

Suurikaliiperisten aseiden tuliputkien pyörrevirta- tarkastuksen ja ultraäänitarkastuksen mekanisoinnin kehitys ja toteutus

Seppo Moilanen¹, Ville Lehtinen

Tiivistelmä. Artikkelissa esitetään mekanisoitujen NDT-tarkastuslaitteiden suunnittelu, toteutus sekä tarkastusmenetelmäsuositus raskaiden ruutiaseiden tuliputkien turvallisen eliniän hallintaan liittyen. Kranaatinheittimen tuliputken sileä sisäpinta tarkastetaan kuivana sisäpuolisella pyörrevirtatarkastuksella (ET). Rihlatun tykinputken tilavuuden ja sisäpinnan tarkastukseen suositellaan ulkopuolista luotausta ultraäänimenetelmien yhdistelmällä (UT, ToFD) upotuksessa.

Avainsanat: tykit, kranaatinheittimet, tuliputket, käyttöikä, väsyminen, ainetta rikkomaton tarkastus, NDT, pyörrevirtatarkastus, ultraäänitarkastus, mekanisointi

Vastaanotettu 15.5.2017. Hyväksytty 4.6.2017. Julkaistu verkossa 21.8.2017.

Taustaa

Raskaiden aseiden tuliputket valmistetaan koneistamalla tavallisimmin lämpökäsittelyistä terästaeaihioista. Ne ovat ainepaksuuteensa nähden korkealujuuksisia ja sangen sitkeitä sekä isku- ja murtumissitkeyden että murtovenymän osalta etenkin perinteisten konstruktioeräksien ominaisuuksiin verrattaessa kuten viitteessä [1] ja sen alaviitteissä on todettu. Valmistusvaiheissa pyritään valmistusmenetelmillä ja ainetta rikkomattomilla tarkastusmenetelmillä (Nondestructive Testing, NDT) huolehtimaan siitä, että taeaihioissa ja valmiissa tuliputkissa ei esiinny sallittua alkukokoa suurempia sisäisiä tai pintaan avautuvia materiaalivikoja tai vikaryhmiä.

Palveluskäytössä tuliputket vaurioituvat ja ne hylätään joko kulumisen seurauksena tai - toivottavasti turvallisesti - ennen ennakoitua väsymisvauriota. Kulumista voidaan seurata sekä ballistisilla mittauksilla (ammuksen lähtönopeus, iskemähajonta jne. vs. ballistiset vaatimukset) että tuliputken geometrisilla mittauksilla [2]. Kulumisvaurio ei ole katastrofaalisen vaarallinen aseiden miehistöille. Tuliputken väsymisvaurio saattaa joh-

¹ Vastuullinen kirjoittaja. seppo.moilanen(at)patria.fi

taa putkimateriaalin äkilliseen murtumaan tai ruutikaasuvuotoon, jotka molemmat ovat vaarallisia tilanteita aseella ampuvan miehistön kannalta.

Sisäpuolisella paineella kuormitetun, jäännösjännityksettömän, paksuseinämäisen sylinterin (tuliputken) maksimijännitykset esiintyvät sisäpinnalla, jonne kohdistuvat myös laukauksen aikainen ruudin palokaasujen lämpökuormitus sekä ammuksen aiheuttamat mekaaniset kosketuskuormitukset. Tuliputken sisäpintaan syntyy varhaisessa vaiheessa lämpösäröverkko, joten tuliputken väsymiselinikää voidaan ennustaa lineaaris-elastisen tai elastis-plastisen murtumismekaniikan mukaisilla laskelmilla. On luonnollista, että tuliputkien palveluskäytön aikaiset NDT-tarkastukset painottuvat vian etsintään ja vikakoon arviointiin putken kriittiseltä sisäpinnalta ja sen läheisyydestä [7, 8].

Tuliputken sisäpinta voidaan tarkastaa silmämääräisellä tähytyksellä tai geometriamittauksilla, kuten mekaanisella kaliiperimittauksella tai laserkeilauksella [2]. Sisäpinnaltaan sileä putki voidaan särötarkastaa sisäpuolisilla NDT-menetelmillä kuten mekanisoiduilla pyörrevirtatarkastuksella (Eddy Current Testing, ET) [5], ultraäänitarkastusmenetelmillä (Ultrasonic Testing, UT) tai niiden yhdistelmillä. Rihlatun tykinputken sisäpinnan uritus ja käytön aikainen sisägeometrian muuttuminen kulumisen myötä vaikeuttavat sisäpuolisten mekanisoitujen NDT-tarkastusmenetelmien käyttöä tai estävät niiden käytön, joten rihlatun tuliputken sisäpinta on järkevää tarkastaa ulkopuolisilla ultraäänitarkastusmenetelmillä säröytymisen luotettavaa seuranta ajatellen [7, 8]. Molemmissa tapauksissa epäilyttävät särötyypit vikanäyttämät on syytä varmentaa kulloinkin sopivilla NDT-lisätarkastusmenetelmillä, jottei synny vääriä päätelmiä tai aiheudu virheellisiä toimenpiteitä kuten tarpeettomia tuliputkien hylkäyspäätöksiä.

Sileän tuliputken sisäpuolinen mekanisoitu pyörrevirtatarkastus

Pyörrevirtatarkastuksessa pyörrevirta-anturin kelan vaihtuva jännite synnyttää kelan ympäristöön vaihtuvan magneettikentän, joka indusoi tarkastettavaan sähköä johtavaan kappaleeseen pyörrevirtoja. Pyörrevirtojen synnyttämän magneettikentän muutoksen aiheuttama impedanssivaihtelu kelassa on mitattavissa amplitudi- ja vaihemuutoksena [3, 4]. Amplitudin muutos on verrannollinen vikatilavuuteen ja vaiheen muutos vian sijaintiin, pintavian syvyyteen ja mahdolliseen vikatyypiin. Tulosten luotettavuuden varmistamiseksi pyörrevirtatarkastuksessa pyritään sekä amplitudin että vaiheen muutoksien havainnointiin.



Kuva 1. Kranaatinheittimen tuliputken pyörrevirtatarkastuslaitteisto, vasen kuva ja putken sisällä pyörivä anturipää, oikea kuva. Ristikäämiantureiden etäisyys putken sisäpinnasta pidetään vakiona hallitusti kulumien anturisuojien laahatessa pintaa pitkin. Laitteiston säädöt ja toiminta varmennetaan vertailukappaleeseen kipinätyöstettyjen vertailuvikojen näyttämiin.

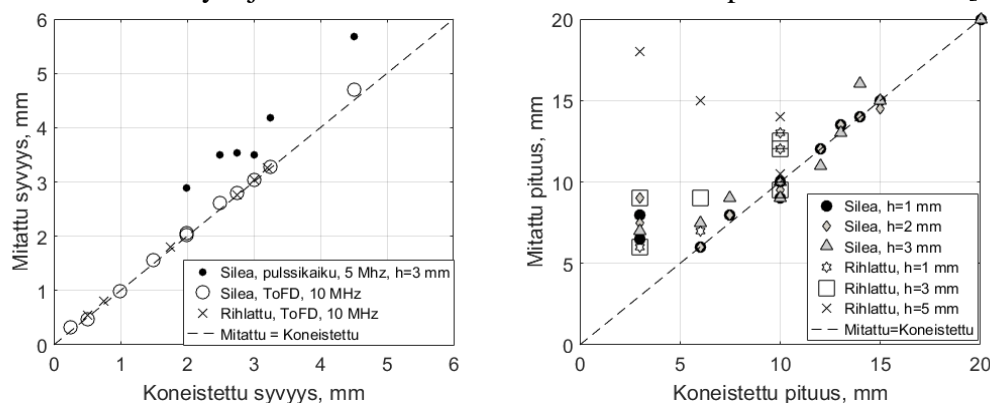
Tuliputken valmistusvaiheen tarkastuksiin kehitetyllä kuvan 1 mukaisella mekani-
soidulla pyörrevirtatarkastuslaitteistolla vikaindikaatio saadaan varmasti $a=0,25$ mm
syvyisistä ja matalammistakin sileään sisäpintaan avautuvista vioista. Sama laite sovel-
tuu paljon ammuttujen rihlaamattomien tuliputkien sisäpinnan säröjen etsintään ja
särökoon arviointiin. Koska pyörrevirtojen tunkeutuminen ferriittiseen materiaaliin on
rajallista, ET-tarkastuksessa havaittujen syvien särönäyttämien koko on varmistettava
paikallisesti näyttämäkohdan manuaalisilla lisätarkastuksilla kuten ulkopuolisilla perin-
teisillä UT-menetelmillä tai ToFD-menetelmällä (Time of Flight Diffraction, ToFD).

Rihlatun tuliputken säröjen seuranta ultraäänitarkastustekniikoilla

Alustavien NDT-menetelmärvioiden ja kokeellisten tutkimusten perusteella [9] rihla-
tun tykinputken mekanisoiduiksi NDT-tarkastusmenetelmiksi valikoituvat perinteinen
pulssikaiku-ultraäänitarkastus ja ToFD-tekniikka upotuksessa ulkopinnalta luotaamalla.

Pulssikaikuanturin lähettämä pitkittäisaalto taittuu veden ja tuliputken rajapinnassa
ja osa muuttuu teräksessä eteneväksi poikittaisaaloksi. Putken seinämässä etenevä poi-
kittaisaalto heijastuu seinämän epäjatkuvuuksista (esim. reunat tai viat) takaisin ja osa
heijastuneesta poikittaisaallostaa muuttuu jälleen teräs-vesi rajapinnassa pitkittäisaallok-
si, joka havaitaan anturilla [3, 6]. ToFD-tekniikassa käytetään luotainparia, jossa lähetti-
men kohteeseen synnyttämän pitkittäisaallon heijastamat aallot havaitaan vastaanotto-
luotaimella. Putken sisäpinnasta saadaan voimakas heijastuma ns. takaseinäkaiku ja vi-
kojen kärjistä diffraktoaallot, joiden avulla vikojen syvyydet voidaan määrittää.

Menetelmien havaitsemiskyvyn ja -herkkyyden arvioimiseksi valmistettiin koekap-
paleet ~2500 laukausta ammutun tykin tuliputkesta. Kappaleet irrotettiin rihlattoman pa-
noskammion ja sen jälkeisen rihlatun työlieriön alueilta. Koekappaleiden sisäpinnoille
valmistettiin kipinätyöstöllä vertailuvikasarjat. Koekappaleet luodattiin UT-tarkastus-
menetelmillä, tosin vain yksi menetelmä kerrallaan, ja talletetut tarkastusdatat analysoi-
ttiin UT-datan käsittelyohjelmilla simuloiden mekanisoitua tuliputken tarkastusta [9, 10].



Kuva 2. Tykin tuliputken koekappaleiden ultraääniluotaustulos vs. vertailuvian koneistusmitta viiteraportin [10] mukaan. Vian syvyytulokset pulssikaiku- ja ToFD-luotauksella, vasen kuva. Vian pituustulokset pulssikaikuluotauksella, oikea kuva. h on luotauslinjojen etäisyys.

Kuvassa 2 esitetyn vikanäyttämien mittaustulosten ja koneistusmittojen vertailun
mukaan vertailuvian syvyys ja pituus yliarvioitiin konservatiivisesti lähes kaikissa ta-
pauksissa pulssikaikutekniikalla. Rihlatulla osalla vian syvyyttä ei kyetty arvioimaan

pulssikaikutekniikalla, mutta syvyys saatiin varsin tarkasti ToFD-luotauksella sekä panoskammion sileältä että tuliputken työlieriön rihlatulta osuudelta.

Tulosten perusteella suositellaan, että tykin rihlatun tuliputken mekanisoidussa ultraäänitarkastuksessa sisäpinnan viat etsitään ja luokitellaan alustavasti pulssikaikutekniikalla, jolla määritetään myös vikojen pituudet. Säteen suuntaisella normaaliluotauksella [7, 8] pyritään saamaan lisävarmistus vikanäyttämästä. Kynnysrajan ylittävien näyttämien syvyydet määritetään ToFD-luotauksen datasta. Luotauslinjojen etäisyydeksi suositellaan $h \approx 3$ mm. Mekanisoidut luotaukset tehdään samanaikaisesti yhdellä ajolla.

Viitteet

- [1] S. Moilanen. Suurikaliperisten ruutisaseiden tuliputkien lujuus- ja materiaalitekniisiä kehitysnäkymiä. Julkaisussa: H. Koivurova & M. Malaska. (toim.) *Proceedings of the 11th Finnish Mechanics Days*. University of Oulu: 195 – 201, 2012.
- [2] M. Hartas, J. Romeo, and J. Doyle. The application of laser measurement to reduce whole-of-life ownership costs of large calibre gun barrels. QinetiQ Australia. Mawson Lakes, Adelaide, SA. 2016. 4.4.2017. <https://www.slideshare.net/MichaelHartas/the-application-of-laser-measurement-to-reduce-whole-of-life-ownership-costs-of-large-calibre-gun-barrels>
- [3] C. Hellier. *Handbook of nondestructive evaluation*. McGraw-Hill Companies, Inc. 2003. doi: 10.1036/007139947X
- [4] J. Hansen. The eddy current inspection method. Parts 1-4. Back to basics. *Insight*. 46(5-8): 2004.
- [5] D. Concordia. Eddy current inspection of gun tubes. U.S. Army ARDEC, Technical report ARCCB-TR-92034, Picatinny Arsenal, NJ. 1992.
- [6] M. Berke. Ainetta rikkomaton ultraäänitarkastus. Johdatus perusteisiin. Krautkrämer. Sonar Oy, Espoo. 27.4.2017. <http://www.sonar.fi/wp-content/themes/sonarfitheme/ohjeet/ultraaanitarkastus.pdf>
- [7] J. J. Miller, D. C. Winters, and R. R. Fuczak. The measurement and analysis of fatigue crack growth in thick-walled cylinders. Benet Weapons Laboratory, Watervliet Arsenal technical report WVT-TR-74040. Watervliet, N.Y. 1974. ADA-000689
- [8] G. Wulf. Use of ultrasonics to determine the crack size in high strength gun barrels. Department of Defence. Materials Research Laboratories report MRL-R-953. Melbourne, Victoria. 1985.
- [9] V. Lehtinen. Tykin tuliputken NDT-esiselvitys. Dekra Industrial Oy luottamuksellinen ja julkaisematon raportti. Tampere. 2015.
- [10] V. Lehtinen. Näyttämäherkkyiden ja vikakoon erottelukyvyn teoreettis-kokeellinen arviointi. Dekra Industrial Oy luottamuksellinen ja julkaisematon raportti. Tampere. 2016.

Seppo Moilanen

Patria Land Systems Oy, Hatanpään valtatie 30, FI-33100 Tampere, Finland
seppo.moilanen(at)patricia.fi

Ville Lehtinen

Dekra Industrial Oy, Nuutisarankatu 15, FI-33900 Tampere, Finland
ville.lehtinen(at)dekra.com