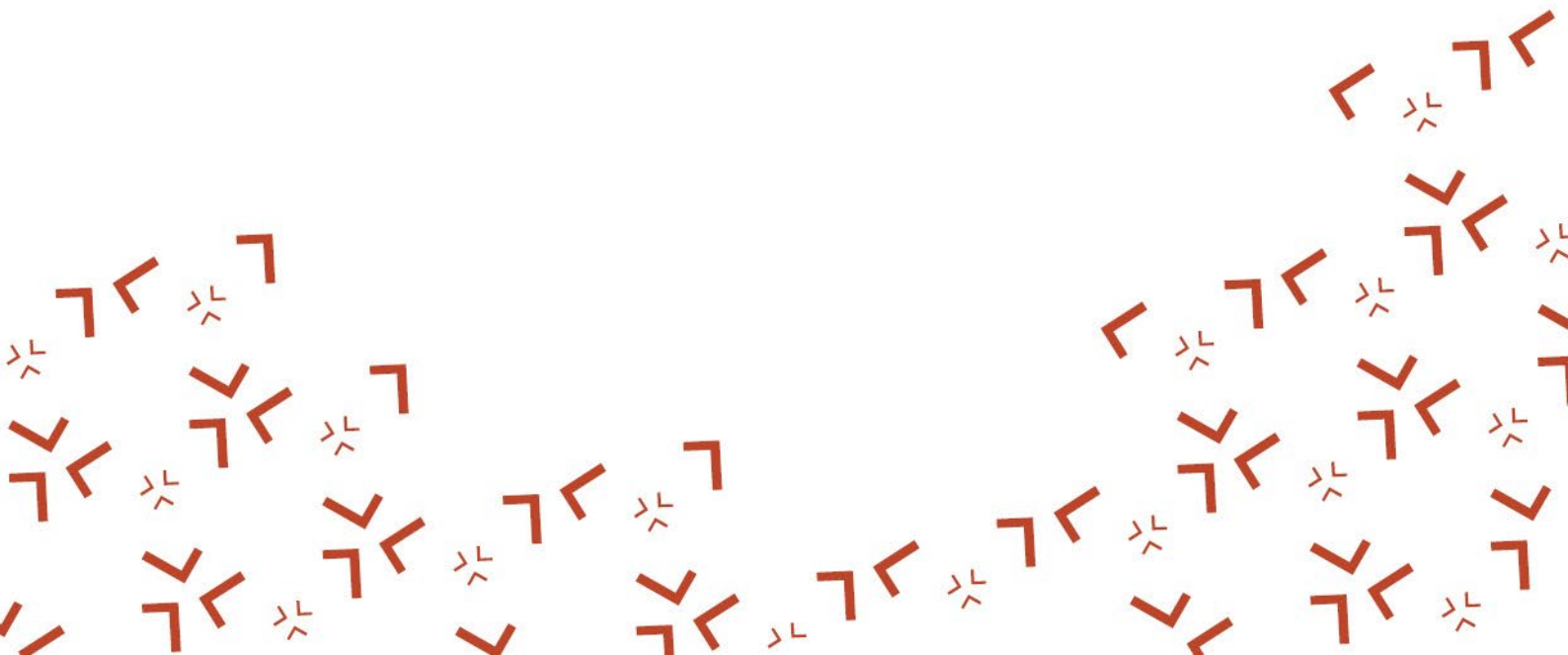


Tämä on alkuperäisen artikkelin rinnakkaistallenne (kustantajan versio).

Rinnakkaistallenteen sivuasettelut ja typografiset yksityiskohdat saattavat poiketa alkuperäisestä julkaisusta.

Käytä viittauksessa alkuperäistä lähdettä:

Kauppi, T. 2024. Ratakiskoterästen kunnostushitsaus. Hitsaustekniikka. 76 (4), 17-23.



Ratakiskoterästen kunnostushitsaus

■ **Timo Kauppi**

Suurin osa rautatieverkossa käytössä olevista ratakiskoteräksistä on koostumukseltaan ja mikrorakenteeltaan samanlaisia kuin ensimmäiset Englannissa vuonna 1857 Midlandin rautatiellä Derbyn asemalle asennetut kiskot. Kiskoihin tulee käytössä pintavikoja, jotka poistetaan ja kunnostushitsataan puikkohitsauksella. Hiilipitoisuuden (C = 0,40–0,80 %) perusteella ratakiskoteräksset luetaan huonosti hitsattaviksi teräksiksi.



Mangaaniteräsristeyksen kunnostushitsausta ja lämpötilan hallintaa jääpalojen avulla.

Vuonna 2019 Suomen rautateillä tehtiin lähes 93 miljoonaa henkilöliikenteen matkaa ja kuljetettiin 38,5 miljoonaa tonnia tavaraa. Junakilometrien kokonaismäärä jatkoi kasvuaan ja oli yhteensä 51,5 miljoonaa kilometriä. Junaliikenteen energian kulutus oli yhteensä 3,4 petajoulea (945 GWh). Petajouleissa mitattuna sähkön osuus oli 72 prosenttia ja dieselpolttonesteen osuus 28 prosenttia energian kulutuksesta. (Tilastokeskus 2024)

Suomen valtion rataverkon pituus vuonna 2022 oli 5 918 km, josta liikennöitävissä olevaa rataa on 5 645 km. Radoista on yksiraiteista 5 205 km ja kaksi- tai useampiraiteista 713 km. Suomen rataverkon raideleveys on 1524 mm, joka poikkeaa suurimmassa osassa muuta Eurooppaa käytettävästä 1435 mm:stä. Sähköradan jännite on 25 kV ja taajuus 50 Hz. Rataverkon suurimmalla osalla sallitaan 22,5 tonnin akselipaino. Osalla rataverkkoa on käytössä myös 25 tonnin akselipaino. Henkilöjunien suurin sallittu nopeus on 220 kilometriä tunnissa ja tavarajunien 120 kilometriä tunnissa. Vuosittain kunnossapitoon käytetään lähes 200 miljoonaa euroa. (Väylävirasto 2024)

Historiaa

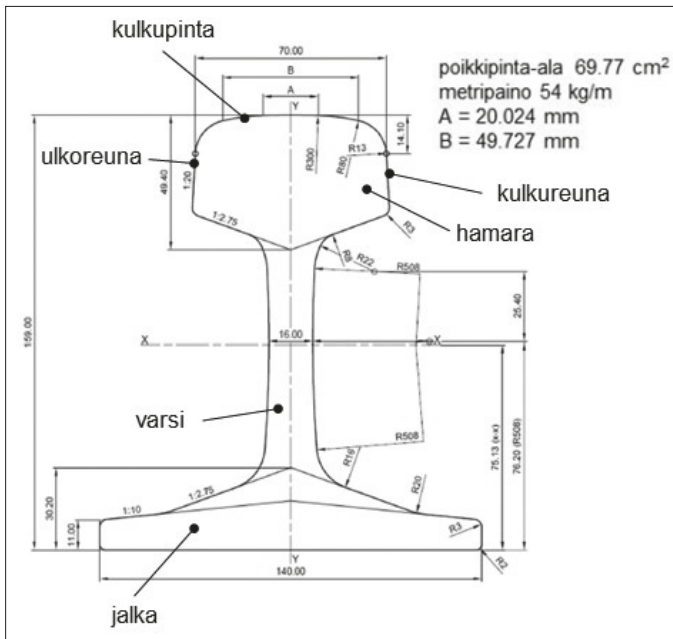
Ensimmäinen rautatie tehtiin Englannissa vuonna 1825, jolloin George Stephenson rakensi Stocktonin ja Darlingtonin kaupunkien välille radan kivihiilen kuljetusta varten. Rautatiellä liikennöineen tavarajunan voimanlähteenä toimi höyrykone. Raiteita tehtiin ensin puusta ja valuraudasta, mutta vuodesta 1870 eteenpäin niitä on tehty vain teräksestä. Ensimmäiset Bessemer-

prosessilla valmistetusta teräksestä tehdyt kiskot otettiin käyttöön Derbyn asemalla Englannissa vuonna 1857.

Käytettävien terästen kemiallinen koostumus vaihteli paljon ja v. 1880 tohtori C. B. Dudley suositteli USA:ssa matalahiilisten terästen käyttöä perustuen 64 teräslaadun tutkimiseen. Tutkimuksen tuloksena syntyi materiaalispesifikaatio ratakiskoteräkselle, jonka koostumus oli C = 0,25 %, P ≤ 0,10 %, Si = 0,4 % ja 0,30 % ≤ Mn ≤ 0,40 %. Ranskalainen insinööri Conard havaitsi puolestaan, että ranskalaiset ratakiskot, joiden hiilipitoisuus oli keskimäärin 0,86 % käyttöikä oli noin kaksinkertainen verrattuna Saksassa käytettyihin matalahiilisiin kiskoihin. (Walsh 1909, 10–11)

Suurin osa nykyisistä ratakiskoteräksistä on metallurgisesti samanlaisia kuin Derbyn asemalle 1857 asennetut kiskot eli perliittisiä C-Mn-teräksiä. Perliitti on suhteellisen pehmeän ferriitin (α) ja kovan sementiitin (Fe₃C) lamellaarinen seos. Tällainen mikrorakenne kestää hyvin junan pyörien aiheuttamaa kulumista mikrorakenteessa olevan kovan (≈ 820 HV) sementiitin ansiosta. Pehmeä ferriitti tuo rakenteeseen jonkin verran sitkeyttä. Ensimmäinen v. 1903 Englannissa standardisoitu ratakiskoteräs oli BS11, jonka vähimmäismurtolujuus oli 618 MPa. Kuluneen yli 140 vuoden aikana teräksen koostumus on optimoitu hiili- ja mangaanipitoisuuksien osalta. Sitkeyttä on saatu parannettua, koska epäpuhtauksien (riikki, fosfori, typpi ja vety) pitoisuudet saadaan nykyteknologialla hyvin matalalle tasolle. (University of Cambridge 2024)

Kiskoprofiileja on kehitetty myös useita erilaisia, mm. bull-head, T-rail-section ja



Kuva 1. Standardin SFS-EN 13674-1 mukainen 54E1 profiili. (SFS-EN 13674-1 2011, 59)

flat-bottom. Suomessa käytetään nykyisin leveäjalkaista (flat bottom) Vignole -kiskoprofiilia. Se otettiin alun perin käyttöön Englannissa 1836 Lontoon ja Croydonin väliselle radalle Charles Vignolen suosituksesta. Yhdysvalloissa samantyyppisen profiilin kehitti samoihin aikoihin. Robert L. Stevens Vuosien varrella profiilia on optimoitu mm. sisäisten jännitysten minimoimiseksi. (Britannica 2024). Kuvassa 1 nähdään yleisin Suomessa käytetty Standardin SFS-EN 13674-1 mukainen 54E1 kiskoprofiilin päämitat ja sen eri osien nimitykset.

Standardi SFS-EN 13674-1

Euroopassa standardisoidut Vignole-kiskot on määritelty standardissa SFS-EN 13674-1 (Railway applications. Track. Rail. Part 1: Vignole railway rails 46 kg/m and above). Standardista ei ole suomenkielistä käännöstä. Standardissa on määritelty yhdeksän (9) perliittistä ratakiskoterästä (taulukko 1). Nimikkeessä oleva numerosarja tarkoittaa ko. teräksen vähimmäiskovuutta (HBW).

Kovuuden kasvaessa kiskon kulutuskestävyys paranee, joten kovempia laatuja pyritään käyttämään raskaammin liikennöidyillä raiteilla sekä paikoissa, jotka ovat alttiita voimakkaalle kulumiselle. Kiskon mikrorakenteeseen ja mekaanisiin ominaisuuksiin voidaan seostuksen ohella vaikuttaa myös lämpökäsittelyllä, jolla kiskon hamaraan tuotetaan hienoperliittinen mikrorakenne. Tavalliseen mikrorakenteeseen nähden hienoperliittisellä rakenteella saavutetaan suurempi kovuus ja lujuus ilman oleellista sitkeyden laskua. Teräkset R350HT ja R350LHT ovat lämpökäsittelylaatuja.

Kiskon varressa olevasta valssausmerkinnästä selviävät kiskon valmistaja, valmistusaika, profiili, valmistusprosessi ja teräslaatu, kuva 2. Teräkset ovat seostamattomia C-Mn-teräksiä, joiden hiilipitoisuudet vaihtelevat välillä 0,40–0,80 % ja mangaanipitoisuudet välillä 0,65–1,75 %. Terästen mikrorakenteen pitää olla täysin perliittinen eikä martensiittia ja/tai bainiittia saa esiintyä. Vain laadussa R260Mn sallitaan ferriittiä raerajoilla. Standardin SFS-EN 13674-1 vaatimukset kemialliselle koostumukselle on annettu taulukossa 2.

Standardin SFS-EN 13674-1 vaatimusten mukaan kiskon valmistajan on valvottava tuotteen laatua määrätyn vähimmäistestien. Testit jaetaan kelpoisuus- ja hyväksyntätesteihin (qualifying and acceptance test).

Kiskojen kelpoisuustesteissä testataan seuraavia ominaisuuksia:

- murtumisitkeyttä K_C
- väsymissärön kasvunopeutta
- kiskon jalan jäännösjännityksiä
- murtolujuutta ja -venymää
- suotautumista
- lämpökäsittelyjen kiskojen kulkupinnan keskiliinjan kovuuden vaihtelua

Taulukko 1. Standardissa SFS-EN 13674-1 määritellyt ratakiskoteräokset.

Teräs		Kovuusalue (HBW)	Kuvaus	Valssausmerkintä	
Nimike	EN numero tunnus				
R200	1.0521	200-240	seostamaton (C-Mn) ja ei-lämpökäsittely	ei valssausmerkintää	
R220	1.0524	220-260	seostamaton (C-Mn) ja ei-lämpökäsittely	—	
R260	1.0623	260-300	seostamaton (C-Mn) ja ei-lämpökäsittely	—	
R260Mn	1.0624	260-300	seostamaton (C-Mn) ja ei-lämpökäsittely	—	
R320Cr	1.0915	320-360	seostettu (1 %Cr) ja ei-lämpökäsittely	—	
R350HT	1.0631	350-390	seostamaton (C-Mn) ja lämpökäsittely	—	—
R350LHT	1.0632	350-390	seostamaton (C-Mn) ja lämpökäsittely	—	—
R370CrHT	1.0992	370-410	seostettu (C-Mn) ja lämpökäsittely	—	—
R400HT	1.1254	400-440	seostamaton (C-Mn) ja lämpökäsittely	—	—



Kuva 2. Valssausmerkintä Thyssenin v. 1999 valmistamassa kiskossa.

Taulukko 3. Kaaripäällehitsauksessa käytettävien lisäaineiden kemiallisia koostumuksia.

Luokittelumerkintä	%C	%Si	%Mn	%Cr	%Mo	%V	%Ni	%Cu	CEV
ISO 18275-A E 55 4 MnMo B 3 2 H5	0.07	0.46	1.62	0.1	0.44	0.02	0.1	0.02	0.46
EN 14700 E Fe1	0.11	0.66	0.8	3.0	0.01	0.01	-	-	0.85
EN 14700 E Z Fe1	0.12	0.3	0.6	3.9	0.1	0.02	0.02	0.02	1.03

Kunnostushitsauksen metallurgia

Standardin SFS-EN 13674-1 mukaisten ratakiskoterästen koostumus on lähes eutektoidinen, mikä mahdollistaa täysin perliittisen mikrorakenteen syntymisen. Tähän vaaditaan kuitenkin riittävän hidas jäähtymisnopeus. Kuvassa 5 on esitetty R260 tyyppiselle ratakiskoteräkselle JMatPro® ohjelmistolla mallinnettu CCT-kuvaaja. Sen perusteella jäähtymisajan $t_{8/5}$ pitää olla selvästi yli 30 s halutun mikrorakenteen aikaansaamiseksi. Khan ym. tutkimuksessa

havaittiin, että jäähtymisnopeuden ollessa välillä 1–4 °C/s, austeniitti hajaantuu kokonaan perliitiksi. Tämä vastaa jäähtymisaikaväliä $t_{8/5} = 75\text{--}300$ s. Oulun yliopistolla tutkittiin jäähtymisnopeuden vaikutusta R260 tyyppisen ratakiskoteräksen mikrorakenteeseen ja kovuuteen (Finnilä 2019). Tuloksien perusteella $t_{8/5} \approx 80$ s tuotti hienojakoisen perliittisen mikrorakenteen, jossa kovuus oli keskimäärin 339 HV. Täysin martensiittisen mikrorakenteen kovuus oli hieman yli 900 HV.

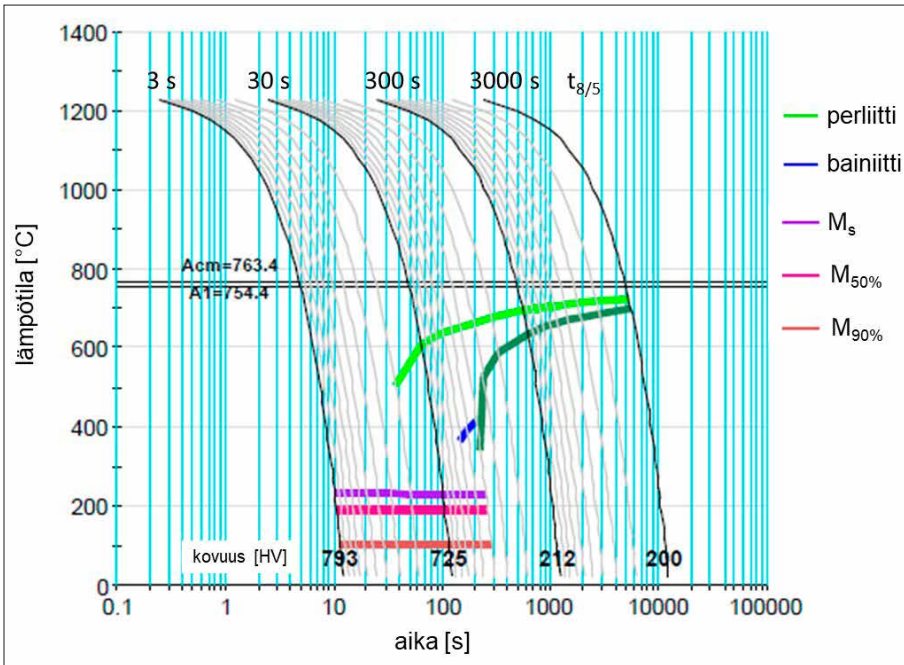
Väylävirasto on tehnyt standardin SFS-EN 15594 (Kiskoliikenne. Rata. Kiskojen

kunnostaminen kaarihitsausmenetelmällä) vaatimusten mukaan hitsauslisäaineiden ja hitsausohjeiden hyväksymistestejä, joiden perusteella tehtyjä hitsausohjeita on julkaistu urakoitsijoiden käyttöön. Hitsin jäähtymistä hidastetaan esikuumentamalla kisko 350–400 °C lämpötilaan ennen hitsausta. Kunnostushitsauksessa käytettävillä lämmöntuoneilla ($Q = 0,6\text{--}1,0$ kJ/mm) laskennallinen jäähtymisaika $t_{8/5}$ vaihtelee välillä n. 20–35 s. Tällä saadaan muutosvyöhykkeen mikrorakenne säilymään perliittisenä ja kovahitsiin kovuudeltaan vaatimustenmukainen mikrorakenne.

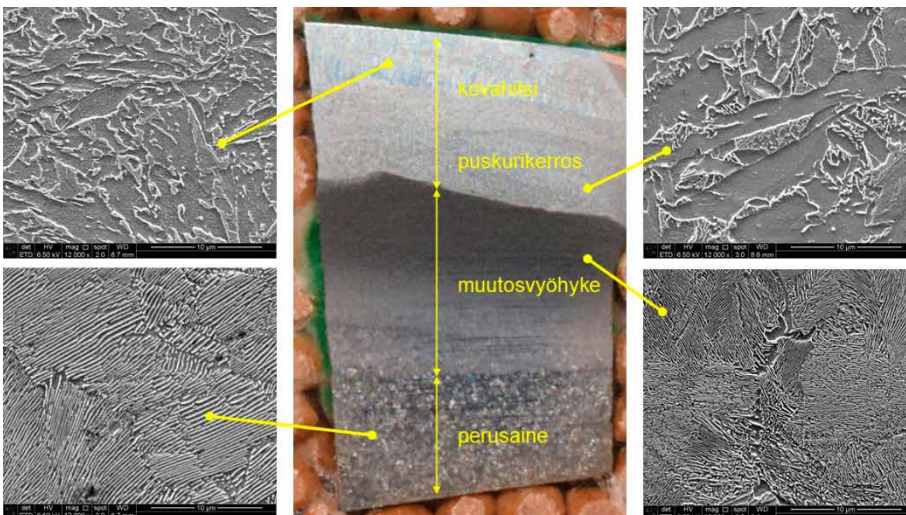
Kuvassa 6 nähdään kaaripäällehitsatun R260 ratakiskoteräksen makro- ja mikrorakennetta. Ratakiskoteräksen muutosvyöhyke poikkeaa hyvin paljon alieutektoidisten ferriittisten terästen hitsauksessa syntyvästä. Sularajan viereen ei tässä tapauksessa synny karkearakeista aluetta (CGHAZ). Sen sijaan syntyy alue, jossa austeniittiin hajaantuessa syntyvä perliittinen mikrorakenne on hienompaa kuin muuttumattomassa perusaineessa. Tämä on nähtävissä kuvasta 7, jonka perusteella perliitin lamellitäisyys on sularajan vieressä selvästi pienempi kuin muuttumattomassa perusaineessa. Tällä on vaikutusta mekaanisiin ominaisuuksiin eli lujuus ja kovuus kasvavat lamellitäisyyden pienentyessä. Rakenteen hienonemista on havaittu mm. Weingrill ym. tekemässä tutkimuksessa, jossa perliitin morfologian muuttumisen todetaan johtuvan yksinkertaisesti hitsauksen aiheuttamasta lämpösyklisestä. (Weingrill ym. 2019, 6)

Mikrorakenteen hienoneminen johtuu todennäköisesti siitä, että hitsauksen yhteydessä austenitoituneen alueen perinnäinen austeniitin raekoko jää pienemmäksi kuin kiskon valmistuksen yhteydessä. Khan tutki lämmöntuonin ja esikuumentuslämpötilan vaikutusta perliittisen ratakiskoteräksen mekaanisiin ominaisuuksiin yhdellä palolla tehdyssä päällehitsauksessa. Tutkimuksessa määritettiin myös perinnäisen austeniitin raekoko sularajan vieressä ja tulokset lämmöntuonin vaikutuksesta siihen on esitetty kuvassa 8. Kuvan perusteella kunnostushitsauksessa hitsausohjeiden mukaisilla lämmöntuoneilla perinnäisen austeniitin raekoko vaihtelisi välillä n. 22–32 µm.

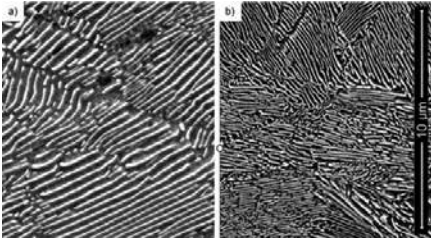
Mikrorakenteen hienoneminen näkyy kovuudessa, joka nousee perusaineeseen verrattuna. Väylävirastolta käyttöön saatujen R260 ratakiskoteräksen ainesodistusten perusteella uusien kiskojen kovuus on vaihdellut välillä 272–285 HV. Lapin AMKissa ja Oulun yliopistossa on analysoitu kiskonkatkeamia vuoden 2021



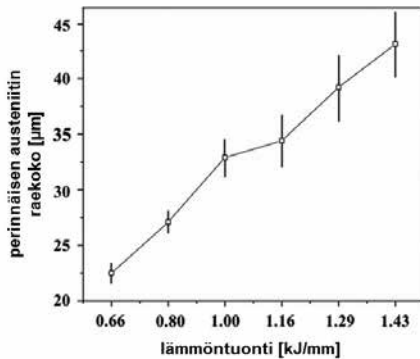
Kuva 5. R260 tyyppisen ratakiskoteräksen CCT-käyrä JMatPro® ohjelmistolla mallinnettuna, austenitointilämpötila $T_\gamma = 1350$ °C.



Kuva 6. Puikkopäällehitsatun R260-ratakiskoteräksen makro- ja mikrorakennetta.



Kuva 7. Puikkopäällehitsatun R260-ratakiskoteräksen mikrorakennetta, a) muuttamaton perusaine ja b) muutosvyöhykettä sularajan vieressä.



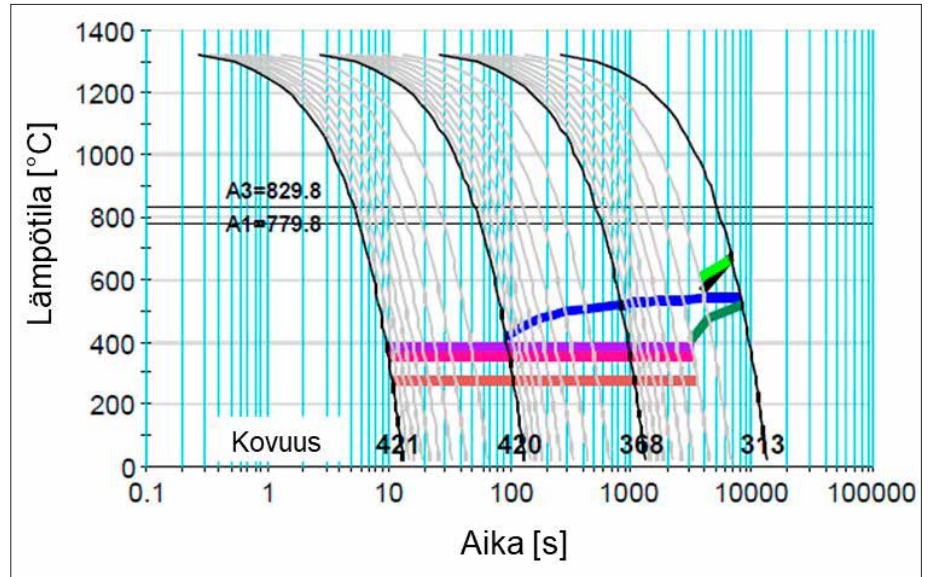
Kuva 8. Lämmöntuonnin vaikutus perinnäisen austeniitin raekokoon perillisen ratakiskoteräksen hitsauksessa. (Khan ym. 2019, 6 muokattu)

alusta lähtien. Katkeamia on analysoitu n. 120 kpl ja niistä n. 46 % on ollut puikkopäällehitsattuja kiskoja. Niiden kovuudet ovat sularajan vieressä tyypillisesti luokkaa n. 300 HV, mikä on odotettavissa perusainetta hienojakoisemman perillisen mikrorakenteen ansiosta.

Kovahitsauslisäaineet

Käytettävät kovahitsauslisäaineet ovat niukkahiilisiä ($C \approx 0,1-0,2 \%$) ja kromilla seostettuja ($Cr = 1,5-4,0 \%$) teräksiä. Lisäainevalmistajien teknisten tietojen perusteella käytettyjen kovahitsauslisäaineiden puhtaan hitsiaineen kovuudet vaihtelevat välillä 280–430 HV. Kuvassa 9 on esitetty ESAB:in Weartrode 30 tyyppiselle kovahitsauspuikolle JMatPro® ohjelmistolla mallinnettu CCT-kuvaaja. Kuvan mukaan puhtaan hitsiaineen suurin kovuus on 420 HV. Kokeessa, jossa puhdas hitsiaine austenitoidtiin lämpötilassa $T = 1060 \text{ }^\circ\text{C}$ ja sammutettiin veteen, kovuus oli keskimäärin 454 HV. Matalammassa lämpötilassa $T = 960 \text{ }^\circ\text{C}$ austenitoidun näytteen kovuus jäi arvoon n. 400 HV, mikä johtui luultavasti siitä, että rakenteessa olleet kromikarbidit eivät liunneet täysin ja matriisin hiilipitoisuus jäi matalammaksi kuin korkeammassa lämpötilassa tehdyssä austenitoinnissa.

Kovahitsin mikrorakenne on martensiittinen tai martensiittis-bainiittinen. Yleisen teorian mukaan martensiitin kovuus riippuu lähinnä hiilipitoisuudesta ja sitä voidaan arvioida esim. Lorenzin ja Dürenin kaavalla:



Kuva 9. Weartrode 30 kovahitsauspuikoilla hitsatun hitsin CCT-kuvaaja.

$$HV_m = 802 \times \%C + 305 [1]$$

Ratakiskoterästen kunnostushitsauksessa saa käyttää neljää (4) kovahitsauspuikkoa, jotka ovat: ESAB:in Weartrode 30 ja Weartrode 30HD, Voest Alpinen UTP DUR 350 sekä Kjellberg Finsterwalden Fidur 350. Niiden hiilipitoisuudet vaihtelevat välillä n. 0,1–0,2 %. Tästä kaavalla 1 laskettuna puhtaan, sekoittumattoman hitsin kovuus vaihtelisi välillä n. 385–465 HV. Sekoittumisen vaikutuksesta hitsin hiilipitoisuus nousee ensimmäisissä 2–3 palokkeroksessa. Sekoittumisaste vaihtelee puikkohitsauksessa tyypillisesti välillä 10–30 %, jolloin sekoittuneen hitsin hiilipitoisuus voi nousta arvoon n. 0,28–0,35 % ja tällöin martensiitin kovuus voi olla jo lähes 600 HV. Käytännössä ratakiskoteräksen ja kovahitsiaineen väliin hitsataan ensin puskurikerros MnMo-niukkaseosteisella E 55 4 MnMo B 3 2 H5 tyyppisellä puikolla (OK 74.78), jonka karkenevuus on paljon pienempi kuin kovahitsauslisäaineiden. Tällä menettelyllä vältetään kovahitsauslisäaineen liiallinen sekoittuminen.

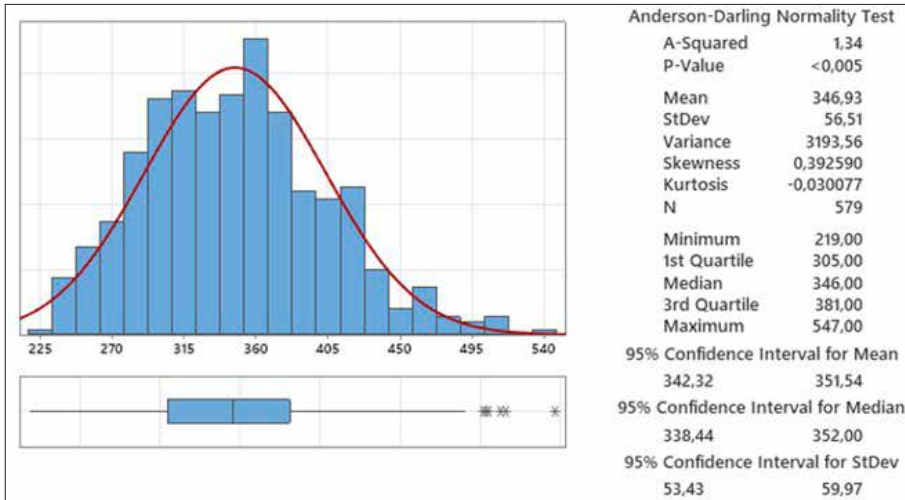
Hitsin korkea kovuus johtaa kylmähalkeiluherkkyyteen aivan kuten karkenevilla teräksillä yleensäkin. Standardissa SFS-EN 15594 (Kiskoliikenne. Rata. Kiskojen kunnostaminen kaarihitsausmenetelmällä) onkin annettu kovuuden yläraja, taulukko 4. Käytännössä kunnostushitsauksessa käytettävä esikuumennuslämpötila hidastaa jäähtymistä siten, että kovuuden

pitäisi jäädä alle 400 HV. Kiskonkatkeamissa on kuitenkin löytnyt selvästi tätä korkeampia kovuuksia. Pelkästään vuoden 2024 vaurioselvityksissä kaaripäällehitteistä mitatuista kovuuksista lähes viidesosa (18 %) oli yli 400 HV, kuva 10.

Kirjallisuudessa on esitetty, että ratakiskon hamarassa oleva vedyn aiheuttama kylmähalkeama voi toimia alkusärönä väsymismurtumalle. Halkeamia syntyy n. 10–15 mm syvyydelle (Zakharov ym. 2001, 3–57). Valtaosa analysoiduista kaaripäällehitsien katkeamista on väsymismurtumien aiheuttamia. Englanninkielisessä terminologiassa murtumaa kutsutaan nimellä "Tache ovale" tai "Shatter crack". Se on helppo tunnistaa murtopinnan ulkonäön perusteella, kuva 11. Osa kiskonkatkeamista johtuu siitä, että vetyhalkeama ydintää kunnostushitsattuun kiskoon väsymissärön, joka edetessään toimii alkulovena kiskon lopullisesti murtavalle haurasmurtumalle. Kiskonkatkeamat ajoittuvat valtaosin talvikuukausille, jolloin haurasmurtuman syntyminen on helpompaa ja todennäköisempää. Kunnostushitsausta tehdään maastossa, useasti kylmissä ja kosteissa olosuhteissa. Tämän lisäksi rata voi olla liikenteeltä suljettuna hyvinkin rajallisen ajan, jolloin ei ole aikaa tehdä hitsauskohdan asianmukaista suojaamista, minkä seurauksena vedyn lähteitä on tarjolla useita. Toinen mahdollinen väsymismurtuman ydintymispaikka ovat sisäiset hitsausvirheet, kuten liitosvirheet, kuva 12 ja kuonasulkeumat. (Kallander 2015, 23)

Taulukko 4. Pinnan kovuuden ja pinnanalaisen kovuuden testauksen kovuusvaatimukset (SFS-EN 15594 2009, 26).

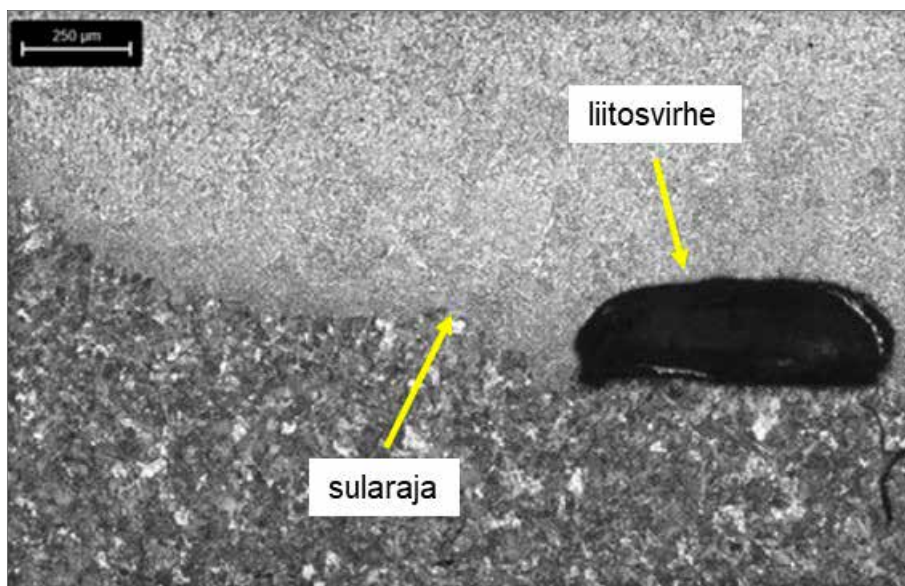
Teräslaatu	Kohta	Yksi kerros	Monta kerrosta
R200, R220, R260, R260Mn, R320Cr	pinta	enintään 380 HBW	290 HBW – 340 HBW
	pinnan alapuolella	ei sovellettavissa	enintään 400 HV10
R350HT	pinta	enintään 400 HBW	340 HBW – 390 HBW
	pinnan alapuolella	ei sovellettavissa	enintään 400 HV10



Kuva 10. Murtuneiden päällehitsien kovuuksia.

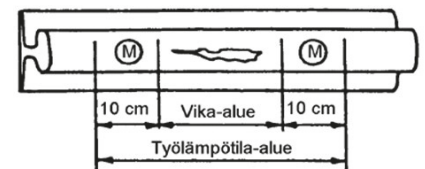


Kuva 11. "Tache ovale" murtuma.



Kuva 12. Liitosvirhe päällehitsin sularajalla.

Päällehitsien suuret kovuudet johtuvat siitä, että työlämpötila laskee liikaa hitsauskohdan lämpötilan tulee olla 350–400 °C. Työlämpötila-alue ulottuu 100 mm päähän vika-alueen molemmista päistä, kuva 13. Koska työlämpötilan käyttäytymistä ei ole tutkittu, on mahdotonta arvioida sitä, kuinka nopeasti työlämpötila-alueen lämpötila laskee sen ulkopuolella olevasta kylmemmästä kiskomassasta johtuen. Toisena haasteena on se, että käytettävissä ei myöskään ole täsmällistä tietoa jäähtymisnopeuden vaikutuksesta kovahitsauslisäaineen kovuuteen. Käytännössä tilanne on se, että päällehitsauksen aloituksessa työlämpötila on ollut sallituissa rajoissa. Tämän osoittaa se, että muutosvyöhykkeen kovuudet kiskonkatkeamissa ovat maltillisia ja mikrorakenne perliittinen. Yli 400 HV kovuudet kovahitseinissä puolestaan osoittavat sen, että hitsauksen edessä työlämpötilan on täytynyt laskea niin paljon, että jäähtymisnopeus on kasvanut riittävän suureksi täysin martensiittisen mikrorakenteen muodostumiseen.



Kuva 13. Kunnostushitsauksessa käytettävä työlämpötila-alue.

Bainiittiset ratakiskoteräks

Bainiittisiä ratakiskoteräksiä on tutkittu ja kehitetty 2000-luvulla. Tavoitteena on ollut parantaa mm. kulumisen kestävyyttä, sitkeyttä ja vierintäväsytymisen kestävyttä. Tutkimuksia löytyy runsaasti ja niiden perusteella seokset ovat pääasiassa karbidivapaita bainiittisiä teräksiä (CFB). Myös mikrorakenteeltaan alabainiittisiä olevia kiskoteräslaatuja (LB) on testattu. (Stock & Pippin 2011, 127)

Karbidivapaiden bainiittisten CFB terästen valmistuksessa hyödynnetään sopivaa kemiallista koostumusta (Si, Cr, Mo, V seostus), jolloin haluttu mikrorakenne saadaan aikaiseksi kohtuullisen laajalla jäähtymisnopeusalueella. Alabainiittisten ratakiskoterästen (LB) valmistus puolestaan edellyttää tarkkaa jäähtymisnopeuden hallintaa ja on haastavampaa. (Stock & Pippin 2011, 125). Saarstahl Rail tekee CFB ratakiskoteräs laatuja B320 ja B360 Hayangen terästehtaalla Ranskassa (Saarstahl 2024). Tämäntyyppisissä teräksissä sementtiin muodostuminen estetään n. 1,5 % piiseostuksella (Si). Terästen mikrorakenteessa on bainiitin lisäksi jäännösausteniittia. Niiden myötölujuudet ovat luokkaa 870 MPa ja kovuudet luokkaa 340 HBW. Karbidivapaa bainiittisen teräksen mikrorakenne on kompleksinen koostuen bainiitista, jäännösausteniitista-

ta ja martensiitti-austeniiitti saarekkeista (MAC). (Lesage ym. 2022)

Uuden tutkimuksen mukaan laboratoriotestit ovat osoittaneet, että samalla kovuustasolla bainiittisten terästen kulumiskestävyys on huonompi kuin perliittisen (Clayton ym. 1993). Lesagen ym. tutkimuksen mukaan bainiittisen B320 teräksen kulumiskestävyys oli huonompi, mutta vierintäväsytymisen kestävyys huomattavasti parempi kuin perliittisellä R260 teräksellä. (Lesage ym. 2022, 28)

Matalan hiilipitoisuuden ansiosta karbidivapaiden bainiittisten ratakiskoterästen hitsattavuus on perliittisiä parempi. Hitsausta on mahdollista tehdä jopa ilman esikuumennusta. Muutosvyöhykkeen faasisuhteet poikkeavat perusaineesta: jäännösaustenitiin määrä on pienempi ja martensiittis-austeniiittisten saarekkeiden (MAC) määrä suurempi. (Krejci & Mohyla 2009, 46–47)

Eurooppalaista ja kansallista tutkimus- ja kehitystyötä

Vuosina 2015–2017 läpiviedyssä ”In2Rail” Horizon 2020 hankkeessa tehtiin laaja tutkimus kiskovikojen kunnostushitsauksista (Kallander 2015). Tutkimuksessa oli mukana organisaatiota Ruotsista, Englannista, Espanjasta ja Ranskasta. Tutkimukseen osallistuneissa maissa kunnostushitsausta tehdään useammalla hitsausprosessilla, näitä ovat:

- puikkohitsaus (prosessi 111)
- täytelankahitsaus: täytelankahitsaus ilman suojakaasua (prosessi 114) ja MAG-täytelankahitsaus (prosessi 136)
- termiittihitsaus (prosessi 71), jossa vikakohtasta leikataan mahdollisimman lyhyt palanen pois ja johon hitsataan tilalle uusi palanen kahdella termiittihitsillä
- leimuhitsaus (prosessi 24), jossa vikakohtaan muotoillaan kiilamainen hitsauspohja, johon
- liitetään korjauspala leimuhitsaamalla
- hamaran korjaukseen tarkoitettu termiittihitsaus (HRW tai HWR), jossa hitsattava syvyys voi olla 5–8 mm hamaran alapinnasta

Puikkohitsauksesta raportissa todettiin mm., että se on haastavaa ja hitsien laatu riippuu huomattavan paljon hitsaajan ammattitaidosta ja huolellisuudesta. Samassa yhteydessä todettiin, että vikojen poistamisen ja/tai hitsauksen yhteydessä sularajalle tai sen läheisyyteen jääneet hitsausvirheet (liitosvirheet ja huokokset) toimivat väsymismurtuman alkusäröinä. Koska virhekohta on erittäin pieni, niin niiden havaitseminen tarkastuksessa käytettävällä perinteisellä pulssikaikutekniikalla tehtävällä ultraäänitarkastuksella on käytännössä mahdotonta. (Kallander 2015, 22–23)

Raportin perusteella Ruotsissa käytetään samantyyppisiä kovahitsauslisäaineita kuin Suomessa (Esab OK 83.28, OK 83.29 ja Oerlikon Citorail). Englannissa

sen sijaan on käytössä lisäaineita, jotka on tarkoitettu kuormalujen 2,25 % Cr, 1,0 % Mo tyyppisten (10CrMo910) terästen hitsaukseen (Filarc KV3L, Böehler CM 2 KB ja Oerlikon Chromoly 21). (Kallander 2015, 20)

Raportin mukaan täytelankahitsauksen etuja puikkohitsaukseen verrattuna ovat:

- mahdollisuus mekanisointiin, mikä parantaa hitsin laatua
- sulan parempi hallinta ohuemman (Ø 1,6 mm) lisäainelangan ansiosta
- tuottavuus on puikkohitsausta parempi

Täytelankahitsausta käytetään monissa Euroopan maissa, mm. Ruotsissa ja Tanskassa. Suomessa se ei ole käytössä.

Suomessa Väylävirasto koordinoi kansallista kehitystyötä ja sen tuloksena on tehty mm. EN 15594 standardin vaatimusten mukainen hitsauslisäaineiden hyväksyntämenettely kunnostushitsauksessa käytettäville lisäaineille. Urakoitsijoilla on käytössään hyväksyntään perustuvat hitsausohjeet eri ratakiskoteräslaaduilla. Vuoden 2022 alusta lähtien urakoitsijoilta on edellytetty ISO 3834-2 vaatimusten mukaista sertifiointia ja IWE tasoista päähitsauskoordinaattoria. Kiskonkatkeamien analysoinnissa saatujen tulosten perusteella on pidetty koulutuksia, joissa on painotettu lämpötilanhallintaa ja käyty läpi hitsin laadunhallintaan vaikuttavia tekijöitä. Ultraäänitarkastuksen tekniikkaa ja siihen liittyvän ultraäänitarkastajan koulutuksen sisältöjä on kehitetty.

Lähteet

Britannica. 2024. Internet sivusto. Luettu 13.4.2024. Luettavissa: <https://www.britannica.com/technology/railroad/Rail>.

Clayton P et. al. 1993. A review of bainitic steels for wheel/rail contact. Rail Quality and Maintenance. for Modern Railway Operation. Kluwer. Dordrecht. The Netherlands. pp. 41-51.

Finnilä M. 2019. R260 kiskomateriaalin mikrorakennetutkimus ja kovuusmittaus. Fysikaalisen metallurgian harjoitustyö. Oulun yliopisto.

Kallander S. 2015. Investigation of Repair Methods and Welding Techniques. Innovative Intelligent Rail (In2Rail). Horizon 2020 project. <http://www.in2rail.eu/Page.aspx?CAT=DELIVERABLES&IdPage=69d2e365-3355-45d4-bb3c-5d4ba797a3ac>

Kauppinen M. Ratakiskon elinkaari. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä. 1/2011. Liikennevirasto. Helsinki. Verkkojulkaisu. Haettu 14.4.2024. Haettavissa https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/121395/lts_2011-01_978-952-255-611-0.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Khan A.R., Yu S., Wang H. & Jiang Y. 2019. Effect of Cooling Rate on Microstructure and Mechanical Properties in the CGHAZ of Electroslag Welded Pearlitic Rail Steel. *Metals* 2019, 9, 742; doi:10.3390/met9070742.

Khan A.R., Shengfu Y. & Wang H. 2019. Influence of Heat Input and Preheating on Microstructure and Mechanical Properties of Coarse Grain Heat-Affected Zone of Metal Arc Gas-Welded Pearlitic Rail Steel. *Journal of Materials Engineering and Performance*. December. 2019. <https://doi.org/10.1007/s11665-019-04486-1>.

Krejci L. & Mohyla P. 2009. The bainitic steels for rails applications. *Materials Engineering*. October 2009.

Lesage T., Avettand-Fènoël M. N., Balloy D., Assaf S., Cristofari F. & Secordel P. 2022. Head check resistance of B320 bainitic rail steel grade. Web – dokumentti. Viitattu 21.6.2024. Saatavissa <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352492822001350>.

Stock R. & Pippin R. RCF and wear in theory and practice—The influence of rail grade on wear and RCF. *Wear* 271 (2011) 125–133. Doi: 10.1016/j.wear.2010.10.015.

University of Cambridge. 2024. Internet sivusto. Luettu 13.4.2024. Luettavissa: <https://www.phase-trans.msm.cam.ac.uk/parliament.html>.

Walsh W. J. The History of Steel Railway Rails. University of Illinois. Digitized by the Internet Archive in 2013. Haettu 12.4.2024.

Weingrill L., Schwald M., Frühstück D., Faustmann C. & Enzinger N. 2019. MATEC Web of Conferences 269, 02001 (2019). <https://doi.org/10.1051/mateconf/201926902001>.

Zakharov S.M., Tournay H., Edersöhn W., Lundgren J. & Harris W. J. 2001. Guidelines to Best Practices for Heavy Haul Railway Operations: Wheel and Rail Interface Issues. International Heavy Haul Association. ISBN: 5 89277 037 0.

Zerbst U., Lundén R., Edel K.-O. & Smith R.A. 2009. Introduction to the damage tolerance behaviour of railway rails – a review. *Engineering Fracture Mechanics* 76 (2009) 2563–2601. doi:10.1016/j.engfracmech.2009.09.003.

**Timo Kauppi, IWE, IWI-C, TkL
Oulun yliopisto / Lapin AMK
timo.kauppi@lapinamk.fi**