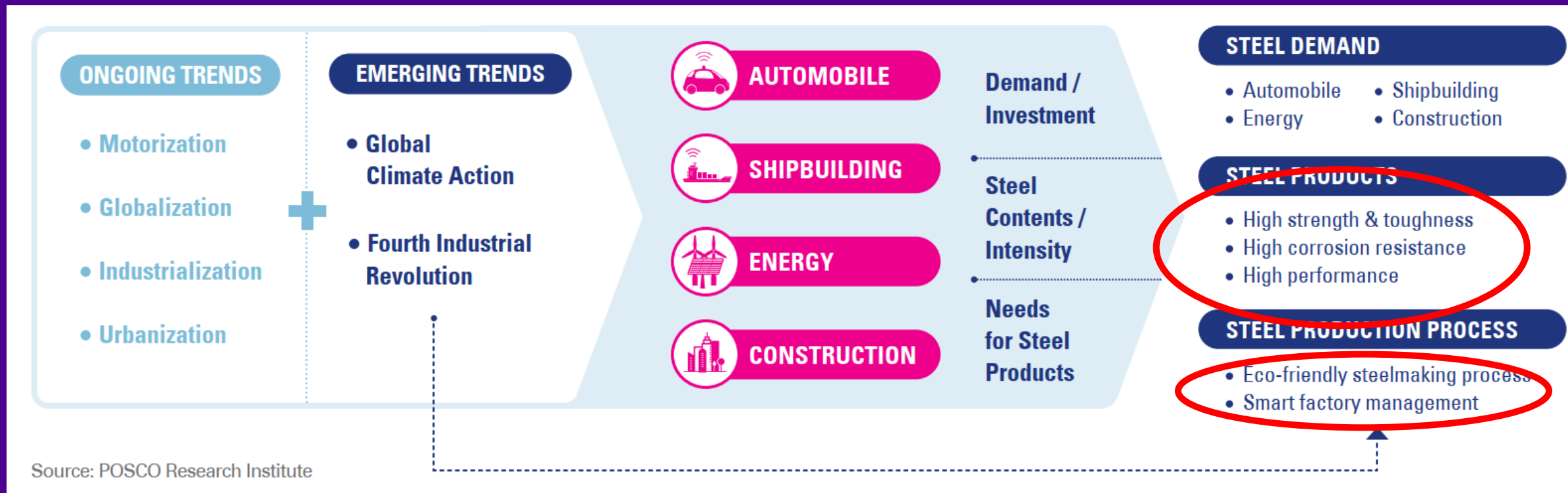


Minkälaisia ovat tulevaisuuden terästuotteet?

Pasi Peura



Johdanto



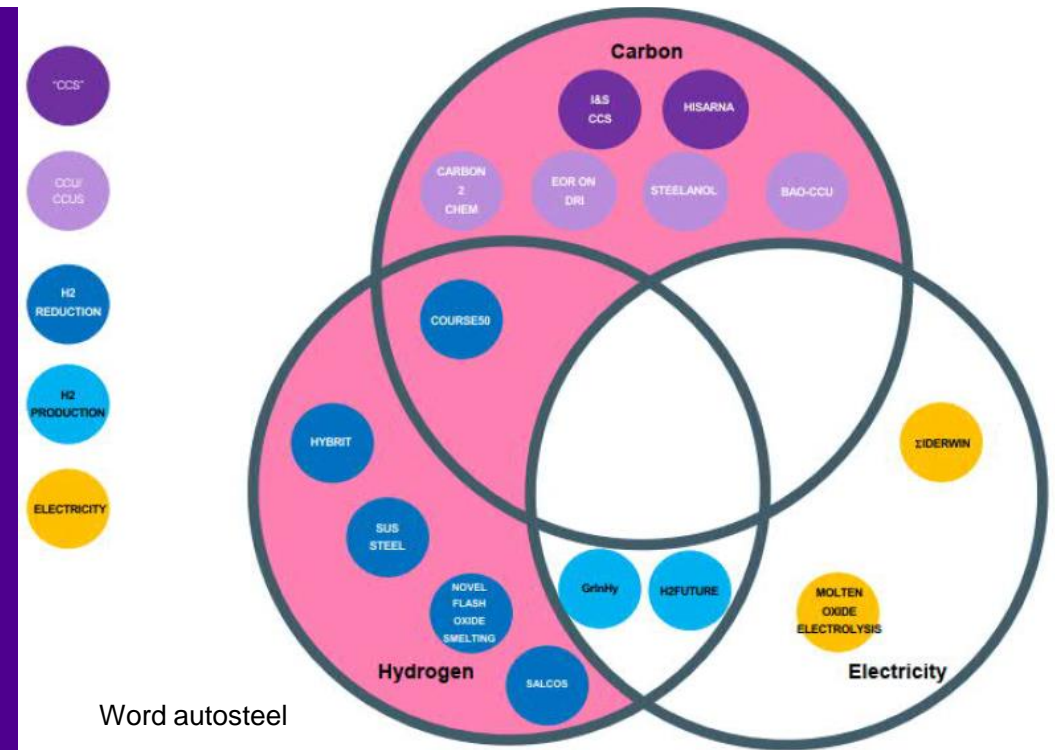
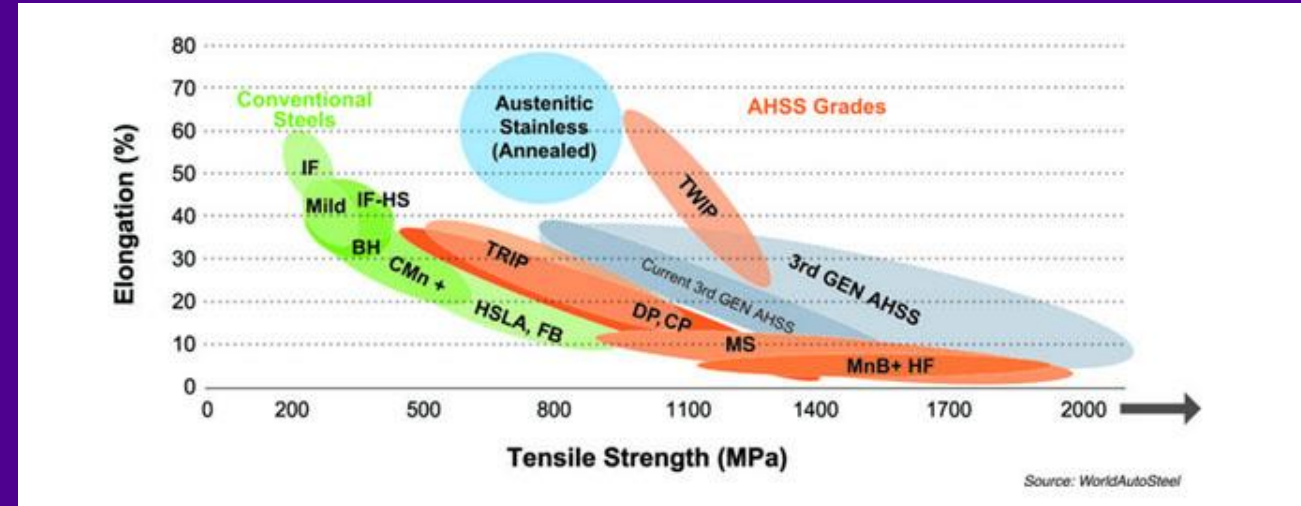
Johdanto

• Suorituskyky

- Lujuus ja sitkeys (muovattavuus)
- Kustannukset
- Yleensä suorituskyvyn parantaminen
 - Autoteollisuuden tarpeet
 - ”Puhtaat teräkset”

• Fossiilivapaat tuotteet

- Sähköunit sulatukseen
- Mitä muutoksia nykyisiin teräksiin
 - Romun suhteellisen osuuden on ennustettu nousevan nykyisestä 25% => 50% vuoteen 2050 mennessä samalla kun tuotanto nousee (1.8 => 2.8 Mtn)
- Romun laatu ja saatavuus kriittistä tulevaisuudessa



Johdanto

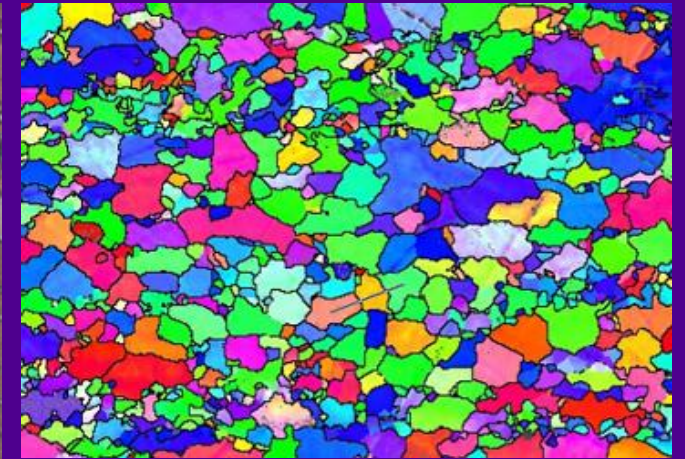
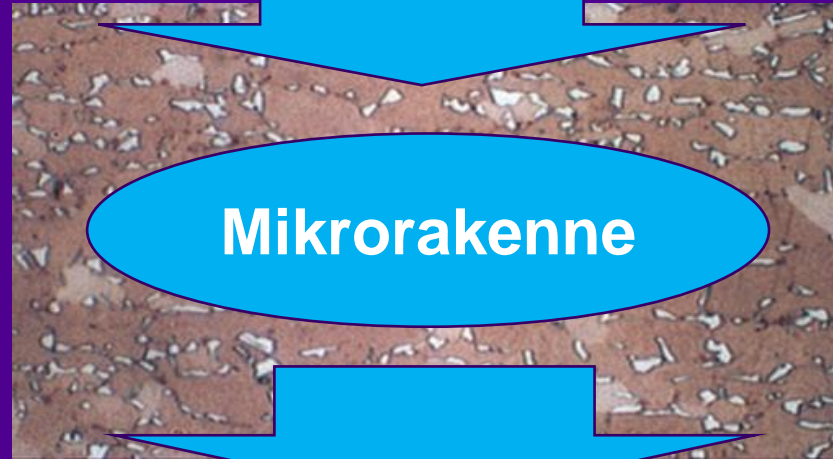
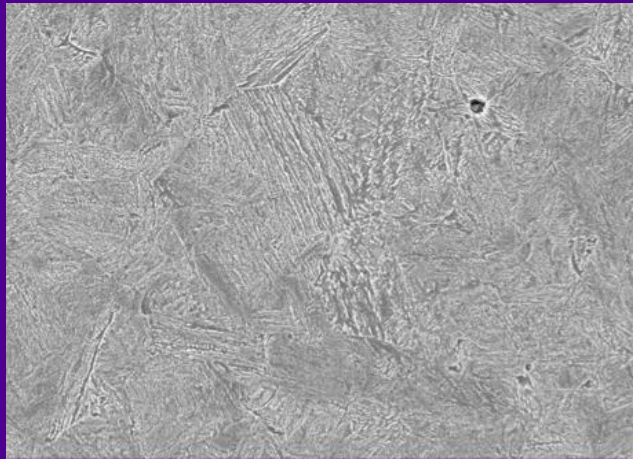
Terästuotteiden ominaisuuksien muodostuminen

Lämpökäsittelyt

Pintakäsittelyt

Koostumus
ja puhtaus

Valmistusmenetelmät



Mikrorakenne

Materiaaliominaisuudet:

Lujuus

Kovuus

Sitkeys
Muovattavuus

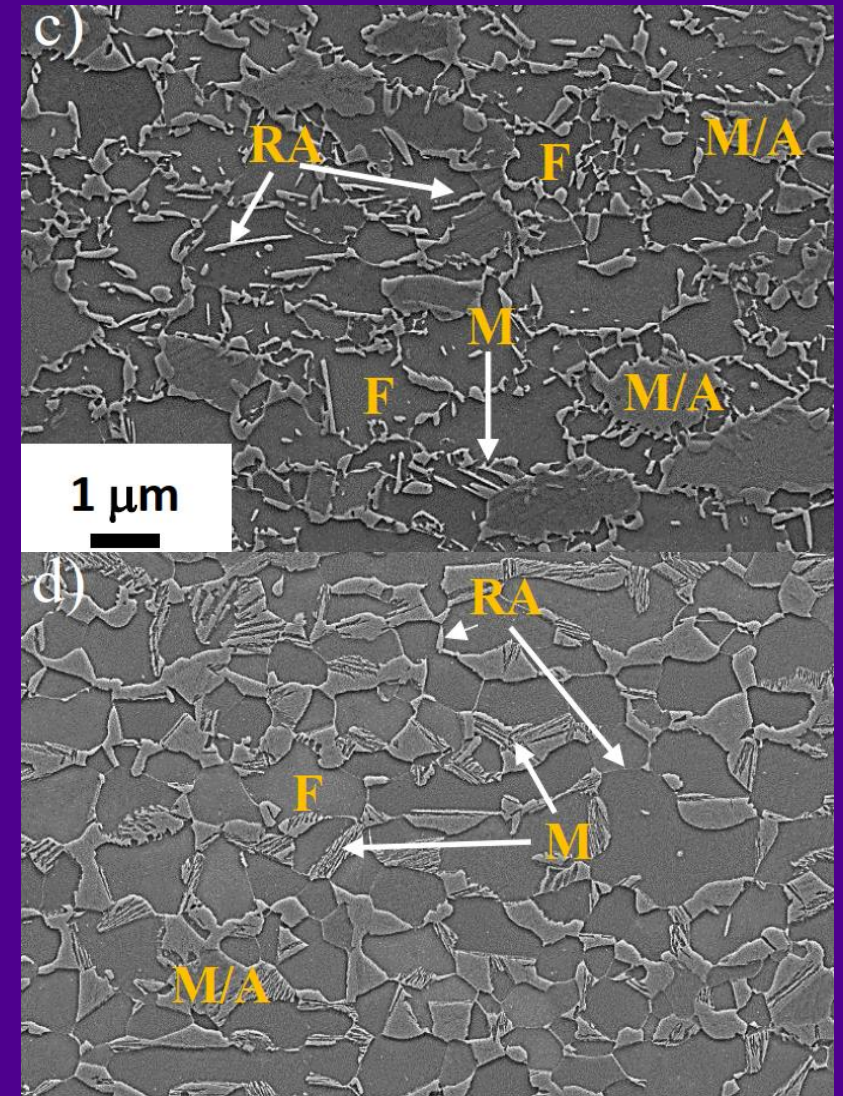
Korroosionkesto

Hitsattavuus ja
koneistettavuus

Suorituskyvyn parantaminen

M³ – Multiphase, Multiscale, Metastable

- Lujuuden ja muovattavuuden optimaalinen yhdistäminen hyödyntämällä eri faasien ominaisuuksia, eri morfologioita ja stabiilisuuseroja
- Toteutetaan seostuksen ja valmistusprosessiin liittyvien lämpökäsittelyjen modifioinnin avulla
- Usein hyödynnetään rakenteen hienontamista ja metastabiilia austeniittia
- Esimerkkejä teräksistä: Q&P, TRIP-avusteiset teräkset, TRIP/TWIP teräkset, reversiökäsitellyt ruostumattomat teräkset, jne.



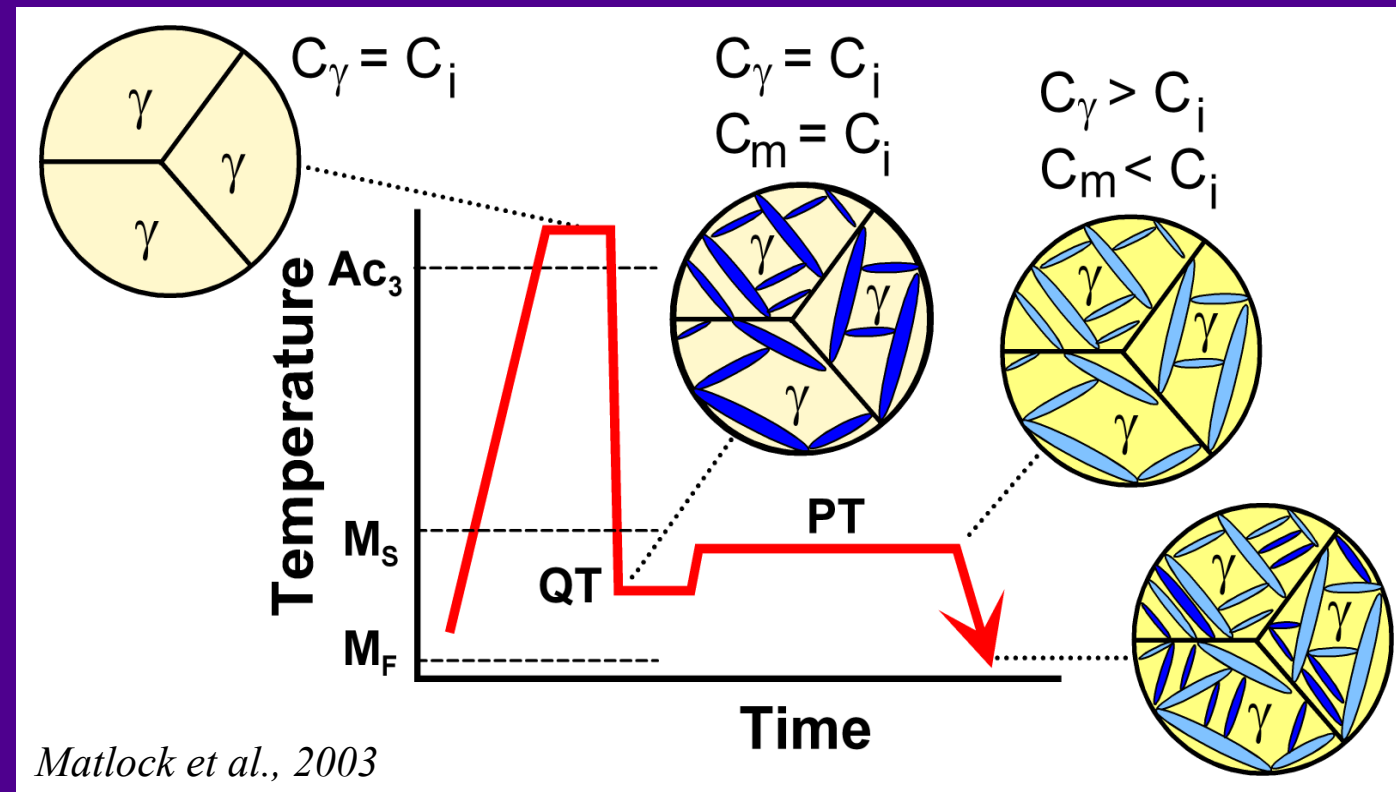
Impact-abrasive and abrasive wear behavior of low carbon steels with a range of hardness-toughness properties, Saha, et al. Wear 450, 203263

Suorituskyvyn parantaminen

M³ – Multiphase, Multiscale, Metastable

TRIP avusteiset monifaasiteräkset, DH ja Q&P teräkset:

- Q&P (Quench and partition) käsittely
- Speer ja Matlock, Colorado School of Mines 2003
- Alun perin pii-seosteisille teräksille, myöhemmin alumiiniseostetuille sekä keskimangaaniteräksille
- Tutkittu myös vaikutusta muiden terästen rakenteeseen (ferriittiset ruostumattomat, lujat rakenneteräkset, jne.)
- Korkea jäännösausteniittipitoisuus, austeniitti on martensiittisäleiden välissä
- Lujia ja erittäin hyvin muovattavia



Suorituskyvyn parantaminen

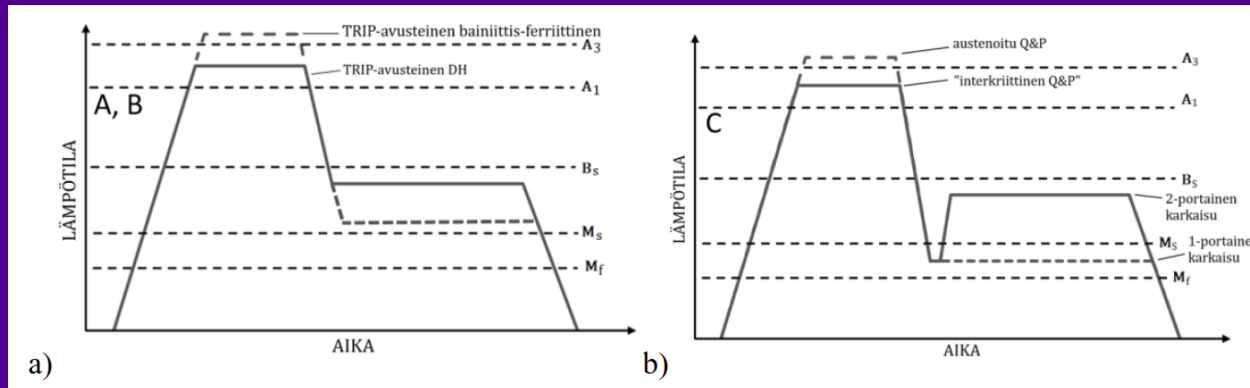
M³ – Multiphase, Multiscale, Metastable

TRIP avusteiset monifaasiteräkset, DH ja Q&P teräkset:

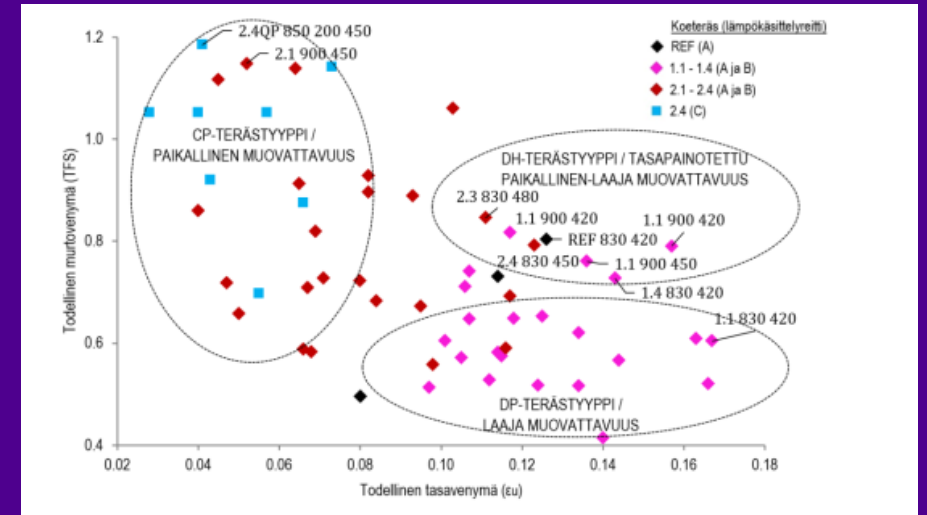
1.1 TRIP avusteinen (0.2C-1.5Mn-1Al)

2.4 Q&P (0.08C-2.6Mn-1Al)

ref. DH (0.14C-2.3Mn)



Oja & Peura, Ohutlevy-lehti 2021



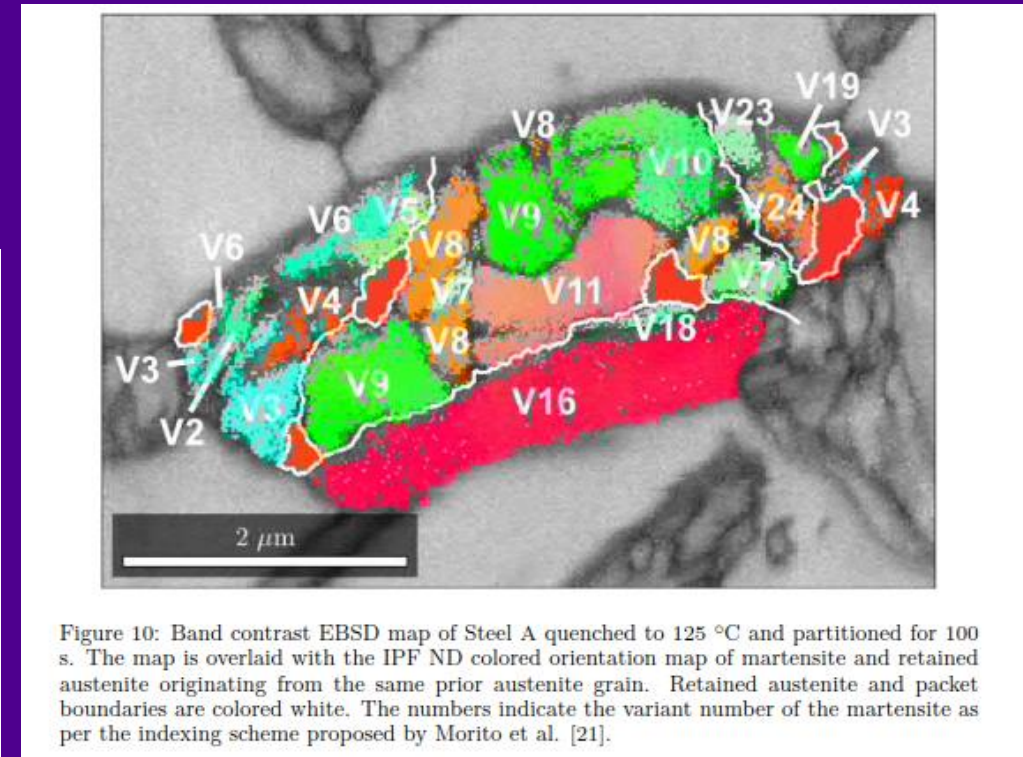
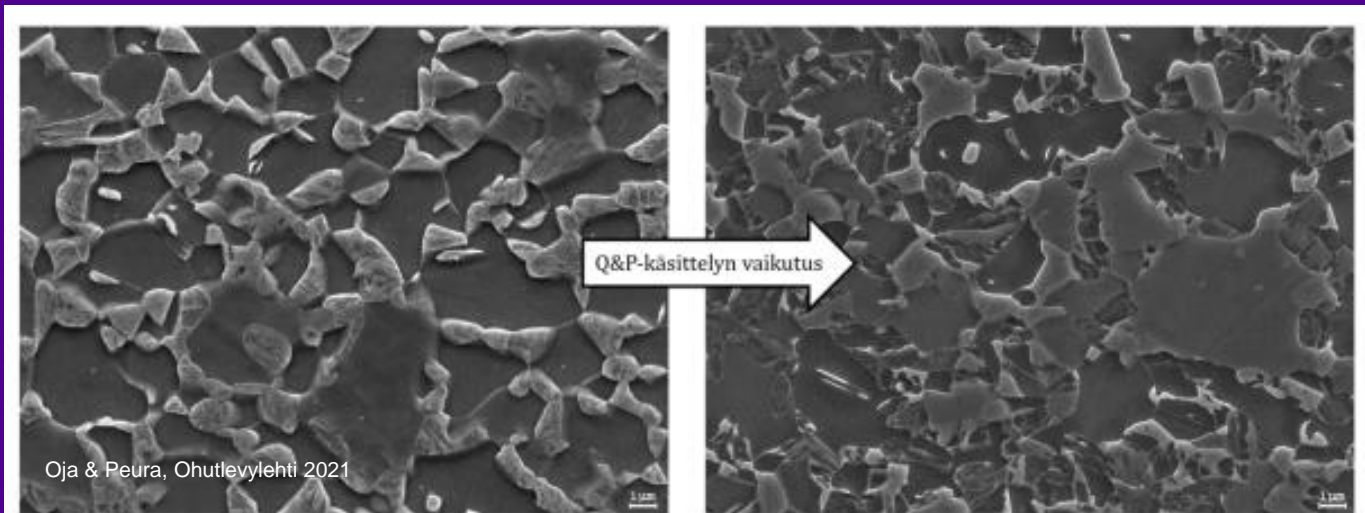
#	Koeteräs	Lämpökäsittelyreitti	Interkriittinen lämpötila [°C]	Hehkuusaika t _h [s]	Sammutuslämpötila QT [°C]	Pitoilämpötilä IBT / PT [°C]	Pitoaika t _{IBT} / t _{PT} [s]	R _{0.2} [MPa]	R _m [MPa]	R _{0.2} /R _m	A ₅ [%]	A [°]	n [4-6]	n [10-20/A ₅]	Todellinen lasaveri- nämä ε _u	Todellinen murtove- ri-nämä, TFS	Jäännösaustenitiin til-% (XRD)	Jäännösaustenitiin hiilipit. paino-%
1	REF	A	830	70		420	100	614	910	0.67	14.0	23.2	0.21	0.18	0.13	0.80	< 2	-
2	1.1	A	830	70		420	100	417	937	0.45	18.4	18.7	0.34	0.25	0.17	0.61	8.5	0.72
3	1.3	A	830	70		420	100	456	956	0.48	11.8	18.2	0.28	0.13	0.11	0.53	< 2	-
4	2.3	A	830	70		480	100	552	927	0.60	11.3	19.1	0.14	0.11	0.11	0.85	< 2	-
5	2.4	A	830	70		450	100	551	957	0.58	12.8	20.3	0.18	0.14	0.12	0.79	< 2	-
6	1.1	B	900	70		420	100	381	827	0.46	12.8	18.5	0.29	0.16	0.12	0.82	13.4	0.73
7	1.1	B	900	70		450	100	393	843	0.47	15.0	26.0	0.30	0.19	0.14	0.76	12.9	0.73
8	1.4	B	900	70		420	100	392	830	0.47	17.1	20.7	0.31	0.23	0.16	0.79	14.3	0.71
9	2.1	B	900	70		450	100	599	851	0.70	5.7	14.5	0.07	-	0.05	1.15	5.4	0.70
10	2.4	C	850	180	200	450	100	945	1028	0.92	4.7	10.8	0.04	-	0.04	1.19	3.1	0.89

Suorituskyvyn parantaminen

M³ – Multiphase, Multiscale, Metastable

TRIP avusteiset monifaasiteräkset, DH ja Q&P teräkset:

- Rakenne hienontuu
- Jännösausteniitti martensiittisäleiden välissä



Nyysönen et al. Materials Characterization 2018

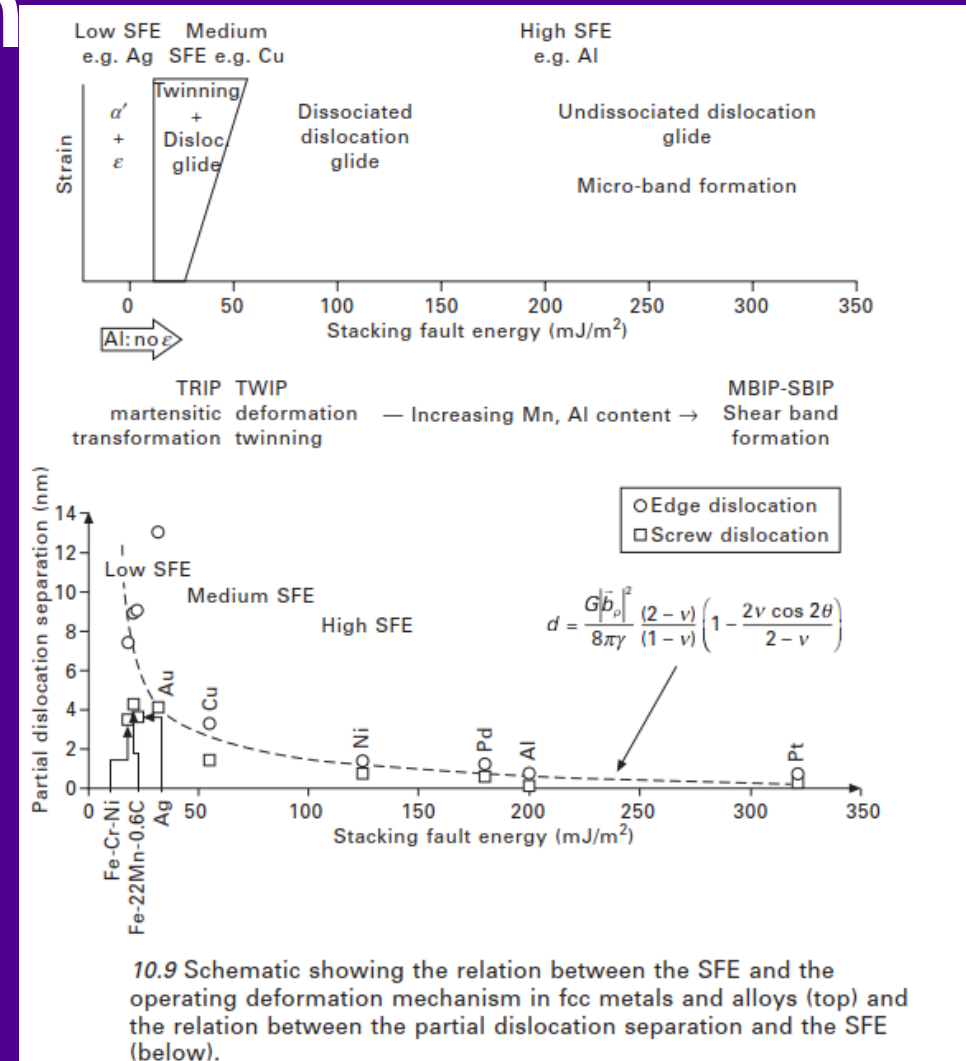
Suorituskyvyn parantaminen

M³ – Multiphase, Multiscale, Metastable

TWIP (TWinning Induced Plasticity) ja ”Kevyet” teräkset:

- TWIP teräkset ovat austeniittisia teräksiä, joiden muodonmuutosmekanismeja kontrolloidaan pinousvikaenergialla (SFE)
 - $SFE < 20 \text{ mJ/m}^2$ $\gamma \rightarrow \epsilon' (\rightarrow \alpha') \rightarrow$ TRIP
 - $SFE > 20 \text{ mJ/m}^2 \rightarrow$ TWIP (20 and 25 mJ/m^2 asteittainen muutos)
 - High SFE \gg slip (at least $>70 \text{ mJ/m}^2$)
- Tyypilliset koostumukset 15-30 % Mn, Al ja Si 2-4 %, C 0.005 -0.1 %

SFE on energia joka tarvitaan pinousvian muodostamiseen metallikiteessä

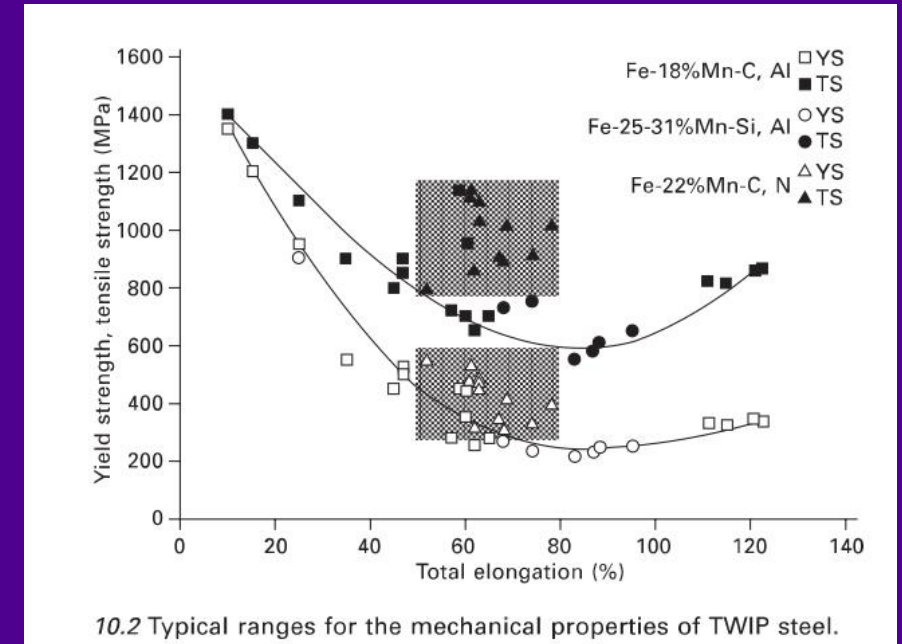
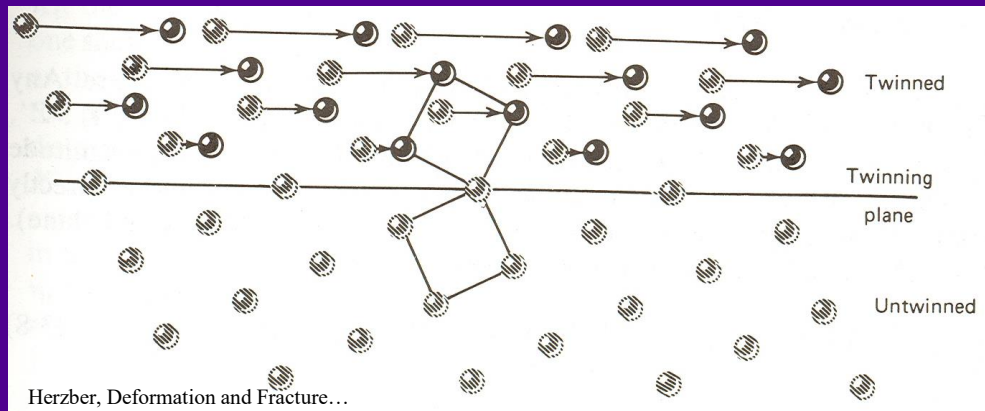


Suorituskyvyn parantaminen

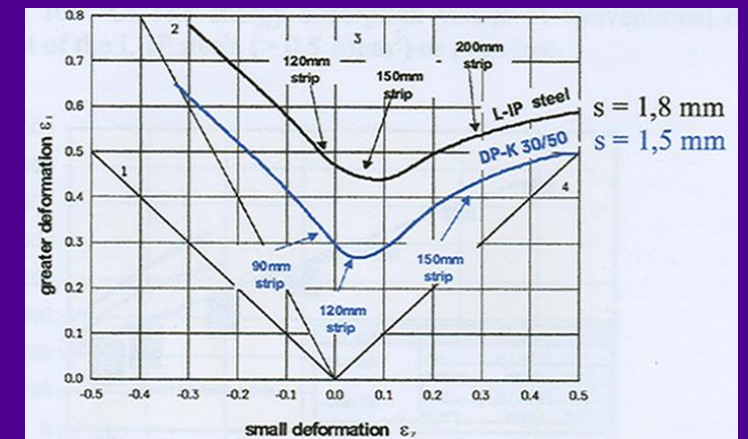
M³ – Multiphase, Multiscale, Metastable

TWIP (TWinning Induced Plasticity) ja ”Kevyet” teräkset:

- TWIP terästen murtovenymät kymmeniä prosentteja
- Muovattavuus erittäin hyvä
- Valmistus vaatii erikoislaitteita
- Puhtaat TWIP teräkset eivät muutu magneettisiksi muovauksessa
- Markkinoille tullut ruostumattomia teräksiä jotka hyödyntävät TWIP ilmiötä



Pereloma Edwals Phase transformation in Steels (de Cooman)



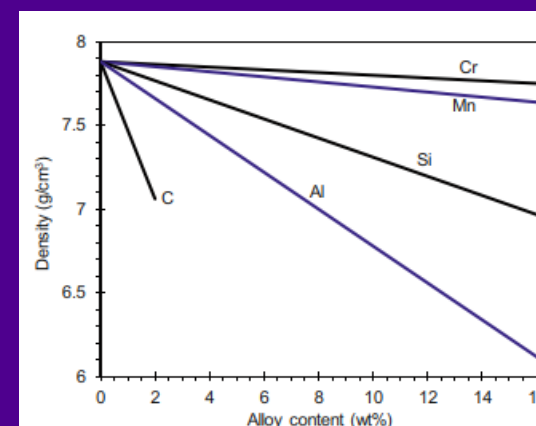
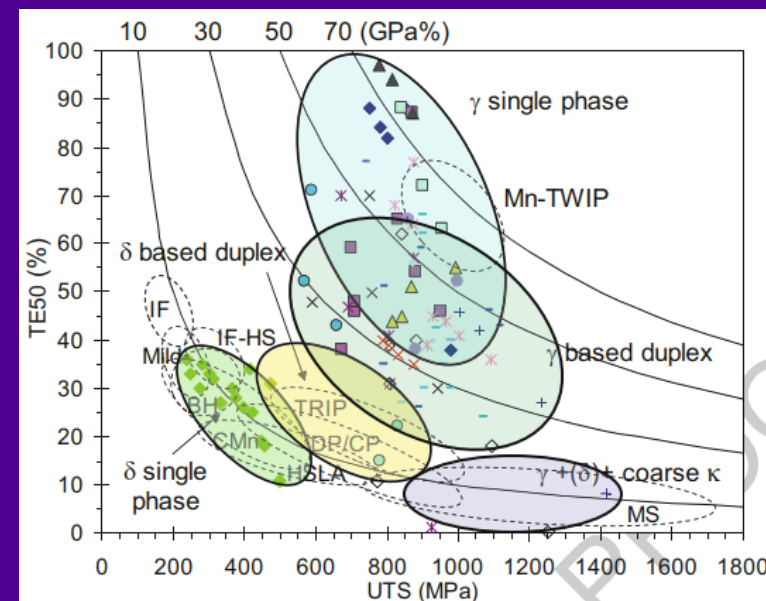
Ref: Thyssen)

Suorituskyvyn parantaminen

M³ – Multiphase, Multiscale, Metastable

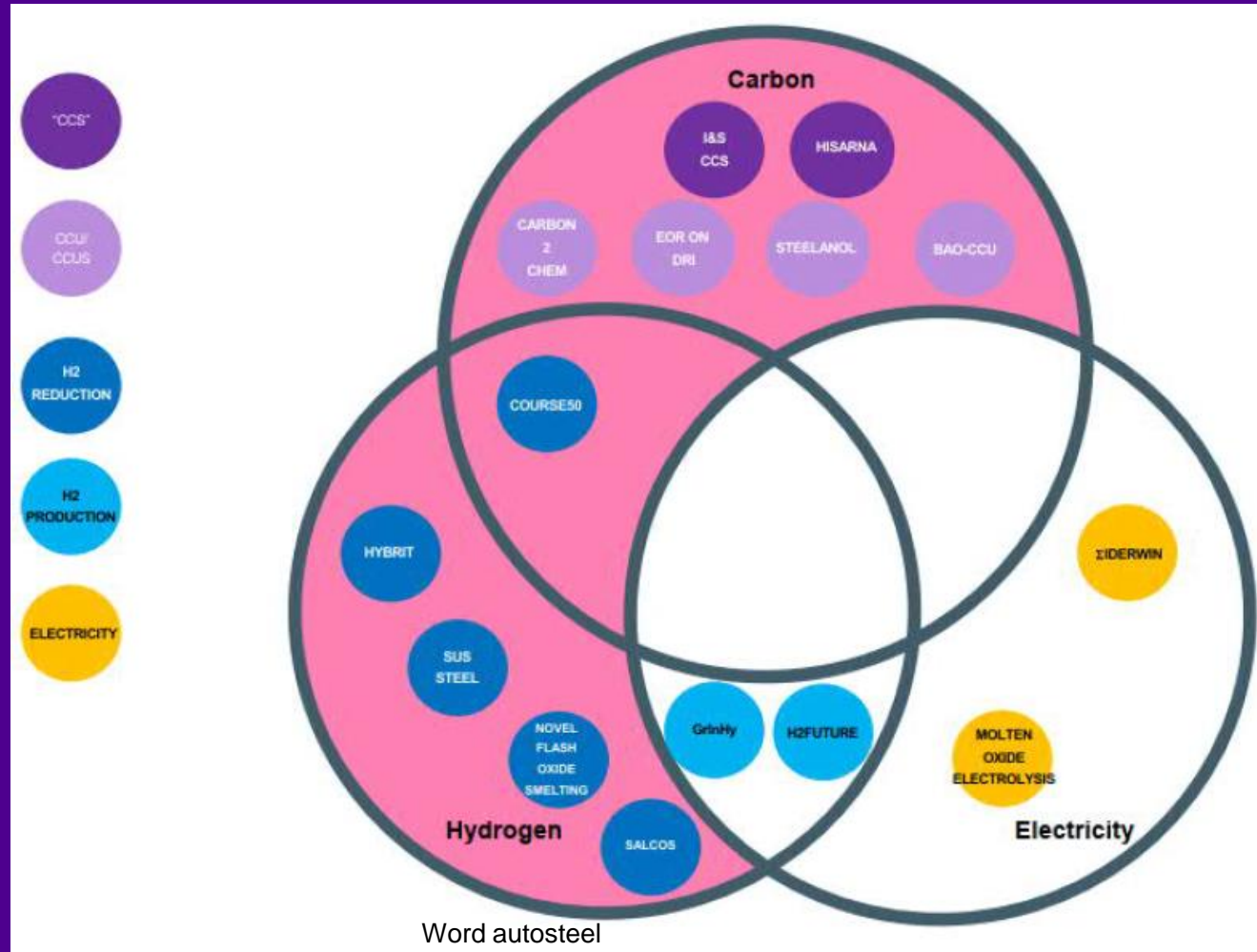
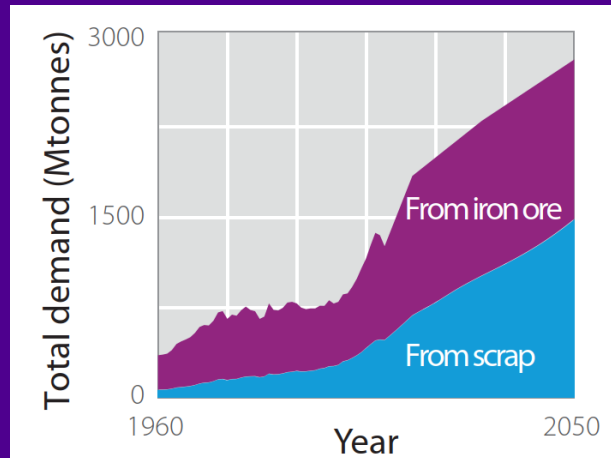
TWIP (TWinning Induced Plasticity) ja ”Kevyet” teräkset:

- Mahdollisuudet laskea teräksen tiheyttä Fe-Al ja Fe-Mn-Al seostuksella => korroosion ja hapettumisen kestävyys voi parantua
- Ferriittisiä, austeniittisiä tai duplex-teräksiä
 - 1 % Al vaikuttaa tiheyteen 1.3% (max 12%), vastaavasti 1 % Si vaikuttaa 0.8%
 - Saavutettavissa 11-15% tiheyden lasku
 - $\rho_{\text{ferriitti}} = 7.874 - 0.098 \text{ Al}$
 - $P_{\text{austeniitti}} = 8.15 - 0.101 \text{ Al} - 0.41 \text{ C} - 0.0085 \text{ Mn}$
 - Kimmomoduli alempi kuin hiiliteräksellä
- Useimmat austeniittiset saman tyyppisiä kuin TWIP -teräkset



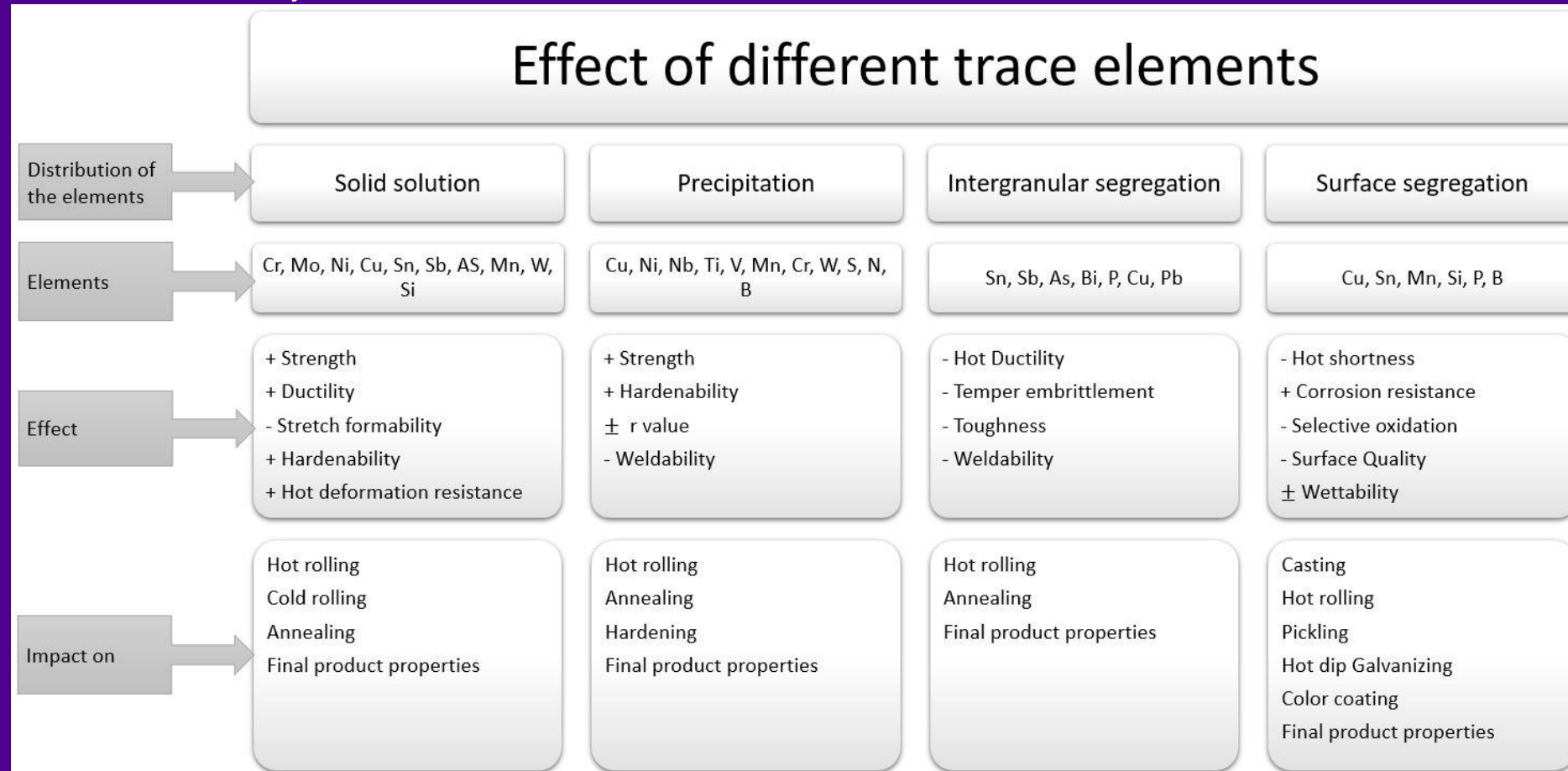
Fossiilivapaat teräkset

- Raaka-ainepohja muuttuu masuuniprosessin poistuessa
- Ympäristövaikutus muuttuu täysin!
- Romun käytön on ennustettu lisääntyvä
 - Osuus nyt 25% => 2050 50%
 - Tällä saattaa olla vaikutusta joihinkin terästuotteisiin jos romua ei lajitella riittävän hyvin



Fossiilivapaat teräkset

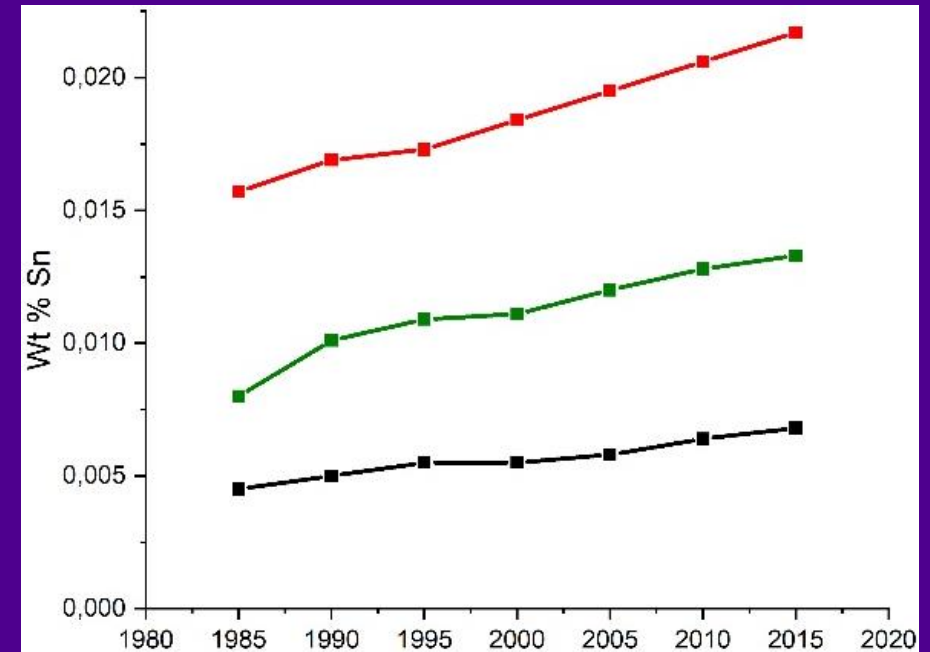
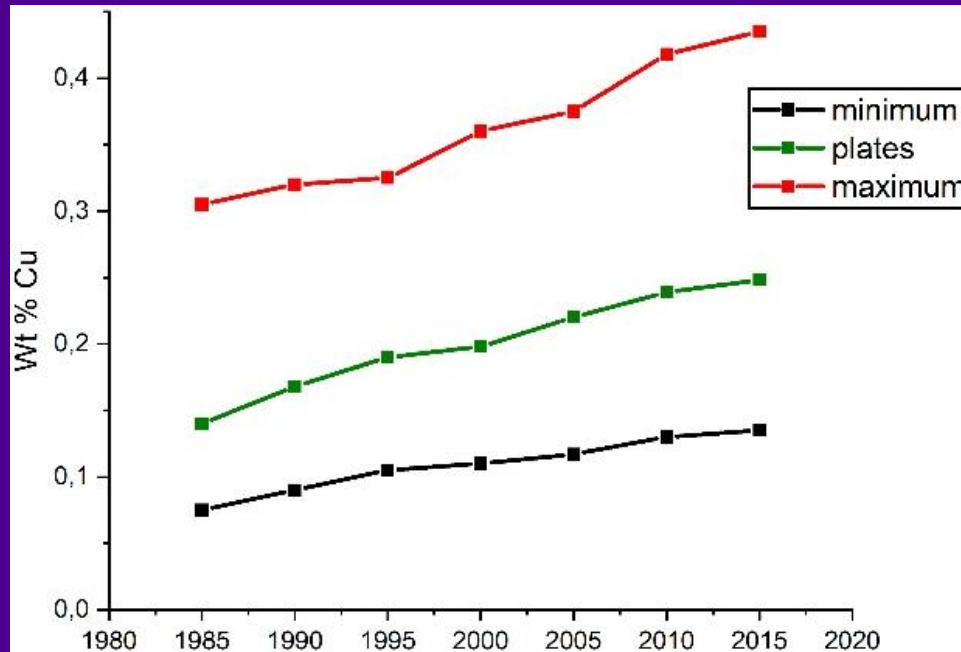
Romusta tulevat alkuaineet ja niiden vaikutus



Modified from O. Rod, C. Becker, and M. Nylén, "Opportunities and dangers of using residual elements in steels," *Lit. Study*, vol. 819, 2006, by Ali Sabr

Fossiilivapaat teräkset

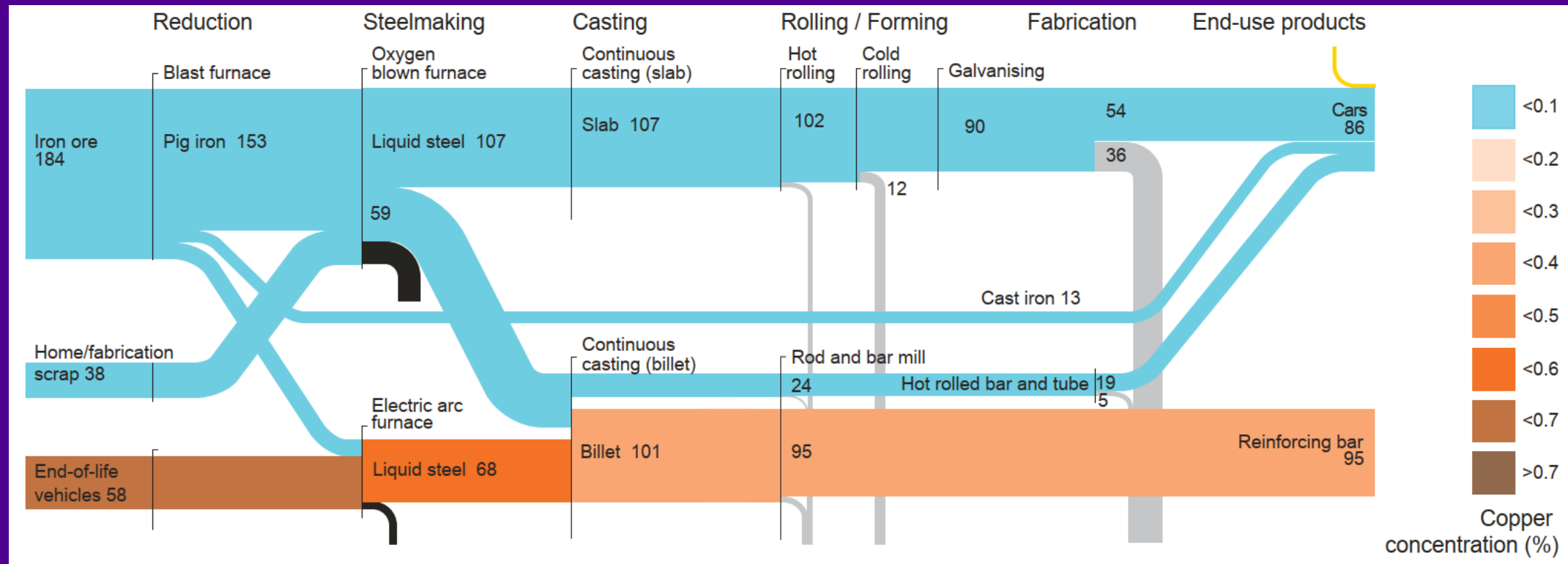
Kuparin ja tinan kertyminen,



Modifioitu lähteestä: S. Sato, M. Takeuchi, Y. Mizukami, and J. P. Birat, 'The Shinseiko Project : a new environment friendly steelmaking route based on scrap', *Rev. Métallurgie*, vol. 93, no. 4, pp. 473–483, Apr. 1996, doi: 10.1051/metal/199693040473.

Fossiilivapaat tuotteet:

- Romun kerääminen ja lajittelu oleellista
- Sähköuunien käyttäjillä on jo tarvittava kokemus olemassa



J. Allwood, A bright future for UK steel, A strategy for innovation and leadership through up-cycling and integration, University of Cambridge 2016

Yhteenveto

- Luonnonvarojen säästö ja päästöjen vähennystarve jatkavat nykyistä trendiä yhä lujempien terästen kehittämisessä
 - Hyödynnetään yhä monimutkaisempia mikrorakenteita ja prosesseja
 - Lujuuden lisäksi muut ominaisuudet tulevat kehittymään: **lujempaa - ohuempaa - muovattavampaa**
- Raaka-ainepohjan muutoksen (fossiilivapaa teräs) seurauksena teräkset tulevat muuttumaan, mikä voi näkyä myös käyttäjälle, joka **tapauksessa hiilijalanjälki tulee pienenevä**
- Suurin osa nykyisin käytössä olevista teräslaaduista on kehitetty (tai modifioitu) 25-30 vuoden aikana – todennäköisesti vastaava muutostahti tulee jatkumaan



