



# Kannettavat Kovuusmittarit - Sovellusohje -

Dr. Stefan Frank  
(Helmikuu 2001)

käännös:  
Tapani Packalén  
(Heinäkuu 2001)

1. Esittely .....	3
1.1 Mitä kovuusmittaus on ?	4
1.2 Miksi kovuutta mitataan?	4
1.3 Kohteella tapahtuva kovuusmittaus	4
2. UCI-menetelmä (MIC 10).....	5
2.1 MIC-anturin valinta	6
3. Kimmahdusmenetelmä .....	8
4. Sovellukset .....	10
4.1 Menetelmän valinta	10
4.2 Painuman koko	11
4.3 Testattavan kappaleen painovaatimus	14
4.4 Seinämän paksuusvaatimus	15
4.5 Pinnan laatu / karheus	16
4.6 Käsittely, ylläpito ja huolto	17
4.7 Kalibrointi	18
4.8 Laitteen toiminnan tarkastus	20
5. Tarkastustehtävän ratkaisu.....	21

### 1. Esittely

Kannettava kovuusmittaus kehittyy. Nykyään kustannuspaineet ja korkeammat laatuvaatimukset modernissa tuotantoprosessissa vaativat nopean ja taloudellisen lisän kiinteille kovuusmittareille. Sovellusmahdollisuudet ovat laajat. Käyttöalue sisältää yhtä hyvin suuria kuin pieniä kappaleita, ennen kaikkea kohteissa, joissa on vaikea luoksepäästävyys.

On olemassa kaksi fysikaalista menetelmää, jotka tunnetaan käytännön tarkastuksessa: staattinen UCI menetelmä ja dynaaminen kimmahdusmenetelmä. Pääasiassa tarkastustehtävästä riippuu kumpaa menetelmää tulisi käyttää.



*Fig. 1:* Vetoakselin hampaan kyljen kovuusmittaus UCI-laitteella.



*Fig. 2:* Suuren hydraulisen kaivinkoneen vetopyörän kovuusmittaus käyttäen kimmahdusmittaria.

Krautkramer tarjoaa kaksi sarjaa kannettavia kovuusmittareita, ensimmäinen toimii UCI Ultrasonic Con-  
tact Impedance periaatteella (MIC 10) ja toinen kimmahdusmenetelmällä (DynaMIC ja DynaPOCKET).

Tämä artikkeli esittelee molempien menetelmien peruseräät ja vertaa molempien menetelmien käyt-  
tömahdollisuuksia käytännön sovelluksissa (esim. kovuusmittaus hitsausseaman lämpömuutosvyöhyk-  
keellä). Tämän lisäksi pohditaan kriittisesti tekijöitä, jotka vaikuttavat kovuusmittaukseen kuten pinnan  
karheus tai kappaleen seinämän paksuus, joka on tarkastettava esim. putkilinjoissa.

### 1.1 Mitä kovuusmittaus on?

Riippumatta metallista kovuus on aina ollut asia, joka aiheuttaa paljon keskustelua teknisten ihmisten keskuudessa. Tulokset määritellään usealla eri asteikolla, jotka sisältävät muuttuvat ominaisuudet kuten hionnankesto, plastisen muodonmuutoksen kesto, korkea elastisuus, korkea myötäraja, hauraus tai virhe muovautuvuudessa.

Metallurgisesti kovuus on aineen kyky vastustaa siihen tunkeutuvaa esinettä. Tavallisesti painokärki painetaan kappaleen pintaan. Puristusvoima pidetään tietyn ajan, ja tämän jälkeen mitataan painuman syvyys tai koko.

Kovuus ei ole materiaalin perusominaisuus, mutta toistettavuudeltaan erinomainen testausmenetelmä. Yleisesti kovuusarvo on mielivaltainen, ja absoluuttista kovuusstandardia ei ole olemassa. Kovuudelle ei ole numeroarvoa, paitsi kun käytetään ennalta sovittua voimaa, toistettavaa tapaa ja sovittua kaavaa.

Staattinen painumatesti missä pallo, kartio tai pyramidi tunkeutuu testattavan kappaleen pintaan on laajalle levinnyt. Riippuvuus voiman ja painumasyvyyden tai pinta-alan välillä on kovuusmittauksen tulos, kuten yleisissä Brinell, Rockwell, Vickers tai Knop-penkkikovuusmittareissa.

Erilaiset menetelmät ja erimuotoiset painimet (esim. Brinell and Rockwell) antavat erilaisen tuloksen testattavasta materiaalista. Vastaavuustaulukot HRC- ja HB-arvojen välillä ovat ainoastaan likimääräisiä, ne eivät sisällä matemaattisia yhtälöitä mittaustulosten muuttamiseksi asteikolta toiselle. Niin kutsutut muutostaulukot ovat kokemukseräisesti määriteltäviä ja vertaavat tiettyjen materiaalien kovuuksia eri testausmenetelmillä. Verrattaessa kahden näytteen kovuusarvoja on molemmat testattava samassa asteikossa, tai asteikko täytyy muuttaa toiseksi mittapiste mittapisteeltä. Kovuusasteikot ovat verrattavissa vain itseensä.

### 1.2 Miksi kovuutta mitataan?

Tuotannossa materiaaleja testataan pääasiassa kahdesta syystä. Uusien materiaalien tutkimus ja karakterisointi, sekä laadun varmistus, jolla näytteiden todetaan täyttävän sille asetetut vaatimukset.

### 1.3 Paikalla tapahtuva kovuusmittaus

Perinteinen kovuusmittaus kuten Rockwell-, Brinell- tai Vickers-mittarit vaativat, että testattava kappale asetetaan mittalaitteeseen, mutta se ei ole aina mahdollista. Kannettavat kovuusmittarit on kehitetty niin, että mittaus voidaan tehdä kappaleen luona.

Taajuuden muutos on yksi suosittu mittaustapa. Tässä menetelmässä painetaan värähtelytanko kappaleen pintaan standardivoimalla. Tangon päässä on Vickers timantti testattavan. Sauvassa tapahtuva taajuuden muutos mitataan ja kovuusarvo näytetään LCD näytöllä. MICRODUR 10-laitte (Krautkramer) toimii tällä periaatteella. Periaatetta kutsutaan UCI (Ultrasonic Contact Impedance) -menetelmäksi.

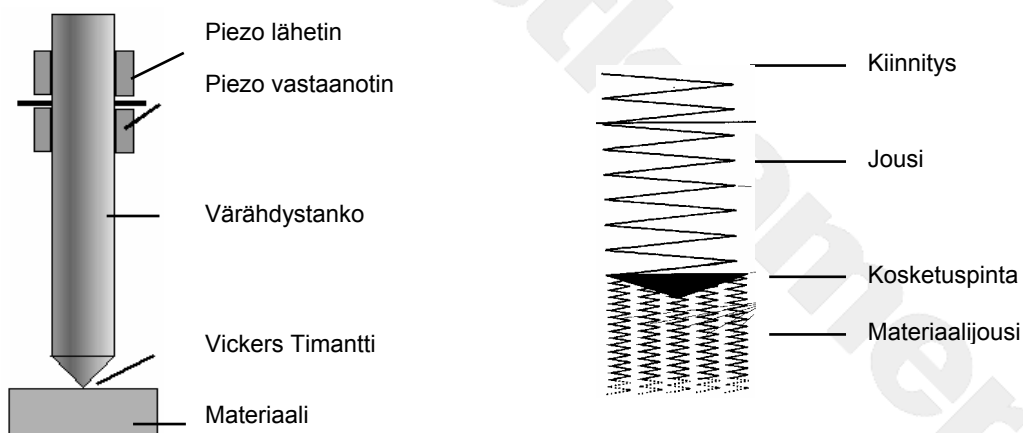
Toinen yleisesti tunnettu kannettavien kovuusmittareiden toimintaperiaate on kimmahdusmenetelmä, jolla DynaMIC tai DynaPOCKET (Krautkramer) toimivat. Iskurungon nopeus mitataan ennen ja jälkeen sen osumisen testattavan kappaleen pintaan. Näiden kahden nopeuden ero osoittaa materiaalin kovuuden. Kovuusarvo eri materiaaleille voidaan laskea käyttäen muutostaulukkoja, jotka on tallennettu laitteen muistiin.

## 2. UCI menetelmä (MIC 10)

Standardoidussa Vickers tai Brinell kovuuskokeessa kysymys on painuman koon suurenemisesta materiaalisissa testausvoiman kasvaessa. Käytettäessä Vickers kovuus UCI (Ultrasonic Contact Impedance) -menetelmää mitataan painuman suuruutta, mikä tulee olla tiedossa määritettäessä Vickers-kovuusarvoa. Painumaa ei mitata optisesti kuten tavallisesti, vaan painuma-alue määritellään elektronisesti mittaamalla ultraäänen taajuuden muutos. Tämä voidaan esittää pienellä kuvitteellisella kokeella.

UCI-anturi sisältää metallitangon, jonka päähän on kiinnitetty Vickers-timantti (Kuva 3). Piezo sähköinen läheterin väräyttää tankoa käyttäen noin 70 kHz taajuisia pitkittäisaaltoja. Kuvitele, että metallitanko (käytetään nimitystä värähtelytanko) on iso kierrejousi ja sen vapaa pää värähtelee 70 kHz resonanssitaajuudella. (Kuva 4).

Jousen (vapaassa) päässä on kontaktipala, Vickers-timantti. Tarkastettavan materiaalin johon Vickers-timantti koskettaa kuvitellaan olevan myös täynnä pieniä kierrejousia, jotka ovat kohtisuoraan pintaan nähden. Kahden atomin välinen sidos toimii kuten "jousi". Mikäli ainoastaan yksi näistä "atomijousista" on kosketuksessa Vickers-timanttiin, (kuten erittäin kovilla materiaaleilla joihin timantti tunkeutuu äärimmäisen vähän ja aiheuttaa pienen jäljen) kyseisen atomijousen massa kytkeytyy suurempaan jouseen. Tämä massan muutos aiheuttaa resonanssitaajuuden muutoksen jousessa.



Kuva 3: UCI-anturin periaatekuva

Kuva 4. UCI-periaate kuvitteellisessa kokeessa: värähdysjousi on kosketuksessa materiaaliin. Jousi esittää värähdystankoa ja kosketuspinta esittää timanttia. Materiaalijousi symboloi materiaalin elastista vastusta.

Tämä taajuudenmuutos tulee suuremmaksi, kun lisää atomijousia on kosketuksessa timanttiin. Tämä tapahtuu timantin upotessa syvemmälle ja kosketuspinta-alan kasvaessa pehmeässä materiaalisissa. Analogisesti: mitä suurempi taajuuden muutos on, sitä pehmeämpi on materiaali; Timantti tunkeutuu syvemmälle materiaaliin ja jättää syvemmän jäljen.

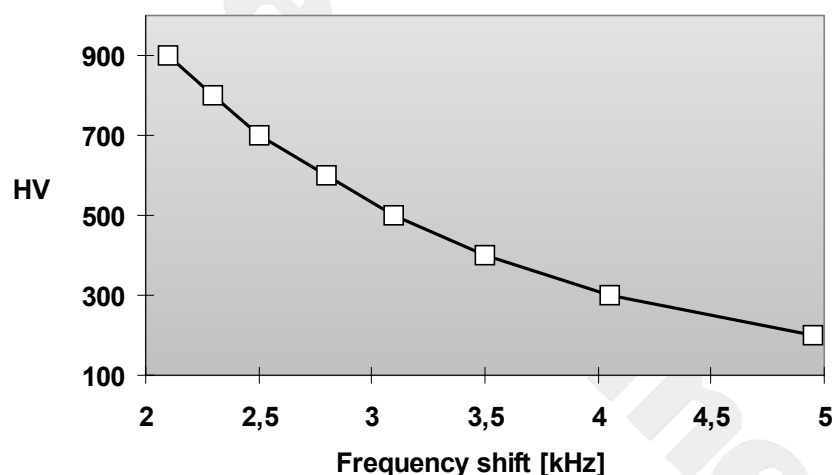
Tämä on UCI kovuusmittauksen salaisuus: taajuudenmuutos on riippuvainen materiaalin ja Vickers timantin kosketuspinta-alasta. Kaava (1) esittää tämän perussuhteen Vickers kovuusasteikkoon.

$$\Delta f \approx E_{\text{elast}} \cdot \sqrt{A} \qquad HV = \frac{F}{A} \qquad (1)$$

Kaava 1: Taajuuden muutos on riippuvainen Vickers-painimen kosketuspinta-alasta.  
 $\Delta f$  = taajuuden muutos,  $A$  = kosketuspinta-ala,  $E_{\text{elast}}$  = kimmomoduli, HV = Vickers kovuus,  
 ja  $F$  = Vickers kovuuskokeessa käytetty voima.

Taajuusmuutos riippuu myös kimmomodulista. Tämä on materiaaliominaisuus joka vastaa jousivoimaa kuvitteellisessa esimerkissämme. Käytännön mittauksessa tulee huomioida kimmomodulin vaikutus UCI-menetelmään. Erilaisia materiaaleja mitattaessa on laite kalibroitava kyseiselle materiaalille, jolloin kimmomoduli tulee huomioitua.

Kalibroinnin jälkeen UCI-menetelmää voi käyttää kaikilla materiaaleilla. Tuotannosta tulevat anturit on kalibroitu matalaseosteiselle tai seostamattomalle teräkselle. Laitteiden kalibrointi on kuitenkin nopeaa ja voidaan tehdä testauskohteessa esim. titaanille tai kuparille



Kuva 5: Vickers-kovuuden suhde taajuuden muutokseen .

## 2.1 MIC anturin valinta

UCI-menetelmässä anturin sisällä oleva Vickers-timantti kärkinen metallitanko resonoi ultraäänitaajuudella. Resonanssi saadaan aikaan käyttäen pietsokeraamista kidettä.

Jousi aiheuttaa puristusvoiman ja metallitangon värähtelytaajuus muuttuu riippuen Vickers timantin ja kappaleen kosketuspinta-alasta. Kovuutta ei määritetä visuaalisesti painuman diagonaaleista kuten normaalissa penkkimittauksessa. Taajuuden muutos mitataan elektronisesti.

Laite tekee automaattisesti mittauksen ja laskee tuloksen. Tulos esitetään LCD näytöllä.

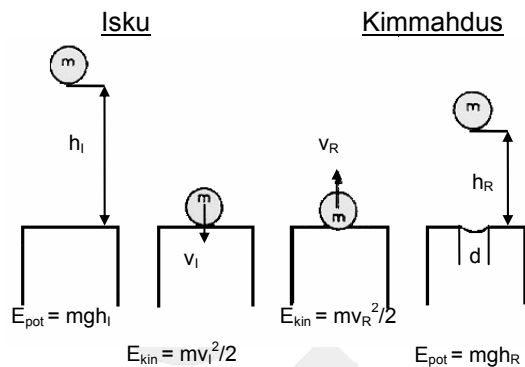
UCI-menetelmä on parhaimmillaan mitattaessa tasalaatuista materiaaleja. UCI-antureita valmistetaan varustettuna viidellä eri jousivoimalla

Voima	Käytettävä malli	Edut ja Ominaisuudet	Tyypillinen käyttökohte
98 N	MIC-2010 Normaali pituus Käsianturi	Suuri tunkeutuma, vähäinen pinnan valmistelu	Pienet valut, Hitsien tarkastus, HAZ
50 N	MIC-205 Normaali pituus Käsianturi  MIC-205L Pidennetty Käsianturi  MIC 205S Lyhennetty Käsianturi	Yleisanturi laajaan käyttöön  30mm pidennetty  Lyhennetty malli, 90 mm, elektroniikka erillisessä kotelossa.	Induktio- tai karbidi-pinnoitetut koneistetut kappaleet, esim. kampiakselit, putkilinjat, hitsien tarkastus, HAZ.  Mittaaminen urista, hammaspyörän hampaan sivut ja juuret  Turbiinisiivet, putkien sisäpinnat $\varnothing > 90$ mm
10 N	MIC-201 Normaali pituus Käsianturi  MIC-201L Pidennetty Käsianturi  MIC 201S Lyhennetty Käsianturi	Kevyt painaa; helppo hallita mitattaessa jyrkkiä säteitä  Vaikeiden geometrioiden mittaamiseen  Lyhennetty malli, 90 mm, elektroniikka erillisessä kotelossa.	Ioni- nitridöidyt leimasintyökalut ja muotit, puristimet, ohutseinämäiset kappaleet  Laakerit, hammaspyörät  Turbiinisiivet, putkien sisäpinnat $\varnothing > 90$ mm
8 N	MIC-211 Moottorianturi	Käytä ureatani sovitetta vaikeilla pinnoilla	Tarkkuuskappaleet, hammaspyörät, laakerien ulkokehät
3 N	MIC-2103 Moottorianturi	Matala tunkeuma	Kromi ja kupari pinnoitteet Terässylinterien pinnat ( $\geq 40 \mu\text{m}$ ), Kupariset syväpainetut sylinterit, Pintakarkaisu ( $\geq 20 \mu\text{m}$ )

Taulukko 1 UCI (MIC 10) luotainmallit, niiden ominaisuudet ja tyypilliset käyttökohteet.

### 3. Kimmahdusmenetelmä

(DynaMIC ja DynaPOCKET kovuusmittaus ASTM A 956-00 mukaan)



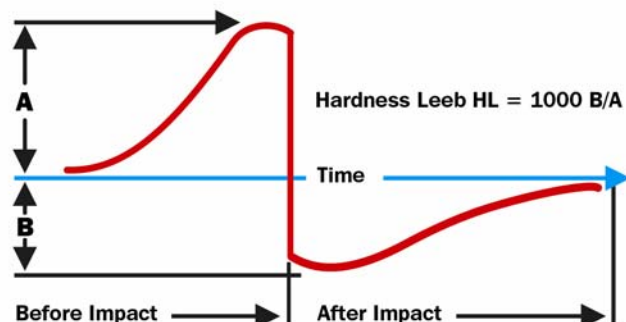
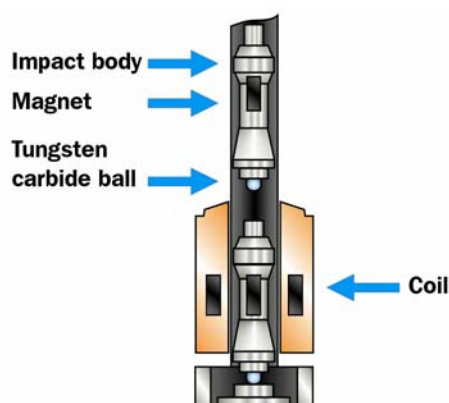
Kuva 6: Kimmahdusmenetelmän peruseriaate.

$d$  = iskupään halkaisija,  $E_{pot}$  = potentiaali energia,  
 $E_{kin}$  = kineettinen energia.

tauseriaate on toteutettu iskemällä jousen avulla Volframikarbidikärkistä iskurunkoa kappaleen pintaan. Nopeus ennen ja jälkeen iskun mitataan. Tähän käytetään iskurunkoon upotettua pientä magneettia (Kuva 7), mikä aiheuttaa induktiojännitteen keloihin. Tämä jännitteen suuruus osoittaa nopeuden (Kuva 8). Dr. Leebin menetelmän käyttäminen tuottaa Leebin kovuusarvon HL, joka on laskettu isku- ja kimmamisnopeuksista käyttäen kaavaa:

$$HL = \frac{v_R}{v_I} \cdot 1000 \quad (2)$$

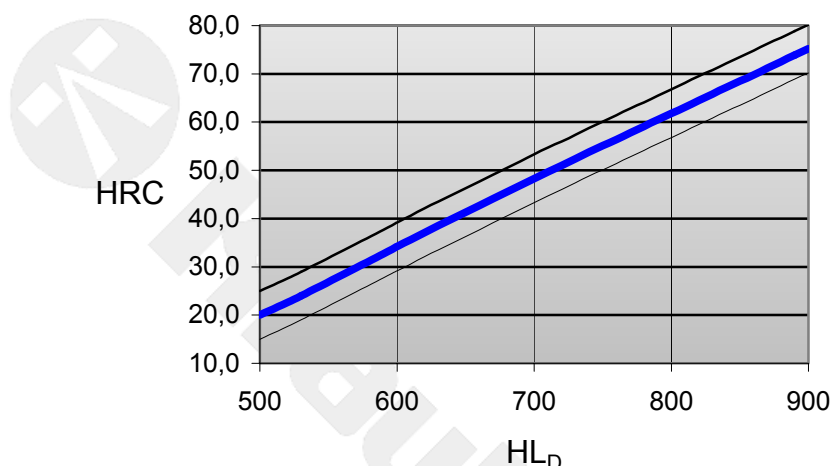
$v_I, v_R$  = nopeus ennen, jälkeen kimmahduksen.



Kuva 7: Iskuanturin tyypillinen poikkileikkaus Kuva 8: Kaavamainen jännitesignaalin esitys, kun iskurunko kulkee kelan läpi. Signaali on esitetty ennen ja jälkeen kimmahduksen (VDI Raportti 308, 1978)



Ehkä sinua askarruttaa: "Kuka haluaa käyttää Leebin asteikkoa kovuusmittauksessa?". Vastaus on: Tosiasiassa kaikki, jotka käyttävät kimmahdusmenetelmää kovuusmittauksessa käyttävät sitä. Leebin kovuusarvo, joka on esitetty kaavassa (2), on todellinen fyysinen mitta-arvo käytettäessä tätä menetelmää. Kuitenkin juuri kukaan ei käytä Leebin kovuusarvoa HL testausraporteissaan. Se yleensä muutetaan joksikin muuksi kovuusarvoksi (HV, HB, HS, HRC, HRB, N/mm<sup>2</sup>). Tästä syystä ainoastaan muutos pitää kimmahdusmenetelmän elossa. Tämän takia muutostaulukot kuten kuvassa 9, on tallennettu kaikkiin laitteisiin.



**Kuva 9:** Muutos Leebin kovuudesta (HL), HRC-kovuudeksi on tyypillinen esimerkki muutostaulukosta, joka on talletettu kimmahduskovuusmittariin. Tämä käyrä on tehty kokeellisesti mittaamalla erikoviaisia koepaloja kimmahdus- ja Rockwell-kokeella.

Kovuusmittareiden sarja sisältää DynaMIC- ja DynaMIC DL-laitteet ja kolmannen mallin, jossa iskuanturi on sisäänrakennettu laitteeseen; "kompakti" DynaPOCKET kovuusmittari.

Iskuanturi käyttää jousivoimaa ampuessaan iskurungon ohjausputken läpi tarkastettavaa kappaletta vasten. Kulkiessaan kappaletta kohti iskurungossa oleva magneetti aiheuttaa signaalin kelaan, joka on ohjausputkessa. Törmäyksen jälkeen iskurunko kimpoaa pinnasta takaisin ja aiheuttaa toisen signaalin kelaan. Krautkramerin laitteet laskevat kovuuden jännitetasosta ja analysoivat niiden vaiheesta automaattisesti anturin suunnan korjauksen. Tämän patentoidun signaalinkäsittelyn ansiosta ei anturin suunnan vaikutusta tarvitse manuaalisesti korjata. Krautkramerin kovuusmittarit DynaMIC ja DynaPOCKET sisältävät tämän "autobalancing" -toiminnon.

Käyttökohteet määritellään iskurungon painokärjen ja iskuvoiman mukaan. Käyttäjällä on mahdollisuus valita DynaMICin kolmesta anturi vaihtoehdosta (Dyna D, Dyna E and Dyna G) tai DynaPOCKET.

Malli	Iskukärki	Iskuenergia	Tyypillinen käyttökohte
Dyna D	3 mm Volframikarbidipallo	12 Nmm	Normaali tarkastus tasalaatuisilla materiaaleilla.
Dyna E	3 mm Timantti	12 Nmm	>50 HRC, esim. takeet ja karkaistut teräsvalssit.
Dyna G	5 mm Volframikarbidipallo	90 Nmm	<650 HB, esim. Suuret valut ja takeet, matalampi pintavaatimus
DynaPOCKET	3 mm Volframikarbidipallo	12 Nmm	Kompakti, yksiosainen kovuusmittari

**Taulukko 2:** DynaPOCKET ja DynaMIC sarjan iskuanturit, niiden ominaisuudet ja tyypilliset käyttökohteet.

## 4. Sovellukset

### 4.1 Menetelmän valinta

UCI-menetelmää suositellaan testattaessa kaikenmuotoisia ja -kokoisia hienorakeisia kappaleita. Sitä käytetään ennen kaikkea kun materiaaliominaisuuksissa on tiukat toleranssit, esim. selvitettäessä taottujen kappaleiden muokkauslujittumista. Kimmahduskovuusmittausta käytetään suurien karkearakeisten takeiden ja kaikentyyppisten valujen testaukseen. Iskuanturin pallopää on paljon suurempi kuin Vickers-timantti ja sen vuoksi kuvaa valun rakenteen ominaisuuksia paremmin. Pienen painumajäljen ansiosta Microdur UCI-anturia voidaan käyttää hitsaussaumojen kriittisen lämpömuutosvyöhykkeen (HAZ) kovuuden määrittämiseen. UCI - ja iskuantureiden erilaiset testausvoimat mahdollistavat monipuoliset sovellusmahdollisuudet.

Käyttökohde	UCI-testaus	Kimmahdustestaus
Kiinteät kappaleet	+	++
Karkearakeinen materiaali	-	++
Teräs- ja alumiinivalut	o	++
HAZ hitsaussaumassa	++	-
Putket: seinämäpaksuus > 20 mm	++	++
Putket: seinämäpaksuus < 20 mm	++	-
Epähomogeeniset pinnat	-	+
Ohuet kerrokset	++	-
Vaikeasti luoksepäästävät kohteet	++	+

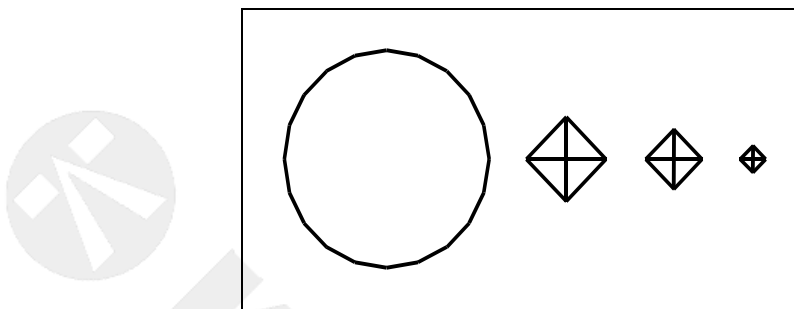
(++ Erinomainen / + hyvä käytettävyys / o joskus käytettävissä / - ei suositella)

*Taulukko 3:* UCI- ja kimmahdusmenetelmän soveltaminen.

Kimmahdusmittauksessa on mahdollisuus valita erilaisia iskuantureita. Yleisimmin käytetty anturi Dyna D soveltuu yleiskäyttöön. Dyna G-iskuanturissa on yhdeksän kertaa suurempi iskuenergia ja suurempi Volframkarbidikärki. G-malli on suunniteltu suurille valuille ja takeille. Iskuanturia Dyna E suositellaan kappaleen kovuuden ollessa yli 650 HV/56 HRC. Volframkarbidipallo on E-mallissa korvattu timantilla.

### 4.2 Painuman koko

Yleisesti ottaen, mitä suurempi painuma-alue, sitä parempi on tuloksen toistettavuus. Epähomogeenisillä tai karkearakeisilla materiaaleilla mikrorakenteen vaihtelu vaikuttaa vähemmän tulokseen. Suuri painumajälki sallii huonomman pinnan ja pinnan viimeistely ei ole niin tarkkaa.



*Kuva 10:* Dyna D iskunturin ja MIC 2010, MIC 205, MIC 201 antureiden painumajäljen koon vertailu

Kaikkien iskuntureiden painumajälki on paljon suurempi kuin yhdenkään UCI-anturin. Siksi suurten valujen ja takeiden testaukseen suositellaan iskunturia. Pintakarkaistujen pienipinta-alaisten kappaleiden mittauksiin suositellaan UCI-anturia. Taulukoissa 4 a + b verrataan painumajäljen kokoja kolmella eri kovuudella UCI- ja kimmahdusantureilla.

	Dyna G 5 mm pallo, 90 N mm	Dyna D 3 mm pallo 12 N mm	MIC 2010 98 N	MIC 205 50 N	MIC 201 10 N	MIC 2103 3 N
64 HRC		350	152	107	48	25
55 HRC	898	449	175	124	56	28
30 HRC	1030	541	249	175	79	41

*Taulukko 4a:* Likimääräinen painuman syvyys (µm) eri kovuuksilla.

	Dyna G 5 mm pallo, 90 N mm	Dyna D 3 mm pallo 12 N mm	MIC 2010 98 N	MIC 205 50 N	MIC 201 10 N	MIC 2103 3 N
800 HV		16	22	16	7	4
600 HV	63	28	25	20	9	5
300 HV	83	35	35	25	11	6

*Taulukko 4b:* Likimääräinen painuman syvyys (µm) eri kovuusarvoilla.

### Pinnoitteen minimipaksuuden ja painumasyvyyden välinen suhde

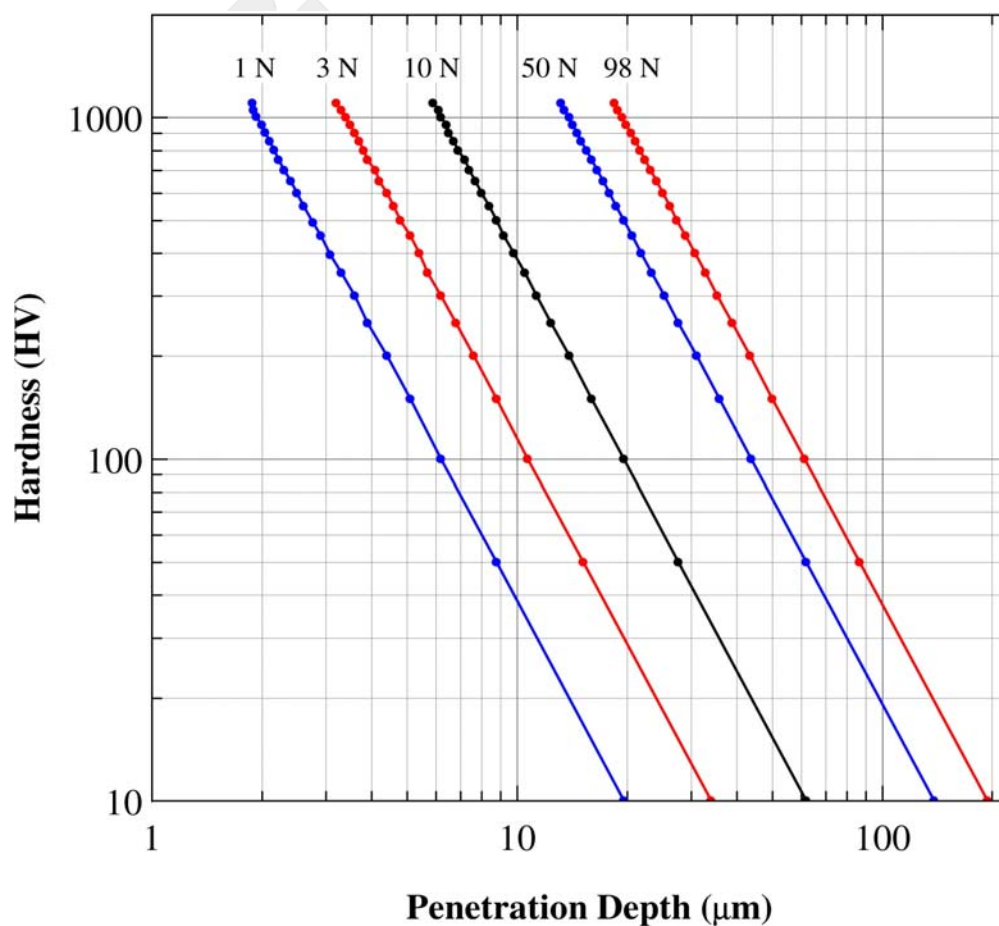
Vickers-kovuuskokeessa karkaisukerroksen syvyyden tai pinnoituskerroksen paksuuden (kuten kromipinnoitteen teräsvalssissa) tulee olla riittävän paksu, jotta sen kovuus voidaan mitata. Sääntö: paksuuden tulee olla vähintään kymmenen kertaa tunkeutumissyvyys.

Vickers-timantin tunkeutumissyvyys voidaan laskea kaavalla 2, kun tunnetaan anturin voima ja kovuuden likiarvo. Tämä kaava on tehty Vickers-timantin geometrialle. Tämän vuoksi tämä kaava pätee ainoastaan Vickers-testauksessa.

Tunkeutumissyvyys	$d \text{ [mm]} = 0.062 \cdot \sqrt{\frac{\text{Test Load [N]}}{\text{Vickers Hardness [HV]}}}$
Minimipaksuus	$s = 10 \cdot d$

(Muista: Newton, 10 N  $\approx$  1 kg.)

Kaava 2: Vickers - timantin tunkeutumissyvyys



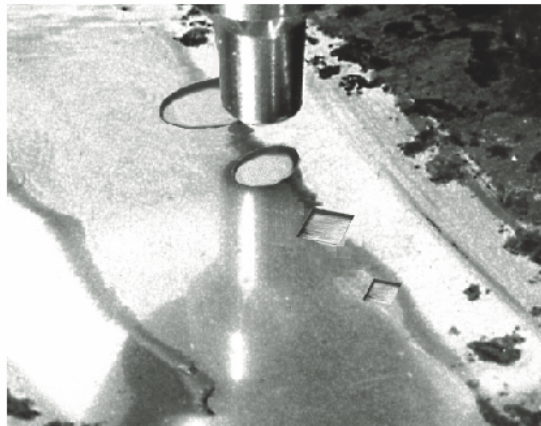
Kuva 11: Vickers-Timantin tunkeutumissyvyys verrattuna kovuuteen eri testausvoimilla

### Lämpömuutosvyöhykkeen (HAZ) kovuusmittaus

Hitsattujen kappaleiden kovuusmittaus on toinen erinomainen esimerkki painuman koko tärkeydestä. Kovuuden mittaus ennen kaikkea HAZ-alueella määrittelee onko hitsaus tehty oikein vai väärin. Esimerkiksi korkea martensiittipitoisuus HAZissa aiheuttaa säröjä hitsissä. Voimakas kovuuspiikki HAZ alueella antaa hyvän indikaation martensiittipitoisuudesta.

Vain sellaisia tekniikoita voidaan käyttää, jotka mittaavat ainoastaan tämän noin 0,2 – 0,3 mm kriittisen alueen. Käytettäessä Brinell- tai jopa Telebrinell-mittausta ( jota usein käytetään tarkastettaessa putkien hitsejä yms.) saadaan tulos kohtalaisen suuresta painuma-alueesta. Tällainen mittaus antaa keskiarvon ja näin ollen matalamman kovuusarvon kuin ”todellinen kovuus” HAZissa, mikä johtuu siitä, että mittausalueelle jää myös pehmeämpiä vyöhykkeitä. Tämä saattaa johtaa siihen, että myöhempi lämpökäsittely ei ole tarpeellinen. Onko tämä viisas päätös vai voidaan jättää lukijoiden päätettäväksi.

Selkeästi käy ilmi, että nimenomaan Vickers-kovuusmittaus matalalla kuormalla (HV5 tai HV10) tuottaa painumajäljen, joka kattaa ainoastaan tämän pienen kriittisen alueen.



Kuva 12: Lämpömuutosvyöhykkeen (HAZ) kovuusmittaus.

#### 4.3 Testattavan kappaleen painovaatimus

Tutkimuksessa tarkastettavan kappaleen massa tulee olla tiedossa, vaikka vaatimus Leebin menetelmässä on paljon suurempi kuin UCI menetelmässä. Testattavan kappaleen painolla on vaikutusta molemmissa menetelmissä.

Leebin menetelmä aiheuttaa suuren lyhytkestoisen voiman iskun aikana. Ohut ja kevyt materiaali joustaa aiheuttaen mittausvirhettä. Ratkaisu pienten monimuotoisten kappaleiden testaukseen on koneistaa muotoiltu tuki kappaleen takapinnalle. Tuki vahvistaa kappaletta tehden siitä vakaan. Erittäin ohut materiaali vaatii ehkä käyttämään myös kiinnitystä tai geeliä kappaleen liittämiseksi tukeen.

UCI-menetelmä toimii mittaamalla taajuuden muutosta. Kevyemmät kuin 0,3 kg kappaleet saattavat alkaa värähtelemään aiheuttaen mittausvirhettä. Tukilevy ja kytkentäteknikka yhdessä ovat toimiva tapa estää pienten kappaleiden resonointi. Mikäli tukea ei ole mahdollista käyttää kannattaa valita mahdollisimman pienivoimainen anturi jotta vältetään kappaleen värähtelytä.

Taulukko 5 on tehty ohjeeksi määrittäessä tuennan tarvetta. Mitä paremmin tuki vastaa kappaleen muotoa sitä tehokkaampi se on.

	Dyna D & E	Dyna G	UCI anturit
Ei tuentavaatimuksia	> 5 Kg	> 15 Kg	> 0.3 Kg
Vaatii tuennan	2 - 5 Kg	5 - 15 Kg	0.1 - 0.3 Kg
Vaatii tuennan ja kytkentäaineen	.05 - 2 Kg	.5 - 5 Kg	0.01 - 0.1 Kg

*Taulukko 5:* Painovaatimukset

#### 4.4 Seinämän paksuusvaatimukset

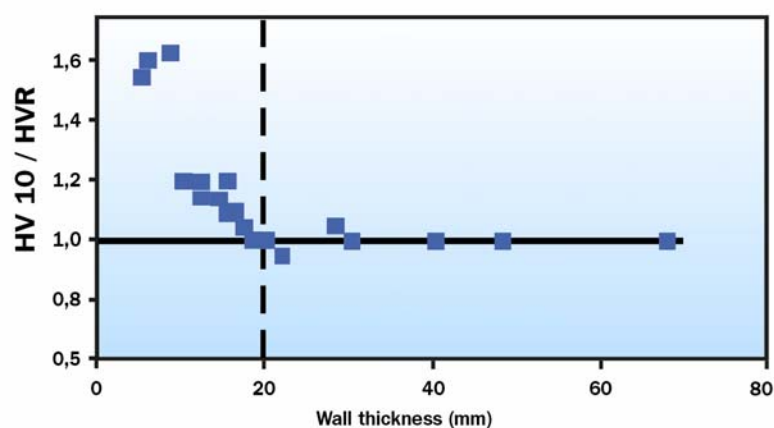
Putkien, putkilinjojen ja venttiilien kovuusmittauksessa seinämän paksuus on kriittinen tekijä. Esimerkiksi, ohut seinämä alkaa värähdellä kuten rumpukalvo kun iskurunko kimpoaa siitä.

Taulukossa 5 on annettu tarkastettavan kohteen minimimassa, jota kimmahdusmenetelmässä ei pidä alittaa. Myös seinämän paksuudella on tärkeä osa menetelmän valinnassa. Se voi vaikuttaa mittaustulokseen vaikka testattava kohde on umpinainen ja painaa tonneja.

Kovuusmittausmenetelmä	Seinämänpaksuus mm	Seinämänpaksuus tuumaa
Kimmahdus	20 mm	0.79
UCI	2-3 mm	0.08 – 0.12

Taulukko 6: Suositeltava minimiseinämänpaksuus. Testattava kappale pitää olla tuettu, jotta ohuempia seinämäpaksuuksia voidaan mitata.

Iskuosan pienestä massasta ja pienestä iskuenergiasta huolimatta iskun aikana vaikuttaa noin 900N voima (vastaavasti MIC UCI-anturin maksimivoima on 98 N). Tämä voima on riittävä tuottamaan rumpukalvon kaltaisen värähtelyn seinämäpaksuuden ollessa alle 20 mm, mikä saattaa aiheuttaa pienempiä kovuusarvoja ja suurentaa hajontaa. Tällaisissa tapauksissa UCI-menetelmä tulee asettaa etusijalle.



Kuva 13: Standardi Vickers-arvo (HV10) verrattuna kimmahdusmittaukseen (HVR) eri putken seinämäpaksuuksilla.

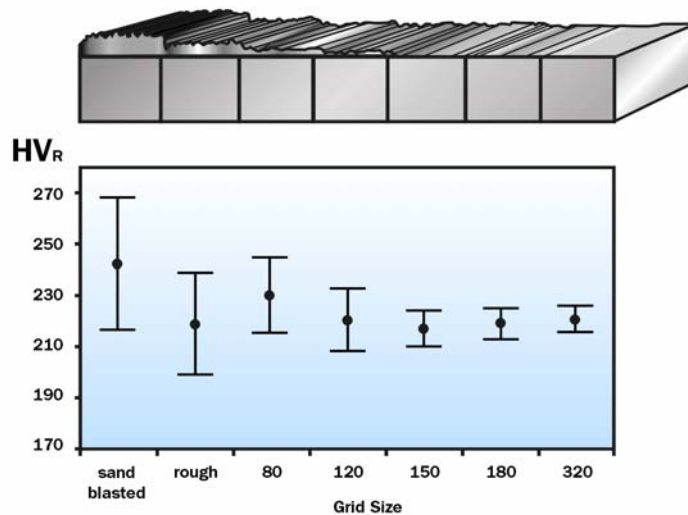
Kuva 13 esittää kovuusmittaustulokset käyttäen Vickers-standardin 10 kp (98 N) voimaa ja samat arvot mitattuna Dyna D-iskuanturilla.

Yli 20 mm seinämäpaksuuksilla molemmat mittaukset antavat saman tuloksen. Alle 20 mm seinämälle kimmahdusmittarilla tehty Vickers-mittaus antaa todellista matalamman kovuuden. Tulos poikkeaa vaakasteikolta.

## 4.5 Pinnan laatu / karheus

Kaikki kovuusmittausmenetelmät vaativat tasaisen pinnan, jolla ei ole oksidia kalvoa, maalia, liukastetta, öljyä, muovista tehtyä korroosiosuojausta tai metallista pinnoitetta sähkönjohtavuuden parantamiseksi. Tunkeutumissyvyyden tulee olla suuri verrattuna pinnankarheuteen.

Mikäli pinnan viimeistely on tarpeellista, pinnan kovuuden muuttamista ylikuumentamalla tai kylmämuokkauksella pitää varoa. Käytännössä parhaan tulokseen saavuttaa käyttämällä akkukäyttöistä korkeanopeuksista (>12000 rpm) käsihiomalaitetta. Käytä 180 hiomapaperia saadaksesi tasaisen pinnan. Hionta kestää vain n. 10 sekuntia.



*Kuva 14:*

Kovuusmittaus tulosten hajonta eri pinnankarheuksilla. HV<sub>R</sub> osoittaa muutettua Vickers-kovuutta, joka on mitattu kimmahdusmenetelmällä.



### 4.6 Käsittely, ylläpito ja huolto

Liikuta MIC käsianturia hitain ja tasaisin liikkein. Anturin kohtisuorus pintaa vasten tulee ottaa huomioon. Poikkeama pintaan nähden kohtisuorasta akselista saa olla korkeintaan 5 astetta. Vältä kääntelyä, älä ”poraa”. Timanttiin ei saa kohdistua sivuttaisvoimia.

DynaMIC iskuanturi pitää olla kahden – kolmen asteen sisällä pintaan kohtisuoraan nähden.

Iskuanturin tukirenkaat ja UCI-anturin anturijalat takaavat oikean suuntauksen.

Standardi Dyna D ja Dyna E-tukirenkaita voidaan käyttää, mikäli testattavan pinnan koveruuden tai kupevuuden säde on suurempi kuin 30 mm. Suurempaa Dyna G vakiotukirengasta suositellaan kun säde on suurempi kuin 50 mm. Dyna D ja Dyna E-iskuantureihin on saatavilla tukirenkaat, jotka kattavat  $r = 10 - 30$  mm alueen sisä- ja ulkopuoliselle säteelle sekä pallopinnoille (katso Dyna 41 ja Dyna 42). Yksilöllisesti valmistettuja tukirenkaita on myös saatavilla.

Normaalipituisten UCI antureiden, MIC-270 ja MIC-271 luotainjalkoja tarjotaan lisävarusteina. MIC-271 suositellaan testattaessa sylinterikappaleita säde alueella 3 – 75 mm. Tasainen luotainjalka on suunniteltu tasaisten pintojen mittaukseen, mutta toimii tarkastettaessa säteeltään suurempia kuin 75 mm kohteita.

## 4.7 Kalibrointi

Kimmomoduli (tai Yangin moduuli) on materiaaliominaisuus, jolla voi olla vaikutusta laitteen kalibrointiin. Luotaimen kalibrointia suositellaan mittaustulosten tarkkuuden takaamiseksi!

Kalibroitaessa Dyna MIC-laitetta, on käyttäjän ensin valittava yksi taulukossa 7 olevista yhdeksästä materiaalityypistä. Likimääräisen materiaalityypin valinta on karkea säätö, joka yhdessä laitteeseen liitetyn anturityypin kanssa määrittelee käytettävän muutostaulukon. Tarkempi kalibrointi tietylle materiaalille on mahdollinen, mikäli laitetta kalibroitaessa käytetään tunnetun kovuista näytettä. Kalibroinnissa otetaan huomioon muutamia mittauksia näytteestä ja näytön lukema asetetaan vastaamaan ”todellista” kovuutta. Tietyille materiaaleille tehtävää materiaalityypin valintaa ja muutosarvon syöttämistä voidaan pitää laitteen kalibrointina.

Materiaali ryhmä	HV	HB	HRB	HRC	HS	N/mm <sup>2</sup>
1 Teräs – tasalaatuinen, matalaseosteinen tai valu		D, E, G	D, E, G	D, E, G	D, E, G	D, E, G
2 Työkaluteräs	D, E			D, E		
3 Ruostumaton teräs	D	D	D	D		
4 Harmaa valurauta		D, G				
5 Pallografiittivalurauta		D, G				
6 Valualumiini		D	D			
7 Messinki		D	D			
8 Pronssi		D				
9 Kupari		D				

*Taulukko 7: Materiaalityypit ja käytettävissä olevat DynaMIC muutokset*

MIC 10-sarjan kanssa yhteensopivat UCI-anturit on kalibroitu kimmomoduliltaan 210,000 MPA-teräkselle. Seostamattomilla ja matalaseosteisella teräksellä on sama kimmomoduli. Tällöin tarkat arvot ovat saavutettavissa tehdaskalibroinnilla. Usein ero seostettujen ja voimakkaasti seostettujen terästen kimmomodulissa on niin merkityksetön, että syntynyt virhe on kappaleen sallitussa toleranssissa. Muut kuin ferriittiset kappaleet vaativat erillisen kalibroinnin. Taulukon 8 arvot on otettu kalibroimalla laite kovuudeltaan tunnettuihin näytteisiin. Näyttämän keskiarvo on asetettu oikeaan arvoon. Tätä laitekalibrointia ja kalibroinnin muutosarvon asettamista kyseiselle materiaalille voidaan pitää laitteen kalibrointina.

Kalibroinnin muutosarvon referenssi 0000 arvo on teräkselle. Huomaa, että luvut voivat olla negatiivisia tai positiivisia. Taulukko 8 sisältää listan likimääräisistä kalibrointiarvoista, joita voi pitää vertailuarvoina muutamille yleisille materiaaleille.

Materiaali	Kalibroinnin säätöarvo
Alumiini	-8800
Kromi	+0250
Kupari	-5800
Valurauta	-4800
Titaani	-6500
300 sarjan ruostumaton	-1500
400 sarjan ruostumaton	-0900



*Taulukko 8:* Likimääräiset UCI-kalibroinnin säätöarvot

rautekramer

#### 4.8 Laitteen toiminnan tarkastus

Kovuusmittauslaitteen tarkastus tehdään määräajoin käyttämällä standardoitua testipalaa. (Tällä hetkellä kansainvälistä kovuusstandardia ei ole käytettävissä ja kovuusarvoissa on eroja kalibroitikappaleiden valmistajien välillä.)

Hyväksyttävä tapa Dyna MICillä on tehdä 5 mittausta sertifioidulta Leebin testipalalta. Viiden mittauksen keskiarvo tulee olla  $\pm 6$  HL sertifioidun tarkastuskappaleen arvosta. MIC-D62 testikappaleen nimellisarvo on 765 HL muutettuna HRC-arvosta. Kovuusarvo on 55 HRC toleranssilla  $\pm 0.5$  HRC.

MIC 2 ja MIC 10 tarkkuus varmistetaan käyttämällä sertifioitua Vickers-testipalaa. Käytettäessä orrellista tukipalaa kuten MIC-222 testijalusta viiden mittauksen keskiarvon tulee olla  $\pm 3.6\%$  sisällä testikappaleen sertifioidusta arvosta. Vapaalla kädellä testattaessa, vähintään 10 tuloksen keskiarvon on oltava  $\pm 5\%$  toleranssissa. Edelliset arvot on muutettu HRC-arvoista ja listattu Taulukossa 9. Vertailun vuoksi Rockwell penkkikoneen ASTM E18 mukainen toistettavuusvaatimus on myös listattu.

	MICRODUR tuettuna (3.6% 5 mittauksella)	MICRODUR vapaalla kädellä (5.0% of 10 Mittauksella)	Rockwell tarkastus ASTM E18 mukaan
64 HRC	$\pm 1.0$ HRC	$\pm 1.5$ HRC	$\pm 0.5$ HRC
45 HRC	$\pm 1.5$ HRC	$\pm 2.0$ HRC	$\pm 1.0$ HRC
25 HRC	$\pm 1.5$ HRC	$\pm 2.0$ HRC	$\pm 1.0$ HRC

*Taulukko 9:* UCI-antureiden tyypilliset vaihtelut sertifioidussa testikappaleessa.

### 5. Tarkastustehtävän ratkaisu

Testaustilanteessa valitaan käytetäänkö kovuuden mittaukseen UCI - vai kimmahdusmenetelmää (Taulukko 3). Ei ole aina kovin selvää kumpaa menetelmää tulisi käyttää. Siispä paras keino tarkastusongelmaan ratkaisuun on usein pyytää Sonar Oy:n myynti-insinööri paikan päälle testikohteeseen.

