



7/91

Valukappaleen räjähdysmäinen murtuminen; valimo-  
työntekijä jäi 2 tn painaneen osan alle

# työpaikkaonnettomuuksien tutkinta (TOT)

## 1. Tapahtumien kuvaus

Tapaturma sattui valimossa. Työpaikalla oli torstaina valettu suuri kuorimorummun kannatuskehä (Ø 6 m, 19 tn; Piirros 1). Kahden kannatuskehän sarjasta oli ensimmäinen valettu aiemmin ja toimitettu tilaajalle.

Kannatuskehä purettiin ulos muotista maanantaiaamuna. Sen jälkeen kannatuskehä siirrettiin siltanosturilla tyhjennyskoppin edustalle, jossa valimotyöntekijät N.N ja M.M puhdistivat kappaletta ennen hiekkapuhallusta. Työntekijät olivat tyhjentämässä kannatuskehän kevennysaukkoja keernahiekasta siten, että kehä nostettiin toisesta reunastaan lähes pystyasentoon, jolloin hiekkaa pääsi valumaan pois kehän sisältä.

M.M ohjasi siltanosturia ja N.N avusti nostoa tarkkailemalla noston kohtisuoruutta sivusuunnasta. Kolmannen noston aikana kannatuskehän toinen reuna oli noin metrin korkeudella maasta, kun kehä rikkoutui räjähdysmäisesti useaan osaan. Yksi lentävistä kehän osista osui noin kolmen metrin päässä työskennelleeseen N.N:ään, joka menehtyi iskun aiheuttamiin vammoihin (kuvat 1 ja 2).

### Työkokemus ja työsuojeluorganisaatio

Molemmat työntekijät olivat ammattitaitoisia, itsenäisesti työtehtävänsä hoitavia valimotyöntekijöitä, joilla oli kokemusta raskaiden valukappaleiden käsittelystä. N.N oli työskennellyt valimossa yli 16 vuotta. Aamuvuorossa työskenteli 20 työntekijää yhden työnjohtajan johdolla. Valimossa toimi lakisääteinen työsuojeluorganisaatio.

### Murtumien kuvaus ja niiden syyt materiaali- ja murtopintatutkimuksen mukaan

Kannatuskehälle tehtiin materiaali- ja murtopintatutkimukset VTT:n metallurgian laboratoriossa ja metallilaboratoriossa. Tutkimusten mukaan murtuminen on tapahtunut hauraana lohkomurtumana. Kaikki murtumat olivat alkaneet sisäkehältä ja yleisin murtuman alkamiskohta oli sisäkehän aukon nurkka (Piirros 1). Useissa nurkissa oli todettavissa kuonan tai muun virheen aiheuttama ydintymiskohta. Kahdessa kohdassa murtuman alkukohta oli siirtynyt nurkasta läheisen kuonakertymän ja sulan virtauksen irrottaman keernatuen kohdalle.

Työpaikalta saatujen tietojen mukaan ulkoisilla voimilla ei ollut oleellista osuutta kannatuskehän murtumiseen, joten murtuminen on aiheutunut kappaleeseen valun aikana syntyneistä jäännösjännityksistä. Materiaalin suunnittelulujuuteen (800 N/mm<sup>2</sup>) nähden jännitysten ei ole tarvinnut olla huomattavia, koska suuren kuonamäärän ja osittain epäonnistuneen pallotuskäsittelyn vuoksi materiaalin murtolujuus on paikallisesti ollut erittäin alhainen. Suurin osa kappaleesta tehdyistä vetosauvoista ei täyttänyt standardissa laadulle GRP 800 (SFS 2113) esitettyjä vaatimuksia.

Vaurion seurausten vakavuuteen (osien lentäminen ympäriinsä) on oleellisesti vai-

kuttanut se, että tapahtumahetken lämpötilassa (noin 30°C) materiaali käyttäytyi hauraasti, jolloin sisäkehältä alkaneet murtumat pääsivät pysähtymättä etenemään kappaleen läpi. Kehän murtuminen useaan kappaleeseen johtunee siitä, että ensimmäinen murtuma on aiheuttanut koko kappaleeseen iskumaisen kuormituksen, joka on ydintänyt muut murtumat.

## 2. Tapaturmaan vaikuttaneita tekijöitä

### Tilaajan vaatimukset valukappaleelle

Tilaaja oli suunnitellut kannatuskehän liitettäväksi kuorimorumpuun kutistusliitoksella, jota pidetään erinomaisena kitkaliitoksena dynaamisesti rasitetuissa koneen osissa. Liitostapa edellytti kehän valamista yhtenä kappaleena, koska kokoonpanon helpottamiseksi kehää lämmitetään ennen kuin se asennetaan rummulle. Kitkaliitos syntyy kehän kutistuessa jäähtymisen aikana.

Tilaaja edellytti kannatuskehän ulkopinnalta 250 HB:n kovuutta, jota valimolla ei oltu aiemmin kyetty tämän kokoisilla kappaleilla saavuttamaan. Kovuudelle ei ollut laskennallisia mitoitusperusteita, vaan se perustui aiempaan kokemukseen vastaavanlaisten kappaleiden kulumiskestävyydestä.

### Nopeutettu jäähdyttäminen

Valimossa tämän toisen kappaleen tilaajan vaatima kovuus pyrittiin saavuttamaan seostamalla perusrautaa kuparilla ja kehän ulkopinnan nopealla jäähdyttämällä. Ensimmäisessä kappaleessa vaadittua kovuutta ei koko vierintäpinnan osalta saavutettu. Molemmilla tavoilla estetään kaiken hiilen siirtyminen grafiittipalloihin ja tuloksena on kova perliittinen raerakenne. Rakennemuutos tapahtuu lämpötila-alueella 720—780°C.

Jäähtymisen nopeuttamiseksi valukehän yläosia purettiin ja keernahiekka poistettiin valua seuranneena aamuna siten, että koko ulkokehän vierintäpinta saatiin näkyviin. Pinnan lämpötilan arvioidaan olleen pinnan ylä- ja vierintäpinnalta tehtyjen mitausten mukaan 750—800°C.

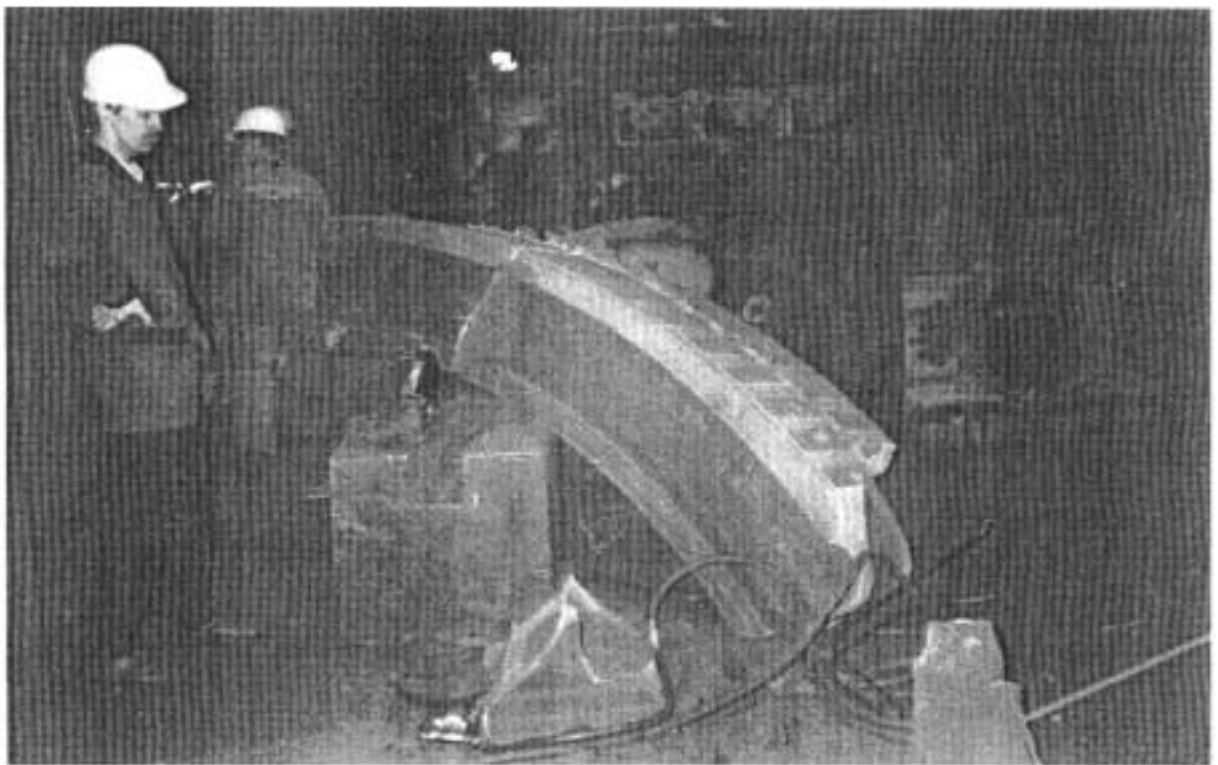
Nopeasti jäähtynyt kannatuskehän ulkopinta on lujituessaan estänyt hitaammin jäähtyvän sisäkehän kutistumista ja siten lisännyt sisäkehällä olevaa vetojännitystä.

### Ei jännitystenpoistohehkutusta

Kappale pyrittiin valmistamaan ilman jännityksen poistohehkutusta, koska työpaikalla ei ollut riittävän suurta uunia lämpökäsittelyjen toteuttamiseksi.

### Osin epäonnistunut valu

Materiaali- ja murtopintatutkimuksessa todettiin kappaleessa olevan runsaasti kuonaa ja pallotuskäsittelyn osittain epäonnistuneen. Valimon edustajan mukaan pallotuskäsittely toteutettiin asianmukaisesti, mutta runsas happinen kuona on sulan jäh-



KUVAT 1 ja 2;  
Onnettomuuspaikka, valukappaleen osia.

mettymisvaiheessa heikentänyt palloutumisolosuhteita paikallisesti siten, että osa materiaalista on lähes suomugrafiittista.

Sitä, mistä runsas kuonamäärä valussa johtui, ei ole kyetty yksiselitteisesti selvittämään. Valukanavisto oli mitoitettu kuonaa erottavaksi, sulan kerrottiin olleen puhdasta ja valu tapahtui normaalisti keskeyty-mättä.

### 3. Torjuntatoimenpiteet

#### 3.1 Valimon ja tilaajan yhteistyö

Koneensuunnittelijan tulee olla riittävän varhaisessa suunnitteluvaiheessa yhteydessä valmistajaan, joka selvittää valmistustekniikkansa mahdollisuudet ja rajoitukset (kappaleen valuteknillinen suunnittelu, raaka-aineen valinta, lämpötilakäsittelyt).

#### 3.2 Jäännösjännitysten poistaminen

Jouduttaessa lämpökäsittämään suuria kappaleita niitä varten voidaan rakentaa tilapäinen kevytrakenteinen uuni valupaikalle, jossa tarvittavat lämpökäsittelyt on mahdollista suorittaa.

#### 3.3 Jäännösjännitysten mittaaminen

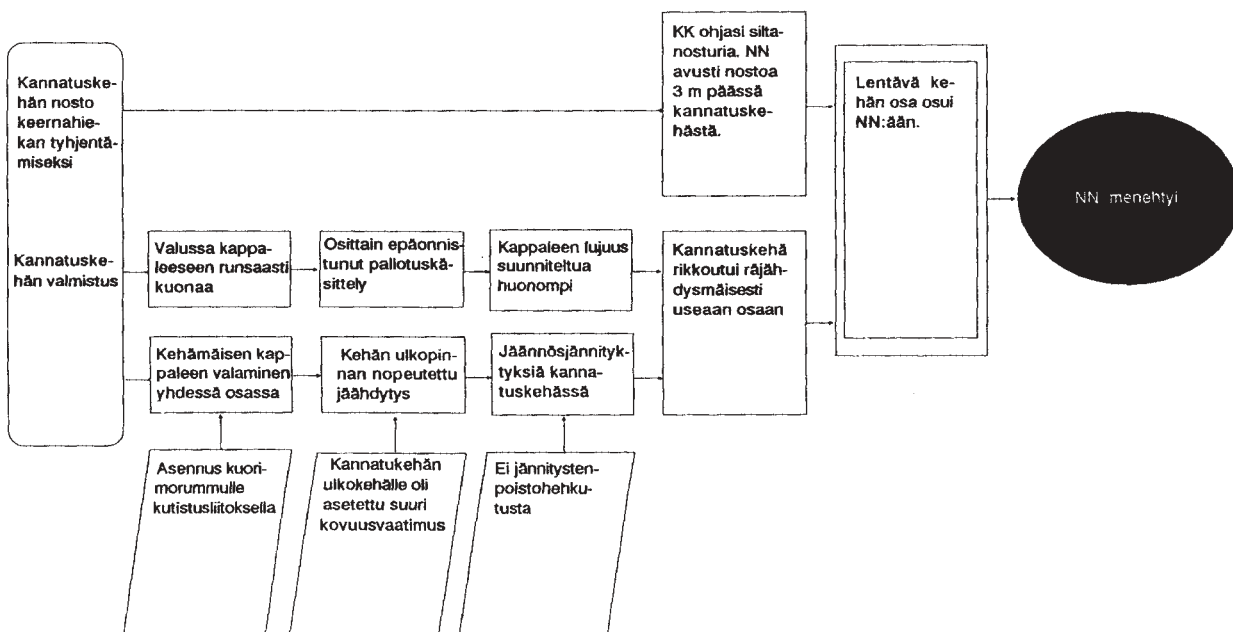
Jäännösjännitysten mittaukseen tulisi pyrkiä kehittämään käyttökelpoinen ratkaisu.

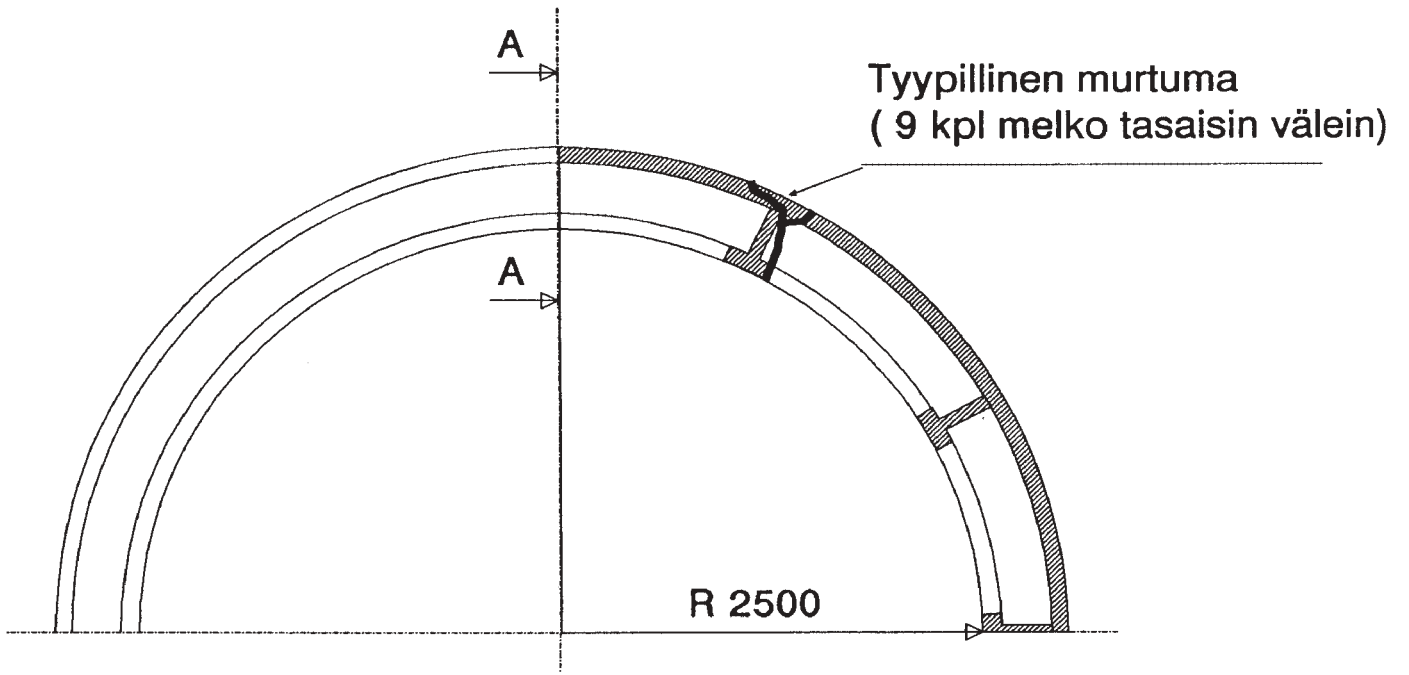
#### 3.4 Sarjatuotteen rikkoutuminen

Sarjatuotteen rikkoutuessa on varmistauduttava myös muiden kappaleiden turvallisuudesta.

#### LIITTEET

- Tapaturmankulkukaavio
- Piirros kannatuskehästä
- Valokuvia





Leikkaus A - A:

