet.

Hehkutuksella tarkoitetaan teräksen kumentamista punahehkuiseksi. Yleensä hehkutus suoritetaan viimeisenä käsittelynä ja sillä korjataan muissa käsittelyissä muodostuneita epäedullisia rakenteita. Karkaisussa terästä lämmitetään punahehkuiseksi, jonka jälkeen se jäähdytetään nopeasti eli sammutetaan. Tämän jälkeen teräs päästetään, eli sitä hehkutetaan lievästi. Tällöin teräksestä tulee entistä kovempi ja kestävämpi. Nuorutus taas vastaa karkaisua sillä erotuksella, että teräs päästetään lopuksi hieman korkeampaan lämpötilaan kuin karkaisussa. Tällöin teräksestä tulee lujaa ja sitkeää, mutta kovuuden kustannuksella. Valssaus taas tarkoittaa teräksen muotoilua rullien, eli valssien avulla. Valssaus voidaan suorittaa sekä kylmä että kuumavalssauksena. Huomattavaa on myös, että kaikki teräslajit eivät ole hitsattavia. /2, 7, 11/

### **3.1) Viruminen**

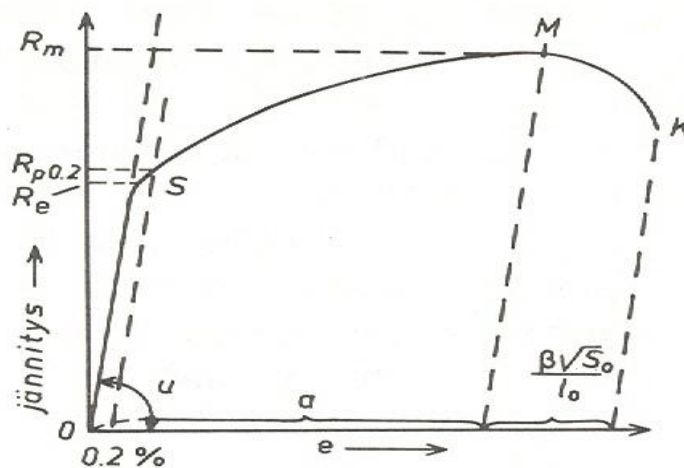
Metallit, kuten muutkin aineet, muuttavat muotoaan kuormituksen alaisina. Metallin muodonmuutos voidaan jakaa kimmoiseen eli palautuvaan, sekä plastiseen eli pysyvään muo-

donmuutokseen. Jos terässauvaa venytetään huoneenlämpötilassa jollakin kuormalla, noudattaa suhteellinen venymä  $e$  kimmoisella alueella Hooken lakia

$$e = \sigma \cdot \alpha \quad (1)$$

missä  $\sigma$  on jännitys ja  
 $\alpha$  on verrannollisuuskerroin

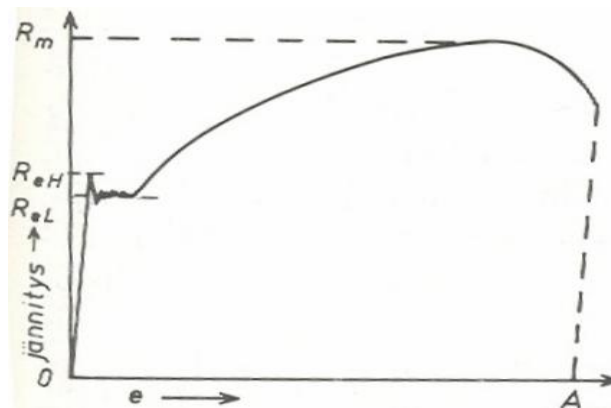
Jännitystä, jolla plastinen muodonmuutos alkaa, sanotaan kimmorajaksi. Kuvassa 1 on esitetty teräksen periaatteellinen venymä jännityksen kasvaessa. Kuvassa X-akselilla on kuvattu venymä  $e$ , sekä Y-akselilla jännitys  $R$ . Kuvasta ilmenee kimmoisen alueen, kimmorajan sekä plastisen alueen periaatteellinen sijainti. Kuvassa 1 plastinen muodonmuutos alkaa pisteessä  $S$ , jota sanotaan kimmorajaksi. Kun jännitys ylittää tämän jännityksen  $R_e$ , aiheutuu jännityksestä kimmoisen muodonmuutoksen lisäksi plastinen muodonmuutos. Jännityksen kasvaessa saavutetaan lopulta murtoraja  $R_m$ . Tällöin teräkseen syntyy paikallinen kurouma, joka johtaa lopulta katkeamiseen pisteessä  $K$ . Kuvasta ilmenee myös, että Hooken laki ei ulotu kimmorajaan  $R_e$  asti. Tätä kuvataan suhteellisuusrajalla (proportional limit). Mutta koska kimmorajan ja suhteellisuusrajan mittaaminen on usein hankalaa, käytetään todellisuudessa usein kuvassakin näkyvää 0,2 % venymärajaa  $R_{p0.2}$  (yield strength).



KUVA 20.2. Lievästi kylmämuokatus kuitiohilaisen metallin jännitysvenymäkäyrä.

Kuva 1. Teräksen jännitysvenymäkäyrä /2/

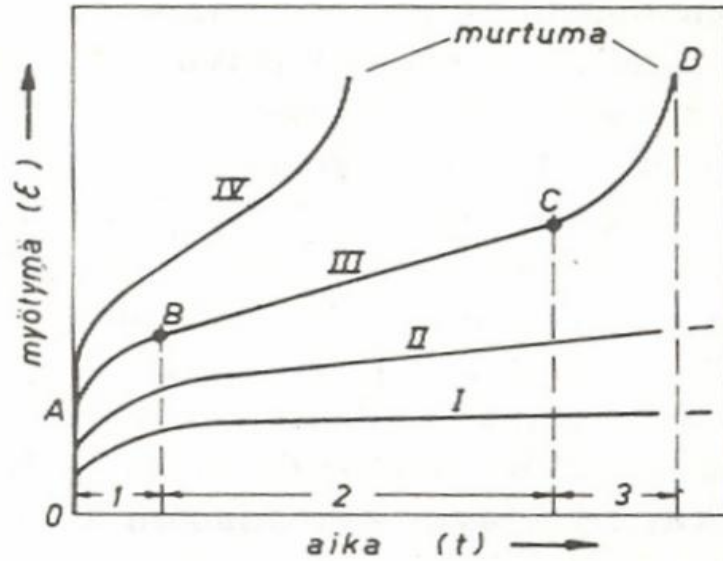
Kun teräksiä todellisuudessa testataan, vastaa jännitysvenymäkäyrä kuvan 2 mukaista tilannetta. Metallille voidaan määrittää kuvasta ylempi myötöraja  $R_{eH}$ , jonka suuruisella jännityksellä metallissa alkaa voimakas myötyminen, joka jatkuu jopa ilman että jännitys kasvaa. Tämän jälkeen myötyminen jatkuu jännityksen  $R_{eL}$  suuruisilla kuormilla. Jännitystä  $R_{eL}$  sanotaan alemmaksi myötörajaksi.



KUVA 20.3. Pehmeän niukka-hiilisen teräksen jännitysvenymäkäyrä, jossa on korostunut myötöraja.

### Kuva 2. teräksen myötörajat /2/

Edelleen korkeissa lämpötiloissa plastista muodonmuutosta tapahtuu huomattavasti pienemmillä jännityksillä kuin huoneenlämpötilassa. Tätä hidasta muodonmuutosta sanotaan virumiseksi. Miekk-Ojan uudistettu metallioppi esittää että: "Virumista tutkitaan yleensä kuormittamalla koesauvaa vakiokuormalla vakiolämpötilassa ja mittaamalla ajan mukana tapahtuva myötyminen, joka esitetään sitten ns. virumiskäyrällä". Periaatteellinen virumiskäyrä (Kuva 3) esittää virumisen jakaantuvan kolmeen osaan: primääriseen eli ohimenevään (1), sekundääriseen eli vakautuneeseen (2) ja tertiääriseen murtumaan johtavaan vaiheeseen (3). Niistä sekundäärinen vaihe on yleensä todellista käyttötilannetta parhaiten vastaava, ja täten määräävä mitoituksessa.

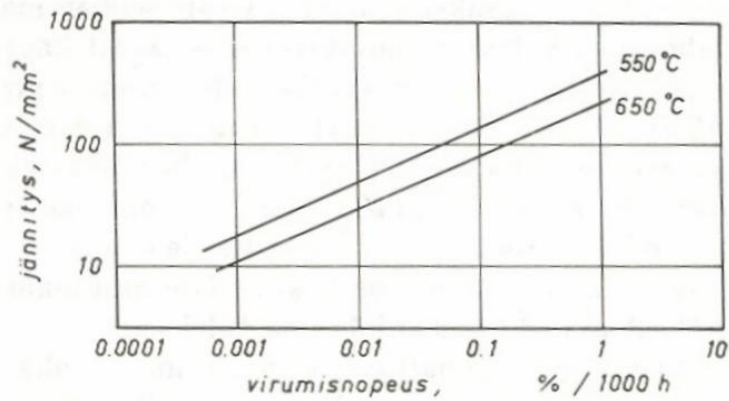


KUVA 20.38. Eri kuormia vastaavia virumiskäyriä, kun kuorma kasvaa järjestyksessä I, II, III, IV, lämpötilan pysyessä muuttumattomana; kaaviokuva.

### Kuva 3. Virumiskäyrän periaatteellinen muoto /2/

Kuvasta nähdään virumisen nopeutuvan voimakkaasti kuorman kasvaessa, ja koska samoin tapahtuu lämpötilan kohotessa, vaikuttaa viruminen suuresti höyrykattiloiden materiaalivalintaan.

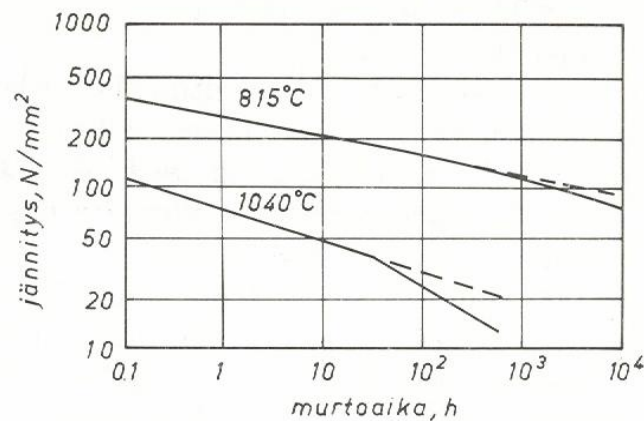
Kattiloita suunniteltaessa tärkein tieto on aineen virumisraja, joka tarkoittaa tietyn virumisnopeuden aikaansaavaa jännitystä. Aineen virumisnopeus ilmoitetaan yleensä muodossa 0,01 % /1000h tai 0,001 % /1000h. Virumisraja määritetään yleensä virumiskäyristä, jotka on koottu yhdistämällä erisuurilla jännityksillä saadut sekundääriseen vaiheen virtausnopeudet logaritmiseen piirrookseen kuten kuvassa 4.



KUVA 20.45. Jännityksen ja virumisnopeuden välinen riippuvuus teräksessä 18 : 8.

#### Kuva 4. Jännityksen ja virumisnopeuden yhteys /2/

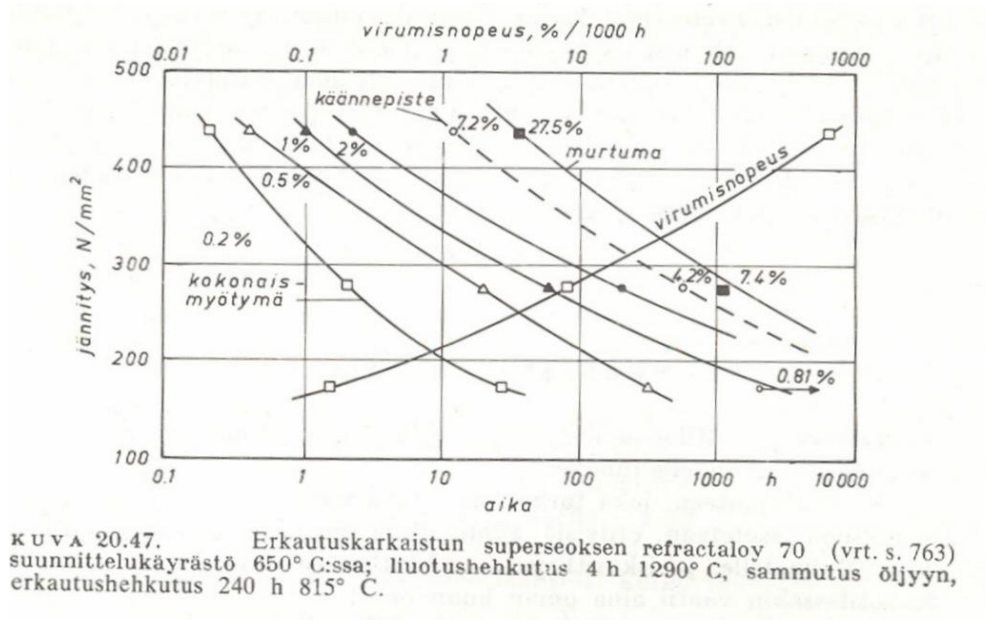
Toinen tärkeä tieto suunnittelussa saadaan määrittämällä virumismurtoaraja, eli jännitys joka johtaa murtumaan tietyssä ajassa tietyssä lämpötilassa. Kuten virumisrajakäyrät, myös virumismurtoarajakäyrät saadaan yhdistämällä testatut murtumaan johtaneet jännityksen ja ajan yhdistelmät logaritmiseen asteikkoon. Esim. kuvasta 5 nähdään erään superseoksen kestävä 815 °C lämpötilassa 10 tuntia 200 N/mm<sup>2</sup> kuormaa



KUVA 20.46. Erkautuskarkaistun superseoksen S-590 virumismurtoarajakäyriä (0,42 % C, 1,25 % Mn, 0,4 % Si, 20,5 % Cr, 20 % Ni, 20 % Co, 4 % Mo, 4 % W, 4 % Nb, 24 % Fe); liuotushehkus 1 h 1200 °C, sammutus veteen, erkautushehkus 16–24 h 815 °C (käyrä 815 °C) ja 730 °C (käyrä 1040 °C).

#### Kuva 5. Virumismurtokäyrän muoto /3/

Lisäksi jos virumisraja- ja murtorajakokeita suoritettaessa mitataan tietyin väliajoin kokonaismyöntymät, voidaan saatujen tietojen perusteella laatia metallille kuvan 6 mukainen ns. suunnittelukäyrästä eri lämpötiloille.



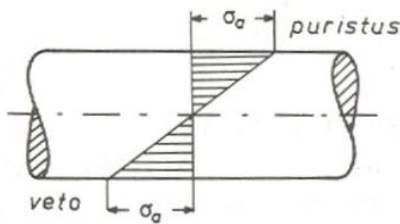
**Kuva 6. Erään teräksen suunnittelukäyrästä /2/**

Suunnittelukäyrästä nähdään ensinnäkin virusimurtumaan johtavat ajat eri jännityksillä, sekä ne jännityksen ja ajan yhdistelmät jotka joilla saavutetaan tietty kokonaismyöntymä. /2/

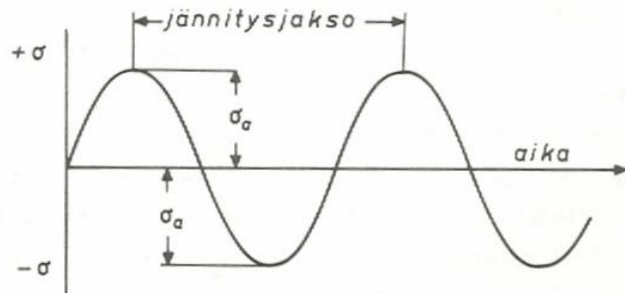
### 3.2) Väsyminen

Tasaisen jännityksen tiedetään johtavan murtumaan vasta kun jännitys ylittää murtorajan. Väsyminen taas tarkoittaa vaihtelevan jännityksen aikaansaamaa murtumaa, ja väsymismurtuma voi syntyä, vaikkei jännitys olisi likimainkaan yhtä suuri kuin murtoraja tai edes myötöraja edellyttäisi. Väsymismurtuma on luonteeltaan ennalta arvaamaton ja seurauksiltaan usein tuhoisa.

Koska väsymismurtumia syntyy lähinnä taivutusjännityksen johdosta, määritetään metallin varmuusluku eli murtumiseen johtavien jännitysjaksojen lukumäärä ( $N$ ) yleensä kuormittamalla laakereiden varassa pyöriviä pyöreitä koesauvoja. Tällöin jännitys jakaantuu sauvaan kuvan 7 mukaisesti. Jos jännitysamplitudi  $\sigma_a$  on tarpeeksi suuri, sauva murtuu.



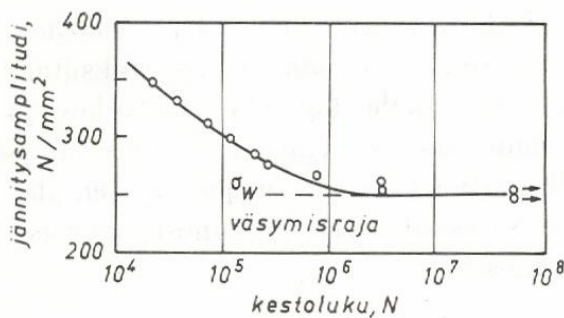
K U V A 20.59.



K U V A 20.60.

### Kuva 7. Jännityksen jakautuminen ja jännitysamplitudi. /2/

Kun eri jännitysamplitudeilla suoritettut testit yhdistetään logaritmiseen asteikkoon, saadaan kuvan 8 kaltainen ns. Wöhlerin käyrä.



KUVA 20.61. Wöhlerin käyrä hehkutetulle hiiliteräkselle (0,35 % C); nuolella osoitetut pisteet tarkoittavat kappaleita, jotka eivät murtuneet vielä jännitysjaksojen lukumäärällä  $5 \cdot 10^7$ .

### Kuva 8. Wöhlerin käyrä /2/

Wöhlerin käyrästä nähdään väsymismurtojännityksen lähenevän kiinteää raja-arvoa, väsymismurtorajaa, kun sitä vastaava jännitysjaksojen lukumäärä tulee suureksi. Tästä voidaan päätellä, ettei metallissa tapahdu väsymismurtumista, vaikka jännitysjaksoja olisi kuinka paljon, jos jännitysamplitudi pysyy alle tietyn raja-arvon. Tätä raja-arvoa sanotaan

väsymisrajaksi. Teräksillä väsymisraja saavutetaan yleensä kun jännitysjaksoja on noin  $10^7$ , joka on myös valittu teräksen kestorajaksi.

Höyrykattiloissa usein vallitsevat syövyttävät olosuhteet vaikuttavat metallien väsymiskestävyyteen heikentämällä sitä merkittävästi. Vaihteleva jännitys saattaa nimittäin rikkoa metallia suojaavan oksidikuoren, jolloin korroosio kappaleen pinnalla kiihtyy. Korroosion kuluttaman kappaleen väsymiskestävyys taas alenee ja murtuman mahdollisuus kasvaa. Korroosioväsymistä voidaan estää paremmin suosimalla hyvin korroosiota kestäviä materiaaleja, kuin käyttämällä korkeamman väsymisrajan omaavia materiaaleja. /2/

### **3.3)Kuumankesto**

Kuumankestolla tarkoitetaan yleensä metallin hyvää vauriiskestävyyttä korkeassa lämpötilassa. Eri teräslaadut kestävätkin eri tavalla korkeita lämpötiloja. Parhaiten kuumuutta kestävät austeniittiset teräkset ja ns. superseokset, jotka koostuvat lähinnä korkeissa lämpötiloissa sulavista metalleista. Teräksen kuumalujuuteen voidaan nimittäin vaikuttaa erilaisia seosaineita käyttämällä, molybdeenin ollessa selvästi tehokkain lisä-aine. Lisäksi kuumankesto kasvaa vähentämällä hiilen määrää, sillä hiilen terästä vahvistava vaikutus heikkenee lämpötilan kasvaessa, muuttuen lopulta terästä heikentäväksi. Taulukoissa 1 ja 2 on esitetty erilaisten terässeosten vaurimisrajoja sekä vaurismurtorajoja. Ylin C-teräs on seostamaton hiiliteräs, seuraava Mo-Cr niukkaseosteinen, 13 % C-teräs martensiittinen, ja kaksi seuraavaa austeniittisiä teräksiä. Viimeinen 25:20 teräs sisältää kromia 25 % ja nikkeliä 20 %, joten sitä voidaan pitää superseoksena. Taulukoista ilmenee selvästi, että austeniittiset teräkset sekä superseokset ovat ainoita todella korkeisiin lämpötiloihin soveltuvia teräslaatuja. /2/

*Virumisraja 0,01 % 1000 h (N/mm<sup>2</sup>)*

	450 °C	500 °C	550 °C	600 °C	650 °C	700 °C	750 °C	800 °C
0,15 % C-teräs	90	40	12					
0,5 % Mo-1 Cr-teräs	135	85	40	15	5			
13 % Cr-teräs	115	90	50	25	10			
18:8-teräs		110	75	50	30	20	10	5
18:8:3 Mo-teräs				65	42	28	16	6
25:20-teräs				60	42	28	16	6

**Taulukko 1. Terästen 0,01 % 1000h virumisrajoja /2/**

*Virumismurtoraja 10.000 h (N/mm<sup>2</sup>)*

	450 °C	500 °C	550 °C	600 °C	650 °C	700 °C	750 °C	800 °C
0,15% C-teräs	150	80	40					
0,5%Mo-1 Cr-teräs	360	260	140	50	22			
13%Cr-teräs		120	65	35	20			
18:8-teräs				100	70	45	33	20
18:8:3 Mo-teräs					130	92	60	38
25:20-teräs			165	125	90	55	38	24

**Taulukko 2. Terästen 10000h virumismurtorajoja /2/**

### **3.4)Terässtandardit**

Koska terästuotteita on markkinoilla valtava määrä, on niille luonnollisesti asetettu lukuisia standardeita. Standardit koskevat mm. teräksen ominaisuuksia, valmistusmenetelmiä, aineenkoetusta, koostumusta ja nimikkeitä jne. Koska pelkästään painelaitteissa käytettäville putkiteräksille on erilliset standardit jo hitsatuille ja saumattomille putkille, on standardien perusteellinen selvittäminen tässä mahdotonta. Lisäksi standardit vaihtelevat alueellisesti: Yhdysvalloissa käytetään AISI-, SAE- ja ASME- standardeita, Euroopassa EN- standardeita, joihin Suomalaiset SFS-standardit on yhdenmukaistettu, ja niin edelleen. Työn puitteissa esitellään pohjustavasti EN- ja AISI standardien nimeämiskäytännöt.

Suomessakin käytössä oleva Eurooppalainen nimeämiskäytäntö SFS-EN 10027 perustuu joko nimikkeisiin ja tunnisteisiin (EN 10027-1) tai numeeriseen järjestelmään (EN 10027-2). Niistä numeerista järjestelmää käytetään yleensä täydentämään EN 10027-1 mukaisia nimikkeitä, koska numeerisen järjestelmän mukaisen nimikkeen tulkitseminen on likimain mahdotonta ilman standarditaulukoita. Tässä työssä keskitytäänkin EN 10027-1 – standardiin.

EN 10027-1 standardi voidaan jakaa vielä kahteen ryhmään, 1: ”Teräksen käyttötarkoitukseen ja mekaanisiin tai fysikaalisiin ominaisuuksiin perustuvat nimikkeet”, sekä 2: ”teräksen kemialliseen koostumukseen perustuvat nimikkeet, jotka on edelleen jaettu neljään alaryhmään”.

Ryhmän 1 mukainen nimike muodostuu seuraavasti: päätunnus, kaksi ominaisuustunnusta, sekä mahdollinen soveltuvuutta kuvaava lisätunnus (esim. H = korkea käyttölämpötila). Päätunnus on kirjain, jonka perään liitetään teräksestä riippuen myötö- tai murtolujuutta kuvaava arvo, yksikkönä  $N/mm^2$ , tai valssaustilaa määrittävä termi. Esimerkiksi päätunnus S merkitsee rakenneterästä, P paineastiaterästä, L putkiterästä ja niin edelleen. Ominaisuustunnus vaihtelee eri teräslajeilla, esim. paineastiateräksellä se voi olla T = putket, Q = nuorrutettu jne. Lisätunnuksille on luonnollisesti oma standardi, IC 10. Lisäksi esimerkiksi paineastiateräksille on omat laajat standardit, jotka määrittelevät pitkälti höyrykattiloissa käytettävät teräslaadut.

### **Esimerkki ryhmän 1 mukaisesti nimetystä teräksestä:**

#### **P355NH**

Missä	P	paineastiateräs
	355	myötölujuuden vähimmäisarvo [ $N/mm^2$ ]
	N	normalisoitu tai normalisointivalssattu
	H	korkea käyttölämpötila

Mainittakoon, että numeerisen järjestelmän mukainen nimike kyseiselle teräkselle on 1.0565.

Ryhmän 2 mukainen kemialliseen koostumukseen perustuva nimike koostuu seostamattomilla teräksillä joiden mangaanipitoisuus  $\leq 1$ , kirjaimesta C, ja hiilipitoisuuden prosentuaalisesta keskiarvosta kerrottuna sadalla, esim. **C35**. Kun mangaanipitoisuus ylittää 1 % rajan, muodostetaan nimike laittamalla peräkkäin hiilipitoisuuden keskiarvo kerrottuna sadalla, teräksen ominaisuuksiin vaikuttavien seosaineiden kemialliset tunnuksiset, sekä alla olevan taulukon mukaisilla kertoimilla kerrotut seosaineiden pitoisuuksien prosentuaaliset keskiarvot. Myös niukkaseosteiset teräkset kuuluvat tähän ryhmään.

Seosaine	Kerroin
Cr, Co, Mn, Ni, Si, W	4
Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, Ti, V, Zr	10
Ce, N, P, S	100
B	1000

**Taulukko 3. Nimikekertoimet seosaineille /6/**

**Esim.**

**28Mn6**

Missä	28	hiilipitoisuuden prosentuaalinen keskiarvo kerrottuna sadalla
	Mn	seosaine, mangaani
	6	mangaanipitoisuuden prosentuaalinen keskiarvo kerrottuna kertoimella 4

Seosterästen nimike muodostuu kirjaimesta X, hiilipitoisuuden prosentuaalisesta keskiarvosta kerrottuna sadalla, teräksen ominaisuuksiin vaikuttavien seosaineiden kemiallisista tunnuksista sekä niiden pitoisuuksien prosentuaalisesta keskiarvosta pyöristettynä lähimpään kokonaislukuun.

**Esim.****X5CrNi18-10**

Missä	X	seostettu teräs
	Cr	kromi
	Ni	nikkeli
	18	kromipitoisuuden prosentuaalinen keskiarvo
	10	nikkelipitoisuuden prosentuaalinen keskiarvo.

AISI- ja SAE standardien merkintätavat ovat miltei yhteneviä toistensa kanssa. Seostamattomilla ja seostetuilla merkintätapa perustuu neljään numeroon, joista kaksi ensimmäistä luku kertoo seostuksen numeron 1x tarkoittaessa seostamatonta terästä. Ryhmäjaottelu jakaantuu lisäksi lukemattomiin alaryhmiin. Kaksi viimeistä numeroa kertovat teräksen hiilipitoisuuden.

1xxx:	Hiiliteräs
2xxx:	Ni-seostus
3xxx:	Cr-Ni-seostus
4xxx:	Mo-seostus(+Cr-Ni)
5xxx:	Cr-seostus
6xxx:	Cr+V- seostus
7xxx:	W+Cr seostus (vain SAE-standardi)
8xxx:	Cr+Ni+Mo- seostus
9xxx:	Cr+Ni+Mo- seostus

**Taulukko 4. AISI- ja SAE- standardien nimeämiskäytäntö /2/**

Ruostumattomille teräksille jaottelu perustuu kolminumeroiseen lukuun, jonka ensimmäinen numero kertoo kiderakenteen. 2xx ja 3xx ovat austeniittisiä, 4xx ferriittisiä ja 5xx martensiittisiä teräksiä.

Vaikka standardit periaatteessa velvoittavat valmistajat käyttämään standardien mukaisia määriteltyjä nimikkeitä, käytetään usein kirjallisuudessa vakiintuneita vanhoja nimikkeitä. Esimerkiksi länsisaksalainen DIN- standardi on jäänyt elämään, ja liitteessä 1 onkin esitetty Rautaruukin suorittamia vertailuja nykyisten ja vanhojen kansallisten standardien mukaisille teräksille. Lisäksi eri terästen ominaisuuksien vertailuja vaikeuttaa eri maanosissa käytettävien suurejärjestelmien erot, eli eurooppalaisen SI- järjestelmän yksiköt poikkeavat Yhdysvalloissa käytetyistä suureista jne. /7, 8, 9/

#### **4)Seostamattomat teräkset**

Terästä sanotaan seostamattomaksi teräkseksi jos siihen ei ole lisätty mitään lisäainetta parantamaan sen ominaisuuksia. Standardit määrittelevät seosainepitoisuuksille ylärajat, joiden ylittäminen merkitsee teräksen nimikkeen muuttumista seosteiseksi teräkseksi. Kuitenkin kaikki hiiliteräkset sisältävät jonkin verran mangaania (0,2-1 %), piitä(0,1–0,5 %) ja fosforia ym. epäpuhtauksina, ja ne voivat vaikuttaa merkittävästikin teräksen ominaisuuksiin. Seostamattomat teräkset ovat kaikkein halvimpia, ja ne ovat erittäin hyvin muokattavia. Lisäksi niillä on yleensä hyvä sitkeys ja lujuus. Toisaalta ne kestävät huonosti kuumia lämpötiloja ja kulumista, joten niiden käyttö rajoittuu hieman yli 400 °C lämpötiloihin. Yleisesti hiiliterästen lämmönjohtavuus on muita teräslaatuja parempi, ja se on likimain 50 W/mK huoneenlämpötilassa. Liitteessä 1 on esitetty rautaruukin suorittamaa seostamattomien teräslajien mekaanisten ominaisuuksien vertailua. /2, 3, 7,8, 12/

#### **5)Niukkaseosteiset teräkset**

Terästä sanotaan seostetuksi jos siihen on lisätty tarkoituksellisesti jotakin ainetta, esim. nikkeliä kromia, molybdeeniä yms. tai siinä on mangaania yli 1 % tai piitä yli 0,5 %. Erilaisia seosaineita käyttämällä voidaan teräksen ominaisuuksia muokata halutunlaisiksi. Seostamattomista teräksistä saadaan höyrykattilakäyttöön soveltuvia lisäämällä molybdeeniä ja kromia, jolloin kuumankesto ja korroosionkesto paranevat. Tällaisia seoksia voi-

daan käyttää noin 550 °C lämpötiloissa. Yleisesti niukkaseosteiset teräkset ovat ominaisuuksiltaan hieman tavallisia hiiliteräksiä parempia, tosin lämmönjohtavuus on hieman pienempi n 40 W/mK. Ne ovat myös yhtä hyvin muokattavissa, mutta hieman kalliimpia. Seostamattomat ja niukkaseosteiset teräkset ovat kiderakenteeltaan ferriittisiä, mutta jos seosaineiden prosentuaalinen osuus nousee, muuttuu kiderakenne ennen pitkää martensiittiseksi tai austeniittiseksi. Seuraavassa on taulukoitu muutamia yleisiä niukkaseosteisia painelaitteisiin soveltuvia teräksiä. Seosteiset ferriittiset teräkset ovat yleisimpiä höyrykattiloissa käytettyjä teräksiä./2,7/

16Mo3	kuumaluja teräs
8MoB5-4	kuumaluja teräs
10CrMo9-10	kuumaluja teräs
13CrMo4-5	kuumaluja teräs
P295GH	kuumaluja teräs
P355GH	kuumaluja teräs
P355NH	hienoraeteräs

**Taulukko 5. Seostamattomia painelaiteteräksiä /9/**

## **6)Martensiittiset teräkset**

Kun teräkseen lisätään jonkin verran kromia, muuttuu sen kiderakenne lopulta martensiittiseksi. Martensiittinen kiderakenne antaa teräkselle hyvän korroosionkeston ja suuren kovuuden. Martensiittiset teräkset sisältävät yli 12 % kromia sekä jonkin verran hiiltä, noin 0,15–1,2 %. Kromi parantaa teräksen korroosionkestävyyttä muodostamalla metallin pintaan syöpymistä ehkäisevän kalvon, ja hiili tekee teräksestä kovaa karkaistaessa. Työn rajoissa ei ole mahdollista käsitellä terästen kuumamuokkausta seikkaperäisesti, mutta todettakoon vielä, että karkaisussa terästä kuumennetaan korkeaan lämpötilaan, jonka jälkeen se jäähdytetään huomattavan nopeasti. Tällöin teräksestä tulee kovempaa ja kestävämpää. Martensiittiset teräkset ovat ainoita karkaistavia ruostumattomia teräksiä, jonka lisäksi ne usein ovat muita ruostumattomia teräksiä halvempia. Toisaalta martensiittiset teräkset kestävät huonosti hitsausta, sillä ne karkenevat jopa ilmassa. Hitsattaessa teräs tällöin haurastuu merkittävästi. Kuitenkin jos martensiittiseen teräkseen lisätään jonkin verran nikkeliä ja molybdeeniä, voidaan sen käyttöalue ulottaa aina yli 800 °C asti. Lämmön-

johtavuus martensiittisillä teräksillä on jonkin verran austeniittisiä teräksiä parempi, ja vaihtelee huoneenlämpötilassa välillä 15–30 W/mK. Myös murtolujuus on erittäin hyvä, ja vaihtelee välillä 550–950 N/mm<sup>2</sup>. Taulukossa 4 on esimerkin vuoksi mainittu muutamia martensiittisiä teräslaatuja. /2, 8,11/

X12Cr13
X20Cr13
X39Mo17-1
X90MoV18

**Taulukko 6. Martensiittisiä teräksiä /8/**

## 7) Austeniittiset teräokset

Austeniittiset teräokset ovat kromi- nikkeli -teräksiä, joiden kromipitoisuus vaihtelee välillä 16–26 % ja nikkelpitoisuus välillä 5-22 %, pitoisuuksien summan ollessa vähintään 23 %. Hiiltä austeniittisissä teräksissä on hyvin vähän, yleensä alle 0,1 %. Nimitys austeniittinen tulee metallin kiderakenteesta, josta todettakoon tässä vain, että austeniittiset teräokset kestävät kromin ansiosta hyvin korroosiota, mutta ovat virumiskestävyydeltään selvästi parempia kuin muut teräslajit. Molybdeenillä vahvistetut austeniittiset teräokset kestävätkin yli 900 °C lämpötiloja. Ongelmia austeniittisillä teräksillä voivat aiheuttaa niiden muokkaaminen, sekä niiden muita teräslajeja merkittävästi suurempi lämpölaajenemiskerroin. Kuitenkin austeniittiset teräokset ovat selvästi yleisimpiä tulistinmateriaaleja. Liitteessä 2 on esitetty rautaruukin valmistamien ruostumattomien terästen vertailuarvoja. Liitteen taulukoista nähdään austeniittisten terästen murtolujuuden vaihtelevan välillä 520–950 N/mm<sup>2</sup> ja lämmönjohtavuuden olevan huoneenlämmössä noin 15 W/mK./2, 12/

## 8) Superseokset

Nykyaikaisissa kaasuturbiineissa lämpötilat kohoavat jopa yli austeniittisten terästen käyttöalueen, ja tällaisia olosuhteita varten onkin kehitetty ns. superseoksia. Ne koostuvat lähinnä korkeissa lämpötiloissa sulavista metalleista kuten molybdeenistä, raudasta, nikkelistä, koboltista ja kromista. Superseosten ominaisuudet vaihtelevat jonkin niissä olevan seosaineen mukaan. Tällöin puhutaan rauta-, nikkeli- tai kobolttivaltaisista superseoksista. Useat rautavaltaiset superseokset ovat paranneltuja muunnelmia austeniittisistä teräksistä. Nikkelivaltaisista superseoksista tunnetuimpia ovat hastelloy- ja inconel-teräkset. Niistä hastelloyt on kehitetty korroosionkestävyys päätavoitteena, ja niiden pääasiallinen seosaine on molybdeeni. Inconelit puolestaan omaavat erittäin hyvän virumiskestävyyden. Inconel-teräksen virumismurtoaraja 1000h 730 °C:ssa on jopa 300 N/mm<sup>2</sup>. Kobolttivaltaisilla superseoksilla päästään vieläkin parempaan virumisen keston. Lisäksi on olemassa vielä suuri joukko muita austeniittisen rakenteen omaavia superseoksia, joissa on lähes saman verran nikkeliä, kromia, kobolttia ja rautaa. Esimerkiksi refractaloy 70, jonka koostumus on 20 % Cr, 20 % Ni, 30 % Co, 18 % Fe, 8 % Mo ja 4 % W, saavuttaa virumismurtoarajaksi 870 °C lämpötilassa 80 N/mm<sup>2</sup>. Superseoksille on siis ominaista että niissä on kalliita seosaineita kuten nikkeliä, molybdeeniä ja kobolttia huomattavan paljon enemmän kuin martensiittisissä tai austeniittisissä teräksissä. Superseosten suurin ongelma onkin niiden korkea hinta, sillä muuten ne ovat usein ominaisuuksiltaan ylivoimaisia. Korkeat seospitoisuudet korottavat superseosten käyttöalueen jopa 200 °C korkeammaksi kuin austeniittisillä teräksillä. /2/

## 9) Keraamit, muovit ja muut materiaalit

Vaikka höyrykattiloiden pääasiallisina materiaaleina käytetäänkin teräksiä, voidaan kattilan toimivuutta ja käyttöikää lisätä käyttämällä erilaisia keraameita, pinnoitteita ja muoveja. Joihinkin kohteisiin nämä ns. uudet materiaalit sopivat jopa paremmin kuin perinteiset teräkset. Esimerkiksi kaasuturbiineissa vallitsevat erittäin korkeat lämpötilat ylittävät superseoksia lukuun ottamatta kaikkien terästen käyttölämpötilat, mutta keraamiset materiaalit kestävät ne vielä hyvin. Kuitenkin näiden uusien materiaalien käyttöä rajoittavat niiden

ominaisuuksien epäsuhtaisuus, joka heijastuu käyttömahdollisuuksiin voimakkaasti. Esimerkkinä voidaan mainita korroosiota erittäin hyvin kestävien muovien huono lämpötilansieto, sekä kuumankestoltaan kaikkia teräksiä parempien keraamien hauraus. Taulukossa 4 on vertailtu keraameja ja muoveja metalleihin. /3,4/

Materiaali	Tiheys	Lämpötilan-kesto	Korroosion-kestävyys	Erosion-kestävyys	Hauraus	Lujuus	Muotoilu/työstö	Hinta
Metallit	1	2	1	1	2-3	3	3	2
Muovit	3	1	2	2	3	2	2-3	3
Keraamit	2	3	3	3	1 (2)	1-2 (3)	1 (2)	1 (2)

*Suluissa olevat numerot kuvaavat uusien konstruktio-keramien mahdollisuuksia.*

*1=epäedullinen, 2= vähemmän edullinen, 3=hyvä, käyttöominaisuuksiltaan paras.*

### **Taulukko 7. Metallien, muovien ja keraamien yleisten ominaisuuksien vertailu /3/**

#### **9.1) Keraamit**

Keraamit ovat yleensä synteettisistä raaka-aineista kylmä- tai kuumapuristuksella valmistettuja komponentteja. Jos komponentti on valmistettu vain yhdestä aineesta, kutsutaan sitä monoliitiksi, ja vastaavasti useasta aineesta valmistettua keraamia komposiitiksi. Yleisimmin käytetty konstruktio-kerami on alumiinioksidi ( $Al_2O_3$ ). Muita keraameja ovat esimerkiksi piipohjaiset piikarbidi SiC ja piinitridi  $Si_3N_3$ , sekä zirkonioksidipohjainen PSZ (Partially Stabilized Zirconia).

Keraamit ovat erinomaisia kestämaan korroosiota, eroosiota, kulutusta sekä korkeita lämpötiloja (esim. zirkonioksidipohjaisilla sulamispiste  $2680\text{ °C}$ ), mutta ne ovat hyvin hauraita, kalliita sekä hankalia valmistaa. Keraamien lämmönjohtavuus ja tiheys vaihtelevat suuresti, esim. piinitridin tiheys on noin  $2000\text{ kg/m}^3$ , ja sintratun PSZ:n jopa  $6000\text{ kg/m}^3$ . Samoin piikarbidin lämmönjohtavuus on 140 ja PSZ:n vain  $2\text{ W/mK}$ . Vuosina 1997–2001 Teknologian edistämiskeskuksen Tekesin johtamana suoritettuna ”KESTO- Materiaalit energiatekniikan palveluksessa” – ohjelman tiimoilta valmistettiin tulenkestäviä massoja, joiden

puristuslujuus oli parhaimmillaan  $149 \text{ N/mm}^2$ . Tämän korkeampiin lujuuksiin keraamit eivät juuri yllä. /3, 4/

## **9.2) Muovit**

Muoveiksi kutsutaan synteettisistä polymeereistä ja erilaisista lisäaineista valmistettuja materiaaleja. Ne jaetaan yleensä kahteen luokkaan, kesto- ja kertamuoveihin. Niistä kesto-  
muovit ovat selvästi yleisempiä, sillä niitä voidaan muokata useita kertoja lämmön ja paineen avulla, kun taas kertamuovit ovat nimensä mukaisesti vain kerran muovattavissa.

Muovit ovat kevyitä (tiheys n. $1000\text{--}1400 \text{ kg/m}^3$ ) ja ne kestävät hyvin korroosiota, mutta huonosti korkeita lämpötiloja (max. $160\text{--}260 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Tästä syystä ne soveltuvat kattiloissa käytettäviksi lähinnä luvon ja savupiipun alueilla. Tunnetuin pinnoitteena käytettävistä muoveista lienee polytetrafluorieteeni eli PTFE. Se tunnetaan tosin yleisesti Du Pont'n rekisteröimällä TEFLON- tuotenimellä. /1, 3/

## **9.3) Pinnoitteet**

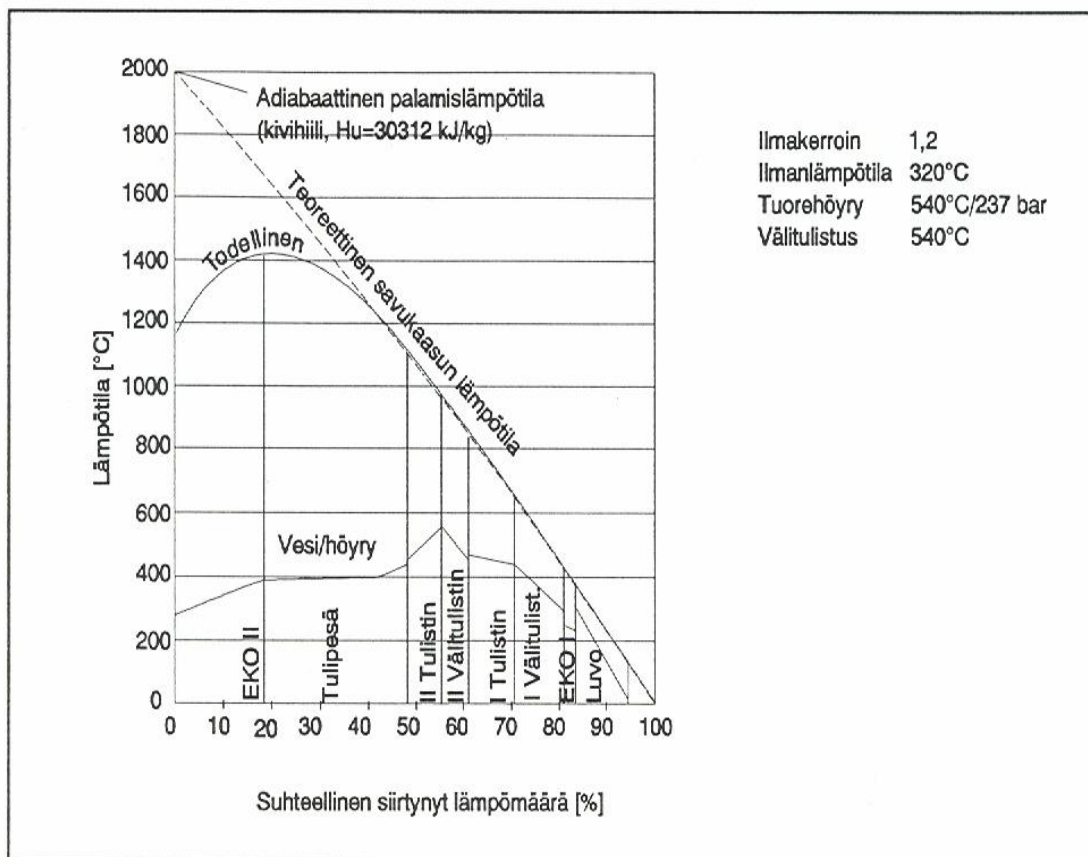
Erilaisia pinnoitteita käyttämällä voidaan kattilan pintojen korroosion- ja eroosionkestävyyttä lisätä merkittävästi. Yleisimpiä pinnoitteita ovat erilaiset metallit, muovit sekä keraamiset komposiitit. Sopivaa pinnoitetta käyttämällä voidaan välttyä käyttämästä kalliita runsasosteisia teräslaatuja. Käytännössä tällöin seostamaton tai niukkaseostettu teräsrakenne päällystetään esim. kromilla tai jollakin oksidilla, jolloin sen korroosionkestävyys paranee.

Pinnoite voidaan asentaa usealla eri tavalla käyttökohteeseen. Pinnoittamismenetelmiä ovat esimerkiksi kaasufaasipinnoitus, ruiskutus sekä laserpinnoitus. Ruiskutusmenetelmät voidaan lisäksi jakaa useaan "alalajiin", kuten liekki-, -kaari-, - ja plasmaruiskutukseen. Pinnoitusmenetelmällä on suuri merkitys pinnoitteen toimivuuteen, sillä KESTO-ohjelman kokeissa havaittiin, että esim. ruiskutettujen pinnoitteiden pisararajoilla esiintyvät huokokset ja oksidit heikentävät pinnan korroosionkestävyyttä, mutta ongelmaa ei esiinny laserpinnoitusta käytettäessä. /3, 4/

## 10) Lämpöpintojen materiaalivalinta

Kattilan lämpöpintojen materiaalivalinta on tasapainottelua käyttö-ominaisuuksien ja kustannusten välillä. Käytettävä materiaali kullekin kattilan osalle pyritään valitsemaan siten, että kustannukset pysyvät mahdollisimman alhaisina, mutta samalla pyritään pitämään kattila mahdollisimman toimivana ja turvallisena. Korkeat lämpötilat mahdollistavat höyrykattilalle mahdollisimman hyvän hyötysuhteen tuotannollisesti, mutta ne vaativat samalla laadukkaita materiaaleja. Kattiloissa vallitseekin useita eri lämpötilatasoja, joiden mukaan suunnittelu kannattaa tehdä. Esimerkiksi tulistimia ei ole edullista valmistaa halvasta valuraudasta, sillä korroosio ja viruminen aiheuttaisivat ongelmia verrattain nopeastikin, ja toisaalta luvossa tai muissa materiaalien kannalta vähemmän vaativissa kattilan osissa ei missään nimessä kannata käyttää korkeasti seostettuja teräksiä, kuten esimerkiksi superseoksia tai austeniittisiä teräksiä. Usein päädytään ratkaisuun, jossa lämmönsiirrin valmistetaan useasta eri materiaalista. Tällöin korkeamman rasituksen alaisille putkistoille valitaan laadukkaampi ja kalliimpi materiaali, ja kylmän puolen konstruktiot valmistetaan esim. halvasta hiiliteräksestä. Käytännössä vaihtoehtoja materiaaleille on siis useita, joista voi olla vaikea löytää paras ja halvin ratkaisu.

Kattilalaitteiden kestävyys voidaan vaikuttaa oikean materiaalivalinnan lisäksi laitteiden oikealla sijoittelulla, sekä varmistamalla hyvä jäähdytys lämpöpinnalle. Käytännössä jäähdytys tapahtuu yleensä prosessiveden- ja höyryn avulla, eikä erillisiä jäähdytysjärjestelmiä tarvita. Esimerkiksi kuvan 9 mukaisesti kattilan tulipesässä vallitseva jopa 1400 °C lämpötila ei muodostu ongelmaksi, kun höyrystin sijoitetaan tulipesän seinämiin. Höyrystimeen pumpattava syöttövesi nimittäin jäähdyttää höyrystinputkia niin tehokkaasti, ettei niiden pintalämpötila nouse kuin noin 450 °C:een. Kuvasta 9 nähdään myös muiden lämpöpintojen lämpötiloja eräässä kattilassa. /1, 6/



Kuva 8.2 Kattilassa vallitsevat lämpötilatasot (arvot vastaavat suuren hiilipölypolttokattilan arvoja) /29/

### Kuva 9. Erään kattilan lämpötilatasot. /1/

## 11) Höyrystin

Höyrystimessä syöttövesi keitetään höyryksi. Höyrystimet sijoitetaan yleensä tulipesän seinämiin. Kuten edellä mainittiin, jäädyttää syöttövesi höyrystinputkien pintaa erittäin tehokkaasti, jolloin höyrystinmateriaalin lämpötilansietovaatimukset eivät nouse kovinkaan merkittäviksi pienissä kattiloissa. Näin ollen höyrystimet valmistetaan yleensä tavallisesta seostamattomasta hiiliteräksestä, St 35.8 tai St 45.8 (nimike Länsisaksalaisen DIN-standardin mukainen). Kuitenkin tulipesässä vallitsevat olosuhteet aiheuttavat usein voimakasta korroosiota ja eroosiota, joita tavalliset hiiliteräket eivät kestä. Usein tulipesän seinämät, joissa höyrystinputket sijaitsevat, päällystetään tulenkestävällä massoilla eli edellä esitellyillä keraameilla. Yleisimmin käytettyjä massoja ovat LC- ja ULC massat.

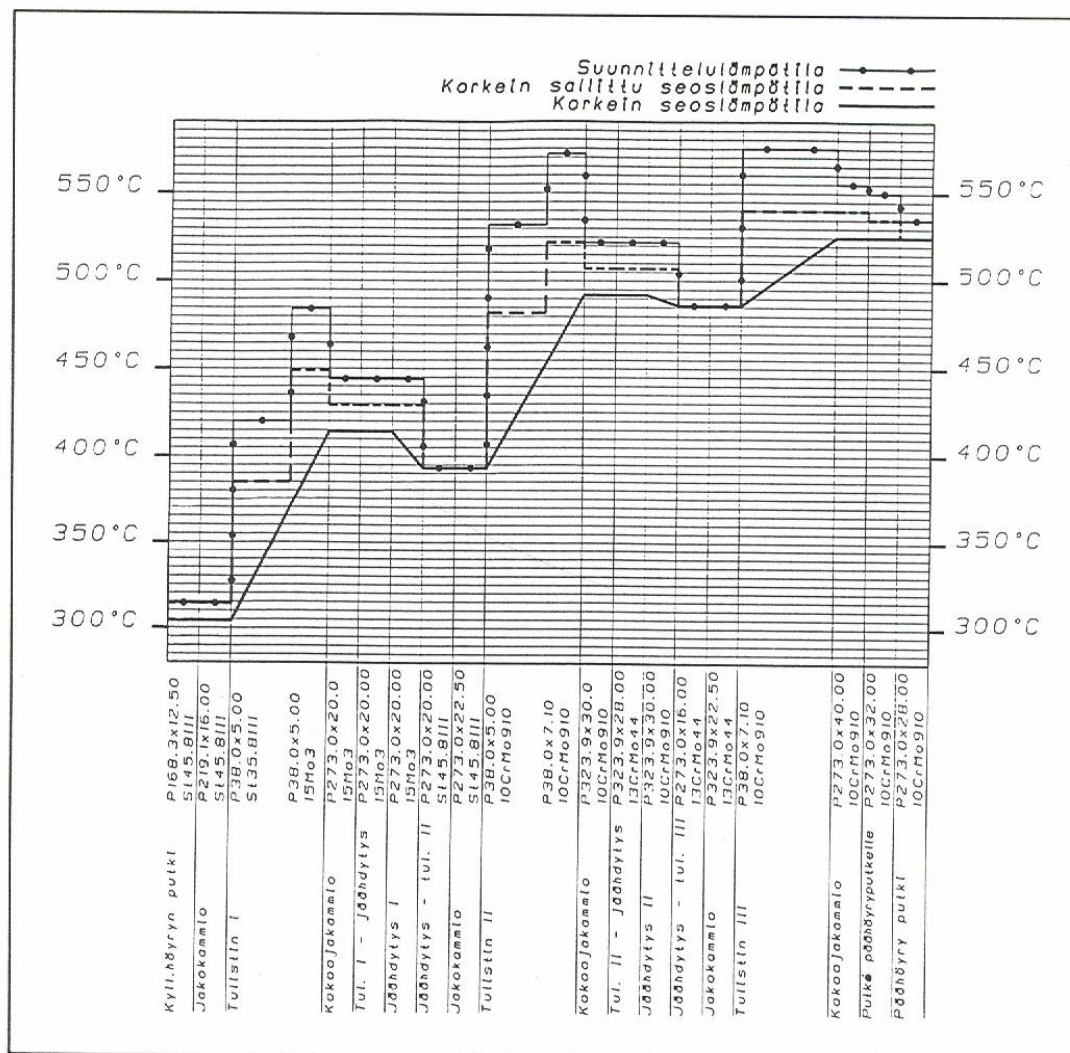
Vuosina 1997–2001 Teknologian edistämiskeskuksen Tekesin johtamana suoritettuna ”KESTO- Materiaalit energiatekniikan palveluksessa ”- tutkimusohjelman yhtenä tutkimusprojektina oli ”Keraamiset muotokappaleet ja keraamikomposiitit voimalaitoskattiloissa”. Projektissa valmistettiin alumiinioksidipohjaisia massoja, joita verrattiin yleisiin LC- ja ULC massoihin. Alumiinioksidipohjaisten massojen huomattiin kestävän kuuma- ja kylmäeroosiota jopa kolme kertaa LC- ja ULC massoja paremmin. Lisäksi valmistetuilla alumiinioksidimassoilla havaittiin hyvää korroosionkestävyyttä, joten alumiinioksidipohjaiset massat soveltuvat hyvin tulipesän seinämien suojamateriaaleiksi. /1, 4/

## 12)Tulistin

Kattilan lämpöpinnoista tulistin on materiaalivalinnan kannalta selvästi haastavin instrumentti. Tulistimissa turbiineille menevää höyryä kuumennetaan yleensä noin 550 °C lämpötilaan ja koska virtaavana aineena tulistimissa on huonosti tulistinputkien pintaa jäähdyttävä höyry, joutuu tulistinmateriaali kovan rasituksen alaiseksi. Tulistin sijoitetaan tulipesän jälkeiseen savukanavaan, jottei tulipesän kuumuus aiheuttaisi kohtuuttomia ongelmia. Siitäkin huolimatta tulistin mitoitetaan usein käyttöiltään muuta kattilaa selvästi pienemmäksi, jolloin pyritään välttymään kaikkein kalleimpien seosterästen käytöltä. Kuitenkaan tavalliset seostamattomat teräkset eivät yleensä sovellu tulistinmateriaaleiksi, sillä niiden virumislujuus ei yksinkertaisesti riitä tulistimien lämpötiloissa. Yleensä tulistimissa käytetäänkin joko vähintään seosteisiä ferriittisiä teräksiä, tai austeniittisiä teräslaatuja. Kuitenkin tulistinmateriaalin valinta kannattaa suorittaa tapauskohtaisesti.

Tulistimissa käytetään yleensä useita eri terässeoksia, joiden käyttö kannattaa suunnitella erittäin tarkkaan. Materiaalien valinnassa otetaan huomioon lämpötilaerot tulistimen sisällä, eli kylmemmän puolen osissa ei käytetä samoja materiaaleja kuin kuumen puolen konstruktioiden. Pääomakustannusten minimoimiseksi olisikin tärkeää tietää tulistimen käyttöarvot mahdollisimman tarkasti, sillä virumismurtoarvo voi alentua merkittävästi lämpötilan verrattain pienillä muutoksilla. Kuvassa 9 on esitetty erään tulistimen materiaalien valinta perustuen tulistimen sisäisiin lämpötiloihin. Kuvasta nähdään kuinka lämpötilatasot nousevat tulistimien jakokammioissa siirryttäessä höyrylinjalla eteenpäin, ja samalla käytettyjen terästen seostusaste kasvaa. Kuvan 9 tulistimessa liikutaan verrattain alhaisilla lämpötiloil-

la 300–520 °C, joten käytetyt teräkset vaihtelevat seostamattomasta St 45.8- teräksestä niukkaseosteisiin 10CrMo910 ja 13CrMo44 teräksiin. Kuvasta ilmenee kuinka tulistimien oikealla suunnittelulla voidaan optimoida kustannukset ja päästä toimivaan ratkaisuun.



Kuva 8.12 Erään tulistimen materiaalit (Ahlström) /23/

### Kuva 10. Erään tulistimen lämpötilatasot ja valitut materiaalit /1/

Keraamiset pinnoitteet ovat myös erittäin käyttökelpoisia ja antavat parhaan suojan tulistimien kestävyuden parantamiseen. Ne eivät vaikuta virumisen keston, mutta voivat vähentää korroosiota erittäin merkittävästi. Kuitenkin edellä mainitun KESTO- ohjelman puitteissa havaittiin karbideja sisältävien pinnoitteiden olevan lähes merkityksettömiä runsaasti klooria sisältäviä polttoaineita poltettaessa. Mutta kloorikaan ei muodostu ongelmaksi nikeliä ja kromia sisältävillä pinnoitteilla. /1, 4, 6/

### **13) Syöttöveden esilämmitin (Ekonomaiser)**

Syöttöveden esilämmittimet eli ekonomaiserit jaetaan savukaasu ja höyrylämmitteisiin esilämmittimiin. Syöttövettä nimittäin lämmitetään suurissa voimalaitoksissa ensin turbiinien väliottohöyryllä, ja vasta tämän jälkeen savukaasuilla Ekonomaiserissa siis lämmitetään höyrystimeen menevää vettä noin 250–400 °C lämpötilaan, jolloin ekonomaiserin putkimateriaalin pintalämpötila pysyy melko alhaisena. Savukaasulämmitteinen ekonomaiser sijoitetaan kattilassa tulistimien jälkeen takavetoon, jossa savukaasujen lämpötila on noin 600–800 °C. Savukaasuekonomaiseriin tuleva vesi on yleensä n. 100–250°C:sta. Verrattain alhaisista lämpötiloista ja veden hyvästä jäähdytysvaikutuksesta johtuen ekonomaiserin materiaalina käytetään yleensä tavallista hiiliterästä St 35.8 tai St 45.8, tai jotakin niukkaseosteista terästä. Myös valurautaa käytetään, erityisesti jos syöttövesi on kylmää valuraudan hyvän matalalämpötilasyöpymisen keston johdosta. Ongelmana valuraudalla on melko huono paineen kesto, noin 60 bar, joka rajoittaa valuraudan soveltuvuutta voimalaitoskäyttöön. Yksi vaihtoehto voisi myös olla pinnoittaa hiiliteräksiset putket joko keraamisilla tai muovisilla pinnoitteilla. /1, 4/

### **14) Palamisilman esilämmitin (Luvo)**

Viimeiseksi esilämmittimeksi sijoitetaan yleensä palamisilman esilämmitin eli luvo (luftvorwärmer). Luvon alueella savukaasujen lämpötila on yleensä jo laskenut niin alhaiseksi, yleensä alle 400 °C:een, ettei se muodostu ongelmaksi materiaalivalinnan kannalta. Sen sijaan happokastepisteen alittuminen voi olla merkittäväkin ongelma. Tavallisesti luvon materiaaliksi valitaankin joko tavallinen seostamaton hiiliteräs, valurauta tai lasi. Näistä valurautaa ja erityisesti lasia kannattaa suosia jos happokastepisteen alittumisen vaara on olemassa, sillä ne kestävät happoisen veden syövytystä tavallista terästä paremmin. Lasi-laatusuunnitelmassa yleisimmin käytetään silikoboraattia. Myös luvossa voivat erilaiset pinnoitteet olla käyttökelpoisia, jos kustannustehokkuus sen sallii. Tällöin esimerkiksi PTFE eli puhekielellä teflon voisi olla yksi vaihtoehto valurauta- tai hiiliteräsputkien pinnoitteeksi. /1, 3, 4/

## 15)Yhteenveto

Höyrykattiloiden olosuhteet vaativat laadukkaita materiaaleja, jotka kestävät sekä korroosiota ja eroosiota, että korkeita lämpötiloja. Korkeat lämpötilat yhdistettynä jännityksiin aiheuttavat myös hidasta pysyvää muodonmuutosta, eli virumista. Tästä syystä yleisimpiä käytettyjä materiaaleja ovat erilaiset teräkset.

Teräkset luokitellaan seostamattomiin hiiliteräksiin, niukkaseosteisiin teräksiin, martensiittisiin ruostumattomiin teräksiin sekä ruostumattomiin austeniittisiin teräksiin. Lisäksi on kehitetty ns. superseoksia erilaisiin erittäin vaativiin olosuhteisiin. Teräksien hyviä puolia ovat kovuus, lujuus ja sitkeys. Lisäksi höyrykattiloissa voidaan käyttää erilaisia keraameja ja muoveja, joilla voidaan parantaa kantavina materiaaleina käytettävien terästen korroosion ja eroosion kestoa. Keraamit kestävät teräsiä paremmin kuumuutta, eroosiota ja korroosiota, mutta ovat hyvin hauraita. Myös muovit kestävät hyvin korroosiota ja eroosiota, mutta niitä voidaan käyttää vain melko alhaisilla lämpötiloilla.

Materiaalinvalinta lämpöpinnoille suoritetaan mahdollisimman kustannustehokkaasti, jolloin suositetaan halvempia seostamattomia ja niukkaseosteisiä teräsiä. Kuitenkin erityisesti tulistimet vaativat usein austeniittisiä tai martensiittisiä teräsiä. Kuvassa 11 esitellään erään Foster Wheelerin suunnitteleman kattilan lämpöpinnoille valitut teräslaadut. Taulukossa 6 on lisäksi esitelty ASME- standardin mukaan nimettyjen terästen luokat. Kyseisessä kattilassa on höyrytimeen ja tulipesän seiniin valittu niukkaseosteinen teräs, tulistimiin sekä niukkaseosteisiä teräsiä, että austeniittisiä teräsiä. Lisäksi viimeiseen tulistimeen on jouduttu valitsemaan erikoisseostettu austeniittinen teräs, joka lähestyy ns. superseoksia. Ekonomaisemmin on valmistettu tavallisesta hiiliteräksestä. Lisäksi ilmanesilämmitin eli luvu valmistetaan yleensä tavallisesta seostamattomasta hiiliteräksestä tai valuraudasta, jota voidaan käyttää myös ekonomaisemmin materiaalina. Luvossa voitaisiin käyttää myös lasista konstruktiota.

<u>Heat Surface</u>	<u>Tube Material</u>	<u>Header Material</u>
Economizer	SA-210 C	SA-106 C
Furnace Walls	SA-213 T12	SA-106 C
Superheater/Reheaters	SA-213 T12	SA-335 P12
	SA-213 T23	SA-335 P91
	SA-213 TP304H	SA-335 P911
	SA-213 TP347HFG	
	Super 304H	
<u>Steam Piping</u>		
Main Steam Pipe		SA-335 P911

**Table 2. Pressure Part Materials for Case 1 400 MWe Boiler**

**Kuva 11. Foster Wheelerin eräessä kattilassa käyttämät lämpöpintojen materiaalit**

**/10/**

SA-nimike	Teräslaji
SA-210C	hiiliteräs, seostamaton
SA-106C	hiiliteräs, seostamaton
SA-335P12	niukkaseosteinen 1/2Cr-1/2Mo
SA-335P91	9Cr-1Mo-V, Niukkaseosteinen teräslaji
SA-213T12	niukkaseosteinen 1/2Cr-1/2Mo
SA-213TP304H	18Cr-8-Ni Austeniittinen teräslaji
SA-213TP347HFG	18Cr-10Ni-Cb Austeniittinen teräslaji
Super 304H	Austeniittinen erikoisteräs

**Taulukko 8. Kuvan 11 terästen luokittelu /6/**

## Lähteet

/1/ Huhtinen M, Kettunen A, Nurminen P, Pakkanen H: Höyrykattilatekniikka. Helsinki Painatuskeskus Oy 1994, 297s. ISBN 951-37-1327-X

/2/ Lindroos V, Sulonen M, Veistinen M: Uudistettu Miekk-Ojan Metallioppi. Helsinki Otava 1986,841s. ISBN 951-666- 216-1

/3/ Viinikainen S, Impola R, Nissinen K, Malinen H: Lämpö- ja Voimalaitosten uudet materiaalit. Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Tiedotteita. Espoo VTT Offsetpaino 1989, 69s.

/4/ Teknologian kehittämiskeskus Tekes: Materiaalit energiatekniikan palveluksessa, KESTO-teknologiaohjelma 1997–2001, Loppuraportti. Helsinki Paino-Center Oy 2002, 128s. ISBN 952-457-067-X

/5/ Raiko R, Kurki-Suonio I, Saastamoinen J, Hupa M: Poltto ja palaminen. Teknillisten Tieteiden Akatemia(TTA) Jyväskylä Gummerus Kirjapaino Oy 1995,629s. ISBN 951-666–48-2

/6/ Stultz S, Kitto J : Steam 40 4 painos. Babcock & Wilcox, Ohio U.S.A 1992. ISBN 0-9634570-0-4

/7/ Suomen standardisoimisliitto SFS RY : SFS- käsikirja 51-1, Teräs. Osa 1: Yleisstandardit 1999.2.painos. Helsinki Kyriiri Oy 1999,224s. ISBN 952-5143-45-7

/8/ Suomen standardisoimisliitto SFS RY : SFS- käsikirja 51-4, Teräs. Osa 4: Ruostumattomat teräkset. Ainestandardit 1997.1.painos. Helsinki Kyriiri Oy 1997,224s. ISBN 952-5143-12-0

/9/ Suomen standardisoimisliitto SFS RY : SFS- käsikirja 14-1, Painelaitemateriaalit. Osa 1: Yleis- ja tuotestandardit. 1. painos. Helsinki Kyriiri Oy 2005, 224s. ISBN 952-5420-63-9

/10/ FosterWheeler. Technical papers. [FosterWheelerin www-sivuilla] Esitetty Pittsburgissa 2005. (Viitattu 13.4.2007). Saatavissa:

[http://www.fwc.com/publications/tech\\_papers/files/PCC1%2D2%5FGoidich%2Epdf](http://www.fwc.com/publications/tech_papers/files/PCC1%2D2%5FGoidich%2Epdf)

/11/ Bodycote. Menetelmät. [Bodycoten www-sivuilla]. (Viitattu 12.4.2007) Saatavissa:

[http://bodycote.fi/fi/Frameset\\_Menetelm%E4t.htm](http://bodycote.fi/fi/Frameset_Menetelm%E4t.htm)

/12/ Rautaruukki. Metallituotteet. [Rautaruukin www-sivuilla]. Viitattu (16.4.2007).

Saatavissa:

<http://www.ruukki.com/www/finland.nsf/documents/C3035EAE0CC2C424C2257209002DD20?openDocument&lang=1>

**Teräslajien mekaaniset ominaisuudet. Vertailuja**

**Taulukko 4**

Teräslaji	Standardi	Myötölujuus R <sub>0.2</sub> N/mm <sup>2</sup> Vähintään	Murtolujuus R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	Murtovenymä A <sub>5</sub> % Vähintään	Iskusitkeysominaisuudet	
					Lämpötila t °C	Iskuenergia KV J Vähintään
P235TR1 <sup>1)</sup>	SFS-EN 10217-1	235	360 – 500	25	–	–
P235TR2		235	360 – 500	25	0	40
P265TR1 <sup>1)</sup>		265	410 – 570	21	–	–
P265TR2		265	410 – 570	21	0	40
<b>P235GH</b>	<b>SFS-EN 10217-2 ja 5</b>	<b>235</b>	<b>360 – 500</b>	<b>25</b>	–10	28 <sup>2)</sup>
					0	40 <sup>2)</sup>
					-10	28 <sup>2)</sup>
<b>P265GH</b>		<b>265</b>	<b>410 – 570</b>	<b>23</b>	–10	28 <sup>3)</sup>
					0	40 <sup>2)</sup>
					-10	28 <sup>2)</sup>
Fe 52 BP	SFS 1100:1970	355	490 – 610	22	+20	27
Fe 52 DP		355	490 – 610	22	-20	27
St 37.4	DIN 1628:1984	235	350 – 480	25	+20	43
St 44.4		275	420 – 550	21	+20	43
St 52.4		355	500 – 650	21	+20	43
St 37.8/l	DIN 17177:1979	235	360 – 480	25	–	–

<sup>1)</sup> Näistä materiaaleista valmistetut putket eivät täytä direktiivin PED 97/23/EY olennaisia vaatimuksia ellei muita näkökohtia oteta huomioon, katso direktiivin liitteen I kohta 7.5.

<sup>2)</sup> Iskusitkeys testataan optiona standardien määrittämällä tavalla.

<sup>3)</sup> Ruukki testaa mitta-alueella DN 125 – 300 (> 5 mm) iskusitkeyden lämpötilassa -20 °C.

**Laskentalujuudet. Vertailuja**

**Taulukko 5**

Teräslaji	Standardi	Laskentalujuudet N/mm <sup>2</sup> , NGS-ohjelehdet (≤ 16 mm levyille)																		
		Kuupalujuus										Virumislujuus (100 000 h)								
		Lämpötila °C										Lämpötila °C								
		20	100	150	200	250	300	325	350	375	400	450	390	400	410	420	430	440	450	500
Fe 37 BP	SFS 1100	216	201	189	177	167	137	128	118	108	98 <sup>1)</sup>	–	140	123	106	92	81	72	64	(32)
Fe 44 BP		265	250	238	226	206	177	167	157	147	137 <sup>1)</sup>	–	140	123	106	92	81	72	64	(32)
Fe 52 BP		333	319	284	265	245	226	216	206	191	177 <sup>1)</sup>	–	190	167	146	128	111	96	83	(39)
St 37.4	DIN 1628	208	203	193	179	159	136	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
St 44.4		235	206	191	177	157	137	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
St 52.4		329	282	267	251	229	207	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
St 37.8/l	DIN 17177	215	200	190	181	165	140	–	120	–	110	105 <sup>1)</sup>	–	–	118 <sup>2)</sup>	103	91	79	69	–

<sup>1)</sup> Kuupalujuuden sijasta virumislujuus voi olla määräävä.

<sup>2)</sup> Kuupalujuus on määräävä.

Suluissa olevat luvut ovat ohjeellisia.

Virumislujuus voidaan määrittää myös virumislujuutena 1 % virumiselle 100 000 tunnissa tai 200 000 tunnin virumislujuutena (murtumiseen saakka).

**Venymisrajan  $R_{p0,2}$  vähimmäisarvo korotetuissa lämpötiloissa <sup>1)</sup>**

Taulukko 6

Teräslaji	Standardi	Venymisraja $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup> vähintään						
		Lämpötila T °C						
		100	150	200	250	300	350	400
P235GH	SFS-EN 10217-2 ja -5	198	187	170	150	132	120	112
P265GH		226	213	192	171	154	141	134

<sup>1)</sup> Optio 6:  $R_{p0,2}$  testataan tilauksen yhteydessä sovitussa lämpötilassa.

**Paineputkien käyttöalueet. AD-Merkblatt W4 ja TTK <sup>1)</sup>. Vertailuja**

Taulukko 7

Teräslaji	Toimitusehdestandardi	Käyttöalue			Lämpötila T °C	Ainestodistus SFS-EN 10204
		Halkaisija D mm	Paine p bar			
St 37.0, St 44.0, St 52.0	DIN 1626:1984	≤ 219,1	≤ 64		≤ 300	2.2
		219,1 < D ≤ 660	≤ 25		≤ 300	
		660 < D ≤ 1220	≤ 16		≤ 300	
		≤ 1220	≤ 160		≤ 300	
St 37.4, St 44.4, St 52.4	DIN 1628:1984	114,3 ≤ D ≤ 1220	Ei rajoitusta		≤ 300	3.1
Fe 37 BP – Fe 52 DP	DIN 1628:1984/ TTK	114,3 ≤ D ≤ 1220	Ei rajoitusta		≤ 450	3.1
St 37.8 laatuluokka I	DIN 17177:1979	≤ 114,3	≤ 160		≤ 450	3.1

Standardi-sarjan SFS-EN 10217 mukaisille putkille käyttöalueosuusituksia ei ole toistaiseksi saatavissa.

<sup>1)</sup> Nykyinen Inspecta

**Ruukin valmistamien EN 10217-mukaisten painelaiteteräsputkien testausluokat**

Taulukko 8

SFS-EN 10217-1 Ulkohalkaisija-alue	Testausluokka		SFS-EN 10217-2 ja -5 Ulkohalkaisija-alue	Testausluokka	
	TR1 <sup>1)</sup>	TR2		TC1	TC2 <sup>2)</sup>
DN15-300	x	x	DN15-300	x	
DN350-1200	x	x	DN350-1200	x	x

<sup>1)</sup> Testausluokan TR1 putkille annetaan ainestodistus 2.2, optiona ainestodistus 3.1. Testausluokan TR2 putkien iskusikeys testataan 0 °C lämpötilassa.

<sup>2)</sup> Testausluokan TC2 putkille tehdään perusaineen NDT-tarkastus.

**Asiakaspalvelumme antaa aiheesta mielellään lisätietoja**

Myynti, tekninen tuki

info.metals@ruukki.com

Rautaruukki Oyj, Suolakivenkatu 1. 00811 Helsinki.

puh. 020 5911

www.ruukki.com

Tämä ohjelehti on tarkistettu mahdollisimman huolellisesti. Emme kuitenkaan vastaa mahdollisista virheistä tai tietojen väärästä soveltamisesta aiheutuneista välittömistä tai välillisistä vahingoista. Oikeudet muutoksiin pidätetään.

Copyright © 2007 Rautaruukki Oyj. Kaikki oikeudet pidätetään.  
Ruukki. More With Metals ja Rautaruukki ovat Rautaruukki Oyj:n tavaramerkkejä.

Taulukko 1

Sulatusanalyysit ja standardivastaavuudet

EN	Tyyppi	C enintään	Cr	Ni	Mo	Muut	SS	ASTM	DIN	Nimike
Austenittiset	1.4301 ruostumaton	0,07	17–19,5	8–10,5	–	–	2333	304	1.4301	X5CrNi18–10
	1.4305 automaattilaatu	0,1	17–19	8–10	–	–	2346	303	1.4305	X8CrNiS18–9
	1.4306 matalahiilinen rst	0,03	18–20	10–12	–	–	2352	304L	1.4306	X2CrNi19–11
	1.4307 matalahiilinen rst	0,03	17,5–19,5	8–10	–	–	2352	304L	1.4301	X2CrNi18–9
	1.4310 jousiteräs	0,05–0,15	16–19	6–9,5	max. 0,8	–	2331	301	1.4310	X10CrNi18–8
	1.4541 titaanistabiloitu rst	0,08	17–19	9–12	–	Ti	2337	321	1.4541	X6CrNiTi18–10
	1.4401 haponkestävä	0,07	16,5–18,5	1–10	2–2,5	–	2347	316	1.4401	X5CrNiMo17–12–2
	1.4404 matalahiilinen hst	0,03	16,5–18,5	1–10	2–2,5	–	2348	316L	1.4404	X2CrNiMo17–12–2
	1.4432 matalahiilinen hst	0,03	16,5–18,5	10,5–13	2,5–3	–	2343	316L	1.4436	X2CrNiMo17–12–3
	1.4436 haponkestävä	0,05	16,5–18,5	10,5–13	2,5–3	–	2343	316	1.4436	X3CrNiMo17–13–3
	1.4539 erikoisoseostettu hst	0,02	19–21	24–26	4–5	Cu	2562	904L	1.4539	X1NiCrMoCu25–20–5
	1.4547 erikoisoseostettu hst	0,02	19,5–20,5	17,5–18,5	6–7	Cu	2378	S31254	–	X1CrNiMoCuN20–18–7
	1.4571 titaanistabiloitu hst	0,08	16,5–18,5	10,5–13,5	2–2,5	Ti	2350	316Ti	1.4571	X6CrNiMoTi17–12–2
	1.4828 tulenkestävä	0,02	19–21	1–11	–	Si	–	–	1.4828	X15CrNiSi20–12
	1.4835 tulenkestävä	0,05–0,12	20–22	10–12	–	Si, Ce	2368	S30815	–	–
Ferrittiset	1.4003 kromi	0,03	10,5–12,5	0,3–1,0	–	–	–	S41050	–	X2CrNi12
	1.4016 kromi	0,08	16–18	–	–	–	2320	430	1.4016	X6Cr17
	1.4509 kromi	0,03	17,5–18,5	–	–	–	–	–	–	X2CrTiNb18
	1.4512 kromi	0,03	10,5–12,5	–	–	Ti	–	409	1.4512	X2CrTi12
Austenittis-	1.4162 duplex	0,04	21	1,35	0,1	–	–	S32101	–	–
ferrittiset	1.4460 duplex	0,05	25–28	4,5–6,5	1,3–2	–	2324	329	1.4460	X3CrNiMoN27–5–2
	1.4462 duplex	0,03	21–23	4,5–6,5	2,5–3,5	–	2377	S31803	1.4462	X2CrNiMoN22–5–3

Huomi!

Standardivastaavuudet likimääräisiä, tarkassa vertailussa käytettävä alkuperäisiä standardeja  
EN 1.4162 arvot valmistajan ilmoittamat

Taulukko 2

Viimeistelytilat

EN 10088	ASTM A 480	DIN 17440
1D	1	c2 (IIa)
2D	2D	h (IIIb)
2B	2B	n (IIIc)
2R	BA	m (IIId)
2G	3	o (IV)
2J	4	p (V)
2H	TR	f

Kuumavalssattu, hehkutettu ja peitattu  
Kylmävalssattu, hehkutettu ja peitattu  
Kylmävalssattu, hehkutettu, peitattu ja viimeistelyvalssattu  
Kylmävalssattu ja kiiltohehkutettu  
Kylmävalssattu, hehkutettu, peitattu ja hiottu  
Kylmävalssattu, hehkutettu, peitattu ja harjattu  
Lujitettu

**EN –standardit**

Taulukko 3

**Standardi Sisältö**

EN 10028-7	Painelaiteteräkset, levytuotteet
EN 10029	Kuumavalssatut teräslevyt, >3 mm, mitta-, muoto- ja painotoleranssit
EN 10051	Kuva pinnoittamaton nauhalevy ja nauha, mitta- ja muototoleranssit
EN 10088-2	Yleiseen käyttöön tarkoitetut levyt ja nauhat, tekniset toimitusehdot
EN 10088-3	Yleiseen käyttöön tarkoitetut tangot, valssilangat, profiilit ja vastaavat puolivalmisteet, tekniset toimitusehdot
EN 10095	Tulenkestävät teräkset ja nikkeliseokset
EN 10259	Kylmävalssatut rst leveät teräsnauhat ja -levyt, mitta- ja muototoleranssit
EN 10272	Painelaiteteräkset, ruostumattomat terästangot
EN 10278	Kirkkaiden terästuotteiden mitat ja toleranssit

**Mekaaniset ominaisuudet ja raerajakorroosiokestävyys**

Taulukko 4

**EN 10088-2 kylmävalssatut levyt, joiden levypaksuus max 6 mm ja EN 10095 tulenkestävät levyt (\*)**

EN	0,2 %-raja	1 %-raja	Murtolujuus	Murtovenymä A		Raerajakorroosiokestävyys	
	Rp <sub>0,2</sub> N/mm <sup>2</sup> min (poik.)	Rp <sub>1,0</sub> N/mm <sup>2</sup> min (poik.)		R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	< 3 mm % min (poik.)	≥ 3 mm % min (poik.)	huoneenlämmössä
1.4301	230	260	540 – 750	45	45	kyllä	ei
1.4305	190	230	500 – 700	35	35	ei	ei
1.4306	220	250	520 – 670	45	45	kyllä	kyllä
1.4307	220	250	520 – 670	45	45	kyllä	kyllä
1.4310	250	280	600 – 950	40	40	ei	ei
1.4541	220	250	520 – 720	40	40	kyllä	kyllä
1.4401	240	270	530 – 680	40	40	kyllä	ei
1.4404	240	270	530 – 680	40	40	kyllä	kyllä
1.4432	240	270	550 – 700	40	40	kyllä	kyllä
1.4436	240	270	550 – 700	40	40	kyllä	ei
1.4539	240	270	530 – 730	35	35	kyllä	kyllä
1.4547	320	350	650 – 850	35	35	kyllä	kyllä
1.4571	240	270	540 – 690	40	40	kyllä	kyllä
1.4828*	230	270	550 – 750	28	30		
1.4835*	310	350	650 – 850	37	40		
1.4003	320	–	450 – 650	20	20	ei	ei
1.4016	280	–	450 – 600	20	20	kyllä	ei
1.4509	250	–	430 – 630	18	–	kyllä	kyllä
1.4512	220	–	380 – 560	25	25	ei	ei
1.4162	478	–	696	–	30	kyllä	kyllä
1.4462	480	–	660 – 950	20	20	kyllä	kyllä

EN 1.4162 arvot valmistajan ilmoittamat

**Mekaaniset ominaisuudet ja raerajakorroosiokestävyys**  
**EN 10088-3 ruostumattomat tangot (d <160 mm)**

Taulukko 5

EN	0,2 %-raja	1 %-raja	Murtolujuus R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	Murtovenymä A %		Raerajakorroosiokestävyys		Kovuus HB max.
	Rp <sub>0,2</sub> N/mm <sup>2</sup> min (poik.)	Rp <sub>1,0</sub> N/mm <sup>2</sup> min (poik.)		Vähintään	(poik.)	huoneenlämmössä	herkistetty	
1.4301	190	225	500 – 700	45	–	kyllä	ei	215
1.4305	190	225	500 – 750	35	–	ei	ei	230
1.4404	200	235	500 – 700	40	–	kyllä	kyllä	215

**Fysikaaliset ominaisuudet**

Taulukko 6

Tunnus	Tiheys	Kimmo- moduuli	Pituuden lämpötilan kerroin	Lämmön- johtavuus	Ominaislämpö- kapasiteetti	Resitiivisyys	Magnetoita- vuus
	kg/dm <sup>3</sup>	20 °C kN/mm <sup>2</sup>	20 – 100 °C 10 – 6°K-1	20 °C W/m <sup>2</sup> K	20 °C J/kg <sup>2</sup> K	20 °C Ω <sup>2</sup> mm <sup>2</sup> /m	
1.4301	7,9	200	16	15	500	0,73	ei
1.4305	7,9	200	16	15	500	0,73	ei
1.4306	7,9	200	16	15	500	0,73	ei
1.4401	8,0	200	16	15	500	0,75	ei
1.4404	8,0	200	16	15	500	0,75	ei
1.4432	8,0	200	16	15	500	0,75	ei
1.4436	8,0	200	16	15	500	0,75	ei
1.4016	7,7	220	10	25	460	0,6	kyllä
1.4512	7,7	220	10,5	25	460	0,6	kyllä
1.4460	7,8	200	13	15	500	0,8	kyllä
1.4462	7,8	200	13	15	500	0,8	kyllä
1.4828	7,9	200	16,5	15	500	0,85	ei

**Asiakaspalvelumme antaa aiheesta mielellään lisätietoja**

Myynti, tekninen tuki

[info.metals@ruukki.com](mailto:info.metals@ruukki.com)

Rautaruukki Oyj, Suolakivenkatu 1. 00811 Helsinki.

puh. 020 5911

[www.ruukki.com](http://www.ruukki.com)

Tämä ohjelehti on tarkistettu mahdollisimman huolellisesti. Emme kuitenkaan vastaa mahdollisista virheistä tai tietojen väärästä soveltamisesta aiheutuneista välittömistä tai välillisistä vahingoista. Oikeudet muutoksiin pidätetään.

Copyright © 2005 Rautaruukki Oyj. Kaikki oikeudet pidätetään.  
Ruukki ja More With Metals ovat Rautaruukki Oyj:n tavaramerkkejä.