

Jonni Urho

# Kuumasinkitysajan vaikutus kalvon paksuuteen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Materiaali- ja pintakäsittelytekniikka

ka

Insinööriytyö

14.5.2017

Tekijä Otsikko	Jonni Urho Kuumasinkitysajan vaikutus kalvon paksuuteen
Sivumäärä Aika	38 sivua + 20 liitettä 14.5.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Materiaali- ja pintakäsittelytekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja	Yliopettaja Kai Laitinen
<p>Insinööriyössä tutkittiin kuumasinkitysajan vaikutusta teräkseen syntyvän kuumasinkkikalvon paksuuteen. Normaalisti tuotannon yhteydessä kuumasinkitysaikaa ei mitata.</p> <p>Testit suoritettiin Hyvinkään Kuumagalvanointi Oy:n tehtaalla. Työssä selvitettiin, kuinka paljon teräsprofiilien pinnoitepaksuus kasvaa 5, 7, 9 ja 11 minuutin upotusajoilla, kun profiilin muoto ja alkuainepitoisuudet vaihtelevat. Erimuotoisia teräsprofiileja oli yhdeksän. Koekappaleiden pii-pitoisuudet vaihtelivat 0,17–0,21 %, fosforipitoisuudet olivat 0,006–0,026 %. Pii-pitoisuus yhdistettynä fosforipitoisuuteen oli tärkein alkuaine tekijä pinnoitteen kasvunopeuteen.</p> <p>Koekappaleiden pinnoitepaksuus mitattiin standardin SFS EN ISO 1461 mukaan, ja arvoja verrattiin kirjallisuudessa esiintyviin arvoihin.</p> <p>Työn tuloksissa huomattiin, että kuumasinkitettävien kappaleiden pinnoitepaksuus kasvaa, kun upotusaika pitenee. Standardin mukaisiin pinnoitepaksuuksiin päästiin kaikilla koekappaleilla jo lyhyimmällä kastoajalla, joten kuumaupotus kannattaa suorittaa lyhyellä kastoajalla. HKG:n ei tarvitse jatkossakaan mitata kuumasinkitysaikaa.</p>	
Avainsanat	Kuumasinkitys, kastoaika, upotusaika

Author(s) Title	Jonni Urho Impact of the casting time of hot – dip galvanizing
Number of Pages Date	38 pages + 20 appendices 14 May 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Material Technology and Surface Engineering
Specialisation option	
Instructor(s)	Kai Laitinen
<p>The purpose of this thesis was to examine how the casting time of hot-dip galvanization affects the thickness of zinc layer. Normally in production, hot-dip galvanizing time is not measured.</p> <p>The tests were performed in the HKG factory. The aim of the test was to determine how much the thickness of the zinc layer increases when the casting time of hot-dip galvanization was five minutes, seven minutes, nine minutes and eleven minutes and when the steel profiles and chemical element concentrations varied. There were nine different steel profiles. The silicon concentration was between 0.17 – 0.21 %, while the phosphor concentration was between 0.006 – 0.026 %. Silicon concentration combined to phosphor concentration was most important chemical element factor that affected the zinc layer thickness.</p> <p>Thicknesses of zinc layers were measured accordance with the SFS EN ISO 1461 standard, and those values were compared to the literature values.</p> <p>The results of the experiments showed that the thickness of the zinc layer increases with time. In every test sample, zinc layer thicknesses meeting the standard SFS EN ISO 1461 were reached in the shortest five-minute casting time. The conclusion was that hot dip should be performed in a short dipping time. HKG should not need measure the hot-dipping time at future.</p>	
Keywords	hot-dip galvanization

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Kuumasinkitys	1
3	Kappaletavaran kuumasinkitysprosessi	3
4	Kuumasinkitetyn kappaleen mikrorakenteen muodostuminen	7
5	Sinkkipinnoitteen kasvu	12
6	Teräksen seosaineiden vaikutus sinkkikerroksen paksuuteen	14
7	Sinkkikylvyn koostumus	18
8	Kuumasinkitysstandardi SFS – EN ISO 1461	21
9	Tutkimuksen suoritus	24
9.1	Koekappaleet	25
9.2	Mittausmenetelmä	26
9.3	Kuumasinkitys	27
9.4	Koetulokset	27
9.5	Tulosten tarkastelu	33
10	Yhteenveto	37
	Lähteet	38

### Liitteet

Liite 1. 15 mm x 60 mm:n ainetodistus

Liite 2. 100 mm x 100 mm x 5 mm:n ainetodistus

Liite 3. 120 mm x 80 mm x 5 mm:n ainetodistus

Liite 4. 120 mm x 120 mm x 5 mm:n ainetodistus

Liite 5. 200 mm x 200 mm x 8 mm:n ainetodistus

Liite 6. 100 mm x 50 mm x 8 mm:n ainetodistus

Liite 7. 80 mm x 80 mm x 5 mm:n ainetodistus

Liite 8. HEB 240:n ainetodistus

Liite 9. UPE 200:n ainetodistus

- Liite 10. 100 mm x 100 mm x 5 mm koekappaleiden upotusajat ja keskiarvot
- Liite 11. 80 mm x 80 mm x 5mm koekappaleiden upotusajat ja keskiarvot
- Liite 12. 120 mm x 120 mm x 5 mm koekappaleiden upotusajat ja keskiarvot
- Liite 13. 200 mm 200 mm 8 mm koekappaleiden upotusajat ja keskiarvo
- Liite 14. 120 mm x 80 mm x 5 mm koekappaleiden upotusajat ja keskiarvo
- Liite 15. HEB 240 koekappaleiden upotusajat ja keskiarvo
- Liite 16. UPE 200 koekappaleiden upotusajat ja keskiarvo
- Liite 17. 100 mm x 50 mm 8 mm koekappaleiden upotusajat ja keskiarvo
- Liite 18. 15 mm x 60 mm koekappaleiden upotusajat ja keskiarvo
- Liite 19. Kuvia koekappaleista
- Liite 20. Elcometer 456 TOP magneettinen mittari

## Lyhenteet

HCL	Suolahappo (vetykloridihappo), on vahva happo, jolla poistetaan ruoste ja valssihilse kuumasinkitettävän kappaleen pinnalta.
µm	Mikrometri. Miljoonasosa metristä, joka on pituuden SI-yksikkö.
Faasi	Olomuotoalue, jota erottaa rajapinta toisesta faasista. Kuumasinkityksessä muodostuu rauta-sinkki (Fe-Zn)-seokseen erilaisia faaseja riippuen lämpötilasta ja kappaleen alkuainepitoisuudesta.
Si	Pii. Alkuaine joka kuuluu puolimetalleihin. Teräksen pii-pitoisuus vaikuttaa olennaisesti sen kuumasinkitysominaisuuksiin. Kuumasinkitystä ei voida suorittaa Si alueella 0,04–0,15 % (Sandelinin alue).

## 1 Johdanto

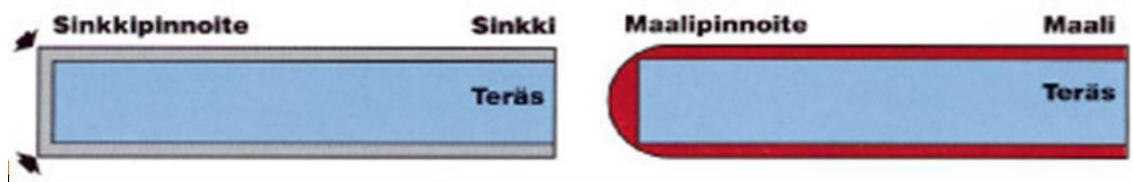
Tämä insinööriyö aihe sai alkunsa syksyllä 2016 keskustellessa tutkintovastaavan ja HKG Oy:n eli Hyvinkään Kuumagalvanointi Oy yrityksen kanssa. HKG Oy hämeenlinnalainen yritys joka tarjoaa asiakkailleen kuumasinkityspalveluita koko Suomeen. Lisäksi HKG tarjoaa hiekkapuhallus- maalaus- ja kuljetuspalveluita yhteistyökumppaneiden kautta. HKG:n lähtökohtana on joustava ja nopea palvelu ja korkea laatu. Lisäksi HKG pyrkii asiakaslähtöisyyteen sekä tuotteiden korkeaan laatuun. Yrityksellä on myös standardien ISO 9001:2008 ja ISO 14001:2004 mukaiset laatu- ja ympäristöjärjestelmien sertifiikatit.

Tässä insinööriyössä tutkitaan, kuinka sinkkikalvon paksuus kasvaa ajan funktiona eri pii-pitoisuuksia sisältävien metallien pinnalla. Työssä käsitellään kappaletavaran kuumasinkitysprosessia. Aiheesta löytyy aiemmin mitattuja teoreettisia arvoja, mutta koska jokainen sinkkikylpy sisältää eri pitoisuuksia eri alkuaineita eivät teoreettiset arvot vastaa todellisuutta. Työn pohjalta HKG voi optimoida kuumasinkitysprosessejaan. Kuumasinkitysaltaan mitat ovat 13 x 2,8 x 1,65 m ja kuumasinkitysalta on Suomen suurin. [1.]

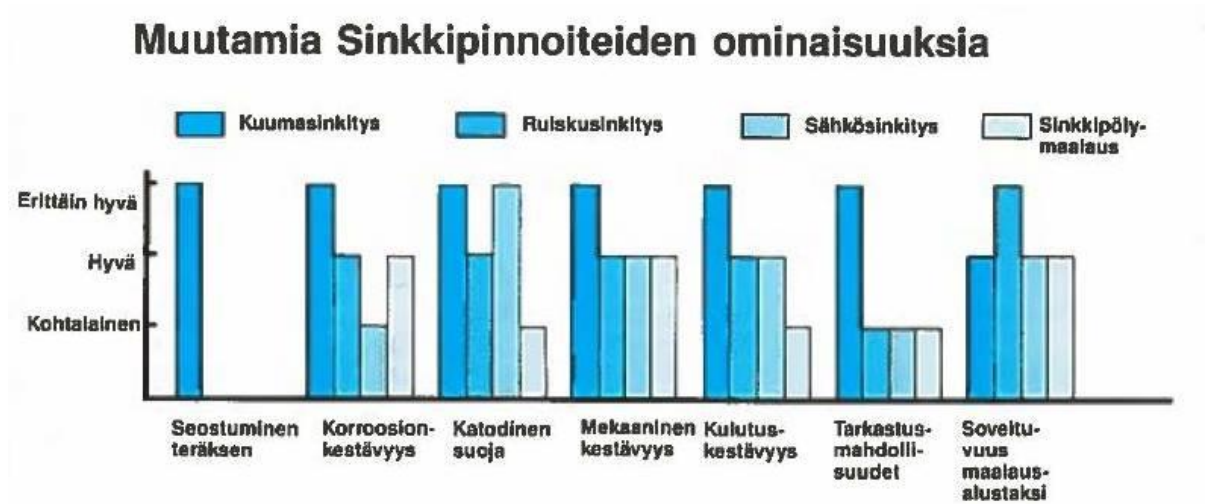
## 2 Kuumasinkitys

Kuumasinkitys on kestävä, ympäristöystävällinen, taloudellinen sekä yleisin metallinen suojausmenetelmä, jossa teräs kastetaan sulaan sinkkikylpyyn, jonka lämpötila on 450–460 celsiusastetta kappaletavaran sinkityksessä. Ohutlevyn kuumasinkityksessä kylvyn lämpötila on noin 550 celsiusastetta. Kuumasinkityksessä teräksen pintaan muodostuu erilaisia faaseja, jotka sisältävät eri määrän rautaa ja sinkkiä. Kuumasinkityksen etuina on alhainen hinta, hyvä mekaaninen kestävyys, teräksen katodinen suojaus, sulan sinkin tunkeutuvuus rakenteen sisäosiin, helppo laadunvarmistus ja että nurkat sekä vaikeat pääsyiset pinnat peittyvät yhtä hyvin kuin tasopinnat (kuva 1 ja kuva 2). Kuumasinkityksen huonoja puolia ovat, että se voidaan suorittaa vain laitoksissa, sinkkialtaan koko rajoittaa kappaleen mittoja sekä ulkonäköä voidaan muuttaa vain maalaamalla. Kuumasinkitystä käytetään rakennusteollisuudessa, rautatie- maantie- ja voimalinjarakentamisessa sekä kulkuneuvo- ja konepajakanteissa (kuva 3). Kappale-

kuumasinkityksessä syntyvän kalvon paksuus on 50 - 200 mikrometriä. [2; 3, s. 3; 4, s. 10–11.]

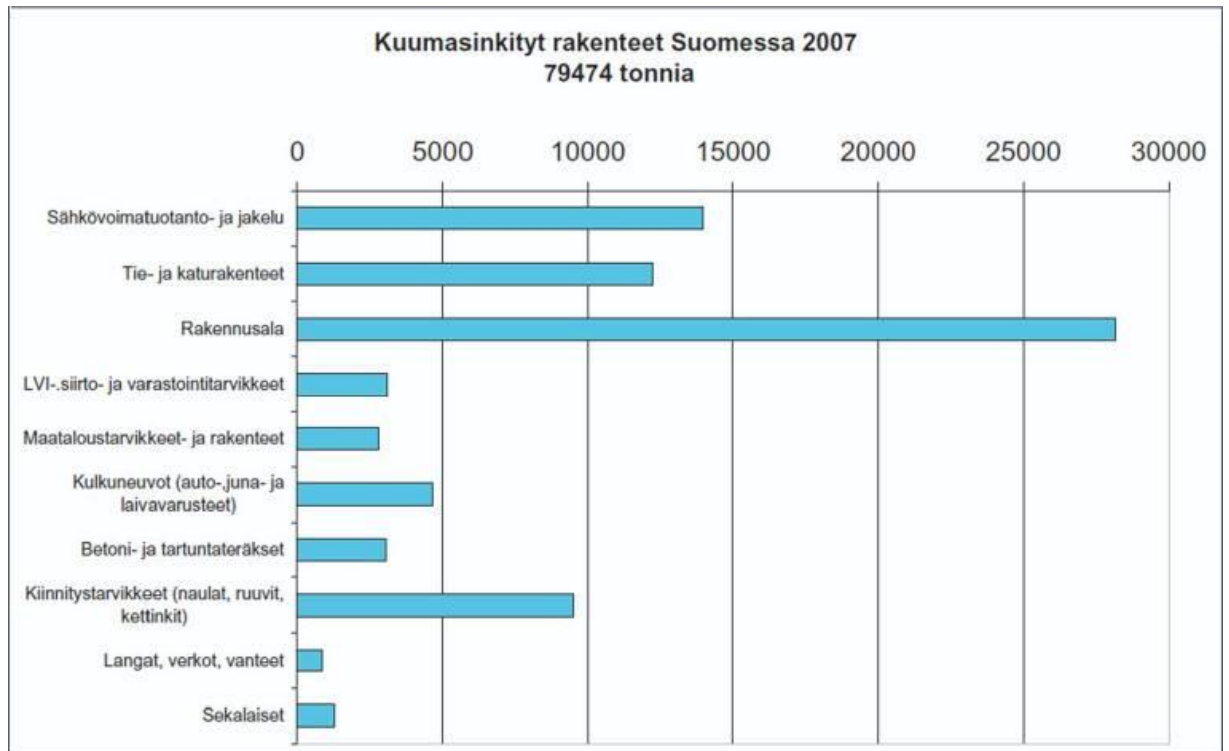


Kuva 1. Kuumasinkitetty teräs ja maalattu teräs [4, s. 10]



Kuva 2. Kuumasinkityksen pinnoitteen ominaisuudet [ 4, s.11 ]





Kuva 3. Kuumasinkittyjen rakenteiden määrä Suomessa vuonna 2007 [ 5, s. 11]

### 3 Kappaletavaran kuumasinkitysprosessi

#### Mekaaninen epäpuhtauksien poisto ja ripustus

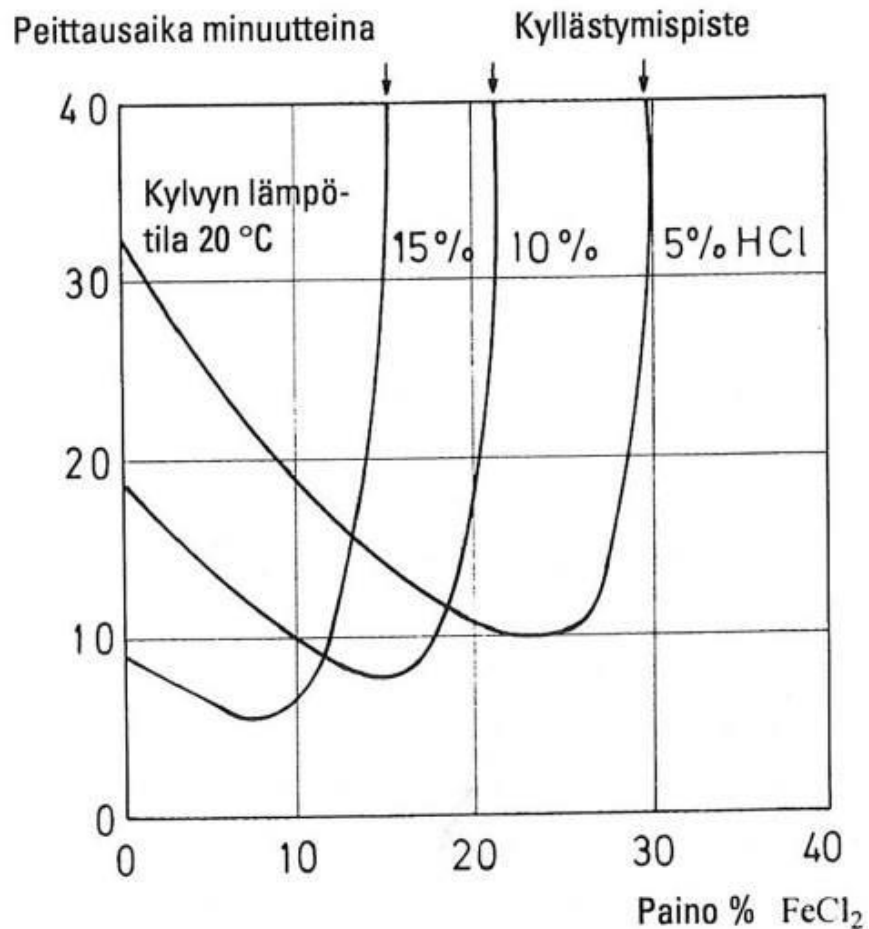
Ensiksi teräsrakenteen pinnasta poistetaan epäpuhtaudet kuten hitsikuonat, roiskeet, väri- ja maalimerkinnot. Puhdistus tehdään mekaanisesti kaapimalla tai hiomalla. Kappale voidaan myös raesuihkupuhdistaa, mutta tällöin sinkkikerros paksuus kasvaa turhaan. Suihkupuhdistusta käytetään muottihiekan poistamiseen valukappaleiden pinnalta. Sinkitettäviin kappaleisiin tehdään kuljetusta ja sinkitystä varten ripustuspaikat tai –koukut. Ripustuskoukkujen paikka valitaan siten että ne eivät näy edustavalla pinnalla. [ 3, s. 4–5. ]

## Rasvanpoisto

Rasvan- ja öljynpoisto tehdään, jos pinnassa on öljyä. Suomalaisissa laitoksissa rasvanpoistoa ei yleensä suoriteta, vaan kappaleiden oletetaan olevan riittävän puhtaita laitokselle tullessa. [5; 3, s.4.]

## Happopeittaus

Teräspinnalta poistetaan epäorgaaninen valssihilse ja ruoste happopeittauksen avulla. Kuumasinkityksen yhteydessä käytettävät happopeittausliuokset ovat 5–20 prosenttiset suolahappo ja rikkihappo. Tämän lisäksi peittauskylpyyn lisätään korroosionestoainehiittejä ja kostutusainetta pienentämään hapon pintajännitystä. Euroopassa käytetään yleisimmin suolahappoa, sillä se antaa paremman peittaustuloksen matalammissakin lämpötiloissa. Rautaoksidit reagoivat suolahapon kanssa seuraavalla yhtälöllä:  $\text{FeO} + 2 \text{HCl} = \text{FeCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ . Peittausaika riippuu kylvyn lämpötilasta sekä suolahapon ja rikkihapon konsentraatiosta (kuva 4). [ 3, s.4, 6–7. ]



Kuva 4. Happopeittaus suolahapossa. Peittausaika riippuu liuoksen HCl-pitoisuudesta,  $\text{FeCl}_2$  -pitoisuudesta ja lämpötilasta [8, s.28.]

#### Huuhtelu

Peittauksen jälkeen sinkitettävä kappale huuhdellaan, että saadaan pintaan jääneet happosiirteet pois teräksen pinnasta. [ 3, s.15. ]

#### Juoksute

Juoksutteen tehtävä sinkityksessä on poistaa oksidijäämät sinkin ja teräksen pinnasta ja näin ollen varmistaa metalli-metallikontaktin syntyminen teräksen koskettaessa sinkikylpyyn. Juoksutekasto voidaan tehdä kuiva- tai märkämenetelmällä. Kuivamenetelmässä tehdään juoksutekasto peittauksen jälkeen kastamalla kappaleet erilliseen juok-

suteliuokseen (preflux). Kaston jälkeen kappaleet kuivataan uunissa. Uunin lämpötila ei saa olla yli 150 celsiusta, sillä sen yläpuolella alkaa juoksute hajaantua menettäen pinnan suojaustehoa oksidien muodostumiselta. Märkämenetelmässä juoksutekylpy on suoraan sinkkikylvyn vieressä. Kappaleet tuodaan märkinä suoraan huuhtelusta juoksutekylpyyn, joka sisältää sinkkiammoniumkloridia tai ammoniumkloridia johon on lisätty vaahtolisäaineita talia, sahanpurua tai glyseriiniä. Nämä aineet paksuntavat juoksu-terroksen ja alentavat juoksutekylvyn pintalämpötilaa vähentäen siten ammoniumkloridin haihtumista ja savunmuodostusta.[ 3, s. 15–16. ]

### Kuumaupotus sulaan sinkkiin

Aluksi sinkkipadan pinnalta poistetaan oksidijäämät ja juoksutejäämät. Tämän jälkeen kappaleet upotetaan sinkkiin pienellä nopeudella (1–2 m/min), jotta niihin jäänyt kosteus poistuu kuuman sinkkipadan yläpuolella, mikäli kosteutta jää kappaleen pinnalle kuuma sinkki roiskuu ympäristöön. Teräs tai rautakappale upotetaan sinkkiin. Ensiksi sinkki jähmettyy teräksen pinnalla. Teräksen lämpötilan noustessa sinkin sulamispisteen yläpuolelle (419–celsiusasteeseen) jähmettynyt sinkki sulaa uudelleen. Raudan diffuusion vaikutuksesta pintaan alkaa muodostua eri pitoisuuksilla olevia rautasinkkikerroksia. Teräs nostetaan sinkkipadasta samalla nopeudella kuin upottaessa ja lopuksi naputellaan kappaleista sinkkivalumat pois teräsmelalla tai muulla vastaavalla. Kuumansinkityksessä käytetään nykyisin 450–460 celsiusasteen lämpötilaa optimaalisen sinkitys tuloksen saavuttamiseksi. Periaatteessa voitaisiin käyttää 430–440 celsiusasteen lämpötiloja, mutta massiivisten kappaleiden upotuksessa voisi sinkin lämpötila jäädä alle sen sulamispisteen, mikä vaikeuttaisi sinkitystä ja pidentäisi sinkitysaikaa. Kasto aika kappaleille on 2–10 min niiden koosta riippuen. [6; 5, s. 40; 3, s. 16–17.]

### Kappaleen jäähdytys ja tarkistaminen

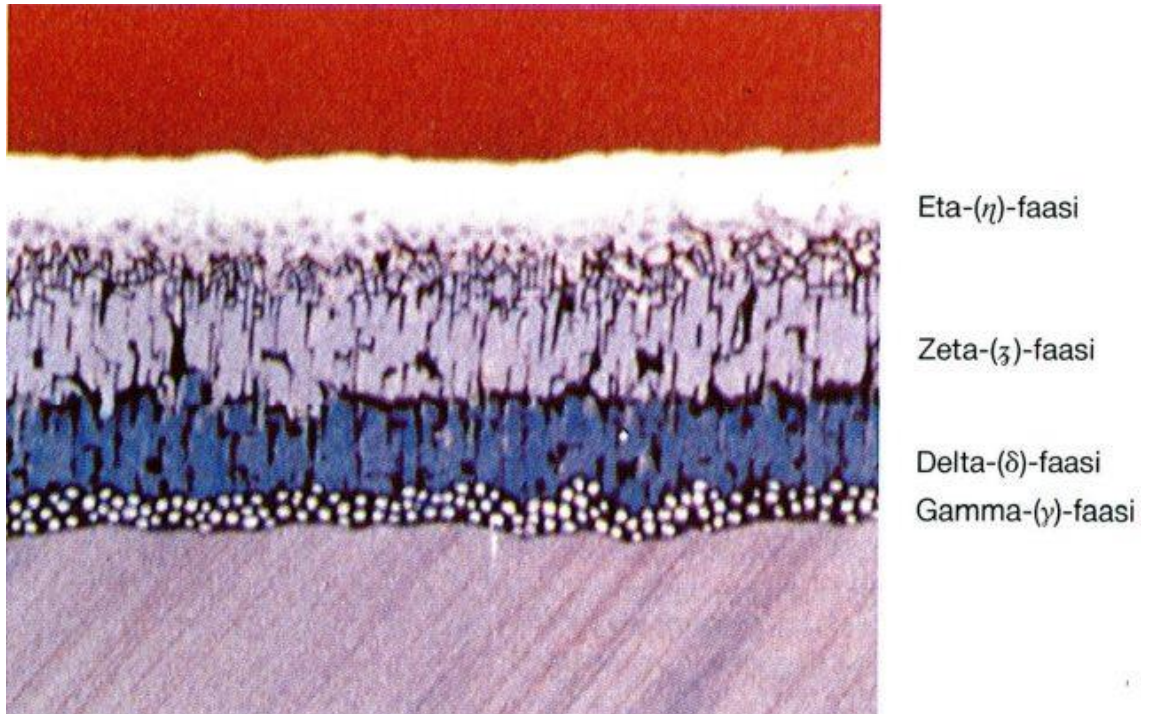
Kuumansinkitetty kappaleet jäähdytetään ilmassa tai vedessä. Vedessä jäähdyttäessä pitää kappaleen massiivisuus ja kappaleen eri osien kokoerot ottaa huomioon, että vältetään muodonmuutoksilta. Mikäli kappaleet maalataan sinkityksen jälkeen, ei tule käyttää vesijäähdytystä, koska veden ja sinkin reaktiosta syntyy maalausta haittaavia

sinkkihydroksideja. Nopeutetulla jäähdytyksellä voidaan vaikuttaa kappaleen ulkonäköön, mitä nopeammin saadaan pinta jäähtymään, sitä nopeammin rauta-sinkkireaktiot pysähtyvät ja pinnoitteesta tulee kirkkaampi. Jäähdytyksen jälkeen kappaleet tarkastetaan visuaalisesti ja punnitaan. Sinkitetyn rakenteen massa on kappaleen hinnan perusta. [ 3, s. 17–18.]

#### **4 Kuumasinkitetyn kappaleen mikrorakenteen muodostuminen**

Sulan sinkin ja raudan välillä syntyy metalli-metalliliitoksia diffuusion avulla. Pinnoite muodostuu erilaisista rautasinkkifaaseista, joiden rautapitoisuus vähenee pintaa kohti. Nostaessa kappale sinkkipadasta syntyy vielä puhdas sinkkikerros kappaleen pintaan. Teräksen koostumuksella sekä sulan sinkin koostumuksella on suuri merkitys, minkälainen pinnan ulkonäöstä ja paksuudesta tulee. Myös sinkkipadan lämpötilalla ja kastojalla voidaan vaikuttaa kappaleen pinnanlaatuun sekä paksuuteen. [ 7; 3, s.41.]

Ensimmäisenä kastossa muodostuu zeta-faasi, joka eristää teräspinnan sinkkikylvystä. Reaktio jatkuu kiinteässä faasissa diffuusion avulla, jolloin rauta-atomit diffundoituvat kiinteään Fe-Zn-faasin läpi reagoiden sinkkiatomien kanssa sulan sinkin ja zeta-faasin välisellä rajapinnalla. Raudan diffundoituessa zeta-faasiin muuttuu osa faasista zeta-faasi-rautarajapinnalla delta-faasiksi. Rauta ja sinkki reagoivat edelleen ja syntyy korkean rautapitoisuuden gamma-faasi. Tässä vaiheessa kaikki padassa tapahtuvat reaktiot ovat tapahtuneet. Viimeinen eta-faasi muodostuu nostettaessa kappale pois sinkkipadasta. Eta-faasin koostumus on lähes puhdasta sinkkiä. Reaktio tapahtuu puhtaan raudan ja sinkin välillä näin, mutta todellisuudessa teräs sisältää reaktioon vaikuttavia seosaineita, jolloin mikrorakenteet muodostuvat erilaisiksi. Kuumasinkityksessä syntyvät faasit ovat järjestyksessä metallikappaleesta pintaan: gamma-faasi, delta-faasi, zeta-faasi ja eta-faasi (kuva 5).



Kuva 5. Kappaletavaran kuumasinkityksessä syntyvät faasit [ 3, s. 42. ]

Tyyppi I 40 – 80 μm	Tyyppi II 200 - 2000 μm	Tyyppi III 200 - 2000 μm	Tyyppi IV 60 – 150 μm	Tyyppi V 120 - 250 μm	Tyyppi VI 30 – 60 μm
Eetta	Eetta	Eetta	Eetta	Eetta	eetta+delta
Zeta		zeta+eetta	zeta+eetta	zeta+eetta	eetta+delta
	Delta		zeta+FeSi	zeta+FeSi	Delta
		Zeta	Zeta	zeta	
Delta			Delta	delta+zeta	
Gamma		delta		delta	
	Gamma	Gamma	Gamma	gamma	Gamma
Fe	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe

Kuva 6. Kuumasinkityksessä muodostuvat seoskerrostyytit, pinnoitetyypit II ja III eivät sovellu sinkitykseen [ 5, s. 112.]

Tyyppi I, alapiiteräs ( $\text{Si} + \text{P} < 0,03 \%$ )

Tyyppin I sinkkikerroksen paksuus on 40–80 mikrometriä (kuva 6). Pinta on puhdasta ja kiiltävää eta-faasia. Alapii- eli vain vähän piitä sisältävä teräs valitaan silloin kun rakenteen ulkonäkö on tärkeää ja rakenne maalataan. [ 8; 3, s. 45.]



Kuva 7. Tyyppin I sinkkipinnoite [8.]

Tyyppi II

Tyyppin II pinnoite on tyypillinen korkealämpötilasinkityksessä alueella 495–530 celsiusastetta riippumatta teräksen Si-pitoisuudesta. Muodostuvat faasit ovat gamma, delta ja eta (kuva 6). Zeta-faasi puuttuu johtuen sen sinkityslämpötilaa alemmasta sulamislämpötilasta. Delta-faasi muodostuu paalumaisiksi kiteiksi. Eri faasien väliset tilavuuserot aiheuttavat halkeamia pinnoitteeseen, mikä aiheuttaa sulan sinkin pääsyä Gammafaasiin ja edelleen kosketukseen teräksen kanssa synnyttäen uutta reaktiopintaa koko ajan. Kerros kasvaa hallitsemattoman paksuksi, eikä sovellu sinkitykseen. [ 3, s. 47.]

Tyyppi III ( $\text{Si} 0,03\text{--}0,15 \%$ )

Suurin osa tyyppin III sinkkipinnoitteesta on zeta- ja etafaasin muodostamaa 2-faasirakennetta, joka on ns. Sandelinin mikrorakenne (kuva 6). Gamma-faasi puuttuu lähes kokonaan, joka merkitsee sitä että sula sinkki pääsee raudan kanssa koko ajan kosketukseen synnyttäen uutta zeta-faasia, jolloin kerrospaksuus kasvaa lineaarisesti ajan myötä ja todella paksuksi. Kasvu on epätasaista ja pinnalaadusta tulee epätydyttävä. [ 3, s. 47.]

Tyypit IV ja V, keskipiiteräs (Si 0,15 % - 0,25 %) sekä yläpiiteräs (Si > 0,25 %)

Tyyppin IV ja V mikrorakenne muodostuu pii-pitoisuuden ollessa yli > 0,15 %. Gamma-faasi puuttuu mikrorakenteesta, tai se on hyvin ohut. Mikrorakenteessa muodostuu raudan suhteen ylikylläiset delta- ja zetafaasit (kuva 6). Korkeilla Si-pitoisuuksilla muodostuu ns. gamma-diffuusiofaasi, jolloin piin diffuusionopeus kasvaa aiheuttaen paksun sinkkikalvon. Si-pitoisuuden alueella 0,15–0,25 % aiheuttama piin epästabiilisuus ei pääse ulottumaan gamma-faasiin. Gamma-faasin säilyessä Si-kyllästymättömänä, kasvaa pinnoite tasaisesti rajapinnoilta suojaten terästä sinkin reaktiivisuudelta. Pinnoitteen kasvunopeus pysyy kohtuullisena ja teräsrakenteet ovat maalattavissa sinkityksen jälkeen. Si-pitoisuuden ollessa yli > 0,25 % gamma- ja zetafaasit ovat ylikylläisiä piin suhteen. Sulat ontelot reagoivat tasomaisen gamma-kerroksen kanssa (gamma-faasi ohenee), jolloin raudan ja piin diffuusio lisääntyy. Raudan ja piin diffuusion lisääntymässä kasvaa sinkkikerros todella paksuksi. Mikäli halutaan erityisen paksu sinkkikerros, valitaan yli 0,25 % piitä sisältävä teräs. Yläpiiterästen pinnoitteet ovat paksuja, hauraita sekä tummuvat nopeasti eivätkä ole maalattavissa (kuva 8). [3, s. 48; 8.]

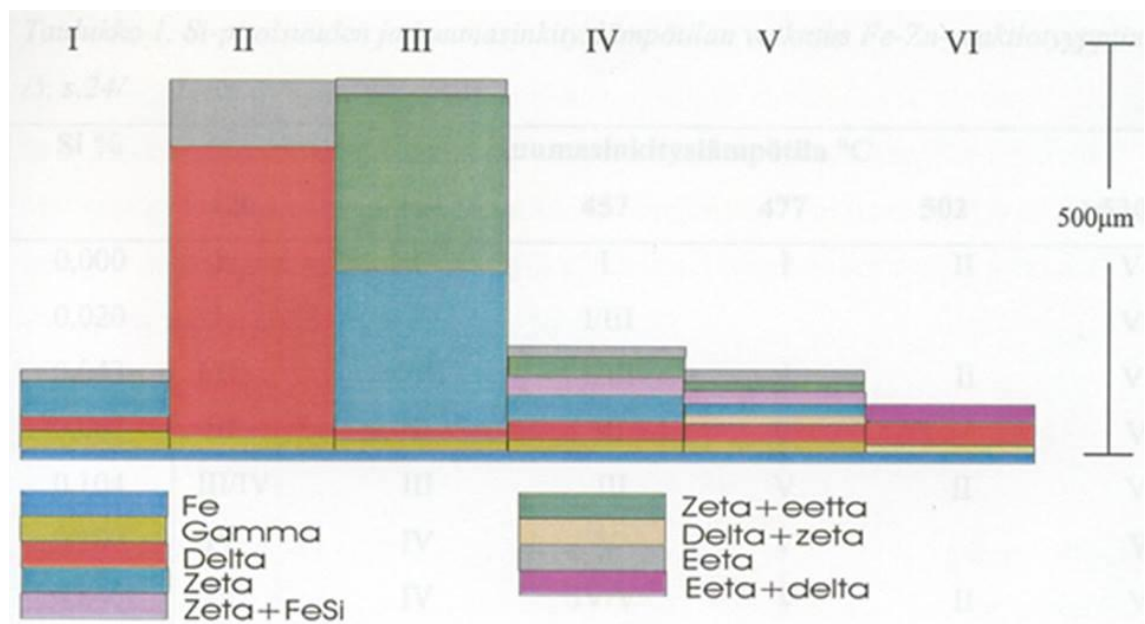


Kuva 8. 15 vuotta käytössä olleet siltarakenteet. [8.]



## Tyyppi VI

Tyyppi VI on korkealämpötilasinkityksessä ( $> 530$  celsiusastetta) syntyvä sinkkipinnoite. Delta-faasia ei muodostu (kuva 6). Gamma-faasi on tiivis sekä yhtenäinen estäen sulan sinkin kosketuksen teräksen kanssa, tämän ansiosta pinnoitepaksuudet jäävät ohuiksi. Muodostuvan kalvon paksuus on 40–60 mikrometriä (kuva 9). Tiiviin sinkkipinnoitteen ansiosta kasvu noudattaa parabolista kasvulakia eli hidastuu kastoajan pidentyessä. [ 3, s. 49.]



*Si-pitoisuus  $\leq 0,003$  %. Muodostuvan kerroksen paksuus 60–80 μm*

*Tyypillinen kuumasinkityslämpötila-alueella 495–530 °C. Si-pitoisuudella ei vaikutusta. Muodostuvan kerroksen paksuus 300–500 μm*

*Si-pitoisuus 0,030–0,100..0,140 %. Muodostuvan kerroksen paksuus 300–500 μm*

*Si-pitoisuus 0,150–0,250 %. Muodostuvan kerroksen paksuus 120–180 μm*

*Si-pitoisuus  $> 0,250$  %. Muodostuvan kerroksen paksuus 80–150 μm*

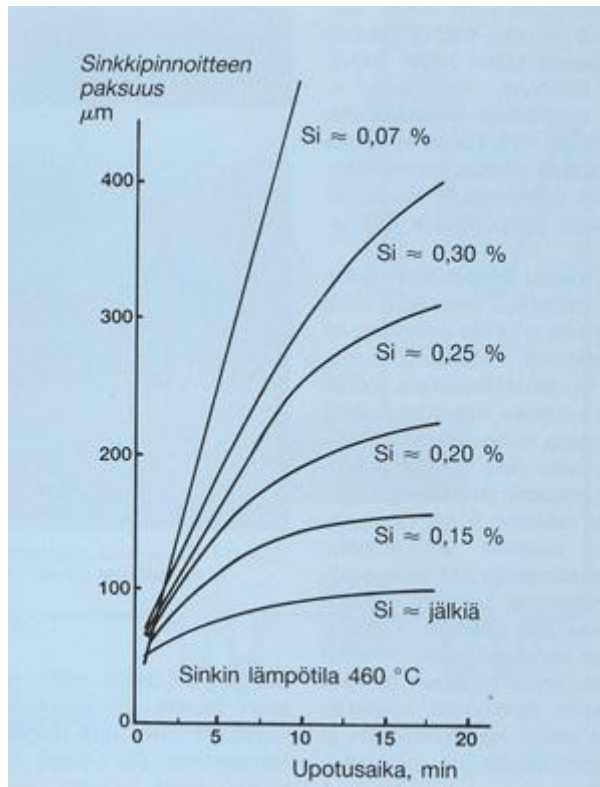
*Tyypillinen korkealämpötilasinkityksessä syntyvä rakenne ( $< 530$  °C).*

*Muodostuvan kerroksen paksuus 40–60 μm*

Kuva 9. Kuumasinkityksessä syntyvät rauta-sinkkikerrokset ja niiden riippuvuus teräksen koostumuksesta ja sinkkikylvyn lämpötilasta. [ 5, s. 113.]

## 5 Sinkkipinnoitteen kasvu

Sinkkipinnoitteen kasvunopeuteen vaikuttavat sinkkikylvyn kannalta kasto aika, kylvyn lämpötila sekä kylvyn koostumus. Teräksen kannalta kasvunopeuteen vaikuttaa teräksen koostumus ja mikrorakenne, pintaominaisuudet sekä kappaleen koko. Kuumasinkityksessä eri faasit noudattavat erilaisia reaktionopeuslakeja. Reaktionopeus voidaan laskea yhtälöllä  $s = kt^n$ , jossa  $s$  on sinkkipinnoitteen paksuus,  $k$  on lämpötilasta riippuva nopeusvakio ja  $n$  on pinnoitteen kasvueksponentti. Käytännössä kuumasinkityksessä kappaleen kasto aika on 1–10 min, riippuen kappaleen massiivisuudesta. Kokeissa on havaittu että sinkkipinnoitteen kasvu riippuu kylvyn lämpötilasta sekä kappaleen piii-pitoisuudesta. Sinkkipinnoite kasvaa parabolisesti kun sinkkikylvyn lämpötila on 440–480 celsiusastetta riippuen teräksen pii-pitoisuudesta. Alhaisen pii-pitoisuuden (< 0,03 %) alueella parabolinen alue ulottuu vain 450 celsiusasteeseen. 450–520 celsiusasteessa kasvu on lineaarista ja yli 520 celsiusasteessa taas parabolista (korkealämpötilasinkitys). Sinkitys tulee suorittaa parabolisen kasvun alueella, sillä lineaarisen kasvun alueella pinnoite kasvaa hallitsemattomasti. Parabolisen kasvun alueet ovat lämpötilat alle <460 celsiusastetta sekä noin 550 celsiusastetta pii-pitoisuuden ollessa alle 0,03 % sekä pitoisuuden ollessa 0,15–0,25 % (kuva 10). Kylvyn lämpötilaa 470–520 celsiusastetta sekä pii-pitoisuutta 0,04–0,14 % tulee välttää. [3, s. 49–51.]



Kuva 10. Sinkkipinnoitteen kasvunopeus 460 celsiusasteen lämpötilassa. Lineaarisen kasvun alue Si-pitoisuudella 0,07 % ei sovellu kuumasinkitykseen. [7.]

Sinkitettävän kappaleen massiivisuus ja seinämäpaksuus vaikuttaa siihen, kuinka paksu pinnoite kappaleeseen muodostuu. Tämä johtuu siitä, että massiivinen kappale lämpenee hitaammin ja näin ollen sitä pidetään kylvyssä pidemmän aikaa. Pidempi kasto aika sinkkikylvyssä kasvattaa pinnoitepaksuutta suuremmaksi. Tämä on otettu huomioon kuumasinkitysstandardissa SFS-EN ISO 1461, siten että pinnoitettavan kappaleen seinämäpaksuuden noustessa pinnoitteen minipaksuus nousee, vaikka se olisi rakenteen korroosionkeston kannalta merkityksetöntä. Pinnankarheuden vaikutusta sinkkikerroksen paksuuteen on tutkittu Metropolian pintakäsittelylaboratoriossa. Tutkimuksissa on käynyt ilmi, että suihkupuhalletun kappaleen sinkkikerrospaksuus voi yli kaksinkertaistua, syitä tähän on todennäköisesti reaktiopinta-alan kasvu ja pintaan sitoutuneen aktivaatioenergian kasvu. [3, s. 52–53.]

## 6 Teräksen seosaineiden vaikutus sinkkikerroksen paksuuteen

Teräkseen seostetaan seosaineita, että saavutetaan haluttuja ominaisuuksia kuten lujuutta, kovuutta, sitkeyttä, muovattavuutta ja korroosionkestävyyttä. Tärkeimpiä lisäaineita rakenneteräksissä ovat hiili, mangaani, nikkeli, kromi, alumiini, molybdeeni, niobi, vanadiini sekä titaani. Teräs sisältää myös epäpuhtauksia, joilla on vaikutusta kuumasinkkikalvoon. Seosaineiden vaikutusta sinkkipinnoitteen muodostumiseen on tutkittu hyvin laajasti. Seosaineista hiilen, piin, mangaanin, alumiinin, fosforin ja molybdeenin lisääminen nopeuttaa sinkkipinnoitteen kasvunopeutta, kunnes kullekin aineelle tyypillisellä pitoisuudella seosaineen vaikutus hidastuu. Tutkimuksissa on havaittu, että rikillä ja tyvellä ei ole vaikutusta sinkkikerroksen paksuuteen, paitsi suurilla rikkipitoisuuksilla (> 0,03 %) rikin on todettu kiihdyttävän reaktiokerrosten muodostumista. [3, s. 53, 56]

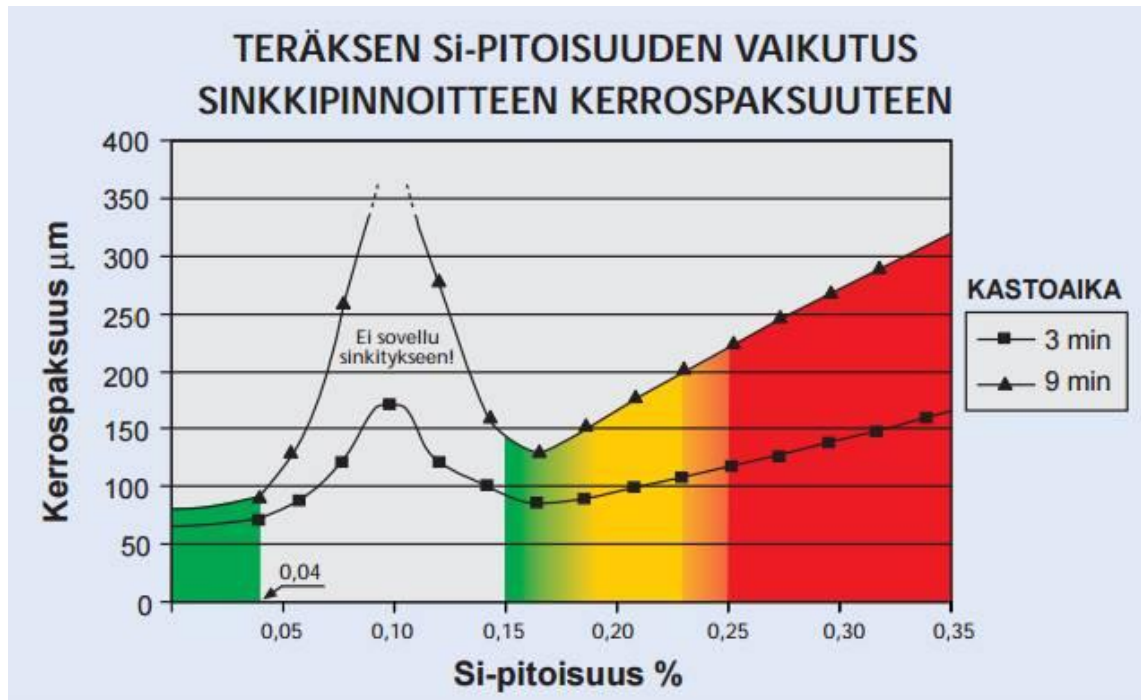
### Hiili

Hiiltä sisältäviin teräksiin muodostuvat samat sinkkikerrokset kuin puhtaan raudan päälle. Erona on epäjatkuvan gamma-kerroksen muodostuminen, joka parantaa pinnoitteen kiinnipysyvyyttä. Tavallisten hitsattavien teräksien hiilipitoisuus on alle 0,2 %. Hiili ei vaikuta sinkkipinnoitteen muodostumiseen, jos se on grafiittina (valuraudat) tai päästömartensiittisessä rakenteessa. Peittauksessa valuraudan pintaan rikastunut grafiitti vaikeuttaa kuumasinkitystä ja on poistettava esimerkiksi raesuihkupuhdistuksella. Kun hiili on sitoutunut lamellaariseen perliittiin (usein rakenneteräksissä) tai pallotutuneeseen sementiittiin, on tällöin Fe-Zn-seoskerrosten kasvu 5,5-kertainen verrattuna tavallisiin hitsattaviin rakenneteräksiin ja periliitin vaikutuksesta (100 %-perliittinen mikrorakenne eli hiiltä 0,8 %) ja nelinkertainen pallotutuneen sementiitin vaikutuksesta. Teräksen hiilipitoisuuden ollessa esimerkiksi 0,15 % on mikrorakenteessa perliittiä alle 20 % ja sinkkikerros kasvaa noin kaksinkertaiseksi puhtaaseen rautaan verrattuna. Normaali-tapauksissa rakenneterästen hiilipitoisuudet ovat 0,05–0,20 %. Mikrorakenne on silloin ferriittis-perliittinen eikä hiilellä on merkittävää vaikutusta sinkkikerroksen muodostumiseen. Yleensä hiilen vaikutus peittyy muiden seosaineiden, lähinnä piin aiheuttamiin vaikutustekijöihin. Tärkeintä on tietää, että teräksen pintaan voi peittauksessa rikastua hiiltä jopa 1 %, mikä voi lisätä seoskerrosten syntymisnopeutta. [3, s. 57.]

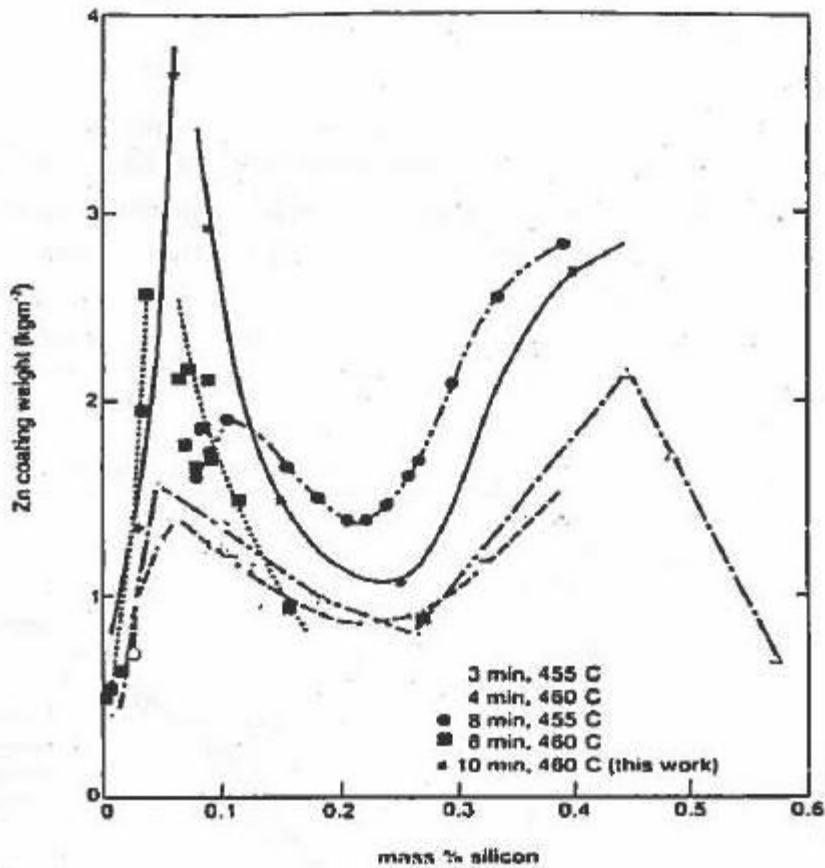
## Pii

Rauta-sinkki-reaktioon vaikuttaa teräksessä vapaana oleva pii. Oksideihin sitoutunut pii ei vaikuta reaktioihin. Tutkimuksissa on havaittu että 0,5 % piitä sisältävän teräksen vapaan piin määrä on 0,025 %. Toisen tutkimukseen mukaan on havaittu, että 0,0228 % pii-pitoisuuden teräksessä peittauksen vaikutuksesta voi pintaa rikastua yli 8 % piitä sisältäviä kohtia. Näin ollen piin kokonaismäärä ei varmuudella kerro siitä, onko teräs hyvin sinkitettävissä. Teräksen valmistaja ilmoittaa yleensä teräksen kokonais piimäärän. Tietyillä piin konsentraatioilla muodostuu epäjatkuva zeta-faasikerros, joka ei suojaa sen alla olevaa delta-kerrosta. Pii-seosteisia teräksiä sinkitessä voi muodostua ferropiipartikkeleja. Jos niitä on sulassa zeta-faasissa ja ne ovat sopivan kokoisia, ne voivat toimia zeta-faasiin ydintymispaikkoina. Alhaisilla pii-pitoisuuksilla rautapiipartikkelit ovat hienojakoisia ja toimivat siten hyvin zeta-faasiin ydintymispaikkoina. Kun zeta-faasissa olevien partikkelien ydintymisnopeus ylittää faasin kasvunopeuden, jolloin yhtenäinen zeta-faasi ei muodostu, jää zeta-faasirakenne epäyhtenäiseksi. Sula sinkki tunkeutuu delta-faasin rajapinnoille aiheuttaen delta-faasin ja täten koko sinkkipinnoitteen holtittoman kasvun. Teräksen pii-pitoisuuden noustessa tulevat rautasinkki-partikkelit suuremmiksi ja zeta-partikkelien ydintymisnopeus putoaa, mikä johtaa yhtenäisten seoskerrosten muodostumiseen. Kerrospaksuuden kasvu hidastuu, koska zeta-kerros suojaalla olevia faaseja. [3, s. 57–59; 5, s. 93–94.]

Piin vaikutusta sinkkikerroksen muodostumiseen on tutkittu paljon. Suurimman työn piin vaikutuksesta sinkkikerroksen muodostumiseen teki Sandelin 1940-luvulla. Hänen mukaansa on nimetty ns. Sandelinin käyrä, jolla kuvataan pii-pitoisuuden vaikutusta syntyvän sinkkikerroksen paksuuteen. Syntyvän sinkkikalvon paksuuteen vaikuttavat myös sinkkilylyn lämpötila sekä kasto aika. Alhaisessa 430 celsiusasteen lämpötilassa ei synny voimakasta Sandelinin piikkiä eli paksua pinnoitekerrosta, mutta 450 celsiusasteessa syntyy selvä Sandelinin piikki. Lyhyellä 2–4 minuutin kastoajalla Sandelinin piikki jää matalaksi ja pitkällä kastoajoilla piikki kasvaa korkeaksi (kuva 11). Hyvän sinkitystuloksen saavuttamiseksi kannattaa sinkitys suorittaa lyhyellä kastoajalla ja alhaisessa lämpötilassa (kuva 12).



Kuva 11. Pii-pitoisuuden vaikutus sinkkikerroksen kasvuun kolmen minuutin ja yhdeksän minuutin kastoajalla. Sandelinin piikki esiintyy pii-pitoisuuksilla 0,04–0,12. Lyhyemmällä 3 minuutin kastoajalla piikki jää matalammaksi. Sinkitys on suositeltavaa tehdä vihreällä alueella. [8.]



Kuva 12. Sandelinin käyrä: piin ja kastoajan vaikutus sinkkikerroksen paksuuteen. Sinkitys kannattaa suorittaa lyhyellä kastoajalla ja alhaisella kylvyn lämpötilalla. 8–10 minuutin kastoajalla Sandelinin piikistä tulee hyvin jyrkkä ja pinnoite kasvaa holtittomasti. [3, s. 58.]

Mangaani, nikkeli ja kromi

Mangaanin on todettu lisävään jonkun verran Fe-Zn-seoskerrosten muodostumista. Yleensä rakenneteräksissä on mangaania 0,2–1,8 %. Paljon mangaania sisältäviä teräksiä sinkittäessä saadaan paksumpia ja ulospäin harmaita sinkkipinnoitteita. Nikkeli ja kromi vaikuttavat rautasinkki seoskerroksen muodostumiseen samalla tavalla kuin mangaani eli lisäävät sinkkikerroksen paksuutta. [3, s. 60.]

Alumiini, niobi, vanadiini, titaani ja rikki

Kuumasinkitettävät teräkset voivat sisältää pieniä määriä alumiinia, niobia, vanadiinia, titaania ja rikkiä, mutta näillä ei ole merkittävää vaikutusta sinkkikerroksen muodostumismekanismiin. Rikki on yleensä teräksessä epäpuhtautena, eikä vaikuta pieninä

pitoisuuksina teräksen sinkitettävyyteen. Korkeat yli 0,2 %-rikkipitoisuudet esimerkiksi automaattiteräksissä voivat kiihdyttää Fe-Zn-seoskerrosten reaktionopeutta niinkin paljon, että niiden sinkitettävyyden on kyseenalaistettu paksujen ja hauraiden Fe-Zn-faasien muodostumisen johdosta. [5, s. 95; 3, s. 61.]

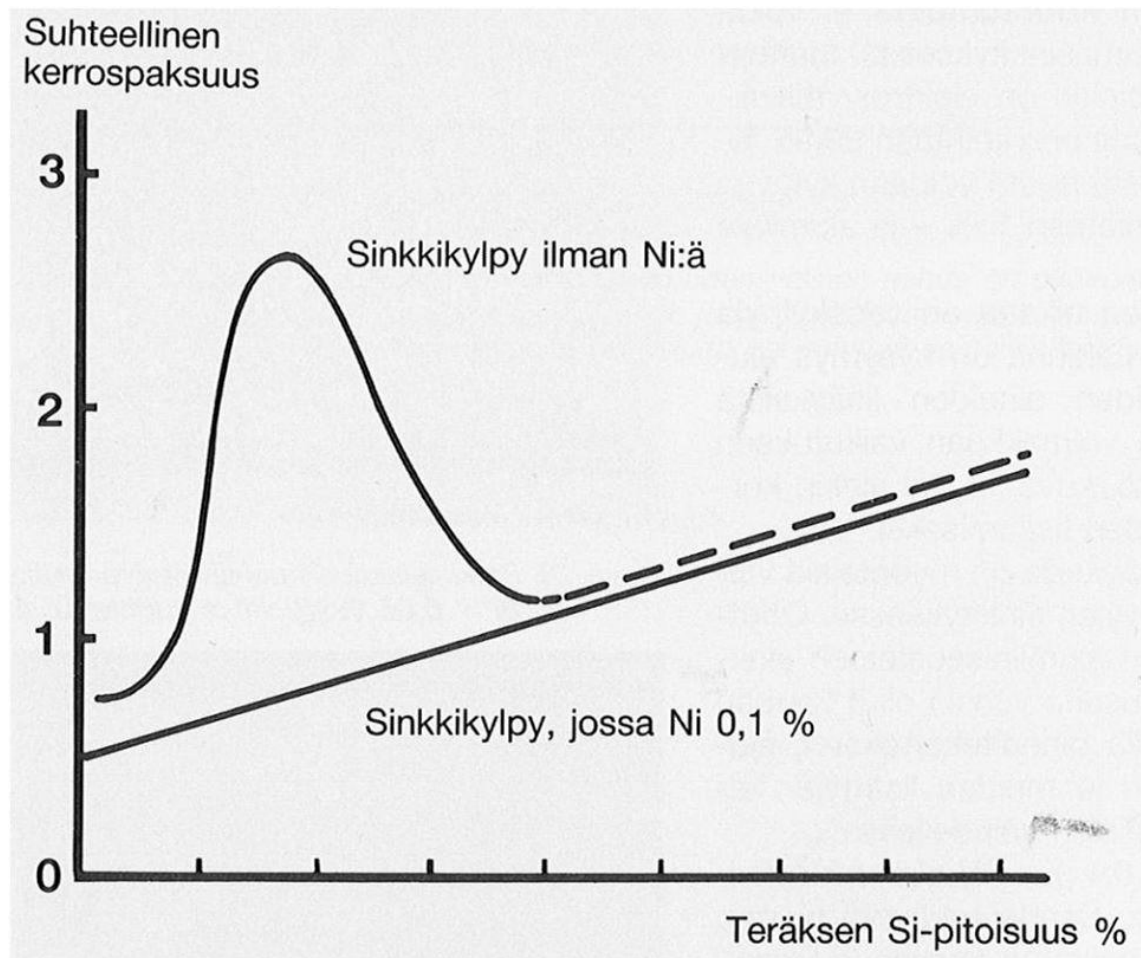
## Fosfori

Fosfori on teräksessä rikin tavoin epäpuhtautena. Fosfori nostaa teräksen lujuutta, mutta tekee siitä hauraan. Fosforia käytetään lähinnä säänkestävissä Cor-Ten-teräksissä, jossa yritetään pitää fosforipitoisuus mahdollisimman alhaisena. Nykyisissä teräksissä on fosforia alle 0,02 %. Kuumasinkittävyteen fosfori vaikuttaa samalla tavalla kuin pii. Tutkimuksissa on havaittu rautasinkki seoskerrosten kasvun kiihtyvän fosforipitoisuuden noustessa, sen on todettu vaikuttavan jopa piitä enemmän Sandelinin piikin syntyyn. Yleensä fosfori kytetään Sandelinin piikkiin kaavalla  $\%Si_{ekv} = \%Si + \%P$  tai  $\%Si_{ekv} = \%Si + 2,5 \times \%P$ . Kaava pätee alapiiteräksiin (Si alle 0,04 %) [3, s. 96; 5, s. 96.]

## 7 Sinkkikylvyn koostumus

Kuumasinkityksessä käytettävä sinkki on yleensä elektrolyyttisinkkiä, jonka puhtaus on vähintään 99,95 % sinkkiä. Kappaletavaran kuumasinkityksessä kylpyyn lisätään pieniä määriä, noin 0,001–0,01 % alumiinia. Alumiini vähentää sulan sinkin oksidoitumista, pienentää sinkin kulutusta sekä vähentää Sandelinin ilmiön voimakkuutta. Alumiinin lisäyksen tulee olla tarkoin kontrolloitua, sillä suuri alumiinin lisäys voi aiheuttaa vaikeuksia pinnoitteen muodostumisessa tai reagointia juoksutteen kanssa. Sinkkikylpyyn voidaan myös lisätä nikkeliä 0,1 % eliminoimaan Sandelinin-käyrän huippu pii-pitoisuusalueella 0,04–0,12 % (kuva 13). Nikkelin seostus hidastaa pinnoitteen kasvunopeutta myös muilla teräksen pii-pitoisuuksilla noin 10–15 %. Kuumasinkitysprosessissa liukenee kylpyyn myös pieniä määriä (noin 0,02 %) rautaa, mikä aiheuttaa kovasinkkisaostumia, jotka vajoavat sinkkikylvyn pohjalle. Kovasinkki poistetaan tavallisesti kylvyn pohjalta perfoidulla kauhalla noin viikon välein. [4, s. 15; 5, s. 79–83.]

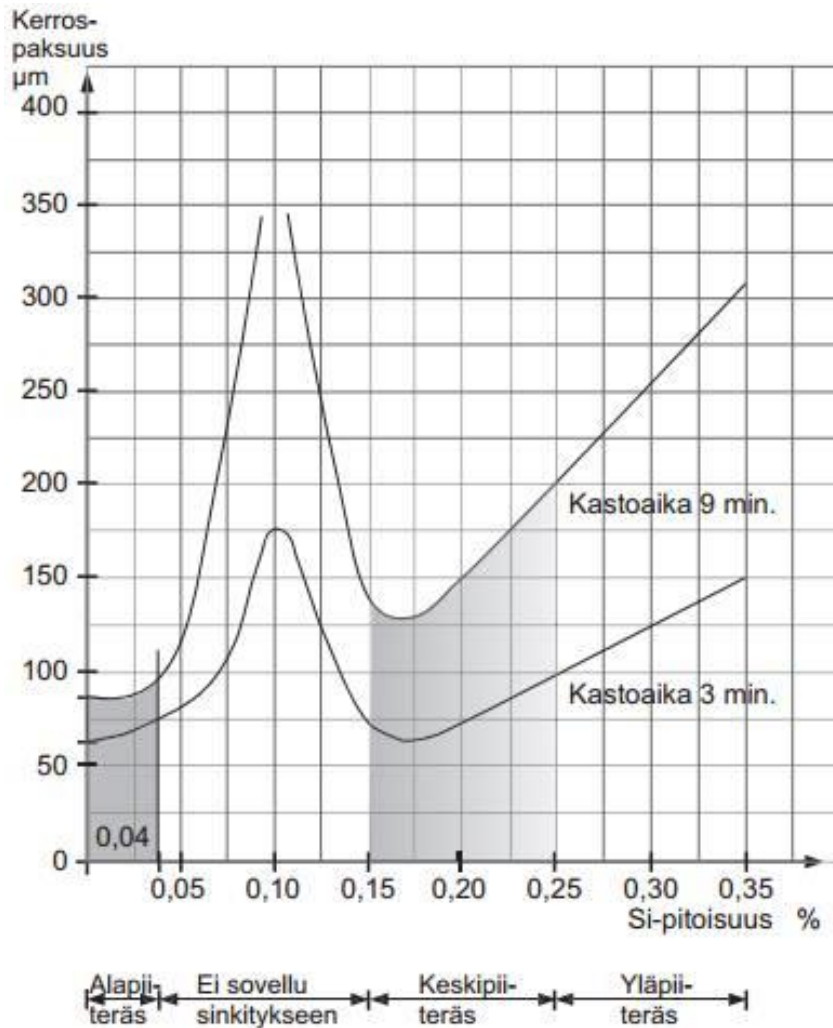




Kuva 13. Teräksen pii-pitoisuuden ja sinkkikerroksen paksuuden suhde. 0,1 % nikkelin lisäys ohentaa sinkkikalvon paksuutta ja eliminoi Sandelin alueella (Si 0,04–0,12 %) pinnoitteen holtittoman kasvun. [4, s. 16]

Kuumasinkitys voidaan suorittaa onnistuneesti tietyillä teräksen pii-pitoisuuksilla, myös teräskappaleen muodoilla ja mitoilla on vaikutus kuumasinkityksen onnistumiseen. Sinkittävyysalueet voidaan jakaa kolmeen alueeseen. Sinkittävyys alueiden I–II välissä on ns. Sandelinin alue (Si 0,04–0,15 %), jolloin kerrospaksuudet kasvavat holtittomasti, pysyvät huonosti kiinni ja ovat hauraita. Kuumasinkitysalueella I teräksen pii-pitoisuus on alle 0,04 % ja muodostuvan kalvon paksuus on 40–80 mikrometriä. Teräksestä tulee standardin SFS ISO 1461 mukaan kirkas ja hyvin kiinnipysyvä. Alueen I teräksiä kutsutaan alapiiteräksiksi (kuva 14). Kuumasinkitysalueella II teräksen pii-pitoisuus on 0,15–0,25 % ja kalvon paksuudeksi muodostuu 60–120 mikrometriä. Teräksestä tulee vähän tummempi ja sinkkipinnoitteesta heikosti kiinnipysyvämpi kuin tyypin I pinnoitteesta. Alueen II teräksiä kutsutaan keskipiiteräksiksi ja pii-pitoisuuden ollessa 0,15–0,20 % kutsutaan teräksiä rajoitetun pii-pitoisuuden teräksiksi (kuva 14). Kuumasinki-

tysalueella III pii-pitoisuus on 0,25–0,35 % ja kalvon paksuudeksi muodostuu yli 100 mikrometriä. Pii-pitoisuuden kasvu kasvattaa kuumasinkityskalvon paksuutta lineaarisesti. Tyypin III sinkkipinnoitteet ovat paksuja, hauraita karkeita ja tummuvat nopeasti. Sinkittävyysalueen III teräs valitaan jos pinnoitteesta halutaan erityisen paksu. Alueen III teräksiä kutsutaan yläpiiteräksiksi (kuva 14). [3, s. 62; 8.]



Kuva 14. Teräksen eri sinkittävyysalueet, sekä kalvonpaksuuden muodostuminen kolmen minuutin sekä yhdeksän minuutin kastoajalla. [9, s. 26.]

## 8 Kuumasinkitysstandardi SFS – EN ISO 1461

Kappaletavaran kuumasinkityksessä käytetään standardia SFS-EN ISO 1461 Valu- rauta- ja teräskappaleiden kuumasinkkipinnoitteet. Spesifikaatiot ja testausmenetelmät. Standardi sisältää tietoa tilaajan antamista tiedoista kuumasinkittäjälle, pinnoitteen ulkonäkövaatimuksista, pinnoitteen paksuusvaatimuksista, näytteenotosta, pinnoitteen paksuuden testausmenetelmistä, mittausalueista, rikkoutuneen pinnan korjauksesta, kiinnipysyvyydestä sekä sinkityksen hyväksymisperiaatteista. [10.]

### Pinnoitteen paksuusvaatimukset

Kuumasinkityksen tarkoituksena on parantaa rauta- ja terästuotteiden korroosiosuojaa. Korroosiosuoja on lähes suoraan verrannollinen pinnoitepaksuuteen. Erittäin vaativiin olosuhteisiin voidaan tarvita paksumpia pinnoitteita kuin alla olevassa taulukossa 1 on esitetty. Taulukon pinnoitepaksuusvaatimukset on tarkoitettu yleiseen käyttöön kappaletavaran kuumasinkityksessä. [10.]

Taulukko 1. Kuumasinkitettyjen tuotteiden sinkkikerrospaksuusvaatimukset

Tuote ja sen paksuus	Paikallinen Kerrospaksuus (Vähintään) $\mu\text{m}$	Paikallinen kerrospaksuus (vähintään) $\mu\text{m}$ $\text{g/m}^2$	Keskimääräinen Kerrospaksuus (vähintään) $\mu\text{m}$	Keskimääräinen kerrospaksuus (vähintään) $\text{g/m}^2$
Teräs > 6 mm	70	505	85	610
Teräs > 3 mm.. $\leq$ 6 mm	55	395	70	505
Teräs $\geq$ 1,5 mm.. $\leq$ 3 mm	45	325	55	395
Teräs < 1,5 mm	35	250	45	325
Valut $\geq$ 6 mm	70	505	80	575
Valut < 6 mm	60	430	70	505

## Näytteenotto

Standardissa määritellään, kuinka monesta kappaleesta pitää ottaa näyte. Näytteiden määrä on suhteessa eräkokoon. [10.]

## Pinnoite paksuuden mittaus

Yleisin mittausmenetelmä on magneettinen menetelmä (EN ISO 2178) sekä ainetta rikkova punnitusmenetelmä. Mikäli mittausalueelta tehdään riittävästi mittauksia, antavat magneettinen menetelmä sekä punnitusmenetelmä saman paikallisen kerrospaksuuden. Mittausalueita valittaessa pitää ottaa huomioon niiden sijainti, koko sekä kappaleen muoto, että tulokset edustaisivat mahdollisimman hyvin pinnoitteen keskimääräistä paksuutta. Pitkän tuotteen tarkastusnäytteestä mittausalue on oltava 100 mm etäisyydeltä reunoista kummastakin päästä, sekä suunnilleen kappaleen keskeltä. Edustavan pinnan pinta-ala vaikuttaa, montako mittausaluetta otetaan. Taulukossa kaksi on esitetty kuinka monta mittausaluetta pitää ottaa kuumasinkitetyistä kappaleesta. Mittausalueiden määrä on riippuvainen kappaleen koosta. [10.]

Taulukko 2. Mittausalueet kappaleen pinta-alan suhteen

Luokka	Edustava pinnan pinta-ala	Mittausalueiden lukumäärä kappaletta kohti
a	$> 2 \text{ m}^2$	$\geq 3$
b	$> 100 \text{ cm}^2 \dots \leq 2 \text{ m}^2$	$\geq 1$
c	$> 10 \text{ cm}^2 \dots \leq 100 \text{ cm}^2$	1
d	$\leq 10 \text{ cm}^2$	1 jokaisesta $10 \text{ cm}^2$ alueesta

Jokaiselta  $10 \text{ cm}^2$ :n alueelta mitataan vähintään 5 lukemaa magneettisella menetelmällä. Mikäli jokin yksittäinen lukemista on pienempi kuin taulukossa 1 ilmoitettu, sitä ei oteta huomioon, mikäli jokaisen mittausalueen keskimääräinen kerrospaksuus on yhtä suuri tai suurempi kuin taulukossa ilmoitettu paikallinen vähimmäiskerrospaksuus. [10.]

## 9 Tutkimuksen suoritus

Tutkimus tehdään Hyvinkään Kuumagalvanoinnille prosessien parantamiseksi. Käytettävät teräskappaleet ovat profiililtaan ja alkuainepitoisuuksiltaan erilaisia. Jokainen teräsprofiili sahataan automaattisahalla kahdeksaan osaan ja kuumasinkitään kastoajoilla 5, 7, 9 ja 11 minuuttia. Tuloksista selvitetään piipitoisuuden ja kastoajan vaikutus kunkin profiilin pinnoitteenkasvunopeuteen.

## 9.1 Koekappaleet

Käytettäviä teräsprofiileja on yhdeksän, jotka sahataan niin, että työhön tulee 72 koekappaletta. Koekappaleiden muodot ja mitat löytyvät alla olevasta taulukosta. Teräkset on hankittu FEON Oy:n tehtaalta Parolasta. Kappaleiden pii-pitoisuus, fosforipitoisuus ja muut alkuainepitoisuus arvot ovat terästen ainetodistuksista. Taulukossa kolme on työssä käytettävien teräsprofiilien massa, kappaleiden pii-pitoisuus prosentteina, kappaleiden fosforipitoisuus prosentteina, sekä kappaleiden mitat. Ainetodistukset löytyvät liitteenä lopusta, Liite 1–Liite 9. [12.]

Taulukko 3. Työssä käytettävien teräsprofiilien mitat sekä sahattujen kappaleiden paino, piipitoisuus, fosforipitoisuus ja pituus

Kappaleen mitat: leveys x korkeus x seinämän paksuus (mm)	Kappaleen massa (kg)	Kappaleen piipitoisuus %	Kappaleen fosforipitoisuus %	Kappaleen pituus (mm)
100 x 100 x 5 putkipalkki	2,5	0,19	0,009	185,3
80 x 80 x 5 putkipalkki	2,75	0,210	0,010	267,5
120 x 120 x 5 putkipalkki	3,13	0,19	0,005	188,6

200 x 200 x 8 putkipalkki	8,75	0,21	0,008	197,75
120 x 80 x 5 putkipalkki	2,5	0,17	0,006	206,5
HEB 240	15	0,14 – 0,25	0,026	204,63
UPE 200	5	0,206	0,011	207,75
100 x 50 x 8 kulmapalkki	1,75	0,18	0,015	184,5
15 x 60 lattapalkki	2,5	0,20	0,019	186,25

## 9.2 Mittausmenetelmä

Pinnanpaksuuden mittaus suoritetaan Elcometer 456 TOP magneettisella mittarilla Standardin SFS - EN ISO 1461 mukaan, niin että jokaisesta kappaleesta 10 cm<sup>2</sup>:n alueelta edustavasta pinnasta mitataan vähintään 5 lukemaa. Edustavat pinnat määriteltiin niin, että ne olivat kappaleen keskeltä kaukana reunoista ja kulmista. Jokaisesta koe-kappaleesta otettiin kuusi lukemaa. Kuva käytettävästä Elcometer 456 TOP-mittarista (Liite 20). [11.]



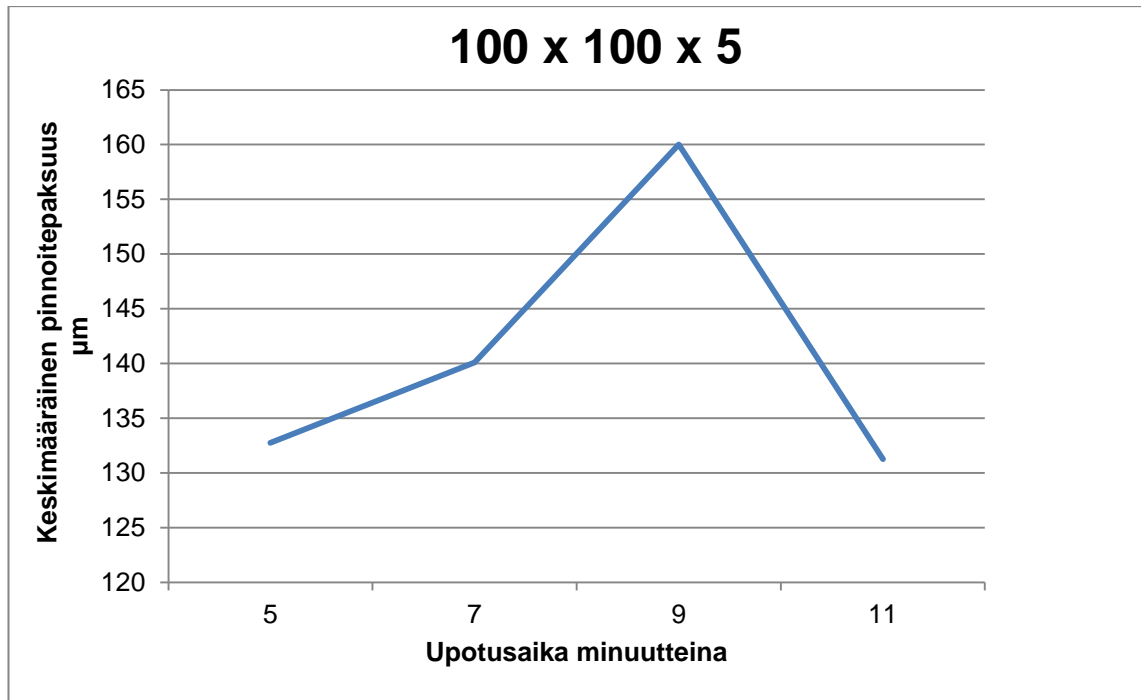
### 9.3 Kuumasinkitys

Kappaleet peitataan 10–15 prosentin suolahappoliuoksessa neljän tunnin ajan. Altaan lämpötila on 22 celsiusastetta. Esikäsitteilyn jälkeen kappaleet huuhdellaan, kuivataan puhaltimella ja kastetaan juoksutteessa. Juoksute on sinkkiammoniumkloridia, 400–600 g/l. Juoksutteen pH on 3–4 ja sitä säädetään ammoniakkivedellä. [11.]

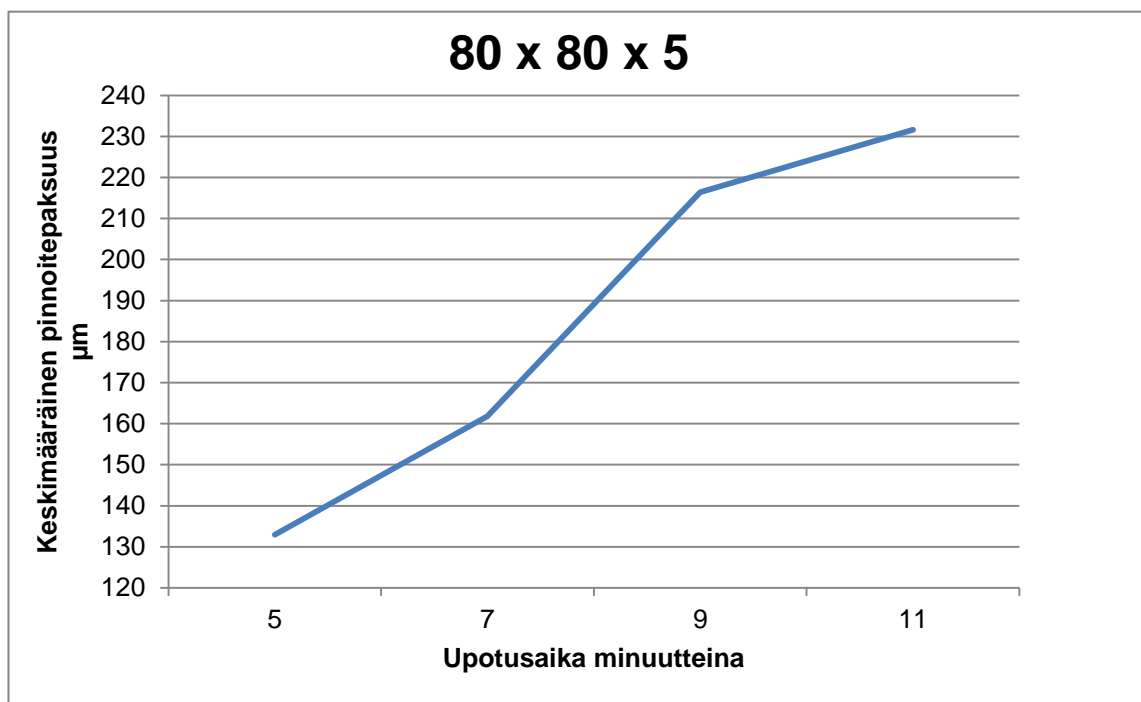
Koekappaleet upotetaan sinkkiin 5, 7, 9 ja 11 minuutin katoon niin, että jokaiseen kastoikaan tulee kaksi koekappaletta, kutakin profiilityyppiä. Sinkkikylvyn lämpötila on 453 celsiusastetta, ja sen koostumus on 99,65 % sinkkiä.

### 9.4 Koetulokset

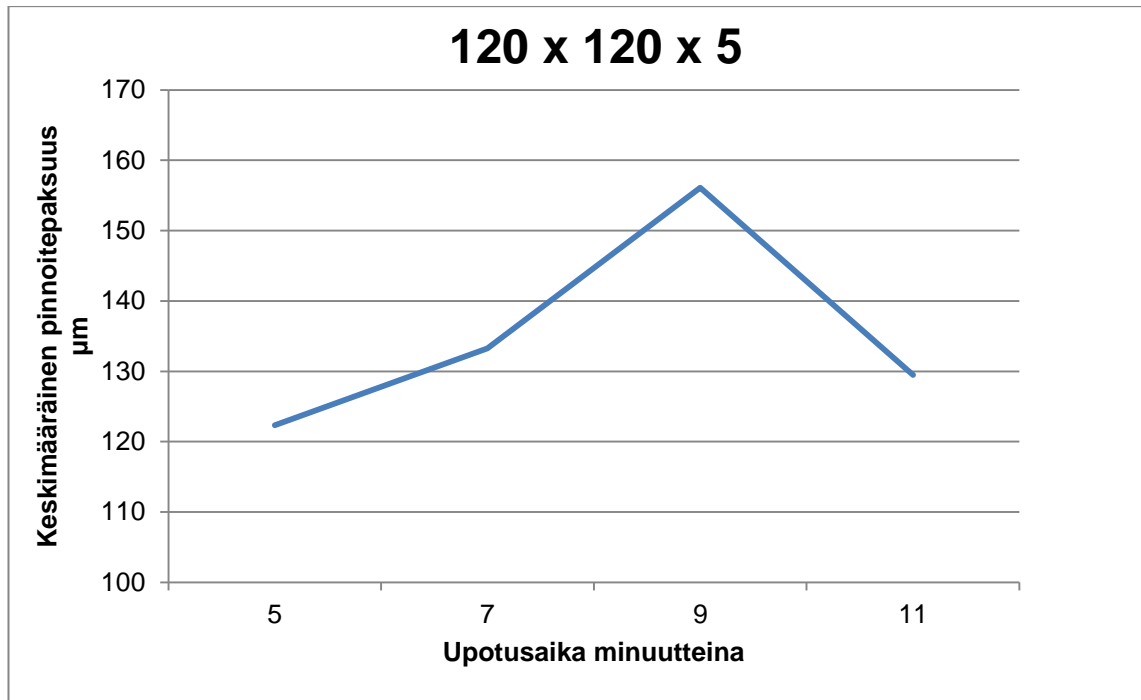
Kuvaajissa käytetään kahden saman upotusajan kappaleiden mittausten keskiarvoa. Liitteenä (Liite 10–Liite 18) mittaustulokset ja niiden keskiarvot. Kuvassa 24 ovat sinkkityt koekappaleet. Kappaleet ovat rajoitetun pii-pitoisuuden takia (Si 0,15–0,20 %) kiiltävän harmaita (vertaa kuva 8). Liitteenä kuva yhdeksän minuutin upotusajan koekappaleista, alla olevassa järjestyksessä (Liite 19).



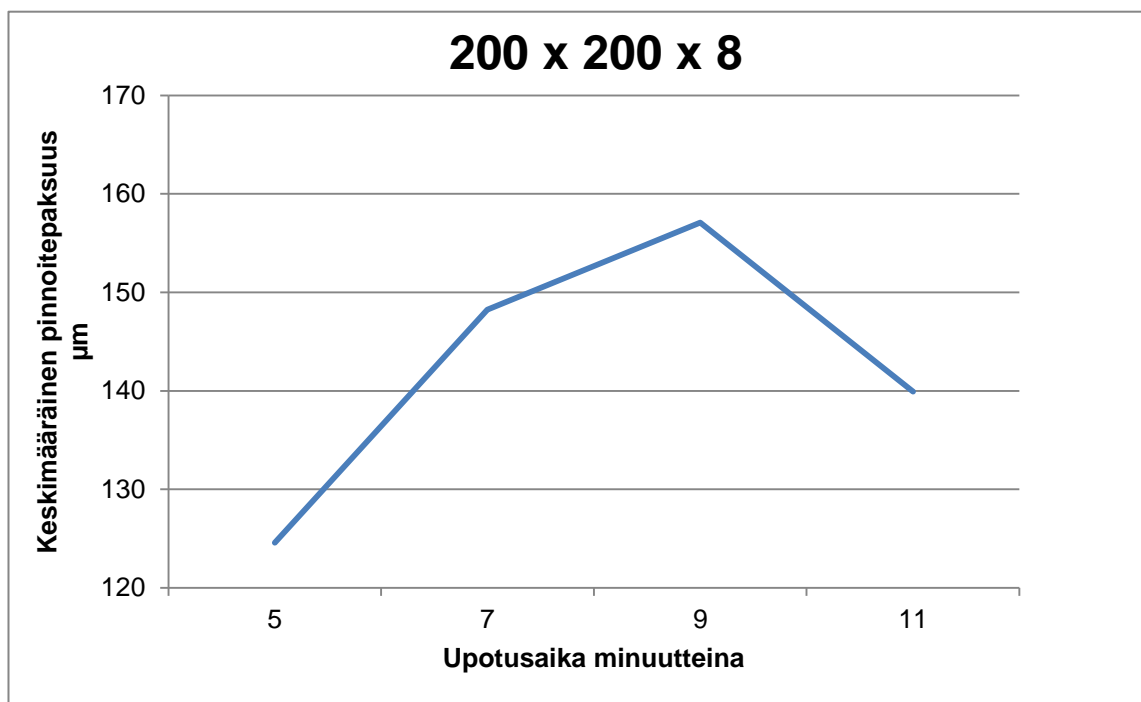
Kuva 15. 100 mm x 100 mm x 5 mm:n putkipalkki. Pinnoitepaksuus ei kasva enään yhdeksän minuutin jälkeen.



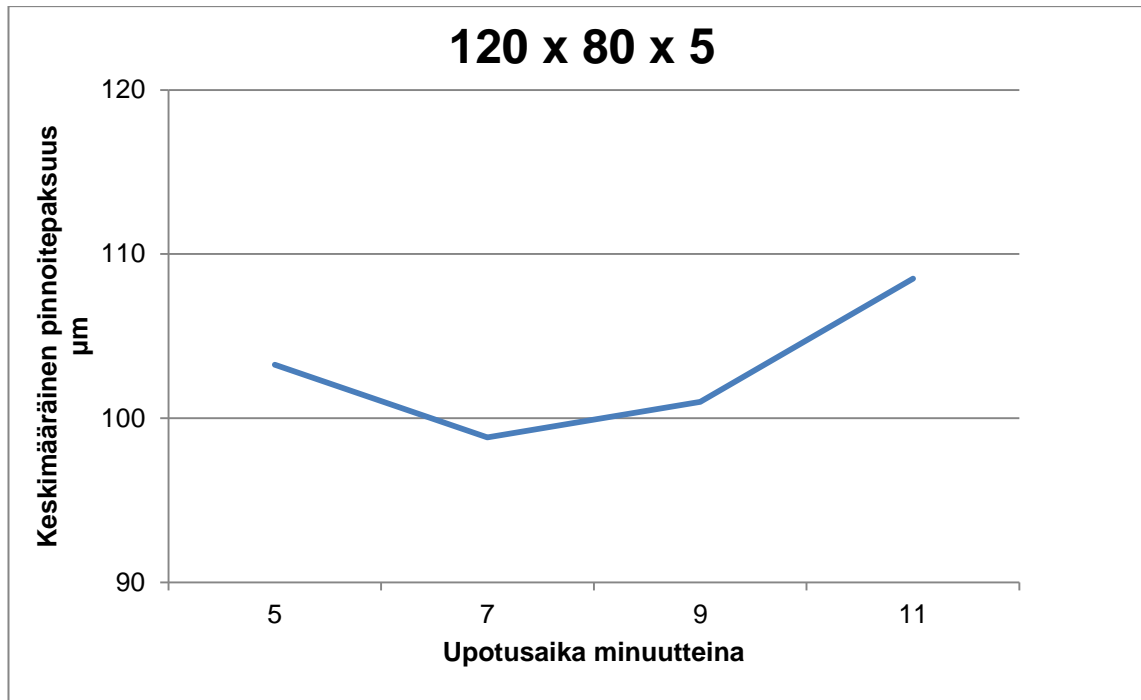
Kuva 16. 80 mm x 80 mm x 5 mm:n putkipalkki. Pinnoitepaksuus kasvaa tasaisesti yhdeksään minuuttiin asti, hidastuen tämän jälkeen.



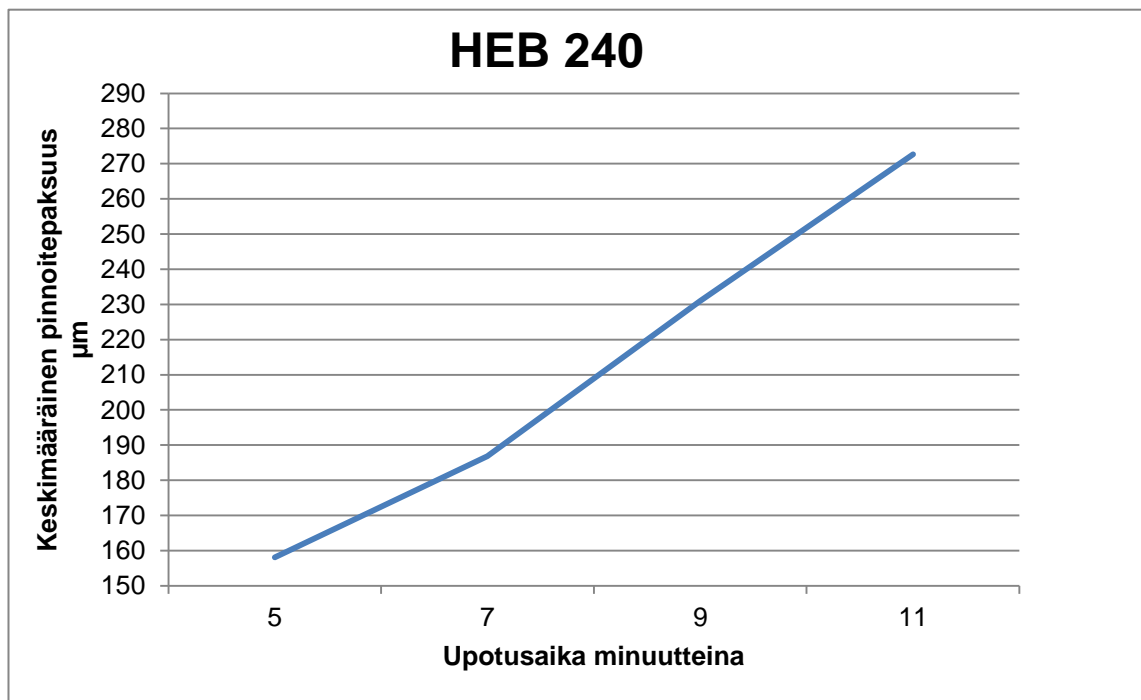
Kuva 17. 120 mm x 120 mm x 5 mm:n putkipalkki. Pinnoitepaksuus kasvaa yhdeksään minuuttiin asti, pysähtyen tämän jälkeen.



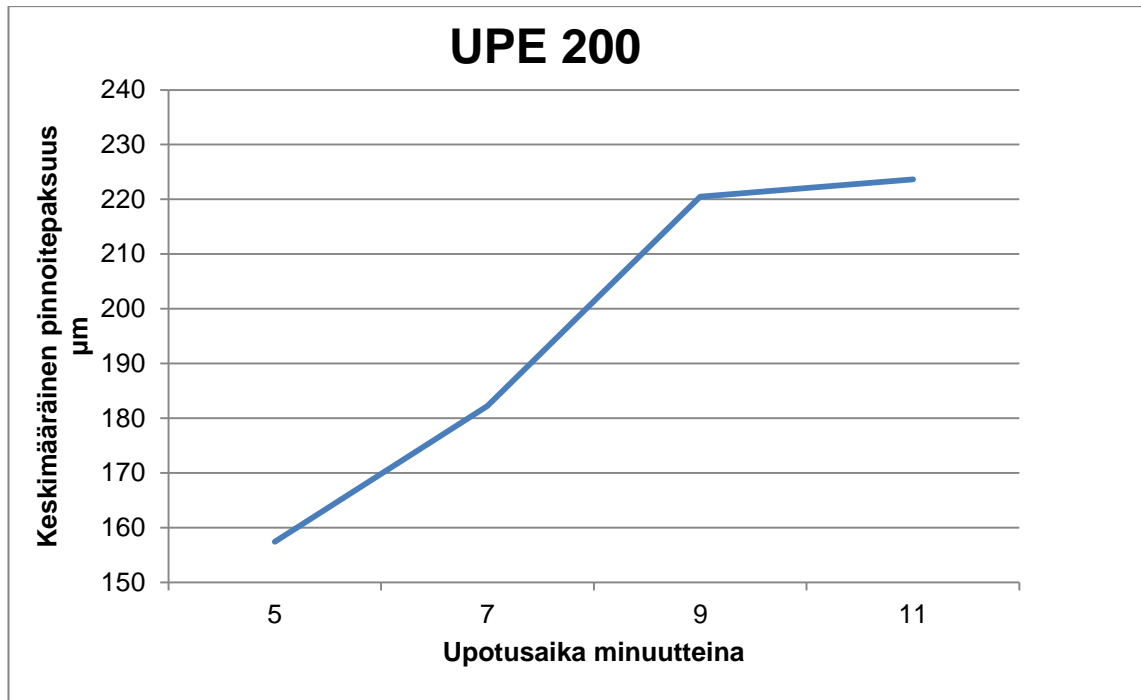
Kuva 18. 200 mm x 200 mm x 8 mm:n putkipalkki. Pinnoitepaksuus kasvaa voimakkaasti viiden ja seitsemän minuutin välillä ja saavuttaa huipun yhdeksän minuutin kohdalla.



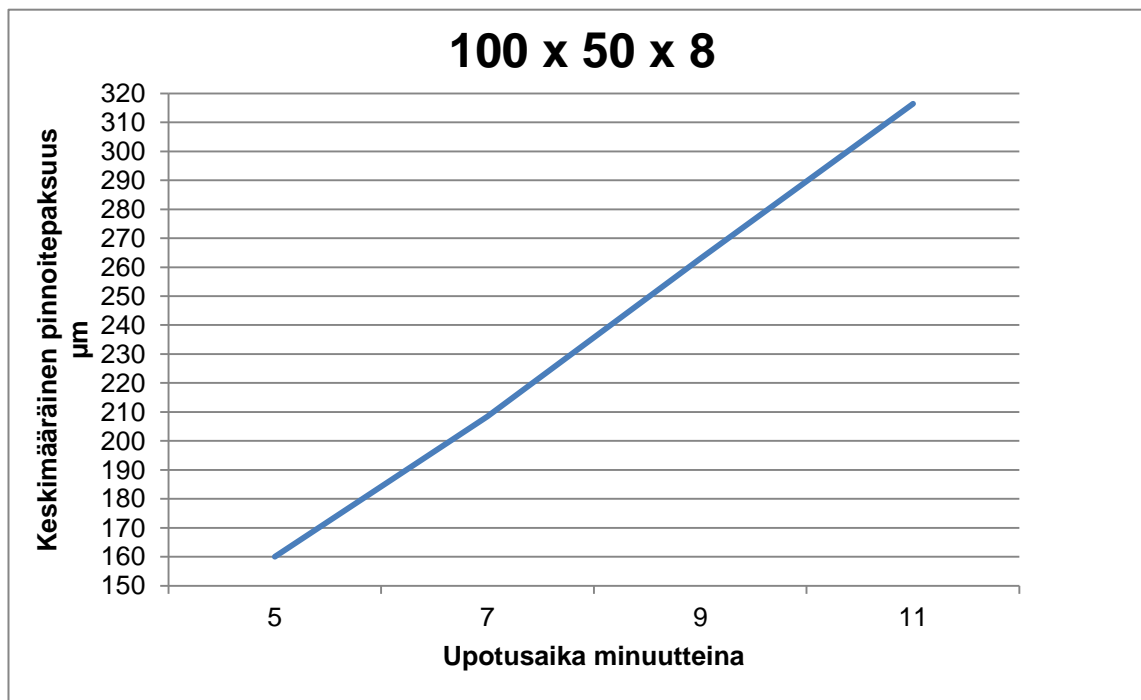
Kuva 19. 120 mm x 80 mm x 5 mm:n putkipalkki. Pinnoitepaksuus kasvaa hitaasti viidestä minuutista 11 minuuttiin.



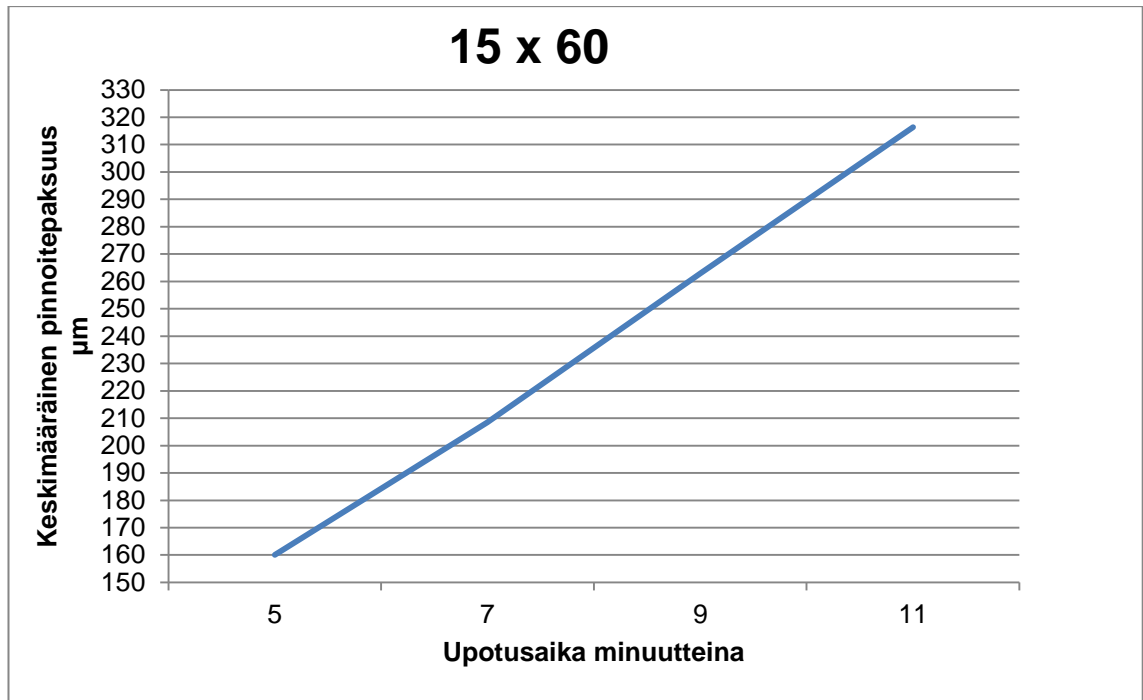
Kuva 20. HEB 240 palkki. Pinnoitepaksuus kasvaa tasaisesti viidestä minuutista 11 minuuttiin.



Kuva 21. UPE 200 palkki. Pinnoitepaksuus saavuttaa huipun yhdeksän minuutin kohdalla eikä enää nouse tästä.



Kuva 22. 100 mm x 50 mm x 8 mm:n kulmapalkki. Pinnoitepaksuus kasvaa tasaisesti upotusaajan noustessa 11 minuuttiin asti.



Kuva 23. 15 mm x 60 mm:n lattapalkki. Pinnoitepaksuus kasvaa tasaisesti upotusaikaa kasvattamalla.



Kuva 24. Kuumaupotetut kappaleet. Vasemmalla lavalla ylhäällä 7 minuutin kastossa olleet kappaleet, ylhäällä oikealla lavalla 11 minuutin kastossa olleet. Alhaalla vasemmalla lavalla 5 minuutin kastossa olleet ja alhaalla oikealla lavalla 9 minuutin kastossa olleet kappaleet.

## 9.5 Tulosten tarkastelu

### Teräksen pii-pitoisuus

Koekappaleiden pii-pitoisuudet vaihtelivat 0,14–0,25 % välillä terästen aineodistusten mukaan. Pii-pitoisuus erot eivät olleet merkittävässä asemassa pinnoitteen kasvunopeuteen, sillä kaikki teräkset kuuluivat keskipii-teräksiin ja piipitoisuus oli kuumasinkitykseen soveliaalla alueella. Korkeimmat 0,21 prosentin pii-pitoisuudet olivat 80 mm x

80 mm x 5 mm:n sekä 200 mm x 200 mm x 8 mm:n palkilla. 80 mm x 80 mm x 5mm:n koekappaleen pinnoitepaksuus kasvoi voimakkaasti kuumaupotuksessa viidestä minuutista yhteentoista minuuttiin noin 100 mikrometriä, mutta vastaavasti 200 mm x 200 mm x 8 mm koekappaleen vain noin 30 mikrometriä. Pienimmät pii-pitoisuudet olivat 120 mm x 80 mm x 5 mm:n (0,17 %) sekä 100 mm x 50 mm x 8 mm (0,18 %), joista ensimmäisen pinnoitepaksuus ei kasvanut juuri ollenkaan viiden minuutin jälkeen, kun taas toisen koekappaleen pinnoitepaksuus kasvoi lähes 150 mikrometriä. Tulokset olivat niin vaihtelevia riippumatta koekappaleiden pii-pitoisuuksista, että sen avulla ei voida tulkita pinnoitepaksuuden kasvunopeutta. Mikäli koekappaleiksi olisi saatu alapiiterästä (pii-pitoisuus alle 0,04 %), olisi tuloksia voinut vertailla paremmin toisiinsa.

#### Teräksen fosforipitoisuus

Koekappaleiden fosforipitoisuudet olivat välillä 0,005–0,026 %. Koekappaleiden fosforipitoisuudella oli vaikutusta syntyvän kalvon paksuuteen yhdessä piin kanssa. Fosforipitoisuus etenkin alhaisilla pii-pitoisuuksilla (0,04 %) vaikuttaa sinkitystulokseen. Alhaisen fosforipitoisuuden kappaleet 120 mm x 120 mm x 5mm (0,005 % P ja 0,19 % Si), kappaleen pinnoitepaksuus kasvoi alle 40 mikrometriä ja 120 mm x 80 mm x 5 mm (0,006 % P ja 0,17 % Si) pinnoitepaksuus ei kasvanut juuri ollenkaan upotusaikaa lisäämällä. Korkeiden fosforipitoisuuden koekappaleilla HEB 240 (0,026 % P ja 0,14 % - 0,25 % Si) pinnoitepaksuus kasvoi yli 100 mikrometriä ja 15 mm x 60 mm (0,019 % P ja 0,17 % Si) yli 150 mikrometriä, myös 100 mm x 50 mm x 8 mm (0,015 P % ja 0,18 % Si) pinnoitepaksuus kasvoi upotusajan noustessa yli 150 mikrometriä. Pii-pitoisuudet olivat lähellä toisiaan, mutta fosforipitoisuus erot olivat yli viisinkertaisia toisiinsa nähden. Korkeat fosforipitoisuudet teräksessä kiihdyttävät kuumasinkkipinnoitteen kasvua.

#### Muut alkuaineet

Korkeat rikkipitoisuudet (yli 0,2 % S), voivat kiihdyttää Fe-Zn-seoskerrosten kasvua. Työssä käytettävien terästen rikkipitoisuus ei ollut merkittävä tekijä pinnoitteen kasvunopeuteen, sillä koekappaleiden rikkipitoisuudet jäivät alle 0,05 %:n. [3, s.61.]



### Teräksen hiilipitoisuus

Yleisesti on arvioitu, että kun teräksen hiilipitoisuus ovat välillä 0,05–0,20 % ja mikrorakenteen ollessa ferriittis-perliittinen, ei hiilellä ole juurikaan vaikutusta syntyvän Fe-Zn-kerroksen paksuuteen. [3, s.56–57] Käytettävien koekappaleiden hiilipitoisuudet eivät ylittäneen 0,20 prosenttia.

### Teräksen alumiinipitoisuus

Alumiiniseosteisissa teräksissä alumiinipitoisuus vaihtelee 0,02–0,08 %. [3, s.60–61] Työssä käytettävien koekappaleiden alumiinipitoisuudet jäivät alle 0,04 prosentin. Edellä mainittujen pienten alumiinimäärien vaikutusta sinkkipinnoitteen kasvuun ei ole tutkittu. Alumiinilla ei ole todennäköisesti suurta vaikutusta sinkkikerroksen muodostumiseen.

### Teräksen mangaani- nikkeli -kromipitoisuus

Mangaani, nikkeli, ja kromiseostusten on todettu jonkun verran lisäävän Fe-Zn-seoskerroksen kasvunopeutta. Rakenneteräokset sisältävät usein 0,2–1,8 % mangaania. Runsaasti mangaania sisältävillä teräksillä saadaan ulospäin paksumpia ja ulospäin harmaita sinkkipinnoitteita, mutta todellisuudesta tämän ei voida todeta johtuvan yksinomaan mangaanista, sillä hiilen mangaanipitoisten terästen hiilipitoisuus on korkeampi. [3, s. 60] Isoimpien pinnoitepaksuuksien kappaleilla 15 mm x 60 mm kappaleen mangaanipitoisuus oli 1,33 %, nikkeliä 0,11 % ja kromipitoisuus 0,09 %, 100 mm x 50 mm x 8 mm:n mangaanipitoisuus oli 0,58 %, nikkeliä 0,11 % ja kromipitoisuus 0,11 %. HEB 240 koekappaleen mangaanipitoisuus 1,6 %, nikkeliä 0,011 % ja kromipitoisuus 0,18 %. Alhaisempien pinnoitepaksuuksien kappaleilla 120 mm x 80 mm x 5 mm:n koekappaleessa mangaania oli 1,12 %, nikkeliä 0,02 % ja kromia 0,04 %. 120 mm x 120 mm x 5 mm:n koekappaleessa mangaania oli 1,16 %, nikkeliä oli 0,03 % ja kromia oli 0,05 %. Mangaani- nikkeli- ja kromipitoisuudella ei ollut

merkitystä pinnoitteen kasvunopeuteen. Isoimpien pinnoitepaksuuksien koekappaleiden ja pienempien pinnoitepaksuus koekappaleiden mangaani- nikkeli- ja kromiarvot olivat samansuuruisia.

#### Kappaleiden massiivisuus

Kappaleiden massiivisuus ja ainevahvuus olivat kappaleiden piii-pitoisuutta tärkeämpi tekijä sinkkikalvon paksuuteen. Kevyiden koekappaleiden 80 mm x 80 mm x 5 mm:n, 100 mm x 50 mm x 8 mm:n, sekä 15 mm x 60 mm lattapalkin pinnoitepaksuus kasvoi lineaarisesti yli 100 mikrometriä viiden minuutin kastosta 11 minuutin kasaan. Tämä johtui luultavasti siitä että kappaleet lämpenevät nopeasti sinkinlämpötilaan jolloin Fe-Zn-reaktio pääsee etenemään kerrosten läpi suurella nopeudella. Massiivisilla kappaleilla 200 mm x 200 mm x 8 mm, UPE 200-palkilla pinnoitepaksuus kasvoi upotusaikana 5–11 minuuttia alle 100 mikrometriä, myös massiivisimmalla HEB 240-koekappaleella pinnoitepaksuus kasvoi upotuksen aikana vain noin 100 mikrometriä. Koekappaleet olivat painoltaan ja ainevahvuuksiltaan niin lähellä toisiaan, että analyysiä ei voida tehdä tämän perusteella. Testiin olisi pitänyt ottaa ainevahvuuksiltaan isompia kappaleita.

#### Upotusaika

Työn tärkein ja vaikuttavin tutkittava tekijä oli kappaleiden upotusajan vaikutus pinnoitepaksuuden kasvamiseen. Jokaisen koekappaleen pinnoitepaksuus kasvaa upotusaikaa lisäämällä. 100 mm x 100 mm x 5 mm, 200 mm x 200 mm x 8 mm sekä UPE 200 saavuttavat maksimi pinnoitepaksuuden jo yhdeksän minuutin kohdalla. Muilla kappaleilla pinnoitepaksuus lisääntyy vielä 11 minuuttiin saakka. HKG Oy ei mittaa upotusaikaa, vaan kappaleet upotetaan sinkkiin, pinta puhdistetaan ja kappaleet nostetaan ylös. Tässä menee noin 3–5 minuuttia. Kaikki koekappaleet saavuttavat standardin SFS EN ISO 1461 mukaisen keskimääräisen ja paikallisen kerrospaksuuden jo viiden minuutin upotusajalla. Standardin mukaiset keskimääräiset kerrospaksuudet ovat: "Teräs > 6 mm vähintään 85 µm, teräs 3 mm < 6 mm vähintään 70 µm, teräs 1,5 mm < 3 mm vähintään 55 µm, teräs < 1,5 mm 45 µm". Koekappaleilla pienin saavutettu keskimääräinen pinnoitepaksuus oli yli 100 µm, eli huomattavasti yli standardin vaatiman arvon. HKG:n ei tarvitse jatkossakaan mitata upotusaikaa. Pinnan puhdistamiseen käytettävä aika riittää saavuttamaan tarvittavan kerrospaksuuden.

## 10 Yhteenveto

Insinööriyössä tuli selville että lyhyt kasto aika riittää saavuttamaan tarpeellisen pinnoitepaksuuden. HKG Oy:n ei tarvitse mitata kuumaupotusaikaa, sillä standardin mukaiset 45–85 µm:n kerrospaksuudet saavutetaan jo alle viiden minuutin kastoajalla. Koekappaleet olivat suhteellisen samankokoisia ja ainevahvuudet olivat melko samat. Lisäksi kaikki teräkset olivat samalla pii-pitoisuus alueella. Korkeat fosforipitoisuudet yhdessä pii-pitoisuuden kanssa kiihdyttivät pinnoitepaksuuden kasvua jonkun verran. Kuumaupotukseen kannattaa valita teräs jonka fosforipitoisuus on mahdollisimman alhainen. Toinen vaikuttava tekijä oli kappaleiden massiivisuus. Pienten teräsprofiilien pinnoitepaksuus kasvaa voimakkaammin kuin suurten teräsprofiilien. Tämä johtuu siitä että pienet teräskappaleet saavuttavan nopeammin sinkkikyllyn lämpötilan ja näin ollen Fe-Zn-faasikerros muodostuu nopeammin. Erot sinkkityskalvon paksuudessa sekä myös kappaleiden ulkonäössä olisivat voineet näkyä selvemmin, jos koekappaleiden massiivisuudet ja pii-pitoisuudet olisivat poikenneet merkittävästi toisistaan.

## Lähteet

1. Hyvinkään Kuumagalvanointi Oy, Verkkodokumentti <http://www.hkg.fi/>. Luettu 4.10.2016
2. Kuumasinkitys, 2017, Verkkodokumentti <http://www.aurajoki.fi/palvelut-top/kuumasinkitys>. Luettu 4.10.2016
3. Soininen R, EVTEK 2007, Kuumaupotukset, Materiaali- ja pintakäsittelytekniikan julkaisu nro 9
4. Thomas R, 1991, Kuumasinkitys Suomen Kuumasinkittäjät ry.
5. Yli-Pentti Arto, Kuumaupotukset, Kuumaupotukset osa 1, luentomateriaalia, Metropolia. Verkkodokumentti. Luettu 5.10.2016
6. Rajala, Janne, Sulametallihauraus lujien terästen kuumaupotuksessa, opinnäytetyö, Metropolia. Verkkodokumentti. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/83965/Sulametallihauraus%20lujien%20terasten%20kuumaupotuksissa.pdf?sequence=1>. Luettu 6.10.2016
7. Nordic Galvanizers, Reaktiot raudan ja sinkin välillä, Verkkodokumentti <http://www.nordicgalvanizers.com/foretag/Steelsuomi.htm>. Luettu 12.10.2016
8. Teräksen valinta kuumasinkitettävään rakenteeseen, Yleisohje 2007, Verkkodokumentti [http://www.kuumasinkitys.fi/teraksenvalintaohje\\_2007.pdf](http://www.kuumasinkitys.fi/teraksenvalintaohje_2007.pdf).
9. Rautaruukki oyj, Käsikirja 2012, Rakenneputket käsikirja, Verkkodokumentti [https://software.ruukki.com/Ruukki-Rakenneputket-Kasikirja-2012\\_PDF-versio.pdf](https://software.ruukki.com/Ruukki-Rakenneputket-Kasikirja-2012_PDF-versio.pdf). Luettu 27.10.2016
10. SFS-EN ISO 1461. 2010. Valurauta- ja teräskappaleiden kuumasinkkipinnoitteet. Spesifikaatiot ja testaus menetelmät.
11. Hujanen, Tomi, 2017, Tuotantopäällikkö, HKG Oy, sähköpostikeskustelu 22.2.2017
12. Juvonen, Tomi, 2017. Työnjohtaja, FEON Oy, sähköpostikeskustelu 18.1.2017

Liite 1. 15 mm x 60 mm:n lattapalkki ainetodistus. Sulatusnumero: 38582

**Duferco Danish Steel**

Duferco GROUP

DK-3300 Frederiksøer - Telefon +45 47767600

**FEON OY**  
Teollisuuskatu 33  
FI-00510 - Helsinki 51  
FINLAND

Lieferbedingung / Specification:  
EN 10025-2 S355J2+AR

**BESCHEINIGUNG / CERTIFICATE**

Stabstahl/Bars

Seite / Page: 3/4 Nr./No.: 85453

Type: EN 10204 / 3.1

Ihrer Auftrag/Your order: 5741

Ihrer Auftrag/Our order: 54183

Datum/Date: 02-12-2016

Lieferstelle/Delivery address:

Feon Oy / Hattula

Onnitie 3

FI-13720 - Parola

FINLAND

Toleranz Tolerance: EN10058

Pos.	Product Type	Abmessungen/Dimensions											Stk/Pcs	Gewicht/Weight	Schmelze/Heat	Lieferzustand/Condition of delivery					
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	17 Flat	6000												1	2121	38582	Walzzustand / As rolled  Kennzeichnung/Marking <b>CE</b>  Sachverständigen/Quality Inspector:  Schmelzverfahren: 10.000-20.000 t-Converter-Verfahren/Oxygen converter 30.000-99.999 t-Elektro-Ofen-Eldeste-furnace Im Pfanne raffiniert/Ladle refined				
Total weight: 2121																					
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	C	Mn	Si	P	S	Cr	Cu	Ni	Mo	Sn	Al	Nb	Ti	V	B	N	Ceq - Carbon-Equivalent (IIW - formula)				
	14	138	20	19	17	10	22	11	4		0	2	12	34		90	42				
Zugversuch/Tensile test		Kerbschlagbiegeversuch/Impact test/ISO - V						Hardness			DDS requires, that all billet suppliers make statement in writing to the effect, that the billets delivered have not been exposed to and / or contaminated with radiation. Bei Material mit einer Dicke unter 10 mm, werden die Kerbschlagproben zu einer Breite von entweder 7,5 mm oder 5,0 mm bearbeitet. For material with thickness less than 10 mm, the impact testpieces are machined to a width of either 7,5 mm or 5,0 mm.										
	ReH	Rm	A5	1			2			3							Temp				
	372	509	29	55			56			22							44				
	MPa		%	Joule						°C			HB								



06  
0045 CPR-0620  
EN 10025-1

See www.duferco.dk for Declaration Of Performance:

DDS 009

Wir bestätigen, dass die Lieferung den Forderungen der obengenannten Lieferbedingungen und des Auftrages entspricht.  
We hereby certify, that the material has been produced and tested in compliance with the mentioned specification and with the requirement of the order.

Duferco Danish Steel A/S

*Inge Beierholm*  
Inge Beierholm  
Quality Department  
2/12-16

Liite 2. 100 mm x 100 mm x 5 mm:n ainetodistus. Sulatusnumero: 166326



2964; 3213

СЕРТИФИКАТ КАЧЕСТВА И КОЛИЧЕСТВА  
CERTIFICATE OF QUALITY AND QUANTITY

32891



ООО "Северсталь Трубопрофильный завод Шексна"  
162250 Россия, Вологодская обл., Шекснинский район, Индустриальный парк "Шексна", строение 1  
Продавец (Экспортёр): LLC "Severstal TPZ Sheksna"  
Seller (Exporter): 162250 Russia, Vologda region, Sheksna district, Industrial park "Sheksna", building 1

Грузополучатель:

STEVCO LOGISTICS

Consignee, Ad:

STEVCO LOGISTICS

Страна назначения:

Финляндия

Country of designation:

FINLAND

Вагон №:

KB18KX33/AE933833

Freight car No:

Наименование товара:

Профиль лутый сварной замкнутой квадратный

Cold formed welded structural hollow sections square



0038

0038/CPR/SPB6011334

ТОВАРОСООБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ДОКУМЕНТ №  
SHIPPING DOCUMENT No EN 102043.1

02/15200

Заказ №

9056(528115089C)

Order No:

Код доступа

9389730338

Access code:

Контракт №

428/00186217-60138

Contract No:

Спец №

9056

Spec No:

Разрешение на вывоз №:

Export license No:

Масса нетто, т

Netto weight, t

15,490

Листов:

1

Лист:

1

Page:

Page:

ОКП

Вид груз. мест

Type of packages

Количество мест

Places

5

№ п.п. Item No	Поз № Pos No	№ плавки Heat No	№ партии Lot No	№ пакета Package No	Стандарт Standard	Марка стали Steel Grade	Тип длины Type of length	Профильразмер Dimensions, mm	Кол-во шт Quantity	Кол-во пакетов Quantity of packages	Масса, т		
											нетто Netto weight, t	брутто Gross weight, t	
1	60	256028	48664-6		EN 10219-1-06; 2-06	S355J2H	AL	100x100x5 L=12000	9	1	1,570	1,575	
2	60	256028	48664-1		EN 10219-1-06; 2-06	S355J2H	AL	100x100x5 L=12000	20	1	3,470	3,475	
3	60	166326	48663-13		EN 10219-1-06; 2-06	S355J2H	AL	100x100x5 L=12000	20	1	3,465	3,470	
4	60	166326	48663-12		EN 10219-1-06; 2-06	S355J2H	AL	100x100x5 L=12000	20	1	3,465	3,460	
5	60	166326	48663-11		EN 10219-1-06; 2-06	S355J2H	AL	100x100x5 L=12000	20	1	3,500	3,505	
											Итого:	15,490	15,515

№ плавки Heat No	Химический состав / Chemical composition																CEV	V% x10000	V% x1000	Nb% x1000	Al% x100	Alk% x100
	C% x100	Si% x100	Mn% x100	P% x1000	S% x1000	Cr% x100	Ni% x100	Cu% x100	N2% x1000	As% x1000	Ti% x1000	Mo% x1000	Pb% x1000	Sn% x1000								
166326	14	19	118	9	16	4	3	3	5	2	3	3					0,35		3	2	3	
266028	14	20	120	3	11	3	2	3	5	2	4	2					0,35		4	2	2	

Партия Lot No	Механические свойства / Test data				Холодный изгиб, ушка / Cold forming	Относительное удлинение (дальше 5) вдоль / Relative elongation A, % longitudinal	Ударная вязкость KCV-40 / Impact strength KCV-40
	Предел текучести, н/мм <sup>2</sup> / Yield strength, Rm, MPa	Предел прочности, н/мм <sup>2</sup> / Tensile strength, Rm, MPa					
48663	539	595			УД/SAT	24	85/80/82
48664	539	595			УД/SAT	24	110/115/110

Примечание: Указанный в настоящем ДОКУМЕНТЕ товар соответствует по качеству действующим стандартам, техническим условиям и спецификациям и может быть отгружен на экспорт.  
Notes: It is hereby the quality of goods mentioned in this DOCUMENT is in conformity with demands of specifications to contract and the goods may be exported.

Проверочный код: 9389730338  
Access code:



2 4 4 7 9 5 9

Адрес:

ТЭСА 127-426

Технический контроль

Инспектор по качеству Майорова Н. А.

Мастер Будина А. Г.


Дата 24.09.2016

Дата 24.09.2016

Распечатано: Майорова Н. А.  
24.09.2016 7:36:23


Liite 3. 120 mm x 80 mm x 5 mm:n ainetodistus. Sulatusnumero: 168514

4649




СЕРТИФИКАТ КАЧЕСТВА И КОЛИЧЕСТВА  
CERTIFICATE OF QUALITY AND QUANTITY

45320



ООО "Северсталь Трубопрокатный завод Шексна"  
162200 Россия, Вологодская обл., Шекснинский район, Индустриальный парк "Шексна", строение 1  
Продавец (Экспортер): LLC "Severstal TPZ-Sheksna"  
162200 Russia, Vologda region, Sheksna district, Industrial park "Sheksna", building 1  
Setler (Exporter):  
Грузополучатель: STEVECO OY  
Consignee, Ad: STEVECO OY,  
Страна назначения: FINLAND  
Country of designation:  
Вагон №: KB18KX33/AE933633  
Freight car No:  
Наименование товара: Профиль пазовый сварной (автомат)  
Description of goods: Cold formed welded structural hollow sections rectangular

  
**0038**  
**0038/CP/SPB6011334**

ТОВАРОСОПРОВОДИТЕЛЬНЫЙ ДОКУМЕНТ № 02/20801  
SHIPPING DOCUMENT No EN 102043.1

Заказ № Order No: 11046(528115041H) Кад. доступа Access code: 9385599066  
Контракт № Contract No: 428/00186217-60138 Спец. № Spec No: 11046  
Разрешение на вывоз № Export license No:  
Листов: 2 Лист: 1  
Масса нетто, т Net weight, t: 19,180

Вид груз. мест Type of packages: Количество мест Places: 8

№ п.п. Item No	Под № Sub No	№ плавки Heat No	№ партии Lot No	№ пакета Package No	Партия испытаний Batch test No	Стандарт Standard	Марка стали Steel Grade	Тип длины Type of length	Профильразмер Dimensions, mm	Кол-во шт Quantity	Кол-во пакетов Quantity of packages	Масса, т	
												нетто Net weight, t	брутто Gross weight, t
1	220	168514	51127-1		54005	EN 10219-1-06; 2-06	S355J2H	AL	120x80x5 L=12000	12	1	2,050	2,055
2	220	168514	51127-2		54005	EN 10219-1-06; 2-06	S355J2H	AL	120x80x5 L=12000	20	1	3,410	3,415
3	220	168514	51127-4		54005	EN 10219-1-06; 2-06	S355J2H	AL	120x80x5 L=12000	20	1	3,440	3,445
4	220	168514	51127-5		54005	EN 10219-1-06; 2-06	S355J2H	AL	120x80x5 L=12000	20	1	3,440	3,445
5	220	168514	51127-6		54005	EN 10219-1-06; 2-06	S355J2H	AL	120x80x5 L=12000	20	1	3,420	3,425
6	220	168514	51127-7		54005	EN 10219-1-06; 2-06	S355J2H	AL	120x80x5 L=12000	20	1	3,420	3,425
Итого:												19,180	19,210

№ плавки Heat No	Химический состав / Chemical composition																			
	C% x100	Si% x100	Mn% x100	P% x1000	S% x1000	Cr% x100	NI% x100	Cu% x100	N2% x1000	As% x1000	Ti% x1000	Mo% x1000	Pb% x1000	V% x1000	B% x10000	CEV	Sn% x1000	Alk% x100	Al% x100	Nb% x1000
168514	14	17	112	6	14	4	2	5	5	3	3			4	5	0,34	3	2,1	3	3

Примечание: Указанный в настоящем ДОКУМЕНТЕ товар соответствует по качеству действующим стандартам, техническим условиям и спецификациям и может быть отгружен на экспорт.  
Notes: It is hereby the quality of goods mentioned in this DOCUMENT is in conformity with demands of specifications to contract and the goods may be exported.

Проверочный код: 9385599066  
Access code:



Агрег: ТЭСА 127-426 Технический контроль

Исполнитель по качеству: Федоскина И. С.  
Мастер: Серова М. И.

Дата: 25.12.2016  
Дата: 25.12.2016

Распечатано: Федоскина И. С.  
25.12.2016 14:47:22

Liite 4. 120 mm x 120 mm x 5 mm:n ainetodistus. Sulatusnumero: 267296

3295

**Северсталь**  
Северсталь

СЕРТИФИКАТ КАЧЕСТВА И КОЛИЧЕСТВА  
CERTIFICATE OF QUALITY AND QUANTITY 32951

ООО "Северсталь Трубопрокатный завод-Шекса"  
162550 Россия, Вологодская обл., Шекснинский район, Индустриальный парк "Шекса", строение 1  
Продавец (Экспортер): L.L.C. "Severstal TPZ-Sheksna"  
162550 Russia, Volograd region, Sheksna district, Industrial park "Sheksna", building 1

ТОВАРОСОПРОВОДИТЕЛЬНЫЙ ДОКУМЕНТ №: 02/18048  
SHIPPING DOCUMENT No EN 10284/3.1

Заказ № Order No: 9084(52B115107C) Код доступа Access code: 9382479153  
Контракт № Contract No: 42B/DC186217-60138 Спец № Spec No: 9084

Грузополучатель: STEVECO LOGISTICS  
Консигнация, Ad: STEVECO LOGISTICS

Страна назначения Country of destination: ФИНЛЯНДИЯ FINLAND  
Вагон № Freight car No: В306КТ750/ЕВ504550

Наименование товара Description of goods: Профиль пупый сварной замкнутый квадратный Cold formed welded structural hollow sections square

Разрешение на вывоз No: Export license No: [ ]  
Листов: Pages: 1 Лист: Page: 1  
Масса нетто, т Netto weight, t: 6,600  
Вид груз. мест Type of packages: ОКП Количество мест Places: 2

0038  
0038/CPR/SPB6011334

№ п.п.	Поз. №	№ плавки	№ партии	Партия испытаний	Стандарт	Марка стали	Тип длины	Профиль/размер	Кол-во шт	Кол-во пачетов	Масса, т		
Item No	Pos No	Heat No	Lot No	Batch test No	Standard	Steel Grade	Type of length	Dimensions, mm	Quantity	Quantity of packages	Netto weight, t	Gross weight, t	
1	70	267296	50170-1	53160	EN 10219-1-06; 2-06	S355J2H	AL	120x120x5 L=12000	16	1	3,300	3,305	
2	70	267296	50170-2	53160	EN 10219-1-06; 2-06	S355J2H	AL	120x120x5 L=12000	16	1	3,300	3,305	
											Итого:	6,600	6,610

№ плавки		Химический состав / Chemical composition																			
Heat No		C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Ni%	Cu%	N2%	As%	Ti%	Mo%	Pb%	V%	B%	CEV	Sn%	Alk%	Al%	Nb%
x100		x100	x100	x100	x1000	x1000	x100	x100	x100	x1000	x1000	x1000	x1000	x1000	x1000	x10000		x1000	x100	x100	x1000
267296		14	19	116	5	16	5	3	3	6	2	3	4	1	4	5	0,35	3	1,6	2	2

Партия испытаний	Механические свойства / Test data			
	Предел прочности, мПа / Yield strength, ReH, MPa	Предел прочности, мПа / Tensile strength, Rm, MPa	Холодный изгиб, угол / Cold forming	Относительное удлинение (длина 5) / Relative elongation A, % longitudinal
53160	479	530	УДСАТ	27

Примечание: Указанный в настоящем ДОКУМЕНТЕ товар соответствует по качеству действующим стандартам, техническим условиям и спецификациям и может быть отгружен на экспорт.  
Notes: It is hereby the quality of goods, mentioned in the DOCUMENT is in conformity with demands of specifications to conform and the goods may be exported.

Проверочный код: 9382479153  
Access code:



Адрес: ТРСА 127-426 Технический контроль

Инспектор по качеству: Язынина Е. Е.  
Мастер: Стеблевский С. М.

Дата: 09.11.2016  
Дата: 09.11.2016

Распечатано: Язынина Е. Е.  
09.11.2016 21:07:03



Liite 5. 200 mm x 200 mm x 8 mm:n ainetodistus. Sulatusnumero: 365596

**Северсталь** 3295

ООО "Северсталь Трубопрокатный завод-Шекса" 162100 Россия, Вологодская обл., Шекснинский район, Индустриальный парк "Шекса", строение 1  
 LLC "Severstal TPZ, Sheksna" 162100 Russia, Volgograd region, Sheksna district, Industrial park "Sheksna", building 1

Продавец (Экспортёр) / Seller (Exporter): STEVECO LOGISTICS  
 Грузополучатель: STEVECO LOGISTICS  
 Консигнее, Ad: STEVECO LOGISTICS

Страна назначения / Country of designation: ФИНЛЯНДИЯ / FINLAND  
 Вагон № / Freight car No: C563HE33/AK814333  
 Наименование товара / Description of goods: Профиль гнутой сварной замкнутой квадратной / Cold formed welded structural hollow sections square

СЕРТИФИКАТ КАЧЕСТВА И КОЛИЧЕСТВА / CERTIFICATE OF QUALITY AND QUANTITY 33957

ТОВАРОСОПРОВОДИТЕЛЬНЫЙ ДОКУМЕНТ № / SHIPPING DOCUMENT No EN 10264/3.1 02/15699

Заказ № / Order No: 9084(528115107C) Код доступа / Access code: 9380724011  
 Контракт № / Contract No: 428/00186217-60138 Спец № / Spec No: 9084  
 Разрешение на вывоз № / Export license No: \_\_\_\_\_ Масса нетто, т / Net weight, t: 13.545  
 Листов: 1 / Pages: 1 Лист: 1 / Page: 1

CE 0038 ОКП Вид груз. мест / Type of packages: \_\_\_\_\_ Количество мест / Places: 6  
 0038/CPR/SPB6011334

№ п.п. Item No	Поз № Pos No	№ плавки Heat No	№ партии Lot No	Стандарт Standard	Марка стали Steel Grade	Тип длины Type of length	Профилеразмер Dimensions, mm	Кол-во шт Quantity	Кол-во пакетов Quantity of packages	Масса, т Weight, t	
										нетто Netto weight	брутто Gross weight
1	180	365596	48944-15	EN 10219-1-06; 2-06	S355J2H	AL	200x200x8 L=12000	4	1	2,260	2,265
2	180	365596	48944-14	EN 10219-1-06; 2-06	S355J2H	AL	200x200x8 L=12000	4	1	2,260	2,265
3	180	365596	48944-13	EN 10219-1-06; 2-06	S355J2H	AL	200x200x8 L=12000	4	1	2,260	2,265
4	180	365596	48944-12	EN 10219-1-06; 2-06	S355J2H	AL	200x200x8 L=12000	6	1	3,385	3,390
5	180	365596	48944-11	EN 10219-1-06; 2-06	S355J2H	AL	200x200x8 L=12000	6	1	3,380	3,385
Итого:										13,545	13,570

№ плавки Heat No	Химический состав / Chemical composition															CEV	Sn% x1000	Alk% x100	Al% x100	Nb% x1000
	C% x100	Si% x100	Mn% x100	P% x1000	S% x1000	Cr% x100	Ni% x100	Cu% x100	N2% x1000	As% x1000	Ti% x1000	Mo% x1000	Pb% x1000	V% x1000	B% x10000					
365596	14	21	112	8	13	4	2	4	5	2	3	2	1	3	5	0,34	3	2,2	3	2

Партия Lot No	Механические свойства / Test data			
	Предел текучести yield / Yield strength, ReH, MPa	Предел прочности tensile strength, Rm, MPa	Холодный изгиб, угол/узд / Cold forming	Относительное удлинение / Relative elongation A, %
48944	525	573	УД/SAT	24

Примечание: Указанный в настоящем ДОКУМЕНТЕ товар соответствует по качеству действующим стандартам, техническим условиям и спецификациям и может быть отгружен на экспорт.  
 Notes: It is hereby the quality of goods mentioned in this DOCUMENT is in conformity with demands of specifications to contract and the goods may be exported.

Проверочный код: 9380724011  
 Access code:



2453221

Агент: ТЗСА 127-426 Технический контроль

Инспектор по качеству Языкина Е. Е.  
 Мастер Стебельский С. М.

Дата: 30.09.2016  
 Дата: 30.09.2016

Liite 6. 100 mm x 50 mm x 8 mm:n ainetodistus. Sulatusnumero: LM12802



Steel from electric arc furnace

FEON OY

Pag. 1/2

P.O.BOX 10819

FIN 01051 LASKUT

AGENT ORDER N. 67/1116952  
 CUSTOMER CODE 9844  
 CUSTOMER ORDER N. 4334  
 CONSIGNEE FEON OY  
 GRADE S235JR+AR

INSPECTION DOCUMENT N.: 880817  
 OFFICIAL REGULATION: EN 10025-2

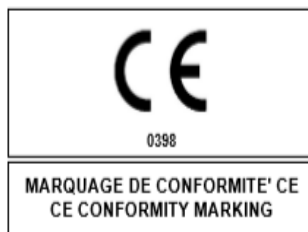
Environmental product declaration : ICQM - 14011EPD

INSPECTION CERTIFICATE 3.1 - EN10204  
 ENCLOSE CERTIFICATION CE

LOADING NUMBER: 337994 LOADING DATE: 07/10/2016 INTERNAL ORDER: E 832217

IT.	CAST	SECTION	DIMENSIONS mm	CE	LENGTH mt	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	V	Mo	Ti	Nb	N	Ceq	Al
1	LM 16277	ANGLE	25X25X3	0398	6,00	0,08	0,20	0,66	0,020	0,024	0,37	0,20	0,19	0,004	0,03	0,0016	0,0016	0,0118	0,27	0,0028
8	BE 173690	UN. ANG.	60X30X5	0398	6,00	0,09	0,20	0,61	0,030	0,010	0,43	0,15	0,15	0,004	0,03	0,0019	0,0006	0,0075	0,27	0,0049
14	LM 12802	UN. ANG.	100X50X8	0398	12,00	0,08	0,18	0,58	0,015	0,035	0,21	0,11	0,11	0,003	0,03	0,0010	0,0015	0,0107	0,22	0,0017
14	LM 12912	UN. ANG.	100X50X8	0398	12,00	0,11	0,16	0,62	0,020	0,025	0,32	0,14	0,13	0,004	0,03	0,0015	0,0013	0,0100	0,28	0,0015



IT.	CAST	ORIGIN	PRODUCT REGULATION	TEST NUM	Bdls n.	WEIGHT Kg	TENSILE TEST			IMPACT TEST			RATIO REDUC.	BEND <	TEST D	GRAIN	HARDNESS	INSPECTION SUP. INSIDE	ANTI MIX.
							Rm/MPa	Rm/MPa	A5%	E%	Kv/Kcu	300/10 J							
1	LM 16277	TRITH	EN 10056-2	2051687	2	2.889	311	462	34,8										
8	BE 173690	VICENZA	EN 10056-2	6009814	1	2.551	327	450	35,2										
14	LM 12802	TRITH	EN 10056-2	2046014	1	4.404	296	423	33,8										
14	LM 12912	TRITH	EN 10056-2	2046021	4	17.496	324	445	31,5										
INSPECTOR		FACTORY		DATE		QUALITY CONTROL DEPT			Document validated by			QUALITY ASSURANCE DEPT							
		TRITH ST LEGER		07/10/16		Amelie Boury			electronic sign			Sebastien Crom							




FEON OY  
P.O.BOX 10819  
FIN 01051 LASKUT

Pag. 2/2




INSPECTION DOCUMENT N.: 880817/  
S235JR+AR - EN 10025-2

LME DECLARE QUE LES PRODUITS INDIQUES SONT CONFORMES AUX EXIGENCES PREVUES PAR LA LEGISLATION LME DECLARES THAT THE SUITABLE PRODUCTS ARE CONFORMING TO THE REQUISITE FORESEEN BY THE LEGISLATION			
EN 10025-1 PRODUITS EN ACIER LAMINES A CHAUD HOT ROLLED STRUCTURAL STEEL PRODUCTS USAGE: STRUCTURES METALLIQUES STRUCTURES MIXTES ACIER BETON USE: METALLIC STRUCTURES MIXED STEEL-CONCRETE STRUCTURE		Elongation - Elongation Résistance à la traction - Tensile Strength Limite d'élasticité - Yield Strength Résistance aux chocs - Impact Strength Soudabilité - Weldability Durabilité - Durability: Composition chimique - Chemical composition	Comme indiqué sur DOP As indicated in the DOP
Usine Factory	Adresse Address	Année Year	Certificat de contrôle de la production Production Control Certificate
VICENZA ITALIE	81, Viale della Scienza	16	 0398/CPR/MP/15.068
TRITH ST LEGER	Rue Emile Sola	16	 0398/CPR/MP/15.013

Liite 7. 80 mm x 80 mm x 5 mm:n ainetodistus. Sulatusnumero: 317934

<b>PADANA TUBI</b> & PROFILATI ACCIAIO S.P.A. Via Portamurata, 8/A 42016 GUASTALLA (RE) - ITALIA Tel. ++ 39 522 83.85.55 (r.a.) Fax ++ 39 522 83.85.72 - 83.85.73 Cod. Fis. e P. IVA IT00323370353		TIPO DOCUMENTO - TYPE DOCUMENT (EN10204) <b>Certificato di Controllo 3.1</b> <b>Inspection Certificate 3.1</b> Nr. : 16090333	Data - Date 02/11/2016	Pag. 1/2																					
FEON LTD TEOLLISUUSKATU 33 FI-00510 HELSINKI FINLAND		(56433) Consegna: FEON OY / HATTULA (44770) Delivery: FEON OY SSC HATTULA PALVELUKESKUS ONNITIE 3 13720 PAROLA FINLAND	D.D.T. - DELIVERY NOTE 16067331 - 02/11/2016																						
Riferimenti Normativi Tubi - Hollow Sections Standard: EN 10219-1																									
Tubi saldati longitudinalmente (ERW) Longitudinal Welded Tubes (ERW)			Composizione Chimica Chemical Composition																						
Dim. Sp. L Acciaio Fin. Lotto MT Peso Colata Th Steel Heat (mm) (mm) (mm) (m) (kg)			Proprietà Meccaniche e Tecno-logiche Mechanical and Technical Properties																						
			Trazione / Tensile Test Durezza Resilienza ReH Rm A A80 Hardness Charpy Impact Test (KV) MPa % HRB HB30 1 (J) 2 (J) 3 (J) X (J) T (° C)																						
ORDINE CLIENTE - CUSTOMER ORDER 2324		ORDINE PADANA TUBI - P.T. ORDER S2 - 16034837		FATTURA - INVOICE UC - 16048723 - 02/11/2016																					
Ø 80.3	5.00	12000	S155J2H	TQ04471051	228	1.460	Q264474	0.130	0.030	1.130	0.012	0.005	0.016	0.003	0.030	0.003	0.050	0.030	0.004	0.030	0.005	0.334	414	490	29,0
Ø 80.3	5.00	12000	S155J2H	TQ04471123	228	1.457	Q264474	0.130	0.030	1.130	0.012	0.005	0.016	0.003	0.030	0.003	0.050	0.030	0.004	0.030	0.005	0.334	414	490	29,0
Ø 80.3	5.00	12000	S155J2H	TQ04471201	228	1.449	Q264474	0.130	0.030	1.130	0.012	0.005	0.016	0.003	0.030	0.003	0.050	0.030	0.004	0.030	0.005	0.334	414	490	29,0
Ø 80.3	5.00	12000	S155J2H	TQ04471294	228	1.437	Q184505	0.150	0.020	1.140	0.015	0.005	0.013	0.004	0.020	0.002	0.030	0.010	0.002	0.020	0.008	0.349	475	522	35,6
Ø 80.3	5.00	12000	S155J2H	TQ04471515	228	1.440	Q112959	0.150	0.180	1.020	0.021	0.005	0.002	0.005	0.052	0.002	0.060	0.040	0.004	0.050	0.007	0.342	425	500	29,0
Ø 80.3	5.00	12000	S155J2H	TQ04471724	228	1.455	Q184505	0.150	0.020	1.140	0.015	0.005	0.013	0.004	0.020	0.002	0.030	0.010	0.002	0.020	0.008	0.349	475	522	35,6
ORDINE CLIENTE - CUSTOMER ORDER 4813		ORDINE PADANA TUBI - P.T. ORDER S2 - 16048988		FATTURA - INVOICE UC - 16048723 - 02/11/2016																					
Ø 80.80	4.00	12000	S155J2H	TQ04495316	240	2.058	A102804678	0.130	0.028	1.430	0.016	0.010	0.005	0.052	0.029	0.005	0.040	0.030	0.005	0.060	0.005	0.394	532	596	25,5
Ø 80.80	5.00	12000	S155J2H	TQ04474930	192	2.086	Q217945	0.150	0.190	1.060	0.015	0.022	0.002	0.006	0.045	0.002	0.060	0.030	0.004	0.050	0.005	0.350	472	506	37,5
Ø 80.80	5.00	12000	S155J2H	TQ04474997	192	2.078	Q117929	0.160	0.180	1.050	0.017	0.012	0.002	0.010	0.037	0.002	0.060	0.040	0.003	0.060	0.007	0.356	472	556	37,5
Ø 80.80	5.00	12000	S155J2H	TQ04475042	192	2.082	Q117929	0.160	0.180	1.050	0.017	0.012	0.002	0.010	0.037	0.002	0.060	0.040	0.003	0.060	0.007	0.356	438	547	36,3
Ø 80.80	5.00	12000	S155J2H	TQ04475085	192	2.088	Q117929	0.160	0.180	1.050	0.017	0.012	0.002	0.010	0.037	0.002	0.060	0.040	0.003	0.060	0.007	0.356	438	547	36,3
Ø 80.80	5.00	12000	S155J2H	TQ04475155	192	2.052	Q117924	0.160	0.210	1.220	0.010	0.013	0.002	0.004	0.046	0.003	0.060	0.040	0.004	0.060	0.007	0.384	438	547	36,3
Controllo visivo e dimensionale: esito positivo Visual and dimensional control: OK		 Padana Tubi S.p.A., Via Portamurata 8/A, I-42016 Guastalla (RE) 16 0948-CPR-0063 or 0948-CPR-0064		Certificiamo che il prodotto fornito è conforme ai requisiti dell'ordine We certify that material supplied complies with the requirements agreed on order																					
P.N.D.: correnti indotte sulla saldatura: esito positivo NDT: Eddy Current test on the weld: OK		EN 10219-1:2006 Profili di cavi di acciaio formati a freddo per edilizia e ingegneria civile Cold formed steel hollow sections for building and civil engineering Designazione del prodotto: vedi sopra Product designation: see above Sostanze pericolose / Dangerous substance: N/D Durabilità / Durability: N/D		Padana Tubi & Profilati Acciaio S.p.A. Controllo Qualità / Quality Department Resp. Qualità / Quality Manager Ing. Carlo Maramotti																					

Liite 8. HEB 240:n ainetodistus. Sulatusnumero: 28258

<b>010 Sales office:</b> ArcelorMittal Commercial Long Finland OY Topeliuksenkatu 15 FI-00250 HELSINKI		<b>011 Class:</b> ArcelorMittal Belval & Differdange Site de Belval L-4008 Esch/Alzette		<b>012</b> ArcelorMittal Belval & Differdange Service Gestion Qualité 66, rue de Luxembourg L-4009 Esch/Alzette												
<b>013</b> Our reference : 1100460075 <b>014</b> Your reference : 4235 27.09.2016 FEON OY		<b>015</b> <b>Certificate Nr X 3367007</b> Delivery note number 3367007 from 3 October 2016		<b>016</b> FEON OY Teollisuuskatu 33 FI-00150 HELSINKI		<b>017</b>										
<b>018</b> S355J2+M ACCORDING TO EN 10025-2/2004 C <sub>eqv</sub> = 0,43% MAX, 14 CHEM EL, SUITABLE FOR GALVANISATION <b>019</b> Inspection certificate according to EN 10204:2004 / 3.1		<b>020</b>		<b>021</b>		<b>022</b>										
<b>023</b>	<b>024</b>	<b>025</b>	<b>026</b>	<b>027</b>	<b>028</b>	<b>029</b>	<b>030</b>									
Order no	Product	Length	Weight	Heat nr	Weight	Stnd.	Bars									
000013	HE 240 B	12.000 mm	19,394 to	28258 28259	11,636 to 7,758 to		12 8									
<b>031</b>	<b>Heat analysis (%)</b>															
<b>032</b>		C	Mn	P	S	Si	Al	Ca	Ni	Cr	V	Nb	Mo	Ti	B	Cu
	Min					0,16										
	Max	0,20	1,60	0,020	0,020	0,25		0,35				0,040				0,43
	28258	0,09	1,13	0,026	0,010	0,17	0,011	0,001	0,33	0,16	0,19	0,027	0,025	0,040	0,019	0,0001
	28259	0,08	1,17	0,021	0,012	0,19	0,010	0,001	0,39	0,16	0,14	0,029	0,025	0,030	0,021	0,0002
<b>033</b>	<b>Tensile test</b>		<b>Charpy impact test</b>													
	R <sub>m</sub>	R <sub>m</sub>	A (%)	Position			mm °C			J						
	MPa	MPa	%	1	2	3	1	2	3	M						
	Min	365	470	22,00	22.1/3	±	-20		19		27					
	Max		420													
	28258	429	515	29,13	22.1/3	±	-20	79	153	169	133					
	28259	394	492	30,03	22.1/3	±	-20	222	314	173	204					
<b>034</b> Hot rolled products of structural steels according to EN10025-1:2004 Intended uses : Building constructions or civil engineering Durability : No performance determined Regulated substance : No performance determined Weldability : according to EN 1011-2 EAF-Steel Dimension and Shape tolerances : I- Profiles : EURONORM 19-57 and EN10034 H-Profiles : EURONORM 53-62 and EN10034 Angles : EN10056 Part 1 and 2 U-Profiles : DIN 1026 and EN 10279								<b>035</b>								
Klecker Roberto Porteur de signature spéciale 																

Code of the product type: 1.0577 / DOP: AMEB-2/09-CPR-13-1



Liite 10. 100 mm x 100 mm x 5 mm:n putkipalkki, kastoajat 5–11 minuuttia. Pinnoitepaksuudet mikrometreinä.

100 x 100 x 5 koekappale

5 min (1)	126	121	134	123	139	136
5 min (2)	131	126	123	179	127	128
7 min (1)	147	118	111	196	138	138
7 min (2)	135	126	190	118	126	138
9 min (1)	180	158	161	125	170	171
9 min (2)	187	169	159	113	174	153
11 min (1)	186	117	154	116	120	202
11 min (2)	121	116	107	126	101	109

Keskiarvo 5 min	133
Keskiarvo 7 min	140
Keskiarvo 9 min	160
Keskiarvo 11 min	131

Liite 11. 80 mm x 80 mm x 5 mm:n putkipalkki, kastoajat 5–11 minuuttia. Pinnoitepaksuudet mikrometreinä.

## 80 x 80 x5 koekappale

5 min (1)	144	132	138	135	141	125
5 min (2)	148	124	138	134	115	121
7 min (1)	192	169	163	165	135	141
7 min (2)	153	177	163	167	174	143
9 min (1)	222	218	211	197	227	175
9 min (2)	203	202	240	214	273	215
11 min (1)	202	238	265	241	272	229
11 min (2)	184	280	210	232	233	193

Keskiarvo 5 min	132,9
Keskiarvo 7 min	161,8
Keskiarvo 9 min	216,4
Keskiarvo 11 min	231,6



Liite 12. 120 mm x 120 mm x 5 mm:n putkipalkki, kastoajat 5–11 minuuttia. Pinnoitepaksuudet mikrometreinä.

## 120 x 120 x 5 koekappale

5 min (1)	129	130	141	132	117	122
5 min (2)	104	110	116	122	130	115
7 min (1)	136	130	121	117	141	122
7 min (2)	119	134	152	148	163	116
9 min (1)	247	143	223	123	231	106
9 min (2)	161	147	130	117	129	116
11 min (1)	119	151	112	190	116	126
11 min (2)	123	138	128	125	118	108

Keskiarvo 5 min	122,3
Keskiarvo 7 min	133,3
Keskiarvo 9 min	156,1
Keskiarvo 11 min	129,5

Liite 13. 200 mm x 200 mm x 8 mm:n putkipalkki, kastoajat 5–11 minuuttia. Pinnoitepaksuudet mikrometreinä.

## 200 x 200 x 8 koekappale

5 min (1)	123	118	116	121	120	136
5 min (2)	131	125	124	120	122	139
7 min (1)	173	162	168	155	141	186
7 min (2)	128	134	147	132	128	125
9 min (1)	135	123	120	135	137	185
9 min (2)	128	139	202	215	160	206
11 min (1)	157	138	129	159	145	166
11 min (2)	117	138	129	121	142	138

Keskiarvo 5 min 124,6

Keskiarvo 7 min 148,3

Keskiarvo 9 min 157,1

Keskiarvo 11 min 139,9

Liite 14. 120 mm x 80 mm x 5 mm:n putkipalkki, kastoajat 5–11 minuuttia. Pinnoitepaksuudet mikrometreinä.

## 120 x 80 x 5 koekappale

5 min (1)	140	138	136	106	75	71
5 min (2)	91	104	90	109	89	90
7 min (1)	88	96	89	88	109	110
7 min (2)	115	146	84	81	87	93
9 min (1)	89	102	95	91	102	94
9 min (2)	107	114	131	104	91	92
11 min (1)	98	95	103	117	93	97
11 min (2)	105	118	111	117	119	129

Keskiarvo 5 min 103,3

Keskiarvo 7 min 98,8

Keskiarvo 9 min 101,0

Keskiarvo 11 min 108,5

Liite 15. HEB 240 palkki, kastoajat 5–11 minuuttia. Pinnoitepaksuudet mikrometreinä.

HEB 240 koekappale

5 min (1)	156	145	160	162	159	163
5 min (2)	154	144	158	164	174	158
7 min (1)	167	185	190	183	183	174
7 min (2)	188	199	197	202	203	171
9 min (1)	219	183	234	201	225	212
9 min (2)	250	260	268	272	203	245
11 min (1)	270	287	245	292	300	287
11 min (2)	266	254	257	270	260	284

Keskiarvo 5 min	158,1
Keskiarvo 7 min	186,8
Keskiarvo 9 min	231,0
Keskiarvo 11 min	272,7

Liite 16. UPE 200 palkki, kastoajat 5–11 minuuttia. Pinnoitepaksuudet mikrometreinä. Toinen 9 minuutin kaston pala hävisi sahauksessa.

UPE 200 koekappale

5 min (1)	157	144	154	152	171	147
5 min (2)	167	158	175	156	155	153
7 min (1)	191	174	178	171	191	163
7 min (2)	175	199	193	188	188	176
9 min (1)	233	201	223	228	198	240
9 min (2)						<b>Ei ole</b>
11 min (1)	241	255	211	298	220	185
11 min (2)	224	198	205	258	186	203

Keskiarvo 5 min	157,4
Keskiarvo 7 min	182,3
Keskiarvo 9 min	220,5
Keskiarvo 11 min	223,7

Liite 17. 100 mm x 50 mm x 8 mm:n kulmapalkki, kastoajat 5–11 minuuttia. Pinnoitepaksuudet mikrometreinä.

## 100 x 50 x 8 koekappale

5 min (1)	182	180	166	152	154	163
5 min (2)	143	172	162	157	146	148
7 min (1)	191	201	209	207	176	205
7 min (2)	192	197	191	178	182	191
9 min (1)	233	219	232	208	245	226
9 min (2)	254	265	236	230	231	234
11 min (1)	278	270	271	257	293	254
11 min (2)	252	300	272	299	300	247

Keskiarvo 5 min	160,4
Keskiarvo 7 min	193,3
Keskiarvo 9 min	234,4
Keskiarvo 11 min	274,4

Liite 18. 15 mm x 60 mm:n lattapalkki, kastoajat 5–11 minuuttia. Pinnoitepaksuudet mikrometreinä.

## 15 x 60 koekappale

5 min (1)	166	156	158	157	156	163
5 min (2)	167	154	164	162	156	162
7 min (1)	213	206	210	206	207	219
7 min (2)	204	208	214	204	208	203
9 min (1)	272	274	281	287	264	276
9 min (2)	256	242	252	264	233	254
11 min (1)	318	309	293	321	280	310
11 min (2)	324	331	329	335	317	330

Keskiarvo 5 min	160,1
Keskiarvo 7 min	208,5
Keskiarvo 9 min	262,9
Keskiarvo 11 min	316,4

Liite 19. Kuva sinkittyistä koekappaleista.



Yhdeksän minuutin kaston koekappaleet, numerot ovat koetulosten kanssa samassa järjestyksessä



Liite 20. Elcometer 456 TOP magneettinen mittari.



Elcometer 456 TOP magneettinen mittari