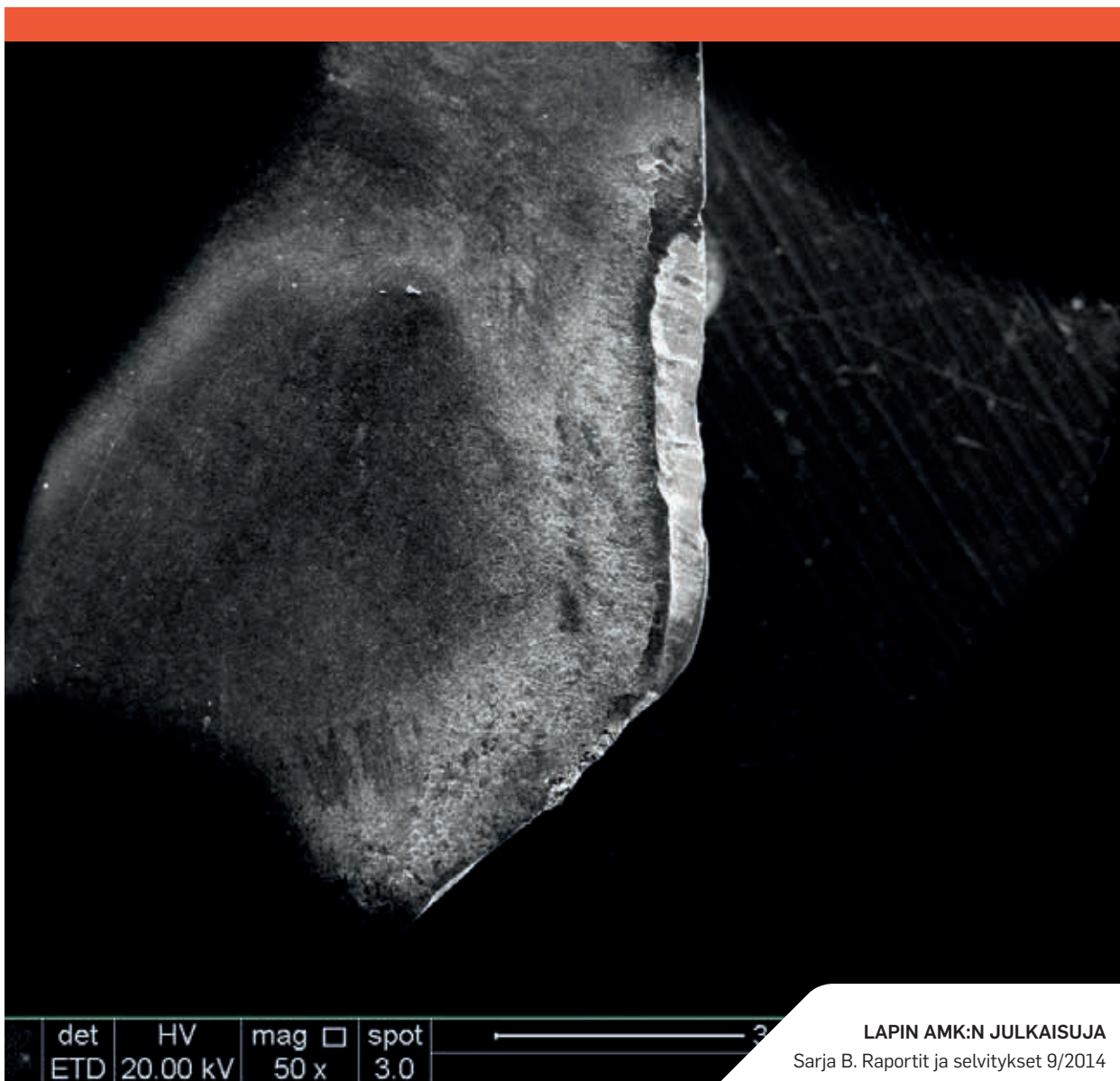


# Teräspalojen kuluminen RAEX-kulutusterästen koneistuksessa





**Teräspalojen kuluminen RAEX-kulutusterästen koneistuksessa**



Ulla Annanpalo • Antero Kyröläinen

# **Teräspalojen kuluminen RAEX-kulutusterästen koneistuksessa**

Sarja B. Raportit ja selvitykset 9/2014

© Lapin ammattikorkeakoulu ja tekijät

ISBN 978-952-316-023-1 (pdf)

ISSN 2342-2491 (verkkojulkaisu)

Lapin ammattikorkeakoulun julkaisuja  
Sarja B. Raportit ja selvitykset 9/2014

Kirjoittajat: Ulla Annanpalo & Antero Kyröläinen  
Taitto: Lapin AMK, viestintäyksikkö

Lapin ammattikorkeakoulu  
Jokiväylä 11 C  
96300 Rovaniemi

Puh. 020 798 6000  
[www.lapinamk.fi/julkaisut](http://www.lapinamk.fi/julkaisut)

Lapin korkeakoulukonserni



Lapin korkeakoulukonserni LUC  
on yliopiston ja ammattikorkeakoulun strateginen yhteenliittymä.  
Konserniin kuuluvat Lapin yliopisto  
ja Lapin ammattikorkeakoulu.  
[www.luc.fi](http://www.luc.fi)

# Sisällys

1 JOHDANTO . . . . .	7
2 JYRSIMET . . . . .	9
3 SUOSITELLUT LASTUAMISARVOT . . . . .	11
Terälaadut ja pinnoitetyypit . . . . .	12
4 KONEISTETTAVAT AIHIOT . . . . .	15
5 HAVAINNOINTI KONEISTUKSEN AIKANA . . . . .	17
6 KONEISTUSKOKEET . . . . .	21
Koneistuskoe 1 . . . . .	21
Koneistuskoe 2 . . . . .	25
Koneistuskoe 3 . . . . .	33
Koneistuskoe 4 . . . . .	37
Koneistuskoe 5 . . . . .	41
7 TERÄPALOJEN PINNOITTEEN TUTKIMUS . . . . .	45
Teräpalojen pinnoitteet . . . . .	45
R245-12 T3 M-PM 4220 . . . . .	45
R245-12 T3 M-PM 1010 . . . . .	47
490R-140420M-PM 3040 . . . . .	48
490R-140420M-PH 4220 . . . . .	49
R300-1648E-PM 1010 . . . . .	50
8 TERÄPALAN KULUMINEN . . . . .	51
Kulumisen toteaminen koneistuksessa . . . . .	51
Kulumisen tutkiminen FESEM-laitteistolla . . . . .	52
9 KONEISTETTU AIHIO . . . . .	63

10 KONEISTETUN PINNAN LAATU. . . . .	65
Pinnankarheuden mittaus . . . . .	65
Pinnankarheuden mittaustulokset . . . . .	66
11 YHTEENVETO . . . . .	67
Koneistuskokeiden sisältö . . . . .	68
Terän kuluminen . . . . .	69
Mitä opimme teräpalojen elinkaaresta? . . . . .	72
Aihion kaareutuminen. . . . .	73
LÄHTEET . . . . .	75



# 1 Johdanto

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää teräpalojen elinkaaren aikaista kulumista RAEX 400-kulutusteräksen koneistuksessa. Koneistus suoritettiin tasojiyrsinä Lapin Ammattiopiston 5-akselisella Mazak Variaxis 630-5X II-työstökeskuksella, kuva 1.



**Kuva 1.** Mazak Variaxis 630-5X II-työstökeskus

Tasojiyrsinä on yleisimmin käytetty jiyrsinämenetelmä ja siihen sopivat monenlaiset jiyrsimet. Yleisimpiä ovat 45° asetuskulmassa olevat terät, mutta tasojiyrsinään voidaan käyttää myös kulmajiyrsimiä, kiekkojiyrsimiä sekä pyöreäteräisiä jiyrsimiä. Tässä tutkimuksessa käytettiin 45° asetuskulmassa olevia teriä, 90° kulma- sekä pyöreäteräisiä jiyrsimiä.

Tässä tutkimuksessa teräpalojen kulumista seurattiin silmämääräisesti teräpaloja sekä lastunmuodostusta tarkkailemalla.

Teräpalat kuvattiin elinkaarensa päätepisteessä valo-optisella stereomikroskoopilla (12.5/16 x suurennuksella).

Teräpalojen kulumisen mekanismia selvitettiin FESEM - mikroskooppilaitteistolla, joka sisältää sekä SEM (Scanning Electron Microscope) -mikroskoopin että EDS (Energy Dispersive Spectrometer) -röntgenanalysaattorin.

## **Kiitokset**

Tutkimusraportin laatijat kiittävät seuraavia henkilöitä ja organisaatioita osallistumisesta tähän tutkimukseen:

Tutkimusta on tukenut Sandvik Coromant (Harry Lohimies, tekninen tuki ja myynti sekä Jani Mäkinen, Tool Specialist) sekä materiaalisesti että tuomalla teräpalojen ja koneistuksen teknistä asiantuntemusta.

Koneistettavia materiaaleja ja niihin liittyvää tietoa on toimittanut Ruukki (DI Pertti Mikkonen).

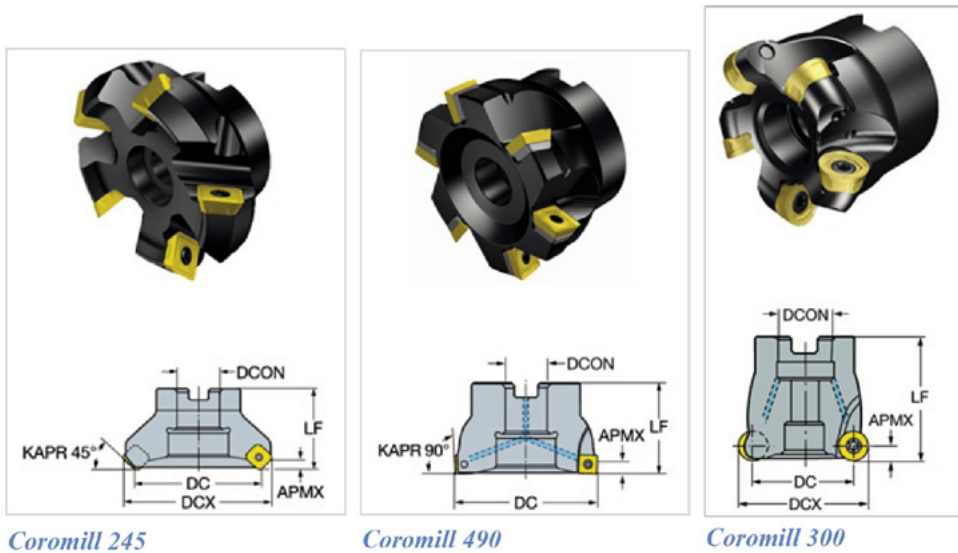
Koneistuksessa ovat olleet mukana asiantuntijana opettaja Tuomo Lilja (Lappia) ja koneistajana Liisa Seppänen.

FESEM-mikroskopiaan liittyviä tutkimuksia on Ulla Annanpalon lisäksi tehnyt Terhi Rantajärvi.

Tutkimuspuitteiden järjestelyihin on osallistunut tutkijayliopettaja Timo Kauppi.

## 2 Jyrsimet

Tutkimuksessa käytettiin Sandvik Coromantin kääntöteräpaloja, eri terägeometrioilla sekä eri pinnoitteilla. Käytössä olivat jyrsinrungot Coromill 245, Coromill 490 sekä Coromill 300, jotka oli tarkoitettu käytettäväksi pääasiassa tasojyrsintään, kuva 2.



**Kuva 2.** Käytetyt jyrsinrungot /9/

Coromill 245 – jyrsinrunkoon sopivat terät olivat 45° asetuskulmassa olevia jyrsimiä. Sandvik Coromantin mukaan 45° jyrsimet sopivat ensisijaisesti yleiskoneistukseen, niillä on vähäinen värinäälttiä suuilla vapaapituuksilla ja ne ovat tuottavia ohuiden lastujen ansiosta.

Coromill 490 – jyrsinrunnon terät olivat 90° asetuskulmassa olevia jyrsimiä. 90° jyrsimiä käytetään ohutseinäisille työkappaleille ja suorien kulmien koneistukseen. Sen sijaan niiden työkappaleiden kiinnitys on heikko.

Coromill 300 – jyrsinrungossa käytetään pyöreäteriäisiä jyrsimiä, joilla on mahdollista jyrsiä esim. kuumalujia superseoksia. Ne lastuavat juohevasti ja niissä on vahvin teräsärmä.

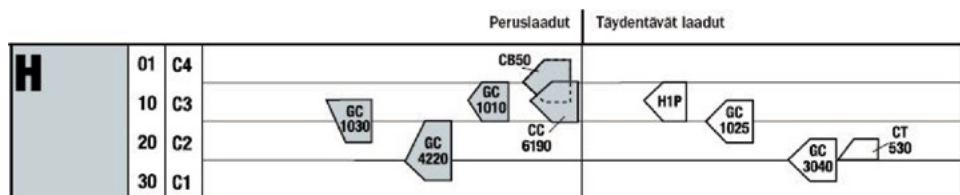
Koneistuskokeissa ei käytetty lastuamisnestettä. Koneistus suoritettiin myötäjyrsintänä ja aloitus kaarevana sisääntulona, mikä on terää säästävää aloitusmenetelmää.

# 3 Suositellut lastuamisarvot

Jyrsinnässä käytettävät lastuamisarvot vaihtelevat riippuen työn yleispiirteistä (esim. muodot), työkappaleesta (esim. kova pinta, ohuet kohdat, lastuttavuus) sekä työstökoneesta (esim. tukevuus). Lähtökohtaisesti lastuamisarvot valitaan lastuttavan teräslajin mukaisesti. Lastuamisnopeus- ja laatusuositukset ovat suhteessa aineen kovuuteen. Lastuttavuus vaihtelee eri teräslajien välillä riippuen mm. seosaineista, lämpökäsittelystä ja valmistusprosessista (esim. valu, taonta). Materiaalina RAEX 400 sijoitettiin karkaistujen aineryhmään (H), joka sisältää karkaistuja ja nuorrutettuja teräksiä, joiden kovuus vaihtelee 45 – 65 HRC. /1/

Koville teräksille Sandvik Coromant suosittelee terälaatua GC 1010 sekä suositaa valitsemaan terävsärmäisen ja positiivisen terägeometrian. Tällä tavoin voidaan helpottaa lastuamista ja pienentää lastuamisvoimia. /1/

Sandvik Coromantin teräaineet on jaettu perus- ja täydentäviin laatuihin kulumiskestävyyden ja sitkeyden perusteella. ISO/ANSI – kaavioissa teräaineet on merkitty näiden mukaisesti. Teräaineiden peruslaatuja käytetään ensisijaisesti niiden laajan käyttöalueen perusteella. Sandvik Coromantin teräpalavaihtoehdot karkaistujen teräslajien koneistukseen on esitetty kuvassa 3 (kuvassa ylhäällä: kulutuskestävyys, alhaalla: sitkeys). /1/



**Kuva 3.** Sandvik Coromantin teräpalasuositukset karkaistujen terästen koneistukseen /1/

Tämän tutkimuksen koneistuskokeissa käytettiin Sandvik Coromantin Jani Mäkisen ja Harry Lohimiehen valitseamia terälaatuja. Lastuamisarvoiksi valittiin valmistajan teräpalakohtaiset suositusten mukaiset arvot: teräsyöttö ( $f_z$ ) ja lastuamisnopeus ( $v_c$ ). Lastuamissyvyudeksi ( $a_p$ ) valittiin kaikille teräpaloille 1,5 mm, koneen maksimin ollessa 2 mm. Lisäksi teräpalan kulumista seurattiin muuttamalla lastuamisnopeutta teräpalojen suositusarvosta + 50 %.

## TERÄLAADUT JA PINNOITETYYYPIT

Kokeissa käytetyt terälaadut olivat /1/:

*GC1010 (HC) – H10 (H05 – H15)*

- PVD-pinnoitettu kovametallilaatu karkaistun teräksen koneistukseen. Toimii hyvin erilaisissa olosuhteissa rouhinnasta viimeistelyyn. Kestää poikkeuksellisen hyvän plastisten muodonmuutosten ja lämpösäröilyn vastustuskyvyn ja kulumiskestävyuden ansiosta pitkäaikaista lastuamista. Sopii karkaistun teräksen ( $\geq 36$  HRC) koneistukseen.

*GC4220 (HC) – H25 (H15 – H30)*

- Pinnoitettu kovametallilaatu karkaistun teräksen (maks. 60 HRC) kevyeen rouhintaan suotuisissa olosuhteissa. Sietää korkeita lämpötiloja.

*GC3040 (HC) – H25 (H20 – H30)*

- Pinnoitettu kovametallilaatu karkaistun teräksen rouhintaan suotuisissa olosuhteissa pienillä ja kohtalaisilla lastuamisnopeuksilla.

Koneistuskokeiden teräpaloissa oli pinnoitteena PVD- sekä CVD -pinnoitteita. /2/ CDV-pinnoite (Chemical Vapor Deposition) tarkoittaa kemiallista kaasufaasipinnoitusta, joka tehdään 700-1050 °C lämpötiloissa. PVD-pinnoite tarkoittaa fysikaalista kaasufaasipinnoitusta (Physical Vapor Deposition), joka tehdään 400-600 °C lämpötiloissa höyrystämällä metallia, joka kondensoituu teräpalkan pinnalle kovaksi nitridipinnoitteeksi. /2/

CVD-pinnoitteen tärkeimmät raaka-aineet ovat /2/:

- Ti(C,N) – Titaanikarbonitridi (TiN:ä kovempaa)
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Alumiinioksidi (kemiallinen inerttiys, johtaa huonosti lämpöä)
- TiN – Titaaninitridi (kullan värinen)
- Jälkikäsitteily (parantavat sitkeyttä ja kuorimistaipumusta)

Kuvassa 4 on esitetty CVD-pinnoitetun teräpalkan pinnoitekerrokset TiN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiCN ja kovametalli.



**Kuva 4.** CVD-pinnoitetun teräpalan pinnoitekerrokset ylimmästä alimpaan: TiN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiCN ja kovametalli./2/



**Kuva 5.** PVD-pinnoitetun teräpalan poikkileikkaus, jossa näkyy pinnoitekerros ja kovametalli./2/

PVD-pinnoite sisältää erilaisia pinnoiteraaka-aineita kerroksina tai lamelleina, kuva 5. Pinnoitteen kokonaispaksuus on yleensä 3-6 µm. PVD-pinnoitteen tärkeimmät raaka-aineet /2/:

- TiN – Titaaninitridi
- Ti(C,N) - Titaanikarbonitridi
- (Ti,Al)N – Titaanialumiininitridi
- Oksidit (kemiallinen inerttiys ja kuoppakulumisen kesto)



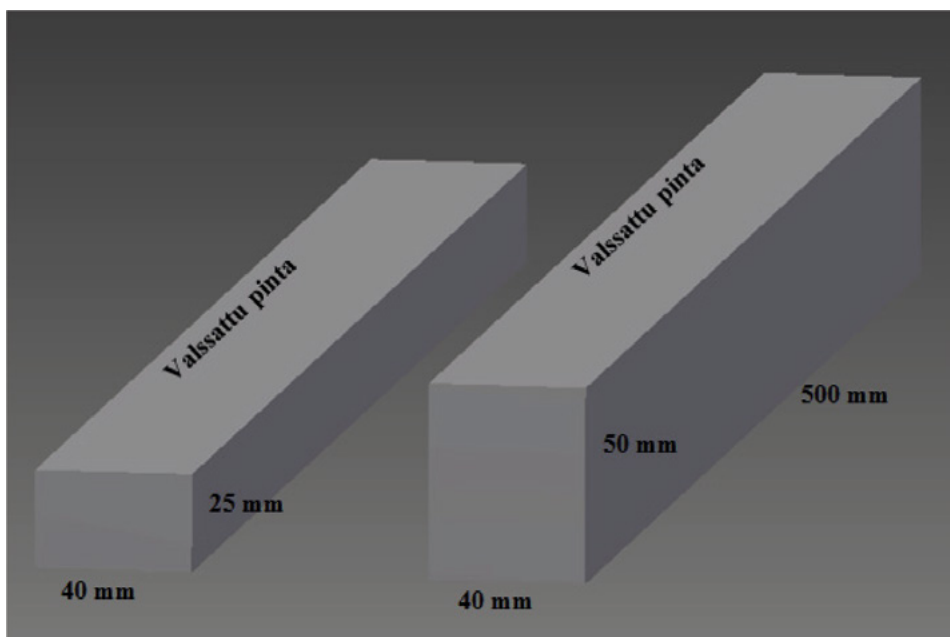


## 4 Koneistettavat aihiot

Kuvassa 6 on esitetty koneistettavat aihiot, jotka oli valmistettu 50 mm (RAEX 400) ja 25 mm (RAEX 450) paksuista levyistä vesileikkaamalla. Aihiosta esikoneistettiin kaikki muut pinnat lukuun ottamatta kuvan mukaista alinta pintaa.

Isompi aihio oli noin 40\*50 mm ja pienempi noin 40\*25 mm. Isommasta aihiosta pystyttiin koneistuskokeissa lastuamaan yhteensä 25 lastua eli 37,5 mm kerrallaan. Pienemmästä 10 lastua eli 15 mm.

Aihio 40\*25 mm oli RAEX 450 – ja isompi 40\*50 mm RAEX 400 – materiaalia.



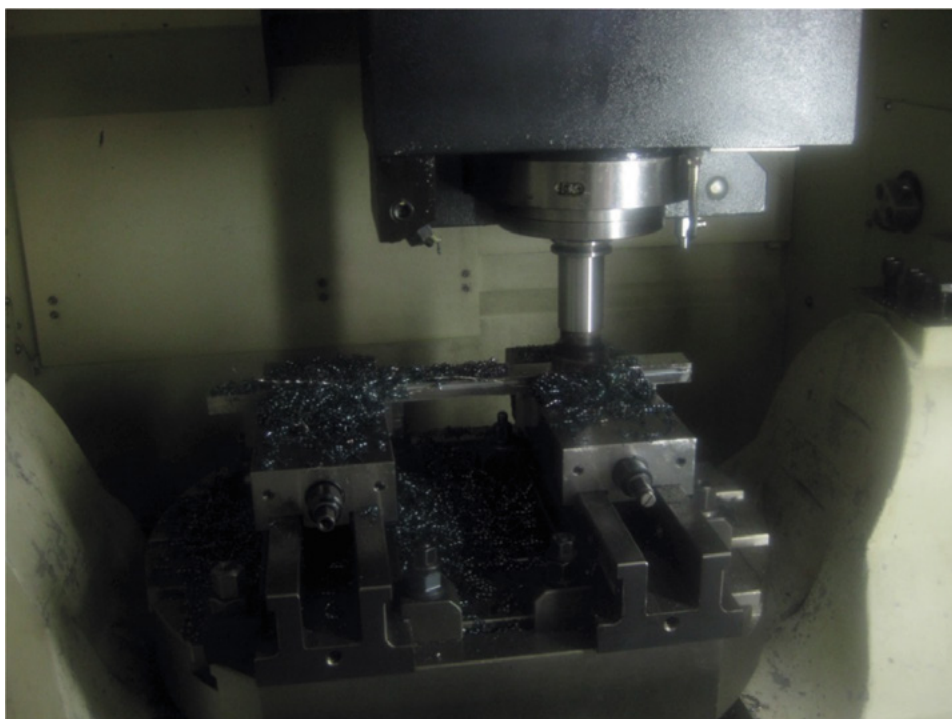
**Kuva 6.** Koneistettavat teräsaihiot.

Aihiosta mitattiin kovuudet esikoneistuksen jälkeen ennen koneistuskokeiden aloittamista Hartip 3000, Leeb kovuusmittarilla. Pienemmän aihiön (40\*25 mm) kovuuksien keskiarvo oli 430 HB (RAEX 450). Isomman aihiön (40\*50 mm) kovuuden keskiarvo oli 384 HB (RAEX 400).



# 5 Havainnointi koneistuksen aikana

Koneistuksessa, kuva 7, keskityttiin havainnoimaan silmämääräisesti helposti havaittavia asioita. Näitä olivat mm. lastun väri sekä koneen tehon käyttö [%]. Koneen tehon käyttö on osittain konekohtainen ominaisuus.



**Kuva 7.** Koneistusta 90° jyrsinterällä.

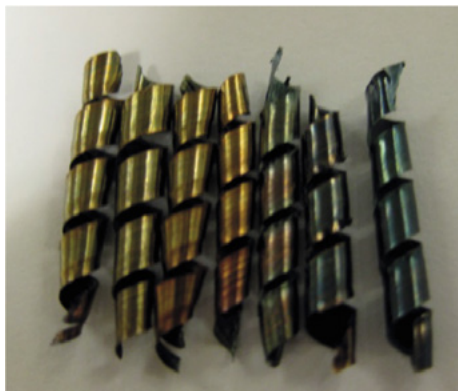
Koneistuskokeiden aikana havaittiin, että kyseisen koneen tehon käyttö ei kasva aloituksen jälkeen tasaisesti. Se kasvoi aluksi siten, että toisen tai kolmannen lastukerroksen aikana teho kävi, teräpalasta ja -laadusta riippumatta, korkeimmassa pisteessään koko lastuamisen aikana. Sen jälkeen tehon käyttö laski hieman ja tasaantui. Siinä tapauksessa, että teräpalat olivat jo-voimakkaasti kuluneet tai niissä oli lohkeama, ko-

neen teho pysyi korkealla viimeisimpiin lastuihin saakka, jolloin tehon käyttö las- ki aina hieman. Lastun väri vaihteli myös riippuen tehon käytöstä.

Kuvassa 8 on 45° GC 4220 jyrsimien lastujen värejä, kun koneistettiin materiaa- lia RAEX450: kirkas (puuttuu), vaalean keltainen (2 kpl), tumman keltainen/ punertava (2 kpl), sinertävä, vaalean sini- nen, sininen.

Lastujen väri liittyi koneen tehon käyt- töön, mutta vaihteli myös koneistettavan teräksen ja teräpalan laadun mukaan.

Selvin värikirjo oli 45° jyrsimellä GC 4220 RAEX 450 koneistuksen aikana, jol- loin lastujen väri liittyi selvästi koneen tehon käyttöön, taulukko 1.



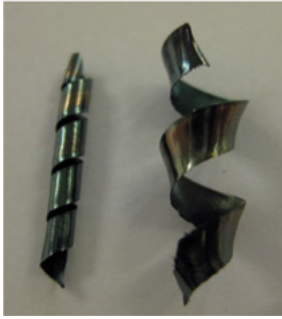
**Kuva 8.** Koneistuksessa syntyneitä lastuja

**Taulukko 1.** Jyrsimen GC 4220 (45°) muodostama lastun väri RAEX 450 koneistuksessa.

Väri	Tehon käyttö [%]
Kirkas	alle 10
Kellertävä	10 - 11
Vaalean keltainen	12 - 13
Tumman keltainen/punertava	13 - 14
Sinertävä	15 - 16
Vaalean sininen	16 - 17
Sininen	18 - 19

Kuvassa 9 on oikealla puolella 90° jyrsimien lastu, joka oli selvästi isompi kuin vasem- man puoleinen 45° jyrsimien lastu. Lastun väri pysyi myös lähes koko koneistuksen (terän kulumisen) ajan samana kuin kuvassa, vaalean sinisenä. Vasta viimeisten las- tuttavien 15 mm aikana lastu muuttui pysyvästi tasaisen siniseksi.

Kuvassa 10 on samalla teräpalalla 45° GC 4220 ja samoilla lastuamisparametreilla koneistettuja lastuja. Vasemman puoleinen lastu on materiaalista RAEX 450, jolla oli laaja väriasteikko (kuva 8). Oikealla puolella on RAEX 400 koneistuksessa syntynyt lastut, joissa lastun väri ei juuri vaihdellut vaan pysyi kellertävänä koko koneistuksen ajan, vaikka koneen teho vaihteli 12 – 16 % välillä.



**Kuva 9.** Jyrsimien lastutyyppiä, vasemmalla 45°, oikealla 90° jyrsin.



**Kuva 10.** Teräpalalla 45° GC 4220 ja samoilla lastuamisparametreilla koneistettuja RAEX 450- (vasemmalla puolella) ja RAEX 400-teräksien (oikealla puolella) lastuja.

Kuvassa 11 on vasemmalla teräpalalla 45° GC 4220 koneistettu lastu. Oikealla puolella on pyöreään teräpalan GC1010 lastut, joiden väri vaihteli kellertävästä punertavaan.



**Kuva 11.** 45° GC 4220 koneistettu lastu (vasemmalla), GC1010 lastut (oikealla).



# 6 Koneistuskokeet

## KONEISTUSKOE 1

Koneistuskokeet aloitettiin RAEX 400-materiaalille Sandvik Coromant in suosittelemalla teräpalalaadulla GC 1010, jossa pinnoitteena oli PVD, kuva 12. Pinnoitteen koostumus oli (Ti,Al)N. Teräpala oli 45°:n jyrsin. Jyrsinrunko oli Coromill 245. Aihiona oli 40\*50 mm.



### Koneistuskoe 1a: lastuamisnopeus suositusarvoilla

Lastuaminen aloitettiin teräpalalle suositellulla lastuamisnopeudella 80 m/min, taulukko 2.

**Kuva 12.** Koneistuskokeessa 1 käytetty teräpalatyyppi R245-12 T3 M-PM 1010. /9/

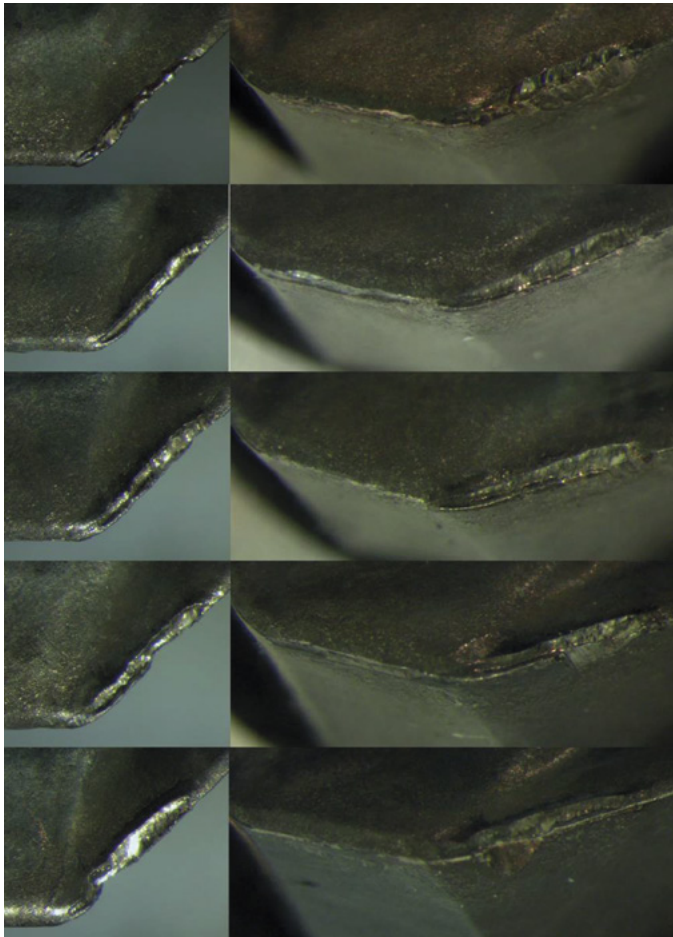
### Taulukko 2. Koneistuskoe 1a: lastuamisnopeus suositusarvoilla.

45° GC 1010: Lastuamisnopeus: 80 m/min							
Aihio nro	Aihion kovuus (HB)	Lastujen määrä [kpl]: Aihio	Pinnan karkeus [µm]	Lastujen määrä [kpl]: Teräpala	Lastujen määrä [mm]: Teräpala	Keskeytymätön ajo [min]	Koneen tehon käyttö
105	374	25	0,32	25	37,5	31,0	9 – 10
101	370	25	0,39	50	75	62,0	11 – 12
99	372	25	0,39	75	112,5	93,0	11 – 12
97	364	25	0,37	100	150	124,0	12 - 13
95	371	25	0,46	125	187,5	154,9	12 - 13
93	361	25	0,65	150	225	185,9	12 - 13
96	346	25	0,43	175	262,5	206,6	13 – 14
94	368	25	0,70	200	300	227,3	13 – 14
92	365	25	0,76	225	337,5	248,0	13 – 14
91	361	25	0,66	250	375	278,9	15 - 16
90	354	25	0,67	275	412,5	309,9	15 - 16
89	352	25	0,70	300	450	340,9	15 - 16

Taulukon *Keskeytymätön ajo* -sarakeessa on syöttönopeuden perusteella laskettu aika, minkä varsinainen lastun lastuaminen kestää. Aika ei siis ole koneistukseen kulunut kokonaisaika. Tummennetun alueen aihoiden (nro 96, 94, 92) koneistamiseen on käytetty lastuamisnopeutta 120 m/min.

Lastun väri vaihteli vain vähän. Lastu oli aivan kirkas pitkään, kunnes muuttui loppua kohden kellertäväksi.

Kuvassa 13 on 45° GC 1010-teräspala, joka on ajettu elinkaaren päähän, kun lastuamisnopeutena käytettiin 80 m/min. Teräspalat kestivät 340 min ja 450 mm. Koneen tehon käyttö oli viimeisten lastujen aikana 15 – 16 %, käyden välillä 18 %. Kuvassa on kaikki lastuavat teräspalat järjestyksessä ylhäältä alaspäin: teräspala n:o 1, 2, 3, 4 ja 5.



**Kuva 13.** Elinkaaren pään saavuttanut 45° GC 1010-teräspala, 12 jyrsittyä aihiota (340 min/ 450 mm), lastuamisnopeus 80 m/min.

Kuvan 13 terien kuluminen on arvioitu taulukossa 3.



**Taulukko 3.** 45° GC 1010-teräpalan kuluminen, lastuamisnopeus 80 m/min.

Särmä	Terän kuluminen	Terä liian kulunut
Teräpaikka 1	Kuoppakuluminen, särmämurtuma	x
Teräpaikka 2	Kuoppakuluminen, vähän särmämurtumaa	x
Teräpaikka 3	Kuoppakuluminen, särmämurtuma	x
Teräpaikka 4	Kuoppakuluminen, särmämurtuma	x
Teräpaikka 5	Kuoppakuluminen, särmämurtuma	x

**Koneistuskoe 1b: lastuamisnopeus + 50 %**

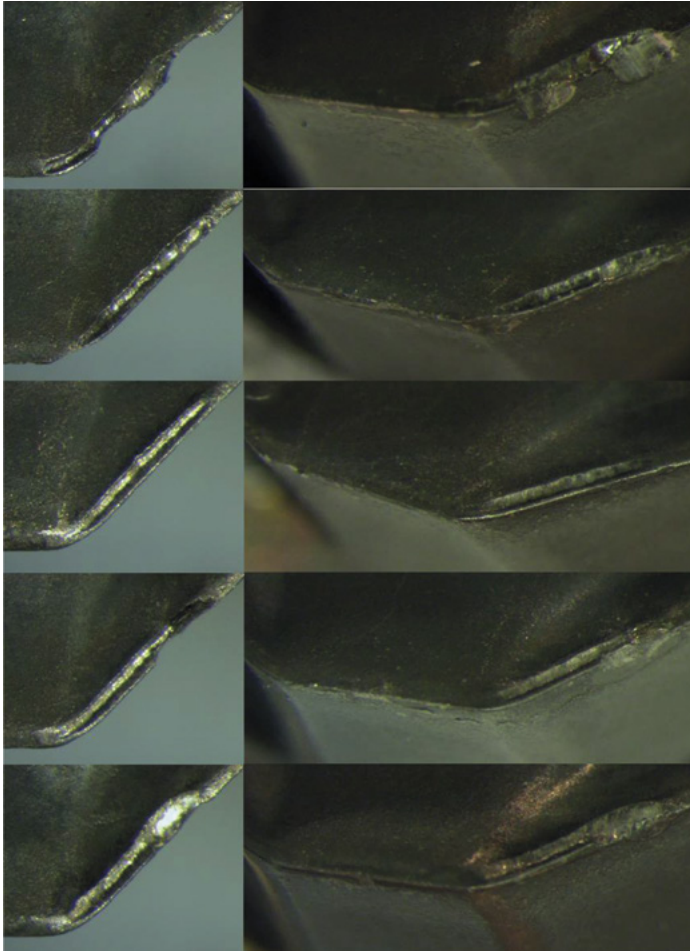
Tämä koe suoritettiin kuten 1a, mutta lastuamisnopeutena käytettiin suositukseen verrattuna 50 % nopeuden lisäystä, taulukko 4.

**Taulukko 4.** Koneistuskoe 1b: lastuamisnopeus suositusarvo + 50 %.

45° GC 1010: Lastuamisnopeus: 120 m/min							
Aihio nro	Aihion kovuus (HB)	Lastujen määrä [kpl]: Aihio	Pinnan karkeus [µm]	Lastujen määrä [kpl]: Teräpala	Lastujen määrä [mm]: Teräpala	Keskeytymätön ajo [min]	Koneen tehon käyttö [%]
87	361	25	0,25	25	37,5	20,7	10 - 12
86	353	25	0,25	50	75	41,4	11 - 12
85	363	25	0,36	75	112,5	62,0	12 - 13
84	377	25	0,50	100	150	82,7	12 - 13
83	331	25	0,56	125	187,5	103,4	12 - 13
82	368	25	0,51	150	225	124,1	12 - 13
81	360	25	0,53	175	262,5	144,7	14 - 15
80	383	25	0,76	200	300	165,4	15 - 16

Aihion 82 koneistuksen jälkeen yhdessä teräpalassa havaittiin pieni lohkeama, mutta koneen tehojen näyttäessä vasta 12 - 13 % päätettiin koneistusta vielä jatkaa. Lohkeama pysyikin vielä jonkin aikaa muuttumattomana, kunnes aihion 80 jälkeen lohkeama oli kasvanut, jolloin koe lopetettiin.

Kuvassa 14 on 45° GC1010 teräpalan elinkaaren päätä edustavia näytteitä, jossa lastuamisnopeutena käytettiin 120 m/min. Teräpalat kestivät 165 min ja 300 mm.



**Kuva 14.** 45° GC1010-teräpala elinkaaren lopussa, 8 jysittyä aihiota (165 min/ 300 mm), lastuamisnopeus 120 m/min.

Kuvan 14 terien kuluminen on arvioitu taulukossa 5.

**Taulukko 5.** Teräpalan 45° GC1010 kuluneisuus elinkaaren lopussa, lastuamisnopeus 120 m/min.

Särmä:	Terän kuluminen	Terä liian kulunut
Teräpaikka 1	Kuoppakuluminen, särmämurtuma	x
Teräpaikka 2	Kuoppakuluminen, pieni lovikuluminen myös nirkossa	x
Teräpaikka 3	Kuoppakuluminen	
Teräpaikka 4	Kuoppakuluminen, särmämurtuma	x
Teräpaikka 5	Kuoppakuluminen, särmämurtuma	x

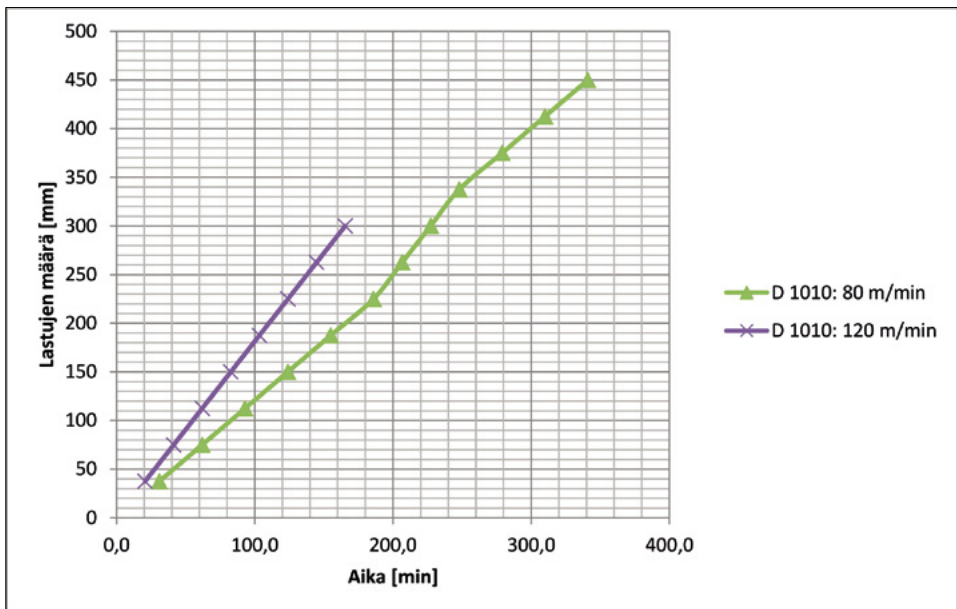
## Vertailu: koneistuskokeet 1a ja 1b

Kuluminen tapahtui tutkimuksemme mukaan tasaisemmin 80 m/min lastuamisnopeudella, jolloin koneistusta pysyttiin jatkamaan kauemmin. Nopeuden lisäys + 50 % kulutti teräpaloja epätasaisesti, jolloin koneistus jouduttiin keskeyttämään aiemmin huonoimmassa kunnossa olevan teräpalan mukaan.

Kuvassa 15 on esitetty 45° GC1010-teräpalojen kestot eri lastuamisnopeuksilla. Teräpalojen kestot olivat:

80 m/min: 340 min/ 450 mm

120 m/min: 165 min/ 300 mm

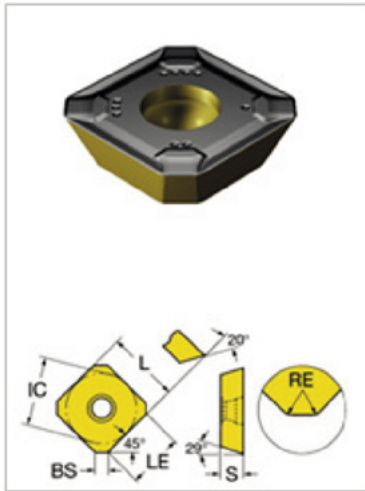


**Kuva 15.** Lastuamisaika-lastujen määrä lastuamisnopeudella 80 ja 120 m/min teräpalalle 45° GC1010 (koneistuskokeet 1a ja 1b).

## KONEISTUSKOE 2

Toisessa koneistuskokeessa terän geometria (45°) pysyi samana, mutta teräpalan laatu vaihtui. Teräpala oli CVD-pinnoitettu GC 4220. Pinnoitteen koostumus oli MT-Ti(C,N) + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + TiN. Jyrsinrunko oli Coromill 245. Kuva 16.

Aihion koko oli 40\*25 mm ja materiaali RAEX 450.



**Kuva 16.** Koneistuskokeessa 2 käytetty teräpalatyypin R245-12 T3 M-PM 4220. /9/

## Koneistuskoe 2a

Koneistuskoe 2a tehtiin teräpalan suositusten mukaisella nopeudella 45 m/min.

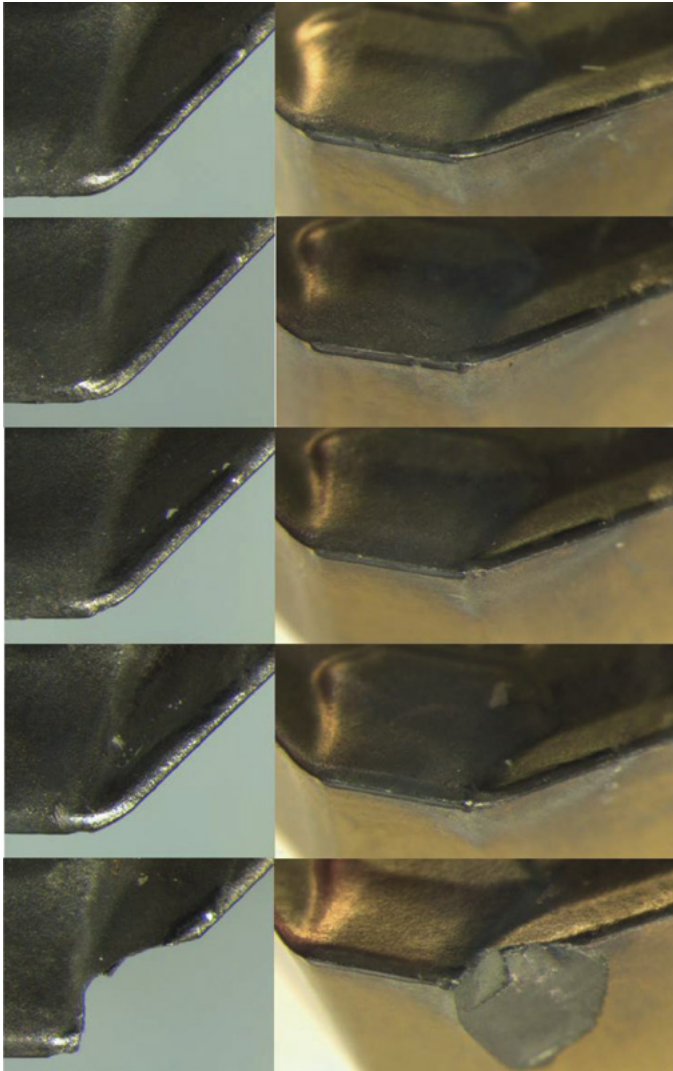
Ensimmäisessä kokeessa havaittiin voimakasta koneen tehon käytön vaihtelua: tehon käyttö ensimmäisen lastukerroksen aikana oli 10 - 13 %, toisessa lastukerroksen aikana vaihteli ollen alussa 10 - 13 %, puolessa välissä 11 - 18 % ja lopussa 10 - 19 %. Teräpalat tarkastettiin ja niissä huomattiin suuria lohkeamia. Koe keskeytettiin.

Koe toistettiin eikä nopeaa terän kulumista enää havaittu, taulukko 6.

**Taulukko 6.** Uusittu koneistuskoe 2a.

<b>45° GC 4220: Lastuamisnopeus: 45 m/min</b>							
<b>Aihio nro</b>	<b>Aihion kovuus (HB)</b>	<b>Lastujen määrä [kpl]: Aihio</b>	<b>Pinnan karkeus [µm]</b>	<b>Lastujen määrä [kpl]: Teräpala</b>	<b>Lastujen määrä [mm]: Teräpala</b>	<b>Keskeytymätön ajo [min]</b>	<b>Koneen tehon käyttö [%]</b>
56	422	10	0,47	10	15	33,0	12 - 13
55	427	10	0,65	20	30	66,1	14 - 15
54	417	10	0,91	30	45	99,1	15 - 16
53	419	10	0,94	40	60	132,1	15 - 16
52	424	10	0,83	50	75	165,1	15 - 16
31	438	10	0,89	60	90	198,2	15 - 16
21	428	10	0,83	70	105	231,2	15 - 17
20	425	10	0,99	80	120	264,2	15 - 17
19	436	10	1,03	90	135	297,2	15 - 18
18	454	10	1,08	100	150	330,3	15 - 18

Kuvassa 17 on terillä 45° GC4220 koneistettu taulukon 6 mukainen koneistuskoe. Teräpalat kestivät 150 min ja 330 mm.



**Kuva 17.** 45°  
45o GC4220-teräpala,  
10 jyrstyä aihiota  
(330 min/ 150mm),  
lastuamisnopeus  
45 m/min.

Kuvan 17 terien kuluminen on arvosteltu taulukossa 7.

**Taulukko 7.** Teräpala 45° GC 4220, lastuamisnopeus 45 m/min

Särmä:	Terän kuluminen	Terä liian kulunut
Teräpaikka 1	Ei kulumaa	
Teräpaikka 2	Ei kulumaa	
Teräpaikka 3	Pieni särmämurtuma nirkossa	
Teräpaikka 4	Pieni särmämurtuma nirkossa	
Teräpaikka 5	Teräriikko teräpalassa	X

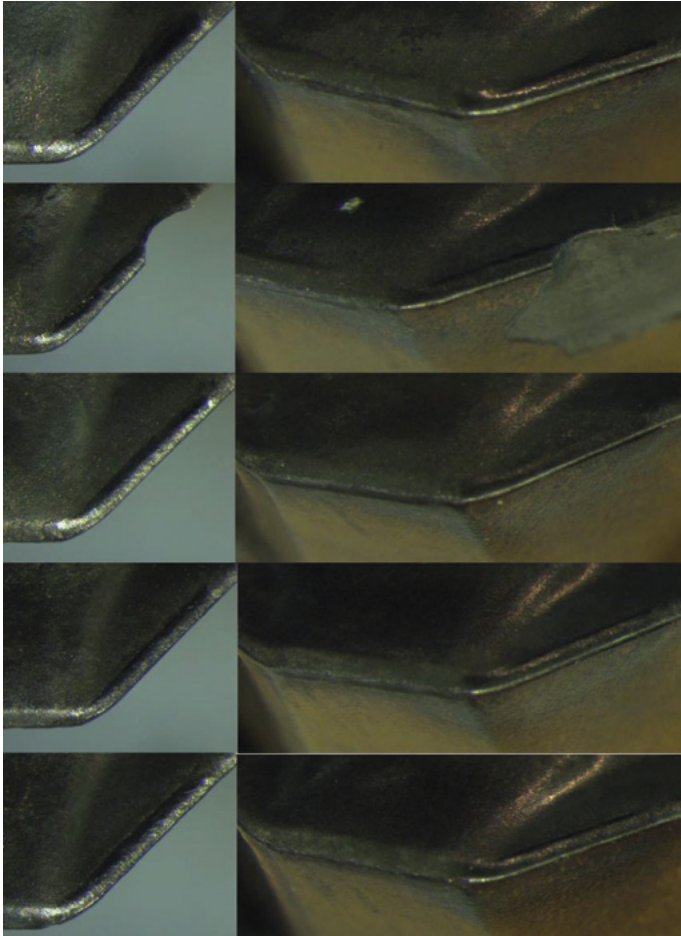
## Koneistuskoe 2b

Koneistuskoe 2b tehtiin teräpalalle suositellulla nopeudella + 50 %.

**Taulukko 8.** Koneistuskoe 2b.

<b>45° GC 4220: Lastuamisnopeus: 67 m/min</b>							
<b>Aihio nro</b>	<b>Aihion kovuus (HB)</b>	<b>Lastujen määrä [kpl]: Aihio</b>	<b>Pinnan karkeus [µm]</b>	<b>Lastujen määrä [kpl]: Teräpala</b>	<b>Lastujen määrä [mm]: Teräpala</b>	<b>Keskeytymätön ajo [min]</b>	<b>Koneen tehon käyttö [%]</b>
64	425	10	0,70	10	15	22,2	12 - 13
63	424	10	1,00	20	30	44,4	14 - 15
62	421	10	1,53	30	45	66,6	15 - 16
61	421	10	1,60	40	60	88,8	15 - 16
60	416	10	1,57	50	75	111,1	15 - 16
59	419	10	2,06	60	90	133,3	15 - 16
58	426	10	1,48	70	105	155,5	15 - 17
57	429	10	1,93	80	120	177,7	15 - 18

Kuvassa 18 on teräpalat kuvattuna koneistuskokeen 2b jälkeen. Teräpalat kestivät 177 min ja 120 mm.



**Kuva 18.** 45° GC4220-teräpala, 8 jrsittyä aihiota (177 min/120 mm), lastuamisnopeus 67 m/min. /9/

Kuvan 18 terien kuluminen on arvosteltu taulukossa 9.

**Taulukko 9.** Teräpalat 45° GC4220, lastuamisnopeus 67 m/min.

Särmä:	Terän kuluminen	Terä liian kulunut
Teräpaikka 1	Ei kulumaa	
Teräpaikka 2	Iso liuskemurtuma	x
Teräpaikka 3	Ei kulumaa	
Teräpaikka 4	Ei kulumaa	
Teräpaikka 5	Ei kulumaa	

## Lisäkoneistuskoe 2c

Lisäkoneistuskoe suoritettiin lastuamisnopeudelle 67 m/min, mutta erikokoiselle aihiolle 40\*50 mm. Lisäkoneistuskokeessa lastuttiin hieman pehmeämpää RAEX 400, jotta voitiin verrata eri teräpalan kestävyyttä eri materiaalilla, taulukko 10.

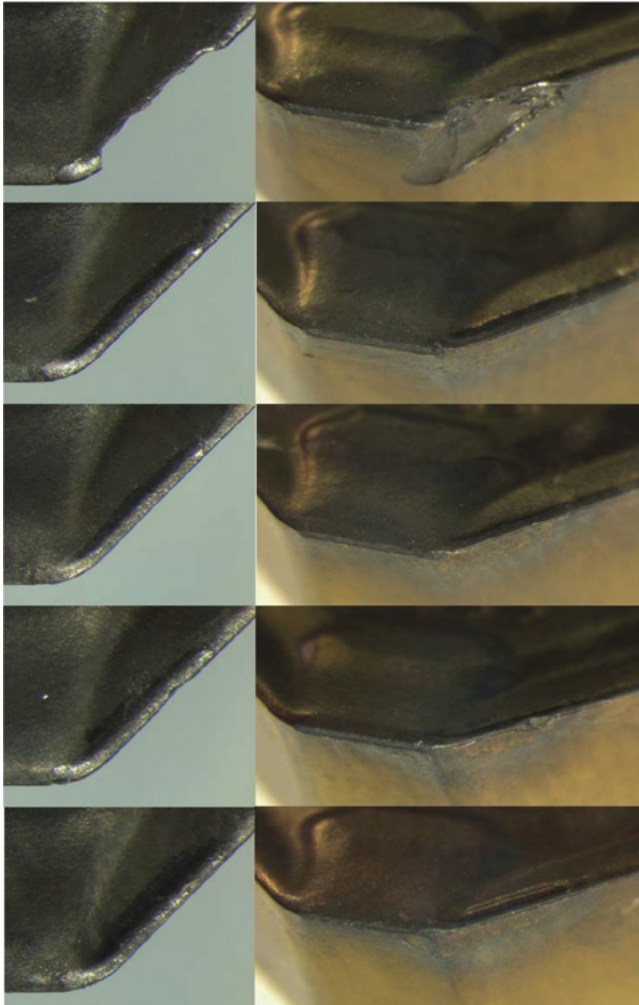
**Taulukko 10.** Koneistuskoe 2c. RAEX 400.

<b>45° GC 4220: Lastuamisnopeus: 67m/min RAEX 400</b>							
<b>Aihio nro</b>	<b>Aihion kovuus (HB)</b>	<b>Lastujen määrä [kpl]: Aihio</b>	<b>Pinnan karkeus [µm]</b>	<b>Lastujen määrä [kpl]: Teräpala</b>	<b>Lastujen määrä [mm]: Teräpala</b>	<b>Keskeytymätön ajo [min]</b>	<b>Koneen tehon käyttö [%]</b>
68	398	25	0,91	25	37,5	55,5	12 - 13
67	405	25	1,11	50	75	111,1	14 - 15
28	421	25	0,83	75	112,5	166,6	15 - 16

Teräpalan kesto ei kuitenkaan pidentynyt verrattuna koneistuskokeeseen 2b vaan päinvastoin lyheni hieman. Teräpalat kestivät 166 min ja 112 mm. Terien elinkaari päättyi kuitenkin samalla tavalla: terärikkoon yhdessä teräpalassa. Loput neljä teräpalaa olivat vasta viistekuluneita, kuva 19.

Havaittiin myös, että tässä koneistuskokeessa lastu oli aivan kirkas tai kellertävä koko koneistuksen ajan, samoin kuin koneistuskoe 1:ssä 45° GC1010-teräpalalla lastuttaessa samaa RAEX 400-materiaalia.





**Kuva 19.** Koneistuskoe 2c RAEX 400:lle 45° GC4220-teräpala, 3 jyrskyttä aihioita (166 min/ 112 mm), lastuamisnopeus 67 m/min.

Kuvan 19 terien kuluminen on arvosteltu taulukossa 11.

**Taulukko 11.** Koneistuskoe 2c. Teräpalat 45° GC4220, lastuamisnopeus 67 m/min.

Särmä:	Terän kuluminen	Terä liian kulunut
Teräpaikka 1	Iso liuskemurtuma	x
Teräpaikka 2	Ei kulumaa	
Teräpaikka 3	Ei kulumaa	
Teräpaikka 4	Pieni lovikuluminen	
Teräpaikka 5	Ei kulumaa	

## Vertailu: koneistuskokeet 2a, 2b ja 2c

Lastut olivat samankokoisia ja -muotoisia kuin terälaadulla GC 1010. Lastujen värikirjo oli selvästi suurempi RAEX 450:llä kuin RAEX 400:lla. Lastujen värit vaihtelivat vaalean keltaisen erisävyistä punaisen kautta siniseen. Sen sijaan lastu oli kirkas tai kellertävä materiaalia RAEX 400 koneistettaessa.

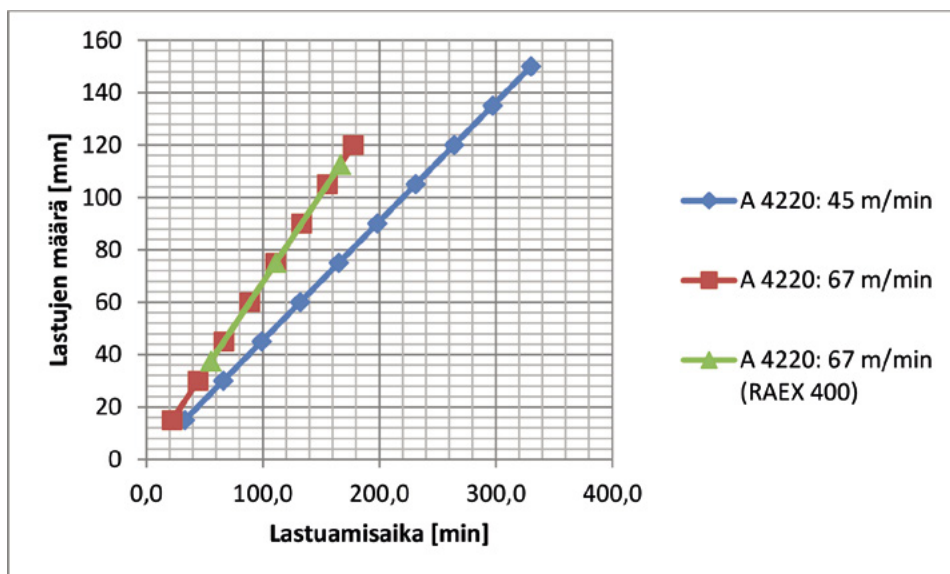
Kuvassa 20 on esitetty 45° GC4220-teräpalojen kestot eri lastuamisnopeuksilla. Teräpalojen kestot ovat:

45 m/min: 330 min/ 150mm

67 m/min: 177 min/ 120 mm

67 m/min (RAEX 400): 166 min/ 112 mm

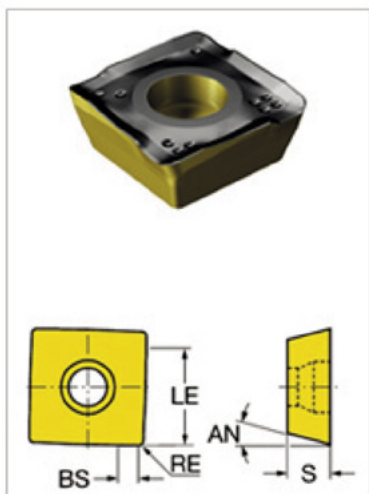
Näin ollen teräpalat kestivät suositusarvoilla lastuamista 153 min ja 30 mm kauemmin kuin +50 % lastuamisnopeudella (koneistuskokeet 2a ja 2b).



**Kuva 20.** 45° GC4220- teräpalojen kestot lastuamisnopeuksilla 45 ja 67 m/min.

## KONEISTUSKOE 3

Koneistuskokeessa 3 koneistettiin eri terägeométrian avulla: 90° teräpala, kuva 21. Terälaatu oli CVD -pinnoitettu GC 4220. Pinnoitteen koostumus: MT - Ti(C,N) + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + TiN. Jyrsinrunko oli Coromill 490.



**Kuva 21.** Koneistuskokeessa 3 käytetty teräpalatyypin 490R-140420M-PH4220. /9/

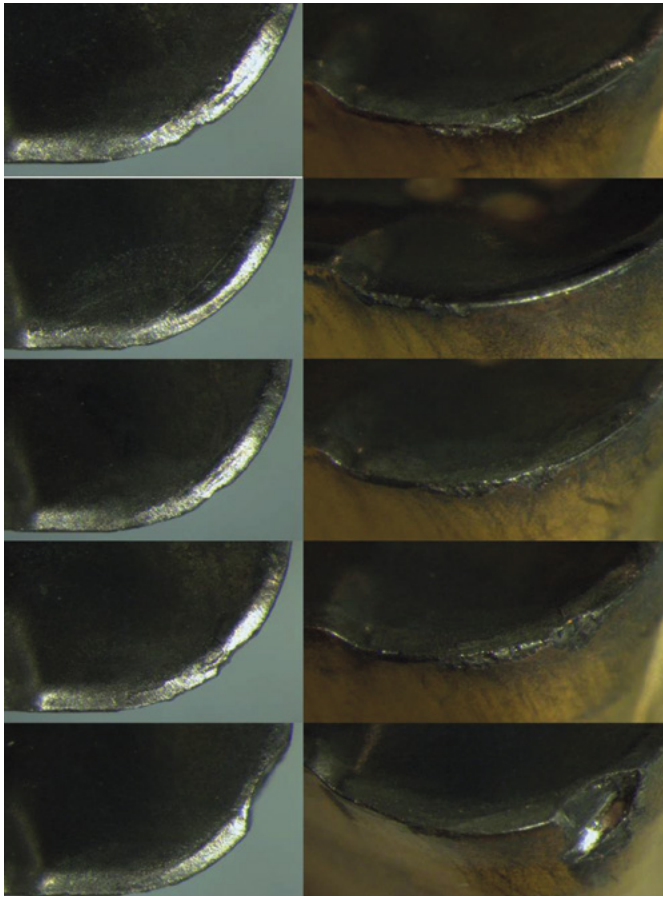
Teräpala 490R-140420M-PH 4220 on tarkoitettu teräkselle ja valuraudalle, joille on annettu suositellut työstöarvot. Koska karkaistulle teräkselle ei ollut valmiita arvoja, käytettiin samoja arvoja lastuamiseen kuin edellisellä teräpalalla: lastuamisnopeus 45 m/min ja 67 m/min sekä hammaskohtainen syöttö 0,2 mm.

Aihion koko oli 40\*25 mm ja materiaali RAEX 450.

### Koneistuskoe 3a

Koneistuskoe 3a aloitettiin pienemmällä lastuamisnopeudella (45 m/min). Jo ensimmäisten lastujen aikana teräpaloista alkoi kuulua hakkaava ääni. Koe keskeytettiin, kun aihio (aihio 45: kovuus 436 HB) oli lastuttu loppuun, sillä teräpaloissa todettiin olevan isoja lohkeamia. Koe toistettiin samoilla arvoilla (aihio 46: 425 HB). Tällä kertaa hakkaava ääntä ei syntynyt jo heti alussa, mutta selvä lohkeama oli havaittavissa teräpaloissa aihion koneistuksen jälkeen, jonka vuoksi koe lopetettiin.

Kuva 22 esittää toistokokeessa käytettyjä teräpaloja. Teräpalat kestivät 33 min ja 15 mm.



**Kuva 22.** 90° GC4220-teräpala, jyrstetty aihio (33 min/15 mm), lastuamisnopeus 45 m/min.

Kuvan 22 terien kuluminen on arvosteltu taulukossa 12.

**Taulukko 12.** Teräpalat 90° GC4220, lastuamisnopeus 45 m/min.

Särmä:	Terän kuluminen	Terä liian kulunut
Teräpaikka 1	Vähän särmämurtumaa	
Teräpaikka 2	Vähän särmämurtumaa	
Teräpaikka 3	Särmämurtuma	
Teräpaikka 4	Särmämurtuma	
Teräpaikka 5	Voimakas särmämurtuma	x

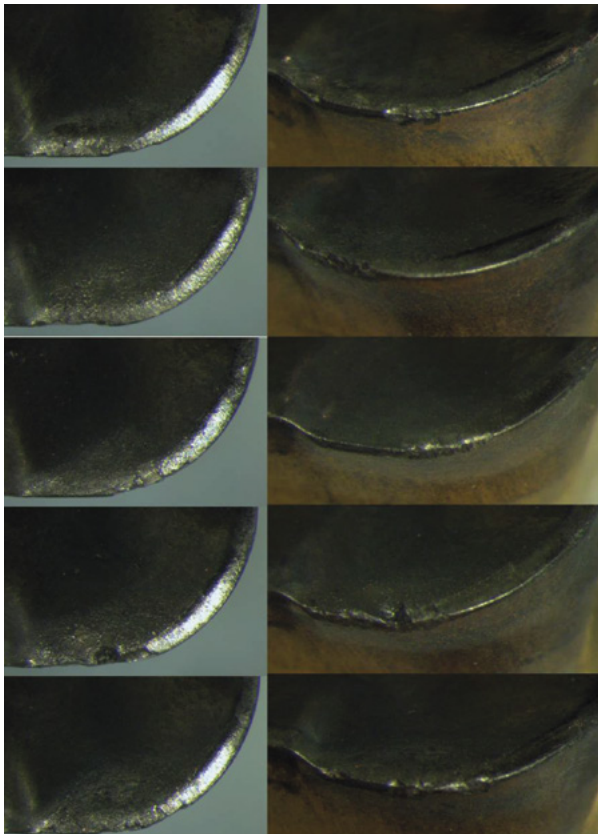
### Koneistuskoe 3b

Koneistuskokeessa 3b nostettiin lastuamisnopeudeksi 67 m/min (+ 50 % edelliseen verrattuna). Korotetulla nopeudella koneistus sujui huomattavasti paremmin, taulukko 13.

**Taulukko 13.** Koneistuskoe 3b 50 % korotetulla nopeudella 67 m/min.

<b>90° GC 4220: Lastuamisnopeus: 67m/min</b>							
<b>Aihio nro</b>	<b>Aihion kovuus (HB)</b>	<b>Lastujen määrä [kpl]: Aihio</b>	<b>Pinnan karkeus [µm]</b>	<b>Lastujen määrä [kpl]: Teräpala</b>	<b>Lastujen määrä [mm]: Teräpala</b>	<b>Keskeytymätön ajo [min]</b>	<b>Koneen tehon käyttö [%]</b>
51	421	8	1,09	8	12	17,8	12 - 16
50	427	10	1,36	18	27	40,0	16 - 17
49	421	10	1,44	28	42	62,2	17 - 18
48	418	10	1,41	38	57	84,4	17 - 18
47	433	10	1,21	48	72	106,6	18 - 19

Kuvassa 23 on teräpalat kuvattuna koneistuskokeen 3b jälkeen. Teräpalat kestivät 106 min ja 72 mm.



**Kuva 23.** 90° GC4220-teräpala, 5 jyrittyä aihiota (106 min, 72 mm), lastuamisnopeus 67 m/min.

Kuvan 23 terien kuluminen on arvioitu taulukossa 14.

**Taulukko 14.** Teräpalat 90° GC4220, lastuamisnopeus 67 m/min.

Särmä:	Terän kuluminen	Terä liian kulunut
Teräpaikka 1	Vähän särmämurtumaa	
Teräpaikka 2	Särmämurtuma	x
Teräpaikka 3	Vähän särmämurtumaa	
Teräpaikka 4	Särmämurtuma	x
Teräpaikka 5	Särmämurtuma	x

Lastujen koko oli suurempi kuin 45° jyrksinterillä. Lastujen väri ei myöskään vaihdellut yhtä voimakkaasti, vaan pysyi lähes alusta loppuun vaalean sinisenä. Vain satunnaisesti syntyi täysin sinisiä lastuja.

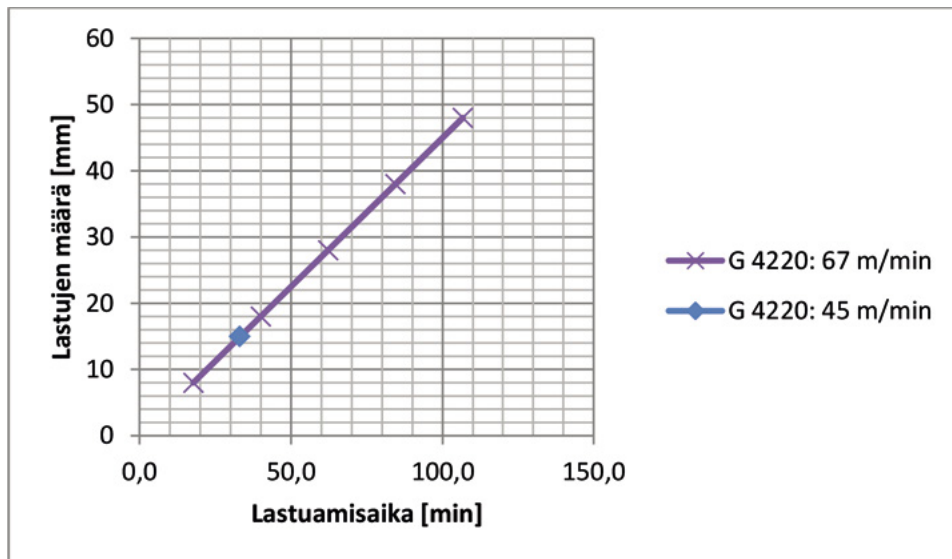
#### Vertailu: koneistuskokeet 3a ja 3b

Kuvassa 24 on esitetty 90° GC4220- teräpalojen kestot eri lastuamisnopeuksilla. Teräpalojen kestot olivat:

45 m/min: 33 min/15mm

67 m/min: 106 min/72 mm

Teräpaloille ei ollut suositusarvoja karkaistulle teräkselle. Ne kestivät suuremmilla lastuamisnopeuksilla 73 min ja 57 mm kauemmin kuin pienemmillä lastuamisnopeuksilla.



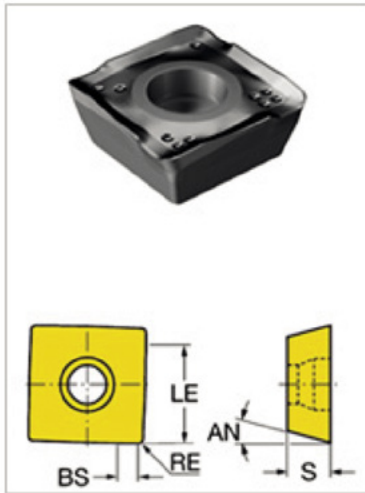
**Kuva 24.** 90° GC4220- teräpalojen kestot lastuamisnopeuksilla 45 ja 67 m/min.

## KONEISTUSKOE 4

Koneistuskokeessa 4 koneistettiin myös 90° jyrsimellä. Terälaatu oli CVD -pinnoitettu GC 3040. Pinnoitteen koostumus: MT - Ti(C,N) + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Jyrsinrunko oli Coromill 490. Kuva 25.

Teräpala oli tarkoitettu valuraudalle. Koska karkaistulle teräkselle ei ollut valmiita arvoja, käytettiin samoja arvoja kuin edellisellä teräpalalla: lastuamisnopeus 45 m/min ja 67 m/min (+50 %) sekä hammaskohtainen syöttö 0,2 mm.

Aihion koko oli 40\*25 mm ja materiaali RAEX 450.



**Kuva 25.** Koneistuskokeessa 4 käytetty teräpalatyyppi 490R-140420M-PM 3040. /9/

### Koneistuskoe 4a

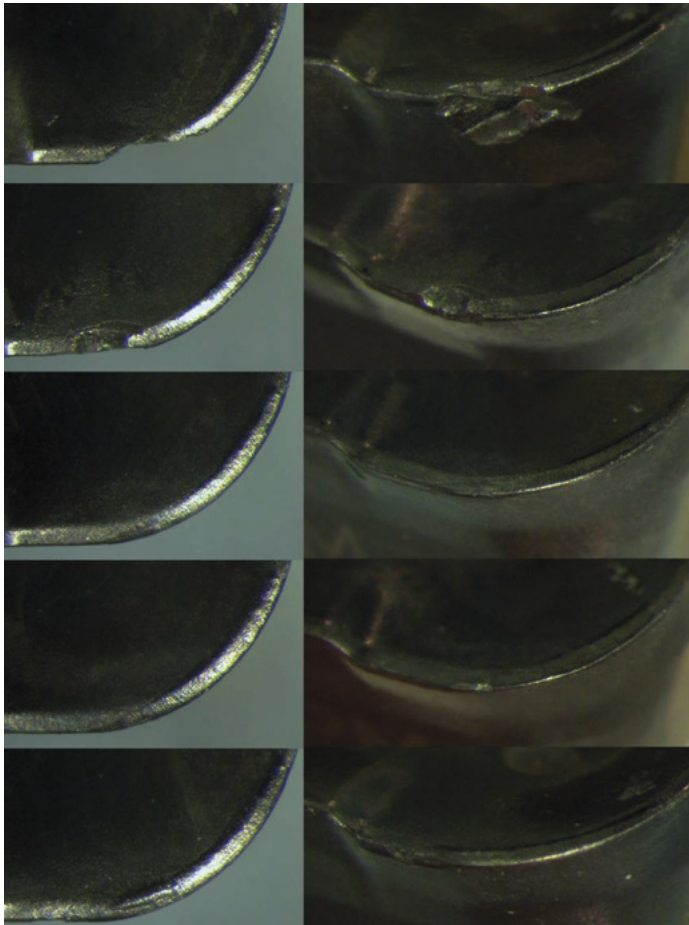
Taulukossa 15 on esitetty koneistuskokeen 4a tulokset. Näillä koneistuarvoilla RAEX 450-terästä työstettäessä syntyi teräpalaan jo kahden aihion ajon jälkeen voimakas särämurtuma.



**Taulukko 15.** Koneistuskoe 4a. RAEX 450

<b>90° GC 3040: Lastuamisnopeus: 45m/min</b>							
<b>Aihio nro</b>	<b>Aihion kovuus (HB)</b>	<b>Lastujen määrä [kpl]: Aihio</b>	<b>Pinnan karkeus [μm]</b>	<b>Lastujen määrä [kpl]: Teräpala</b>	<b>Lastujen määrä [mm]: Teräpala</b>	<b>Keskeytymätön ajo [min]</b>	<b>Koneen tehon käyttö [%]</b>
33	421	10	0,66	10	15	33,0	12 - 15
32	412	10	0,98	20	30	66,1	14 - 17

Kuvassa 26 on esitetty teräpalat taulukon 15 mukaisen koneistuksen jälkeen. Teräpalat kestivät 66 min ja 30 mm.



**Kuva 26.** 90° GC3040-teräpala, 2 koekappaletta (66 min, 30 mm), lastuamisnopeus 45 m/min.



Kuvan 26 terien kuluminen on arvoiteltu taulukossa 16.

**Taulukko 16.** Teräpalat 90° GC3040, lastuamisnopeus 45 m/min, 44 min/ 30 mm.

Särmä:	Terän kuluminen	Terä liian kulunut
Teräpaikka 1	Voimakas särmämurtuma	x
Teräpaikka 2	Särmämurtuma	
Teräpaikka 3	Ei kulumaa	
Teräpaikka 4	Vähän särmämurtumaa	
Teräpaikka 5	Vähän särmämurtumaa	

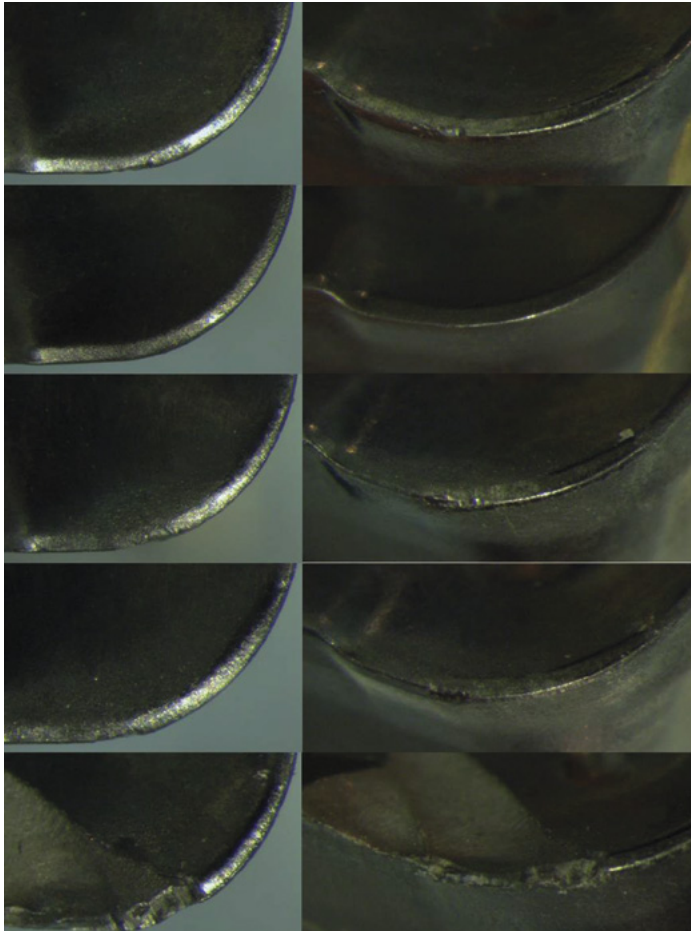
### Koneistuskoe 4b

Koneistuskokeet 4b tehtiin kokeeseen 4a:n verrattuna 50 % korotetulla koneistusnopeudella 67 m/min muiden koneistusarvojen ollessa samat. Korotetulla lastuamisnopeudella päästiin selvästi pienempää nopeutta parempiin tuloksiin, taulukko 17.

**Taulukko 17.** Koneistuskoe 4b. Koneistusnopeus 67 m/min.

90° GC 3040: Lastuamisnopeus: 67m/min							
Aihio nro	Aihion kovuus (HB)	Lastujen määrä [kpl]: Aihio	Pinnan karkeus [µm]	Lastujen määrä [kpl]: Teräpala	Lastujen määrä [mm]: Teräpala	Keskeytymätön ajo [min]	Koneen tehon käyttö [%]
44	420	10	0,83	10	15	22,2	12 - 15
43	436	10	0,90	20	30	44,4	15 - 16
42	432	10	1,11	30	45	66,6	15 - 16
41	431	10	1,81	40	60	88,8	15 - 16
40	423	10	2,02	50	75	111,1	15 - 16
39	422	10	1,85	60	90	133,3	16 - 17
38	441	10	2,05	70	105	155,5	16 - 18
37	424	10	1,73	80	120	177,7	16 - 18
36	426	10	1,89	90	135	199,9	16 - 18
35	454	10	1,78	100	150	222,1	16 - 18
34	437	10	1	110	165	244,3	16 - 18

Kuva 27 esittää taulukon mukaisessa kokeessa eri teräpaloja kokeen jälkeen. Teräpalat kestivät 244 min ja 165 mm.



**Kuva 27.** 90° GC3040-teräpala, 11 jyrstyä aihiota (244 min/ 165 mm), lastuamisnopeus 67 m/min.

Kuvan 27 terien kuluminen on arvioitu taulukossa 18.

**Taulukko 18.** Teräpalat 90° GC3040, 67 m/min.

Särmä:	Terän kuluminen	Terä liian kulunut
Teräpaikka 1	Vähän särmämurtumaa	
Teräpaikka 2	Ei kulumaa	
Teräpaikka 3	Vähän särmämurtumaa	
Teräpaikka 4	Vähän särmämurtumaa	
Teräpaikka 5	Särmämurtuma	x

## Vertailu: koneistuskokeet 4a ja 4b

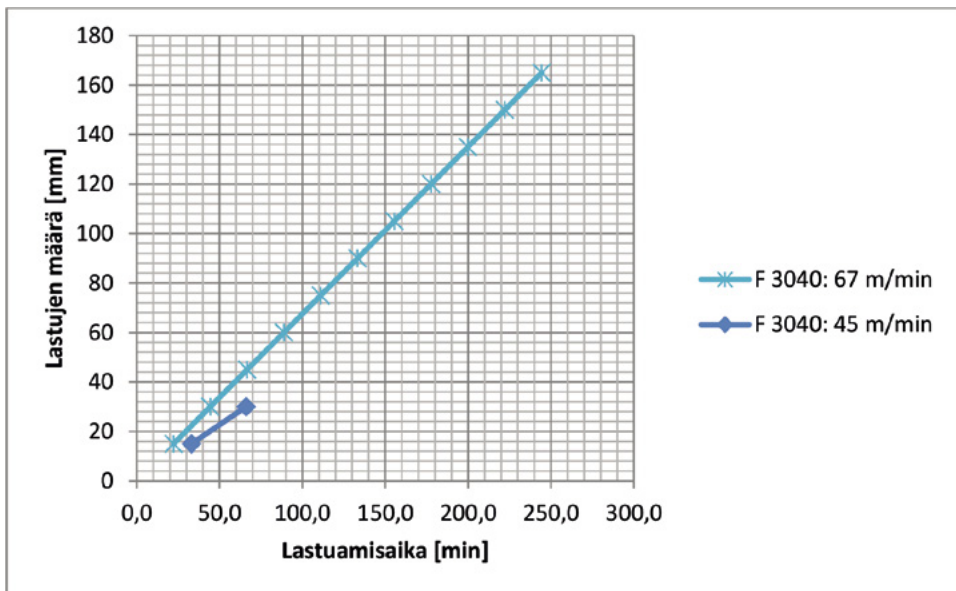
Kuvassa 28 on esitetty 90° GC4220- teräpalojen kestot eri lastuamisnopeuksilla.

Teräpalojen kestot olivat:

45 m/min: 30 min/66mm

67 m/min: 244 min/165 mm

Teräpaloille ei ollut suositusarvoja karkaistulle teräkselle. Ne kestivät suuremmilla lastuamisarvoilla 214 min ja 99 mm kauemmin kuin pienemmillä lastuamisarvoilla.



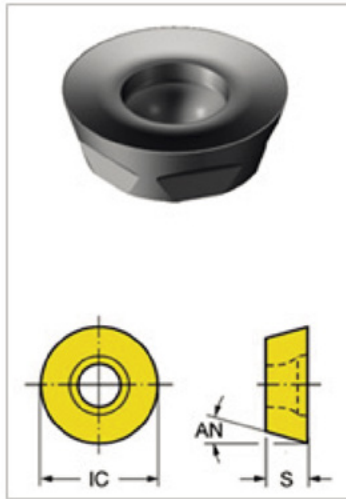
**Kuva 28.** 90° GC4220- teräpalojen kestot lastuamisnopeuksilla 45 ja 67 m/min.

## KONEISTUSKOE 5

Koneistuskokeessa 5 koneistettiin pyöreällä teräpalalla, kuva 29. Terälaatu oli PVD-pinnoitettu GC 1010. Pinnoitteen koostumus: (Ti, Al)N. Jyrsinrunko oli Coromill 300.

Teräpala oli tarkoitettu karkaistulle teräkselle. Teräpalalla koneistettiin lähes suositusten mukaisilla lastuamisarvoilla. Suositus-lastuamisnopeus oli 75 m/min ja hammaskohtainen syöttö 0,28 mm. Koneistuskokeessa teräpalalle käytettiin samoja lastuamisarvoja kuin koneistuskoe 1 teräpalaladulle 1010, jolloin käytetyt lastuamisarvot olivat 80 m/min ja 0,25mm.

Aihion koko oli 40\*50 mm ja materiaali RAEX 400.



**Kuva 29.** Koneistuskokeessa 5 käytetty teräpalatyypin R300-1648E-PM 1010. /9/

Taulukossa 19 on esitetty koneistuskoe 5 tulokset. Käytetyillä koneistusparametreilla pystyttiin ajamaan 12 aihiota.

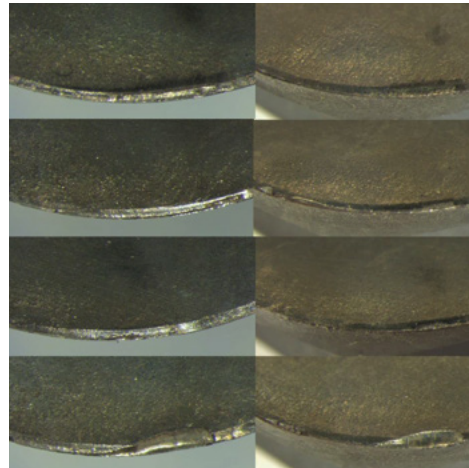
**Taulukko 19.** Koneistuskoe 5. Koneistusnopeus 80 m/min.

<b>Pyöreä GC 1010: Lastuamisnopeus: 80 m/min</b>							
<b>Aihio nro</b>	<b>Aihion kovuus (HB)</b>	<b>Lastujen määrä [kpl]: Aihio</b>	<b>Pinnan karkeus [μm]</b>	<b>Lastujen määrä [kpl]: Teräpala</b>	<b>Lastujen määrä [mm]: Teräpala</b>	<b>Keskeytymätön ajo [min]</b>	<b>Koneen tehon käyttö [%]</b>
103	362	25	0,92	25	37,5	31,0	10 - 11
79	369	25	0,90	50	75	62,0	12 - 13
78	364	25	1,05	75	112,5	93,0	12 - 13
77	372	25	1,08	100	150	124,0	12 - 13
76	355	25	1,06	125	187,5	154,9	13 - 14
75	393	25	0,93	150	225	185,9	13 - 14
74	403	25	0,94	175	262,5	216,9	13 - 14
73	377	25	0,81	200	300	247,9	14 - 15
72	354	25	1,53	225	337,5	278,9	15 - 16
71	416	25	1,52	250	375	309,9	15 - 18
70	354	25	1,54	275	412,5	340,9	15 - 18
69	361	25	1,57	300	450	371,9	15 - 18

Kuvassa 30 on esitetty teräpalat taulukon 19 mukaisen kokeen jälkeen. Teräpalat kestivät 371 min ja 450 mm.

Kuvan 30 terien kuluminen on arvoisteltu taulukossa 20.

Teräpalojen elinkaari on päättynyt erityyppisillä kulumismekanismeilla, joista voimakas kuoppakuluminen on ollut merkittävin syy.



**Kuva 30.** Pyöreä GC1010-teräpala, 12 jysittyä ahiota (371 min/ 450 mm), lastuamisnopeus 80 m/min.

**Taulukko 20.** Teräpalat pyöreä GC1010, 67 m/min.

Särmä:	Terän kuluminen	Terä liian kulunut
Teräpaikka 1	Kuoppakuluminen	
Teräpaikka 2	Pieni kuoppakuluminen	
Teräpaikka 3	Pieni särmämurtuma	
Teräpaikka 4	Voimakas kuoppakuluminen	x



# 7 Teräspalojen pinnoitteen tutkimus

Tässä osassa tutkimusta selvitettiin teräspalojen pinnoitteita FESEM-laitteistolla, jolla saadaan SEM-kuvia ja EDS-analyysyjä.

## TERÄPALOJEN PINNOITTEET

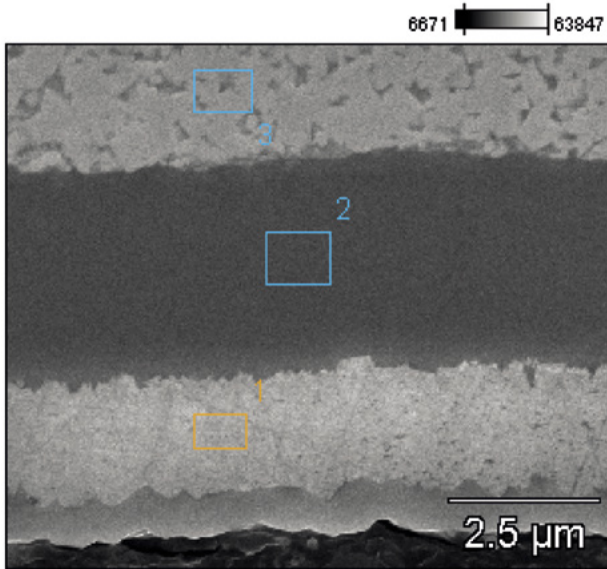
Tutkimuksessa käytettiin sekä PVD- että CVD - pinnoitteisia teräspaloja, jotka oli pinnoitettu yhdellä tai useammalla pinnoitekerroksella, taulukko 21.

**Taulukko 21.** Tutkittujen teräspalojen pinnoitteet./9/

<b>Sopii jyrsin-runkoon</b>	Coromill 245	Coromill 245	Coromill 490	Coromill 490	Coromill 300
<b>Tilaukoodi ISO</b>	R245-12 T3 M-PM 4220	R245-12 T3 M-PM 1010	490R-140420M-PM 3040	490R-140420M-PH 4220	R300-1648E-PM 1010
<b>Pinnoite</b>	CVD	PVD	CVD	CVD	PVD
<b>Pinnoitteen koostumus</b>	MT-Ti(C,N)+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN	(Ti, Al)N	MT-Ti(C,N)+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MT-Ti(C,N)+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN	(Ti, Al)N
<b>Pinnoitteen paksuus</b>	Keskipaksu	Ohut	Keskipaksu	Keskipaksu	Ohut

### R245-12 T3 M-PM 4220

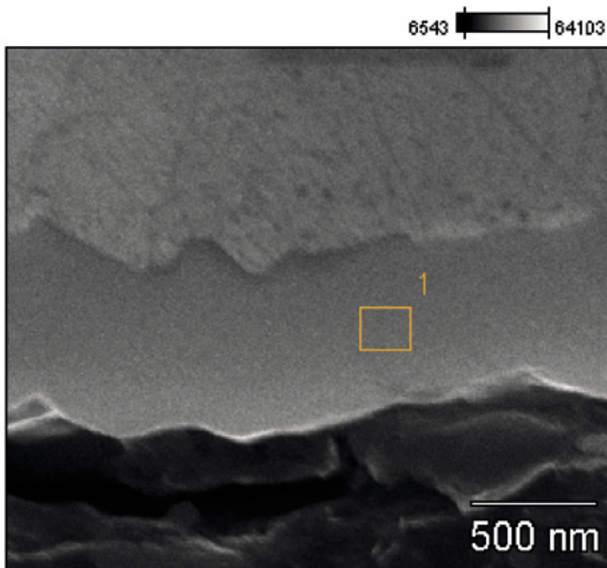
Pinnoite on koostumukseltaan MT-Ti(C,N)+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN. Kuvan 31 ja taulukon 22 perusteella kovametallin päällä on n. 4 µm paksu TiC(N)-kerros, sen päällä 2,5 µm paksu Al-oksidi (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Päällimmäisenä on vielä ohut n. 1 µm paksu TiN-kerros, joka on keltainen väriltään, kuva 32 ja taulukko 23.



**Kuva 31.** Teräpalatyypin R245-12 T3 M-PM 4220 pinnoite.

**Taulukko 22.** Kuvan 31 pinnoitekerroksien koostumukset.

	C-K	O-K	Al-K	Si-K	Ti-K	Co-K	W-L
pt1	6.50	32.04	59.98		1.48		
pt2	13.41			0.11	86.48		
pt3	11.30				0.30	6.81	81.60



**Kuva 32.** Teräpalatyypin R245-12 T3 M-PM 4220 pinnoitteen uloin kerros.

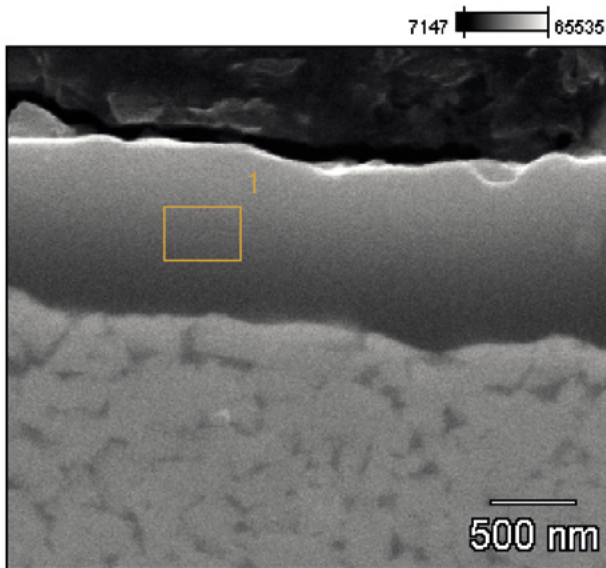


**Taulukko 23.** Kuvan 32 pinnoitteen uloimman kerroksen koostumusanalyysi.

	<b>C-K</b>	<b>N-K</b>	<b>O-K</b>	<b>Al-K</b>	<b>Si-K</b>	<b>Ti-K</b>
<b>pt1</b>	14.86	8.87	8.64	5.00	0.16	62.47

### R245-12 T3 M-PM 1010

Pinnoite on koostumukseltaan (Ti, Al)N. Kuvan 33 ja taulukon 24 perusteella kova-metallin päällä on n. 1 µm Ti/Al/C/N-pitoinen kerros.



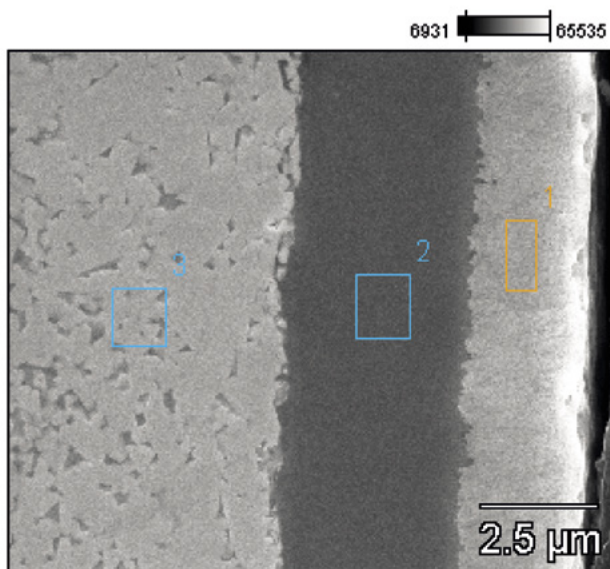
**Kuva 33.** Teräpalatyypin R245-12 T3 M-PM 1010 pinnoite.

**Taulukko 24.** Kuvan 33 pinnoitekerroksen koostumus.

	<b>C-K</b>	<b>N-K</b>	<b>Al-K</b>	<b>Si-K</b>	<b>Ca-K</b>	<b>Ti-K</b>
<b>pt1</b>	31.59	16.00	24.38	1.00	0.09	26.94

## 490R-140420M-PM 3040

Pinnoite on koostumukseltaan MT-Ti(C,N)+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Kuvan 34 ja taulukon 25 perusteella kovametallin päällä on n. 4 µm paksu TiC-kerros, jonka päällä 2,5 µm paksu Al-oksidi.



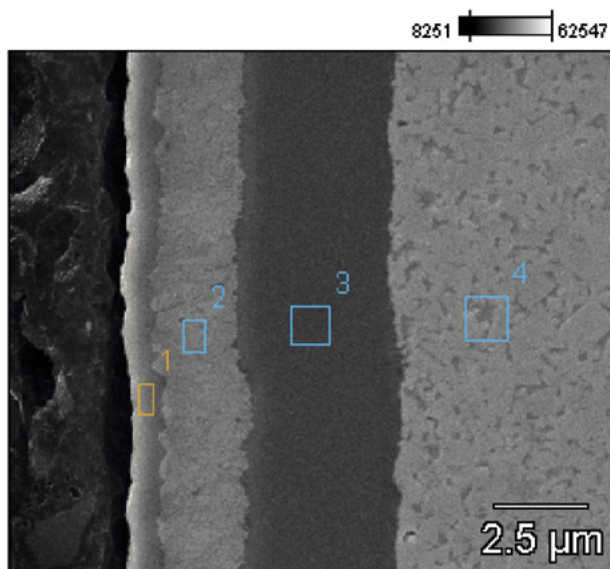
**Kuva 34** Teräpalatyypin 490R-140420M-PM 3040 pinnoite.

**Taulukko 25** Kuvan 34 pinnoitekerrosten koostumukset.

	<b>C-K</b>	<b>O-K</b>	<b>Al-K</b>	<b>Ti-K</b>	<b>Fe-K</b>	<b>Co-K</b>	<b>W-L</b>
<b>pt1</b>	6.27	32.23	60.33	0.95	0.22		
<b>pt2</b>	12.70			87.30			
<b>pt3</b>	10.57	0.25				9.05	80.14

## 490R-140420M-PH 4220

Pinnoite on koostumukseltaan  $MT-Ti(C,N)+Al_2O_3+TiN$ . Kuvan 35 ja taulukon 26 perusteella kovametallin päällä on n. 4  $\mu m$  paksu TiC-kerros, jonka päällä n. 2  $\mu m$  paksu Al-oksidi. Vielä päällimmäisenä on 0,5-1  $\mu m$  paksu TiN(C)-kerros.



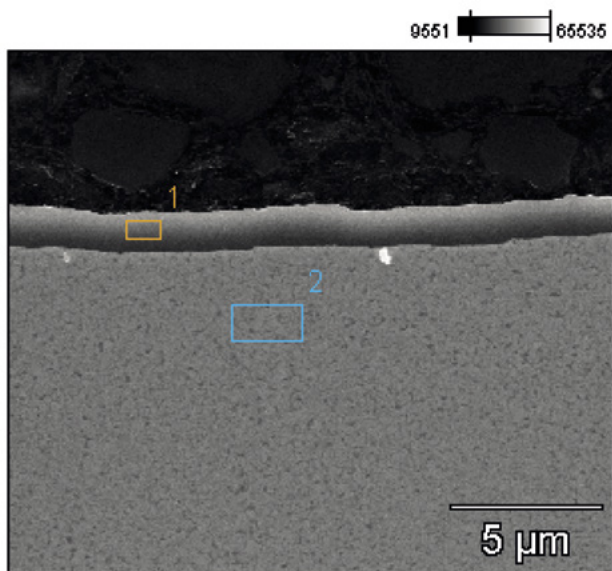
**Kuva 35** Teräpalatyypin 490R-140420M-PH 4220 pinnoite.

**Taulukko 26.** Kuvan 35 pinnoitekerroksen koostumus.

	C-K	N-K	O-K	Al-K	Si-K	Ti-K	Co-K	W-L
pt1	12.76	8.31	6.06	2.92	0.12	69.83		
pt2	6.33		31.34	61.58		0.75		
pt3	12.23			0.06		87.71		
pt4	9.25						15.13	75.62

## R300-1648E-PM 1010

Pinnoite on koostumukseltaan (Ti, Al)N. Kuvan 36 ja taulukon 27 perusteella kova-  
metallin päällä on n. 1-2 µm paksu Ti/Al/C/N-pitoinen kerros.



**Kuva 36.** Teräpalatyypin R300-1648E-PM 1010 pinnoitteet.

**Taulukko 27.** Kuvan 36 pinnoitekerroksien koostumukset.

	C-K	N-K	O-K	Al-K	Si-K	Ti-K	Cr-K	Co-K	W-L
pt1	42.58	16.14	1.03	19.44	0.24	20.57			
pt2	10.05						0.75	6.36	82.84

# 8 Teräpalan kuluminen

## KULUMISEN TOTEAMINEN KONEISTUKSESSA

Jyrsinterät vaihdettiin, kun koneen tehon käyttö nousi pysyvästi n. 17 - 19 %:iin, terän särmissä oli epätasaisuutta niitä tunnusteltaessa ja terissä näkyi silmämääräisesti katsottuna kulumaa. Teräpalojen elinkaaren päättymiselle ei tässä tutkimuksessa asetettu tarkasti mitattua rajaa, vaan teräpaloilla lastuttiin aloitettu aihio loppuun saakka, tarkistettiin teräpalojen kunto heti koneistuksen jälkeen ja pyrittiin päättämään elinkaari koneistajan näkökulmasta. Teräpalat tutkittiin mikroskoopilla koneistajan näkökulman vahvistamiseksi.

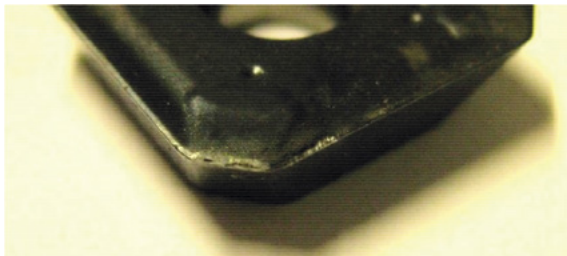
Teräpaloja on jyrsinpakassa tietty määrä (tässä tutkimuksessa 4-5 kpl), ne kuluvat eri tavoin ja epätasaisesti. Kaikki teräpalat käännetään kuitenkin yhtä aikaa silloin kun joku niistä on kulunut riittävän huonoon kuntoon. Tässäkin tapauksessa teräpalat vaihdettiin, kun vähintään yksi oli riittävän huono.

Kuvassa 37 on koneistuskoe 2:ssa käytetty teräpala R245-12 T3 M-PM 4220 ajojen välillä. Teräpala oli kuluneen näköinen vain väritykseltään, muuten täysin ehyt. Teräpala tutkittiin FESEM:lla ja todettiin pinnoitteen olevan myös mikroskoopilla tutkittuna ehyt. Tässä teräpalatyypissä on ulommaisena kerroksena ohut TiN -kerros, jonka kuluminen näkyy palan tummumisena.



**Kuva 37.** Teräpala R245-12 T3 M-PM 4220, koneistettu 75 mm.

Kuvassa 38 on R245-12 T3 M-PM 1010 teräpala, joka on ajettu elinkaaren loppuun saakka.



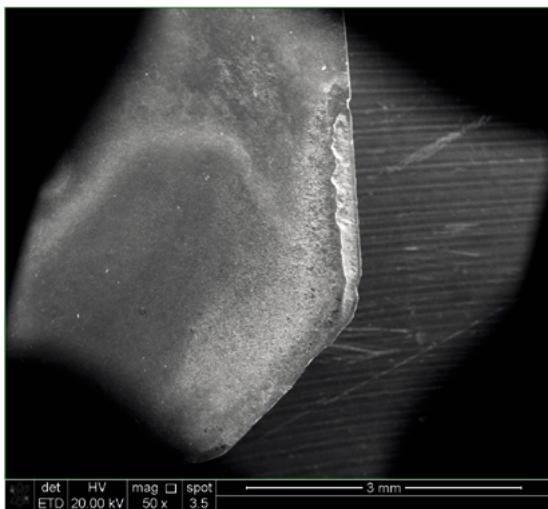
**Kuva 38.** Elinkaaren lopun ylittänyt teräpala R245-12 T3 M-PM 1010.

## KULUMISEN TUTKIMINEN FESEM-LAITTEISTOLLA

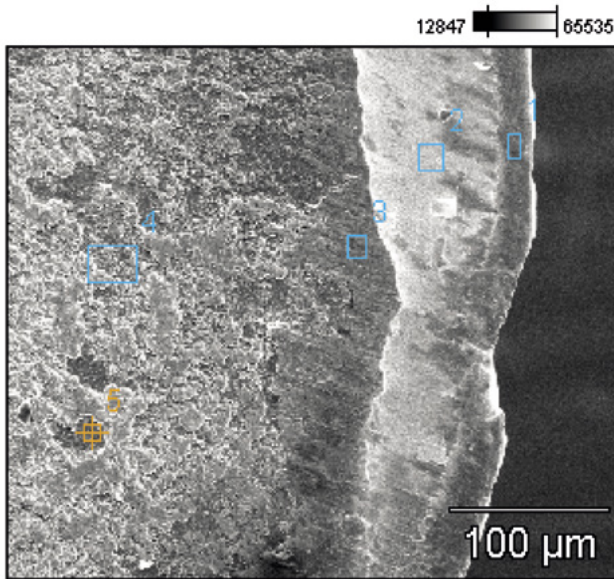
### Teräpala R245-12 T3 M-PM 1010 (Koneistuskoe 1)

Teräpalaa R245-12 T3 M-PM 1010 tutkittiin FESEM-laitteistolla sekä ennen elinkaaren loppumista että elinkaaren tullessa täyteen (ks. Koneistuskoe 1). Koneistuksen aikana *särmä LE* toimii leikkaavana särmänä ja *särmä BS* laahaa pintaa myöten. Särmästä LE kuluu etureuna, joka muodostaa lastua ja särmästä BS ”takareuna” joka laahaa pintaa (tasoittaen pintaa).

Kun teräpalalla oli koneistettu 9 koeaihiota, teräpalassa oli tapahtunut selvää kulumista. Leikkaavasta särmästä oli pinnoite kulunut jo paikallisesti niin, että perusaineen pinta oli tullut näkyviin, kuva 39. Särmän BS ”etureunan” kulumista ei ole vielä havaittavissa. Kuvasta 40 ja taulukosta 28 havaitaan, että leikkaava särmä LE kuluu ”vinoon” siten, että särmän kärkeen jää rautapitoista (teräs) pinnoitetta (tunniste Ti ja Al). Kuluneessa särmässä tulee teräpalan perusaine (tunniste W, Co ja C) näkyviin. Seuraavana vyöhykkeenä kulutuspinna on edelleen raudalla (teräs) kontaminoitunutta pinnoitetta. Kauempana kulutuspinna taas todetaan puhdasta pinnoitetta.



**Kuva 39.** Teräpalan leikkaava särmä R245-12 T3 M-PM 1010, jolla on koneistettu 9 koeaihiota.



**Kuva 40.** Kuluneen teräpalan R245-12 T3 M-PM 1010 leikkaavan särmän yksityiskohta kuvasta 39.

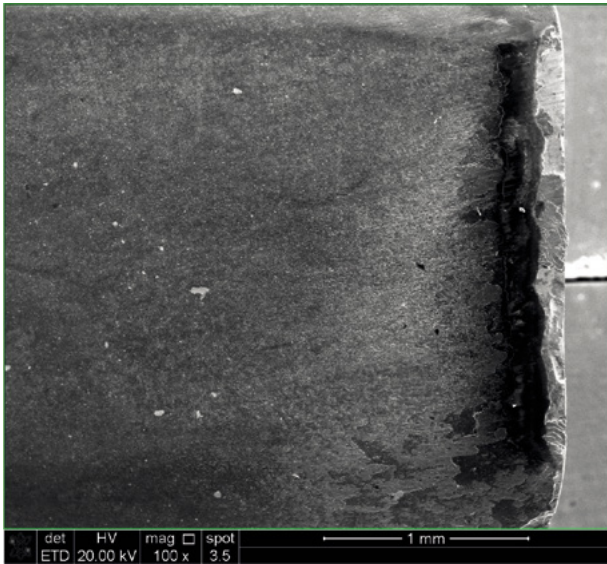
**Taulukko 28.** Koostumuksia kuvan 40 yksityiskohdista.

**Paino-%**

	C-K	N-K	O-K	Al-K	Si-K	Ti-K	Cr-K	Mn-K	Fe-K	Co-K	W-L
<b>kärki_pt1</b>			17.83	10.98	4.45	13.44	1.13	5.40	46.77		
<b>ydin_pt2</b>	10.90		1.98						5.84	5.30	75.97
<b>väli_pt3</b>			19.78	7.41	8.27	10.33	2.12	12.34	39.75		
<b>pinnote+ Fe_pt4</b>			15.27	19.32		19.01			46.39		
<b>pinnote_pt5</b>		9.73		41.85	1.21	47.21					

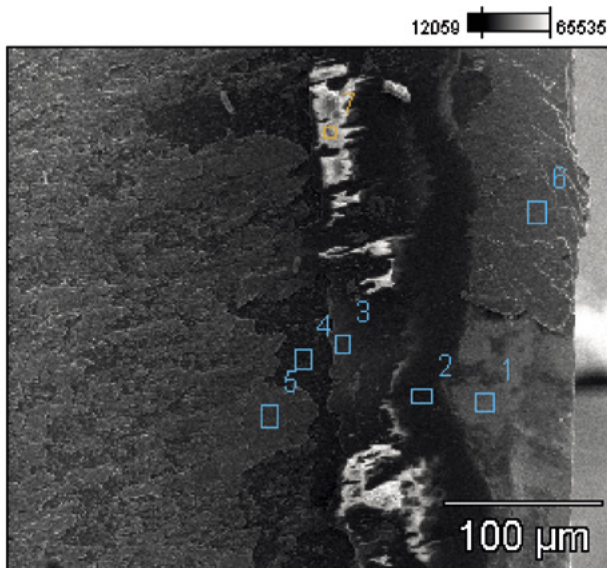
Kun tutkittiin teräpalan ”takareunaa”, havaittiin myös särmässä BS kulumista, kuva 41.





**Kuva 41.** Teräpalan R245-12 T3 M-PM 1010 särmä BS, koneistettu 9 koeaihiota.

”Laahavassa” särmässä BS on myös teräpalan perusaine (tunniste W, Co ja C) tullut näkyviin, kuva 42 ja taulukko 29. Myös lähellä särmää melko puhdas pinnoite (tunniste Ti, Al ja O<sub>2</sub>) on näkyvissä. Suurin osa aivan särmän lähellä olevasta pinnoitteesta on kontaminoitunut raudasta (teräs).



**Kuva 42.** Teräpalan R245-12 T3 M-PM 1010, särmä BS.

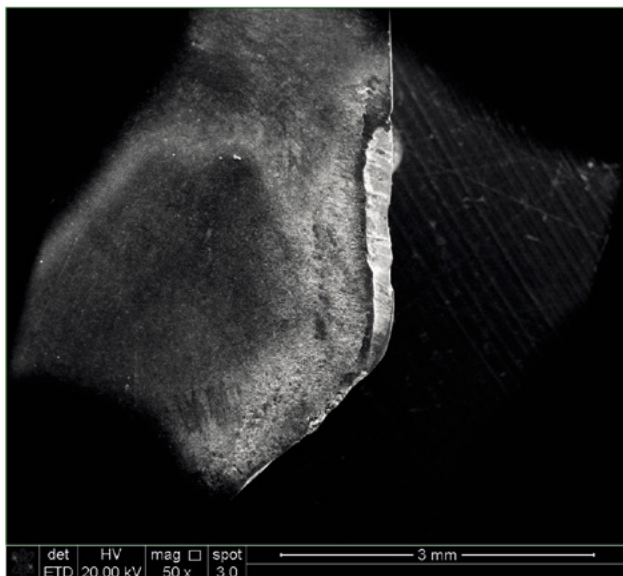


**Taulukko 29.** Koostumuksia kuvan 42 yksityiskohdista.

**Weight %**

	C-K	O-K	Al-K	Si-K	Ti-K	Cr-K	Mn-K	Fe-K	Co-K	W-L
<b>perus_pt1</b>	16.89							4.84	4.39	73.88
<b>pinnote_pt2</b>		14.42	34.16	7.30	36.81		7.31			
<b>Mn Si O2_pt3</b>		22.42	4.43	34.04	1.09		38.01			
<b>pinnote_pt4</b>		6.27	40.28	1.82	45.81			5.83		
<b>Fe (teräs)_pt5</b>								100.00		
<b>Fe (teräs)_pt6</b>	2.34			0.66		0.62	1.32	95.06		
<b>Mn Si O2_pt7</b>		25.38	3.90	36.38			34.33			

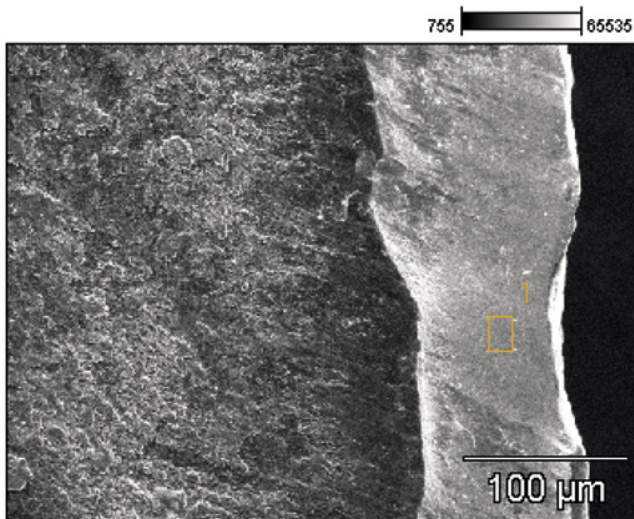
Kun teräpalalla oli koneistettu 12 aihiota, todettiin jo koneistuspaikalla ja tutkimalla teräpalaa silmämääräisesti, että olisi riski jatkaa koneistusta. Kun teräpalaa tutkittiin FESEM-laitteistolla, havaittiin kulumisilmiön edenneen teräpalan ”etureunassa” molemmissa särmissä, LE ja BS, kuva 43.



**Kuva 43.** Teräpalan R245-12 T3 M-PM 1010 leikaava särmä LE, koneistettu 12 koeaihiota.

12 koeaihiota koneistetun teräpalan kulumista tutkittiin vielä suuremmalla suurennuksella ja analysoimalla koostumuksia, jolloin saatiin seuraavat tulokset:

Leikkaavassa särmissä LE pinnoitus on kulunut pois ja näkyvissä on laajasti teräpalan perusaine, kovametalli, kuva 44 ja taulukko 30.

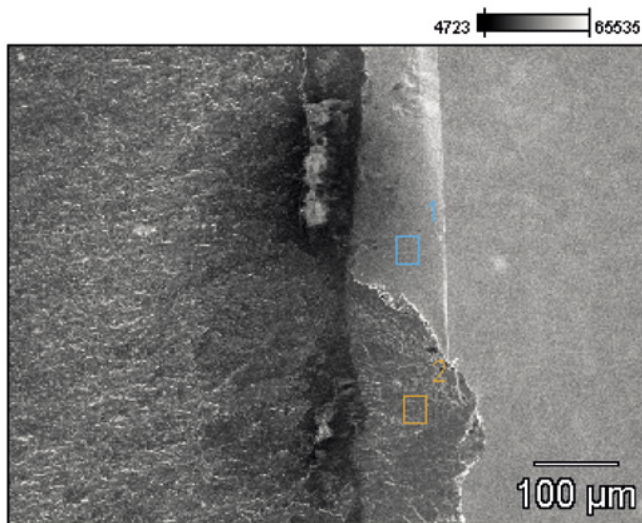


**Kuva 44.** Yksityiskohta kuvasta 43.

**Taulukko 30.** Kuvassa 43 olevan kohdan koostumus.

Wt-%	C-K	Cr-K	Fe-K	Co-K	W-L
pt1	10.61	0.91	3.72	6.07	78.69

Myös särmässä BS on laahaavalla puolella kulunut pinnoite osittain ja näkyviin tullut teräpalan perusaine, kovametalli. Tässä vaiheessa kulumista laahaavaan teräpintaan tarttuu runsaasti terästä, mikä näkyy kuvassa lähes puhtaana rautana (Fe), kuva 45 ja taulukko 31.



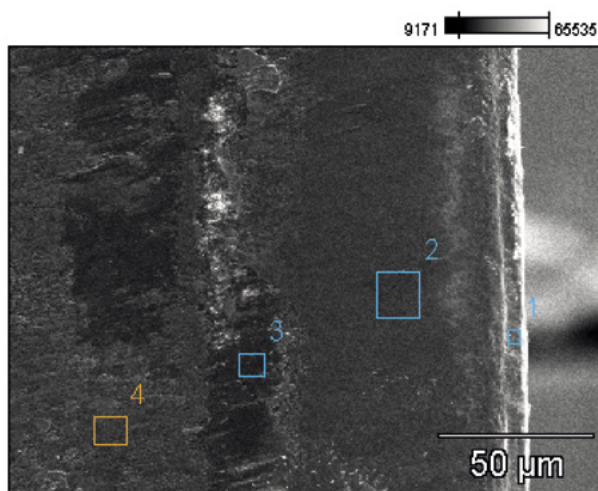
**Kuva 45.** Teräpalan R245-12 T3 M-PM 1010 särmän BS "laahaavaa" puolta, koneistettu 12 koepalaa.

**Taulukko 31.** Koostumuksia kuvan 45 yksityiskohdista.

	<b>C-K</b>	<b>Fe-K</b>	<b>Co-K</b>	<b>W-L</b>
<b>pt1</b>	10.83		6.55	82.62
<b>pt2</b>		100.00		

### Teräpala R245-12 T3 M-PM 4220 (Koneistuskoe 2a)

Kuvassa 46 on teräpalan R245-12 T3 M-PM 4220 ”laahaava” särmä BS. Tässä ei vielä pinnointe ole kulunut kokonaan pois mistään osasta. Alueilla 1-3 on osittain kulunutta pinnointetta ja kauempana (pt 4) pintaan on tarttunut koneistettavaa terästä (Fe), taulukko 32.

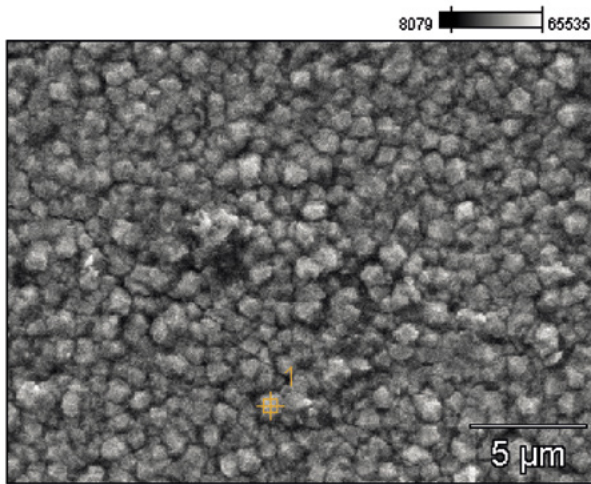


**Kuva 46.** Teräpalan R245-12 T3 M-PM 4220 ”laahaava” särmä BS. Koneistusnopeus 45 m/min, 75 mm.

**Taulukko 32.** Koostumuksia kuvan 46 yksityiskohdista.

	<b>O</b>	<b>Al</b>	<b>Ti</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>
<b>pt1</b>	18.61	5.66	3.52	3.29	68.92
<b>pt2</b>			100.00		
<b>pt3</b>	34.38	50.08	15.54		
<b>pt4</b>	18.22		35.43		46.35

Teräpalan pintaa kuvattiin suurella suurennuksella kauempaa särmän reunasta, missä pinta ei ole todennäköisesti ollut kosketuksissa koneistettavaan teräkseen, kuva 47. Tämän pintakerroksen koostumus oli Ti - karbonitridiä, taulukko 33.



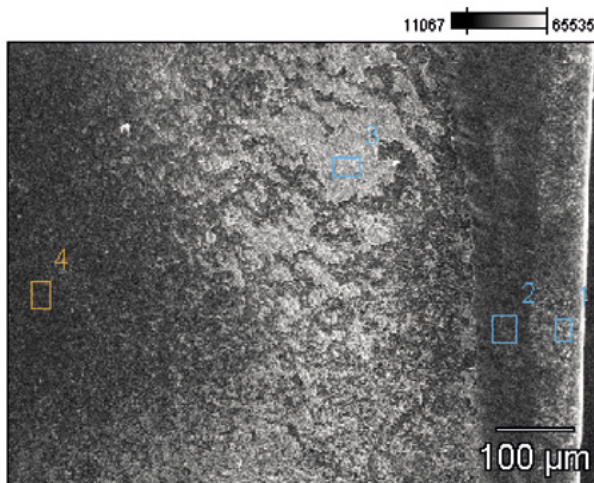
**Kuva 47.** Yksityiskohta kuvan 46 pinnoituksesta.

**Taulukko 33.** Koostumus kuvasta 47.

	<b>C</b>	<b>N</b>	<b>Ti</b>
<b>pt1</b>	9.51	5.52	84.97

### Teräpala R245-12 T3 M-PM 4220 (Koneistuskoe 2b)

Koneistuskokeessa 2b käytettyä teräpalaa R245-12 T3 M-PM 4220 kuvattiin ”leikkaavan” särmän puolelta, kuva 48. Pinnoite ei ole myöskään tässä kulunut mistään kohtaa kokonaan pois. Koostumusanalyysistä, taulukko 34, havaitaan, että pinnassa on vyöhyke (pt 3), joka on kontaminoitunut koneistettavasta teräksestä (Fe).

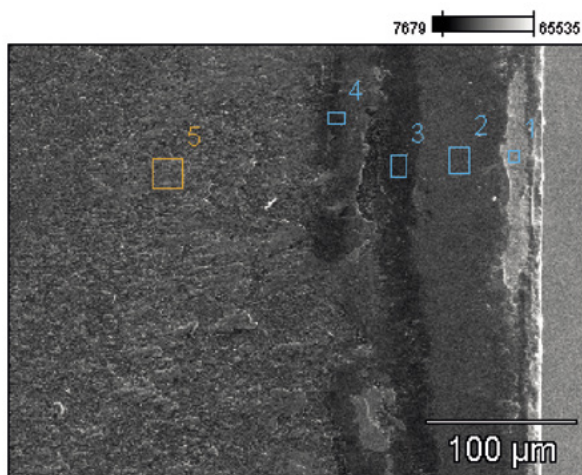


**Kuva 48.** Teräpalan R245-12 T3 M-PM 4220 leikkaava särmä LE, koneistettu 120 mm, 8 aihiota. Lastuamisnopeus 67 m/min.

**Taulukko 34.** Koostumuksia kuvan 48 yksityiskohdista.

	<b>C</b>	<b>O</b>	<b>F</b>	<b>Al</b>	<b>Si</b>	<b>Ti</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>
<b>pt1</b>		34.68	2.48	62.84				
<b>pt2</b>		30.63		58.49	3.79		7.09	
<b>pt3</b>		9.19						90.81
<b>pt4</b>	17.53	28.59		48.72		1.75		3.42

Kuvassa 49 on koneistuskokeessa 2b käytetyn teräpalan R245-12 T3 M-PM 4220 ”laahaavaa” särmää, jossa pinnoite on jo osittain kulunut kokonaan pois (pt 1) ja kovametalli (sisältää W) on paljastunut, taulukko 35. Edelleen teräpalassa on vyöhyke (pt 5), johon on kontaminoitunut koneistettavaa terästä (Fe).



**Kuva 49.** Teräpalan R245-12 T3 M-PM 4220 laahaavaa särmää. Koneistus 67 m/min.

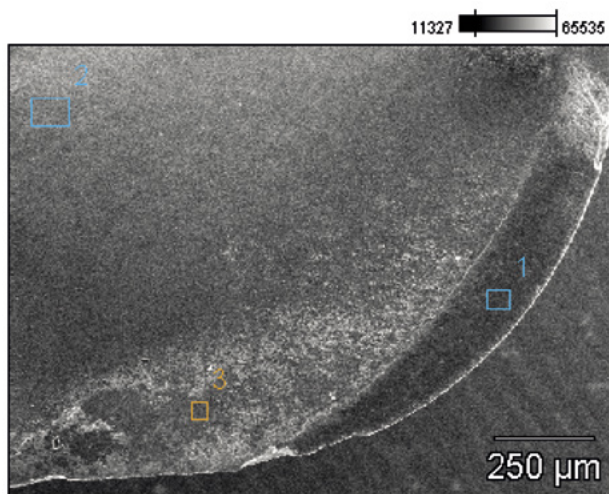
**Taulukko 35.** Koostumuksia kuvan 49 yksityiskohdista.

	<b>C</b>	<b>O</b>	<b>Al</b>	<b>Si</b>	<b>Ti</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>W</b>
<b>pt1</b>								100.00
<b>pt2</b>	17.78				82.22			
<b>pt3</b>		31.70	68.30					
<b>pt4</b>		23.21	4.42	24.04	9.87	28.54	9.92	
<b>pt5</b>		10.69			15.42		73.88	



### Teräpala 490R-140420M-PH 4220 (Koneistuskoe 3b)

Koneistuskokeessa 3b käytettiin 490R-140420M-PH 4220-tyyppistä teräpalaa, joka on kuvassa 50. Teräpalan leikkaavassa reunassa näkyy kulunut vyöhyke (pt1), jossa on Al-oksidi-pinnoitetta ja hieman kontaminoitunutta terästä (Fe), taulukko 36.

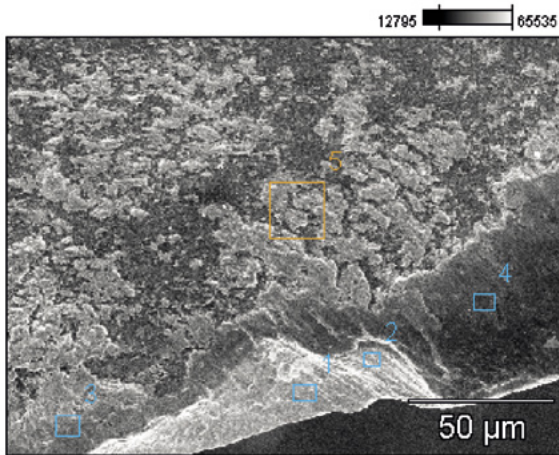


**Kuva 50.** Teräpala 490R-140420M-PH 4220. Koneistus 67 m/min, 72 mm.

**Taulukko 36.** Koostumuksia kuvan 50 yksityiskohdista.

	<b>O</b>	<b>Al</b>	<b>Ti</b>	<b>Fe</b>
<b>pt1</b>	28.83	64.25		6.91
<b>pt2</b>	32.69	64.88	2.43	
<b>pt3</b>	31.82	63.52	4.66	

Kuvassa 50 näkyy ”leikkaavassa” särmässä pieniä lohkeamia. Tällaisesta lohkeamasta on kuvassa 51 suurempi suurennus. Lohkeamasta ei saatu analyysiteknisistä syistä kovametallin (perusaine) koostumuksia, mutta murtuman ympäristössä on runsaasti kontaminoitunutta terästä (Fe), taulukko 37.



**Kuva 51.** Yksityiskohta kuvasta 50.

**Taulukko 37.** Koostumuksia kuvan 51 yksityiskohdista.

	<b>C</b>	<b>O</b>	<b>Al</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>
<b>pt1</b>			100.00			
<b>pt2</b>			100.00			
<b>pt3</b>		7.01				92.99
<b>pt4</b>		22.89	38.85	17.87	20.40	
<b>pt5</b>	25.13	12.43	10.70			51.73





## 9 Koneistettu aihio

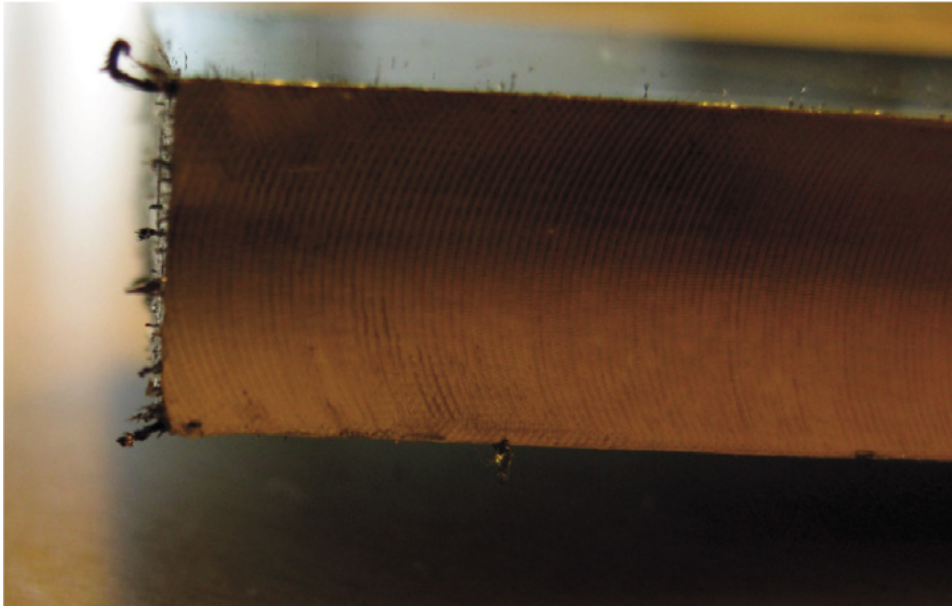
Kuvassa 52 on koneistettu aihio, jonka koko oli 40\*50 mm (RAEX 400). Kun kappale irrotettiin puristimista 37,5 mm lastuamisen jälkeen, se oli kaareutunut koveraksi koneistetulta puolelta katsottuna. Kaareutumisen oli tapahtunut jo koneistuksen aikana, sillä kappaleen paksuudessa oli suuria vaihteluita. Kappale paksuudet olivat keskimäärin koneistuksen alkupäästä 10,84 mm, keskeltä 12,84 mm ja lopusta 10,35 mm eli keskeltä 2–2,49 mm paksumpi. Sama ilmiö toistui kaikissa 40\*50 mm aihoiden koneistuksissa.



**Kuva 52.** RAEX 400-teräsaihio koneistuksen jälkeen

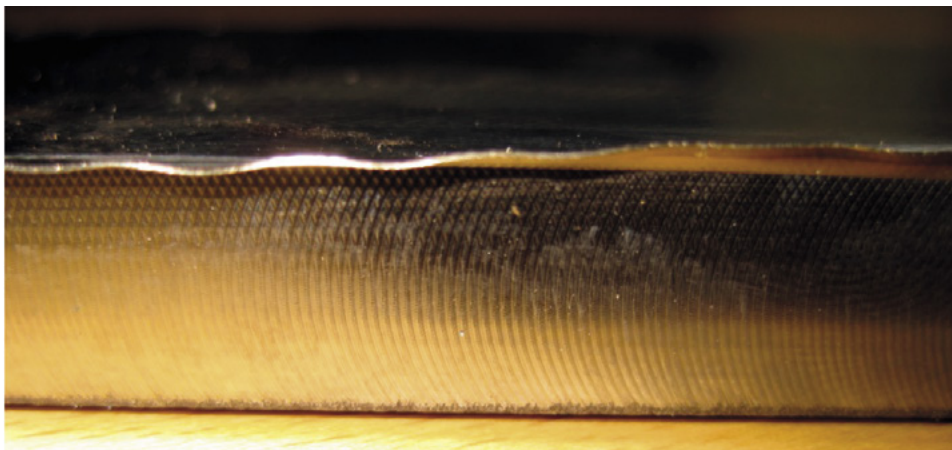
Kuvassa 53 näkyy kaareutumisen voimakkuus. Kappaleen päät olivat tason pinnasta mitattuna noin 6 - 7,5 mm.

Kaareutumista ei kuitenkaan tapahtunut ja kappale pysyi suorana, kun aihiota koneistettiin molemmilta puolilta yhtä paljon. Aihion koneistettavaa puolta vaihdettiin lastuamiskerrosten välillä. Näin saatiin kappaleen mitoiksi koneistuksen alkupäästä 12,7 mm, keskeltä 12,7 mm ja lopusta 12,7 mm. Myös pinnanlaatu pysyi hieman parempana ja tasaisempana.



**Kuva 53.** Koneistuksessa kaareutuneen RAEX 400-teräsaihion pää.

Kuvassa 54 näkyy toisenlainen kappaleen kaareutumisolio. Tällä kertaa toiseen suuntaan. Kun koneistettiin pienempi aihio 25\*40 mm, kappale kaareutui kuperaksi koneistetulta puolelta katsottuna. Kaareutuminen oli huomattavasti vähäisempää kuin isomman aihion kohdalla. Kaareutumisen mitattiin rakotulkin avulla. Kuperumista oli keskimäärin 0,73 mm. Kaareutumisen vuoksi kappaleessa oli myös paksuusvaihteluita koneistuksen jälkeen. Keskimäärin kappaleen paksuus koneistuksen aloituspäässä oli 9,95 mm, keskellä 9,89 mm ja lopussa 10,13 mm eli keskikohdastaan kappale oli noin 0,06 - 0,24 mm ohuempi.



**Kuva 54.** Koneistuksessa kaareutunut pienempi (25\*40 mm, RAEX 450) aihio.

# 10 Koneistetun pinnan laatu

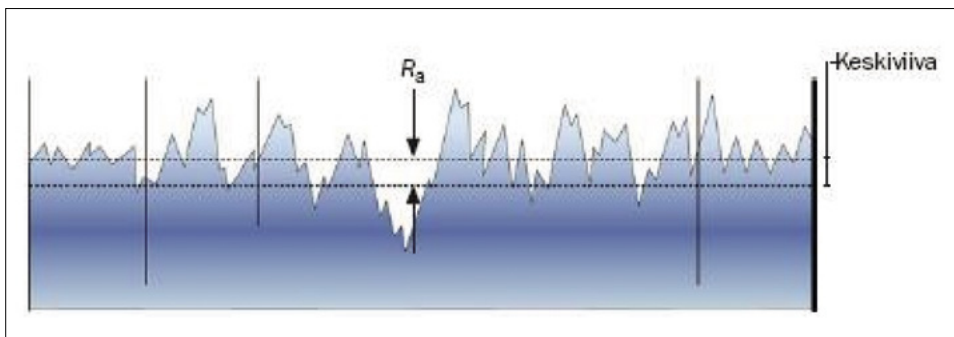
Koneistetuista kappaleista tutkittiin pinnan laatua mittaamalla pinnankarheuden Ra- ja Rz-arvot Mitutoyo SJ 301-mittalaitteella.

## PINNANKARHEUDEN MITTAUS

Kappaleen pinnanlaatua voidaan mitata pinnan mittatarkkuuden, karheuden, aaltomaisuuden tai muodon suhteen. Pinnan huippujen ja laaksojen välisiin korkeuksiin, muotoihin sekä etäisyyksiin perustuvat pinnankarheuden mitat. Kappaleen pinta on muodostunut pienen, keskisuuren ja suuren taajuuden omaavista muodoista. Näistä taajuuksista pieni aiheuttaa kappaleen muodon, esim. sylinterimäisyyden. Suuri taajuus aiheuttaa pinnankarkeuden ja keskisuuri aaltomaisuuden. /3/

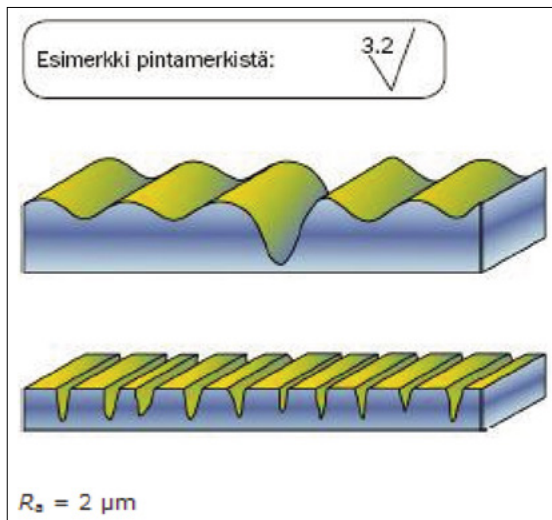
Pinnankarheuden mittana käytetään yleisimmin Ra-arvoa, joka on epätasaisuuden aritmeettinen keskiarvo. Ra-arvo on sitä pienempi mitä sileämpi pinta on, esim. peilipinta  $0,02 \mu\text{m}$ . Yleensä metallipinnat ovat  $0,02\text{-}3,5 \mu\text{m}$ . /4/

Kuvassa 55 on esitetty pinnan profiilin aritmeettisen keskiarvon (Ra – arvon) määrittäminen.



**Kuva 57.** Ra-arvon määrittäminen. /4/

Kuvassa 56 on Ra-arvon pintamerkitsemistapa sekä esimerkki siitä, kuinka sama Ra - arvo voi kuvata erilaisia pintoja.



**Kuva 56.** Ra -arvon merkitseminen./4/

Pinnankarheudelle voidaan laskea erilaisia teoreettisia arvoja syötön ja nirkon säteen avulla. Esimerkiksi pinnankarheuden Ra -arvo on suoraan verrannollinen syötön neliöön ja kääntäen verrannollinen nirkon säteen kertalukuun. Teoreettiset arvot poikkeavat kuitenkin huomattavasti mitatuista arvosta. Teoreettisten arvojen mukaisesti, jos pinnankarheus halutaan pitää samana, on syötön kasvaessa nirkonsädettä pienennettävä. /3/

Standardissa SFS-ISO 468 on esitelty suositellut pinnankarheuksille käytettävät arvot, kun suunnitellaan pinnankarheuksien vaatimuksia. /3/

## PINNANKARHEUDEN MITTAUSTULOKSET

Tässä tutkimuksessa pinnankarheet mitattiin Ra -arvoina, taulukko 38.

**Taulukko 38.** Ra - arvon mittauksia koneistuskokeiden materiaaleista.

Teräpala	45° R245- 12 T3 M-PM 4220	45° R245- 12 T3 M-PM 4220	45° R245- 12 T3 M-PM 1010	45° R245- 12 T3 M-PM 1010	90° 490R- 140420M- PM 3040	90° 490R- 140420M- PM 3040	90° 490R- 140420M- PH 4220	90° 490R- 140420M- PH 4220	Pyöreä R300- 1648E- PM 1010
Lastuamis- nopeus [m/min]	45	67	80	120	45	67	45	67	80
Ra -arvo, keskiarvo [μm]	0,76	1,48	0,54	0,46	0,82	1,54	1,16	1,30	1,15

# 11 Yhteenveto

Tutkimuksen tarkoituksena oli verrata teräpalojen kestävyyttä ja toimivuutta materiaalille RAEX 400 ja RAEX 450, minkä vuoksi eri terälaatuja ja niiden tuloksia on osaksi vertailtu suoraan keskenään. Riippuen eri teräpalageometriasta ja käyttötarkoituksesta, kaikki teräpalat eivät kuitenkaan ole täysin vertailukelpoisia keskenään. Taulukossa 39 on tiivistelmä teräpalojen käyttöalueista sekä suositukset lastuamisarvoista. Teräpalojen lastuttavaksi aineiksi oli tarkoitettu teräs (P), valurauta (K) ja karkaistu teräs (H). /9/

Osa tutkimuksessa käytetyistä teräpaloista eivät olleet erityisesti tarkoitettu karkaistun teräksen lastuamiseen, mutta Sandvik Coromant ehdotti niitä tutkimukseen mukaan käyttökokemuksen perusteella. Teräpalojen geometria (käyttöalue) kuvaa koneistusolosuhteita, joista M (keskiraskas on tarkoitettu kohtalaisiin koneistusolosuhteisiin ja H (raskas) vaikeisiin olosuhteisiin. Eri asetuskulma vaikuttaa lastuamisiin.

**Taulukko 39.** Tutkittujen teräpalojen käyttötarkoitukset ja lastuamisarvot./9/

<b>Tilauskoodi ISO</b>	R245-12 T3 M-PM 4220	R245-12 T3 M-PM 1010	490R-140420M-PM 3040	490R-140420M-PH 4220	R300-1648E-PM 1010
<b>Teräaine (HC = kovametalli)</b>	HM / HC	HM / HC	HM / HC	HM / HC	HM / HC
<b>Kovametallityyppi (Volfraamikarbidin raekoko)</b>	Puolikarkea/karkea	Erittäin hieno	Puolikarkea/karkea	Puolikarkea/karkea	Erittäin hieno
<b>ISO - käyttöalueet</b>	P15, K25, H25	P10, K10, H10	P20, K30, H25	P15, K25, H25	P10, K10, H10
<b>Geometria, käyttöalue (M= medium, H=raskas)</b>	M	M	M	H	M
<b>Asetuskulma</b>	45°	45°	90°	90°	Pyöreä
<b>P</b>	<b>fz [mm] vc [m/min]</b>	0,24 (0,10-0,28)	0,24 (0,10-0,28)		0,28 (0,20-0,35)
		290 (335-275)	290 (335-275)		360 (375-350)
<b>K</b>	<b>fz [mm] vc [m/min]</b>			0,17 (0,12-0,25)	0,28 (0,20-0,35)
				225 (230-220)	230 (235-220)
<b>H</b>	<b>fz [mm] vc [m/min]</b>	0,24 (0,10-0,28)	0,24 (0,10-0,28)		0,28 (0,05-0,42)
		45 (50-40)	80 (100-75)		75 (115-60)

## KONEISTUSKOKEIDEN SISÄLTÖ

Tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia eri teräpalalaatujen kulumista RAEX 400- ja RAEX 450-kulutusteräksen koneistuksessa ja selvittää niiden elinkaaren pituutta.

Tutkimuksessa seurattiin havainnoimalla mitä koneistuksen aikana tapahtuu. Teräpalojen kulumista seurattiin koneistuksen aikana koneistajan näkökulmasta sekä koneen tehon käytön perusteella. Teräpalojen kulumista tutkittiin stereomikroskoopin ja FESEM laitteiston avulla.

Taulukossa 40 esitetään yhteenvetoa tehdyistä koneistuskokeista. Taulukossa ”Tuotto” = on laskettu koneistettu kokonaistilavuus [m<sup>3</sup>] \* koneistuksen ajallinen kes- to [min]. Näin lasketun ”tuoton” perusteella teräpalojen kokonaistuottavuutta voidaan vertailla. ”Tuoton” perusteella ylivoimaisesti parhaimmat tulokset saatiin aikaan PVD -pinnoitteisilla 45° sekä pyöreillä jyrsimillä, kun koneistettiin suositusten mukaisilla arvoilla.

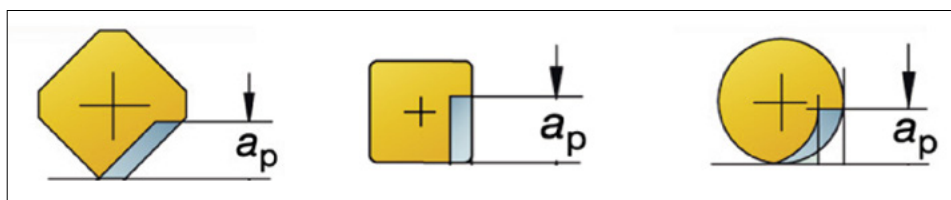
**Taulukko 40.** Yhteenvetoa koneistustuloksista.

Teräpala (lastuamis- nopeus)	Aihioi- den kovuus (HB)	Lastua- mis- nopeus [mm/ min]	Ajallinen kesto [min],	Kokonais- tilavuus [mm <sup>3</sup> ]	Kokonais- tilavuus [m <sup>3</sup> ]	Kesto [mm]	Tuotto
<b>45° 4220</b> (45 m/min)	421,8	228	330,3	4292100	0,0043	150	1,42
<b>45° 4220</b> (67 m/min)	422,6	339	177,7	3433680	0,0034	120	0,61
<b>45° 1010</b> (80 m/min)	363,2	405	340,9	12876300	0,0129	450	4,39
<b>45° 1010</b> (120 m/min)	362	607	165,4	8584200	0,0086	300	1,42
<b>90° 3040</b> (45 m/min)	416,5	228	66,1	858420	0,0009	30	0,06
<b>90° 3040</b> (67 m/min)	431,5	339	244,3	4721310	0,0047	165	1,15
<b>90° 4220</b> (45 m/min)	-	228	-	-	-	-	-
<b>90° 4220</b> (67 m/min)	424	339	106,6	2060208	0,0021	72	0,22
<b>Pyöreä</b> 1010 (80 m/min)	373	405	371,9	12876300	0,0129	450	4,79

## TERÄN KULUMINEN

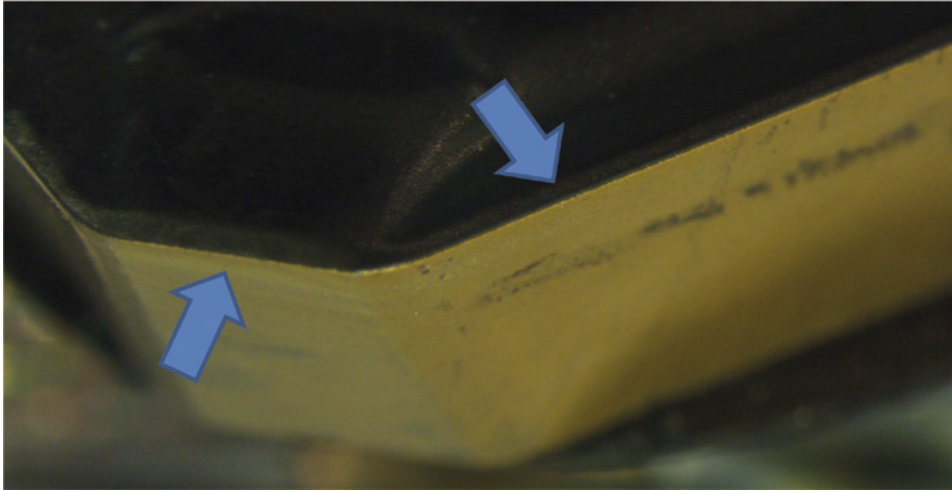
Mikroskooppisesti teräpalat kuluivat sekä leikkaavasta ”etureunasta” (pääteräsärmä) LE että ”laahaavasta” särmästä BS siten, että pinnoitus kuluu vähitellen kokonaan pois ja paljastaa alla olevan kovametallisen perusaineen. Tapahtui myös lievää perusaineen särmän lohkeamista, kun teräpala oli elinkaarensa lopussa. Pinnoitteen ja kulumalla paljastuneen perusaineen pintaan tarttuu koneistettavaa terästä, mikä lisää kitkaa koneistuksessa ja huonontaa koneistettavan kappaleen pinnan tasaisuutta.

Kuvassa 57 on kuvattu leikkaavaa ”etureunaa” LE eri terämuodoilla.



**Kuva 57.** Erialaisten teräpalojen leikkaavat särmät ja niiden lastun muodostus,  $a_p$  = lastun paksuus. /9/

Kuvassa 58 on esitetty 45° teräpalan kuluvat särmät: oikean puoleinen nuoli osoittaa pääteräsärmää eli leikkaavaa ”etureunaa” LE ja vasemman puoleinen nuoli ”laahaava” särmää BS.



**Kuva 58.** 45° teräpalan kuluvat särmät.

Taulukossa 41 on teräpalojen kulumistyyppien vertailua, kun teräpalat tulivat tässä tutkimuksessa elinkaarensa päähän.



**Taulukko 41.** Teräpalojen kulumistyyppi elinkaarensa päässä

<b>Teräpala</b>	<b>45° R245- 12 T3 M-PM 4220</b>	<b>45° R245- 12 T3 M-PM 4220</b>	<b>45° R245- 12 T3 M-PM 1010</b>	<b>45° R245- 12 T3 M-PM 1010</b>	<b>90° 490R- 140420M- PM 3040</b>	<b>90° 490R- 140420M- PM 3040</b>	<b>90° 490R- 140420M- PH 4220</b>	<b>90° 490R- 140420M- PH 4220</b>	<b>Pyöreä R300- 1648E- PM 1010</b>
<b>Lastuamis- nopeus [m/min]</b>	<b>45</b>	<b>67</b>	<b>80</b>	<b>120</b>	<b>45</b>	<b>67</b>	<b>45</b>	<b>67</b>	<b>80</b>
Viiste- kuluminen									
Lovi- kuluminen				x					
Kuoppa- kuluminen			x	x					
Pieni teräsärmän murtuma (reuna- murtuma)	x		x	x	x	x	x	x	
Teräriikko teräpalassa	x	x			x		x		
Pienet säröt kohtisuorassa teräsärmään nähdessä (lämpö- säröily)									
Irtosärmän muodostus									
Plastinen muodon- muutos									
Värinä									

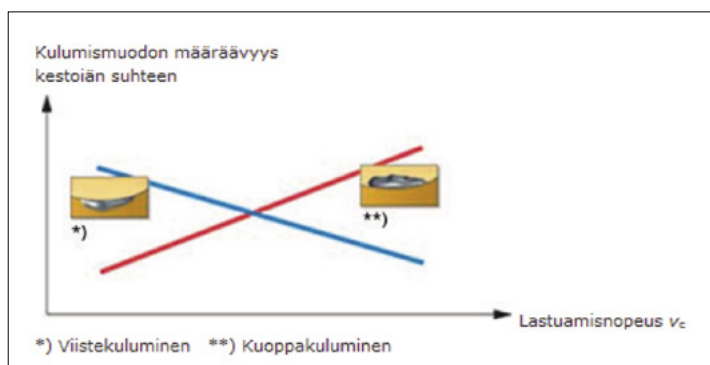
Taulukossa on lueteltu useita tyypillisiä kulumistyyppisiä teräpaloille. Koneistuskokeissa esiintyi kuitenkin vain muutamaa kulumistyyppiä: lovikuluminen, kuoppakulumista, teräsärmän murtumia sekä teräriikon tasoista särmän voimakasta murtumista. Viistekulumista oletetaan esiintyvän jokaisessa teräpalassa eri määriä. Se ei kuitenkaan ole teräpalassa elinkaaren päässä. Kulumistyypeistä mm. lämpösäröilyä ja plastista muodonmuutosta ei koneistuskokeissa havaittu.

Koneistuskokeissa havaittiin, että terä ei kestänyt kovin hyvin, kun lastuaminen tapahtui pienellä nopeudella. Sandvik Coromant selittää asiaa: ”Teräsärmän korkea lämpötila pienentää lastuamisvoimia. Siksi liian pieni, vähemmän lämpöä kehittävä lastuamisnopeus voi aiheuttaa teräriikon.” Koneistuskokeissa teräriikko (= voimakas särmän lohkeaminen teräpalasta) tapahtui kenties siitä syystä terillä 90° 3040 ja 90° 4220, kun lastuamisnopeutena käytettiin 45 m/min. Nopeammalla 67 m/min lastuamisnopeudella kulumisen tapahtui teräsärmän murtumisena.

Poikkeuksena koneistuskokeissa oli 45° GC4220, jolle 45 m/min oli annettu suositusnopeudeksi karkaistun teräksen koneistukseen. Tällä teräpalalla + 50 % nopeuden kasvattaminen ei tuottanut selvästi parempaa tulosta.

Koneistuskokeissa käytettyjen lastuamisarvojen valinta perustui koneistajan näkökulmaan: katsotaan mitä teräpalapaketissa lukee. Sandvik Coromant suosittaa hyödyntämään parametrien valinnassa CoroGuide 2.0 – työkalusuosituspöytä.

Terällä 45° GC1010 kuoppakuluminen oli selvästi leveämpää ja voimakkaampaa nopeudella 120 m/min kuin suositusten mukaisella 80 m/min. Näin ollen terän särmä murtui aiemmin. Tämä voi olla yhtäpitävä Sandvikin julkaiseman tiedon kanssa, kuva 59.



**Kuva 59.** Kulumismuodon riippuvuus lastuamisnopeudesta. /6/

Pinnankarkeuteen kuoppakulumisen ei pitäisi vaikuttaa huonontavasti ja kyseisellä terällä pinnanlaatu olikin koneistuskokeiden parhaimpia keskiarvolla 0,54  $\mu\text{m}$ .

Koneistuskokeissa oli käytössä kaksi eri materiaalia: RAEX 400 ja RAEX 450. Eriytisesti se, että nämä eri materiaalit olivat erikokoisina aihioina, vaikeutti materiaalien välistä vertailua. RAEX 400 oli kovuudeltaan noin 50 HB pehmeämpää kuin RAEX 450.

Yksi koneistuskoe tehtiin materiaalivertailun vuoksi: lisäkoneistuskoe 2c. Siinä koneistettiin karkaistulle teräkselle tarkoitettulla 45° GC4220 teräpalalla molempia materiaaleja nopeudella 67 m/min (+ 50 % suosituksesta). Oletuksena oli, että teräpalat kestäisivät hieman pidempään, kun kerran materiaali oli hieman pehmeämpää. Toisin kävi, teräpalat kestivät noin 10 min ja 80 mm vähemmän.

## MITÄ OPIMME TERÄPALOJEN ELINKAARESTA?

Koneistettaessa lähellä ohjearvoja teräpala kuluu tasaisesti kontaktissa koneistettavaan teräkseen siten, että pinnoite häviää vähitellen ja perusaine (kovametalli) tulee esille. Tämä on ns. viistekulumista, joka on ideaalisin kulumisen muoto ennustettavan käyttäytymisensä vuoksi. Terän kuluessa särmään ja nirkkoon voi syntyä pieniä murtumia, jolloin pinnoite ja mahdollisesti perusainetta lohkeaa siitä. Tässä tutkimuksessa keskityttiin tarkastelemaan teräpalan elinkaaren loppuvaihetta eli siinä vaiheessa esiintyvää kulumista.

Pinnoitetun teräpalan kulumiseen myös tutkituilla teräksillä liittyy koneistettavan teräsaineen (Fe) tarttumisen pinnoitteeseen, mikä ilmeisesti vaikuttaa teräpalan kulumiseen.

Terän kuluessa koneistusäänet voimistuvat ja esiintyy satunnaista kipinäointia. Samaan aikaan koneistus vaatii enemmän tehoa. Terän kuluneisuus ilmenee myös koneistetun pinnan laadussa tai lastujen värissä. Nämä voidaan havaita teräpaloja irrottamatta.

Tässä tutkimuksessa terät vaihdettiin aina kaikissa jyrsinrunгон teräpaloissa kääntämällä kaikki teräpalat samanaikaisesti, ja se tehtiin aina kuluneimman palan mukaan. Jatkokäytöksissä tutkittiin aina kuluneinta teräpalaa.

Irrottamalla teräpala jyrsinrunghosta voitiin sitä jo koneistuspaikalla tutkia tarkemmin sekä silmämääräisesti että tunnustelemalla terää käsin. Kun teräpala on elinkaarensa päässä, kuluneisuus näkyy jo silmämääräisesti ja tuntuu särmän karheutena. Teräpalan tarkastelua voidaan auttaa valmistajan toimittaman ”loopin”, suurenuslasin avulla.

Teräpalojen kuluneisuutta tutkittiin stereomikroskooppilla (valo-optinen) ja kuvattiin, jolloin saatiin yksityiskohtaisempi kuva kulumisen mekanismista. Tasainen viisitekuluminen ja lohkeamien syntyminen voitiin näin todentaa.

Pinnoitteita ja niiden kulumisen mekanismia tutkittiin FESEM -elektronimikroskooppilla ja siihen liitettyllä rtg-analyysaattorilla (EDS). Koostusanalyysi (EDS) mahdollisti pinnoitekerrosten, teräskontaminaation ja perusaineen (kovametalli) erottelun kuluneessa pinnassa.

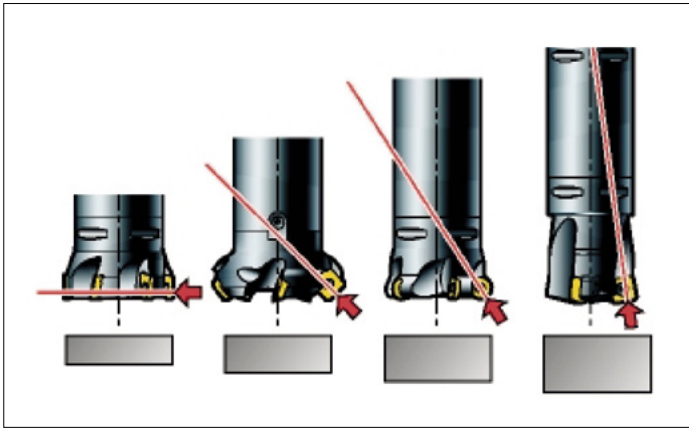
Sandvik Coromant on julkaissut ohjeita teräpalan kulumisen päättelemiseksi koneistuksen aikana dokumentissa /7/.

## AIHION KAAREUTUMINEN

Koneistettavat aihiot pyrkivät käyristymään koneistuksessa. Osaksi sitä voidaan ratkaista koneistusteknisillä asioilla kuten kappaleen kääntämisellä lastujen välillä ja molemmin puoleisella koneistuksella. Eräs ratkaisumalli on myös asettaa tuki keskikohtaan alle, ettei kappale pääse joustamaan alaspäin.

Sandvik Coromant antaa seuraavia ohjeita ohuiden ja taipuisien kappaleiden koneistukseen:

- Ota huomioon lastuamisvoimien suunnat, kuva 60.
- Vältä alle 0,5-2 mm aksiaalista lastuamissyvyyttä
- Käytä 90° jyrsintä, joka suuntaa pääosan lastuamisvoimista aksiaalisuuntaan.
- Käytä harvaa teräjakoa sekä teräviä, positiivisia teriä
- Myös lastuamistekniikan käyttö ohutseinäisillä kappaleilla voi ehkäistä kappaleen vääntymistä. /8/



**Kuva 60.** Voimien pääsuunnat koneistuksessa. /8/

# Lähteet

- /1/ Sandvik Coromant, [http://www.sandvik.coromant.com/fi/knowledge/milling/grade\\_information/pages/default.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/fi/knowledge/milling/grade_information/pages/default.aspx), 26.2.2014.
- /2/ Sandvik Coromant, Pinnoitetut kovametallit, [http://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/materials/cutting\\_tool\\_materials/coated\\_cemented\\_carbide/pages/default.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/materials/cutting_tool_materials/coated_cemented_carbide/pages/default.aspx), 19.3.2014.
- /3/ Susanna Tähtinen, Pinnanlaadun määrittystekniikat ja mittauslaitteet viimeistelysorvauksen yhteydessä, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, kandidaattitutkielma, 2009.
- /4/ Sandvik Coromant, Pintojen mittaus, [http://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/materials/measuring\\_surfaces/pages/default.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/materials/measuring_surfaces/pages/default.aspx), 5.3.2014
- /5/ Sandvik Coromant, Pintojen mittaus, [http://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/materials/measuring\\_surfaces/pages/default.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/materials/measuring_surfaces/pages/default.aspx), 5.3.2014
- /6/ Sandvik Coromant, Kovasorvaus, [http://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/general\\_turning/how-to-achieve-good-component-quality/turning-in-different-materials/hard-part-turning/pages/default.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/general_turning/how-to-achieve-good-component-quality/turning-in-different-materials/hard-part-turning/pages/default.aspx), 5.3.2014
- /7/ *Kulumisen päättelyminen koneistuksen aikana: Pinnankarheusarvo. Sandvik Coromant, Kovasorvaus*, [http://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/general\\_turning/how-to-achieve-good-component-quality/turning-in-different-materials/hard-part-turning/pages/default.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/general_turning/how-to-achieve-good-component-quality/turning-in-different-materials/hard-part-turning/pages/default.aspx), 5.3.2014
- /8/ Sandvik Coromant, [http://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/milling/application\\_overview/face\\_milling/general\\_face\\_milling/pages/default.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/milling/application_overview/face_milling/general_face_milling/pages/default.aspx), 28.2.2014
- /9/ Sandvik Coromant, <http://www.sandvik.coromant.com>, 5.3.2014

**Tämän tutkimuksen tarkoituksena** oli selvittää teräpalojen elinkaaren aikaista kulumista RAEX 400-kulutusteräksen koneistuksessa. Koneistus suoritettiin tasoajrsintänä Lapin Ammattipiston 5-akselisella Mazak Variaxis 630-5X II-työstökeskuksella.

Tasoajrsinta on yleisimmin käytetty ajrsintämenetelmä ja siihen sopivat monenlaiset ajrsimet. Yleisimpiä ovat 45° asetuskulmassa olevat terät, mutta tasoajrsintään voidaan käyttää myös kulmajrsimiä, kiekkoajrsimiä sekä pyöreäteräisiä ajrsimiä. Tässä tutkimuksessa käytettiin 45° asetuskulmassa olevat terä, 90° kulma- sekä pyöreäteräisiä ajrsimiä.

Tässä tutkimuksessa teräpalojen kulumista seurattiin silmämääräisesti teräpaloja sekä lastunmuodostusta tarkkailemalla.

Teräpalat kuvattiin elinkaarensa päätepisteessä valo-optisella stereomikroskoopilla (12.5/16 x suurennuksella).

Teräpalojen kulumisen mekanismia selvitettiin FESEM - mikroskooppilaitteistolla, joka sisältää sekä SEM (Scanning Electron Microscope) -mikroskoopin että EDS (Energy Dispersive Spectrometer) -röntgenanalyysattorin.