

# Pulssitaajuiset röntgenlaitteet teollisuus- ja tutkimuskäytössä

Teollisuuden ja tutkimuksen 12.  
säteilyturvallisuuspäivät

5.-7.4.2017

Reetta Nylund / Jussi Aromaa

## Pulssitaajuiset röntgenlaitteet

- Kevyitä (<10 kg), helposti liikuteltavia röntgenlaitteita
- Lyhyt pulssinleveys (noin 50 ns), nopea käyttää vrt perinteiset röntgenputket (ei “lämmitysaikaa”), pienempi annos
- Läpäisyvyvyys max 3,8 cm teräksessä
- Suhteellisen helppokäyttöisiä
- Valmistajia esim. Golden Engineering Inc
- Myös muita kevyitä liikuteltavia röntgenlaitteita, esim Teledyne ICMn laitteet, nämä eivät kuitenkaan ole pulssitaajuisia röntgenlaitteita



Golden Engineering XR-laitteita,  
Kuva: [www.goldenengineering.com](http://www.goldenengineering.com)

# Pulssitaajusten röntgenlaitteiden käyttökohteet

- Pulssitaajuisia röntgenlaitteita voi käyttää useaan eri sovellutukseen, esim:
  - Turvallisuus: räjähteiden tutkinta, salakuljetettu tavara
  - NDT: rakentaminen, putkistot
  - Rikostutkinta: luodit, syttymissyyt (tulipalot)
  - Muita: rakennukset, historia, taide, ruoka, isot eläimet
- Käyttösovellutusten määrä kasvaa

# Pulssitaajuiset röntgenlaitteet Suomessa

- Tällä hetkellä pulssiröntgenlaitteille ei ole omia vaatimuksia vaan niitä säädellään “soveltuvin osin” kuten teollisuusradiografian laitteita.
- Uuteen säteilylakiin tulee vaatimuksia pulssiröntgenlaitteisiin liittyen.
  - Osana röntgenlaitteita koskevaa määräystä
- Suomessa laitteita on käytössä noin 100 kpl
- Laitteita on käytössä sekä yksityisillä toiminnanharjoittajilla että viranomaisilla.

# Kysely suomalaisille toiminnanharjoittajille laitteiden käytöstä

- Kevättalvella 2016 STUK toteutti kyselyn suomalaisille pulssiröntgenlaitteiden käyttäjille
  - Kiitos kaikille vastanneille!
- Laitteiden pääasialliset käyttökohteet ovat putkistojen läpivalaisu, korroosiokuvaukset, kunnossapidon tarpeet (hitisaumamat, putkistotukokset) ja ajoneuvotarkastukset.
- Viranomaistahot käyttävät laitteita lähinnä turvallisuuteen liittyviin tutkintoihin, esimerkiksi räjähteiden tutkintaan.
- Yksityisellä sektorilla moni laitteiden käyttäjistä luokitellaan muiden työtehtävien vuoksi säteilytyöntekijöiksi.
- Viranomaisilla käyttö on toisen tyyppistä ja luokittelua säteilytyöntekijäksi ei ole katsottu tarpeelliseksi.
- Kyselyn perusteella käyttäjillä vaikuttaisi olevan laitteiden käyttö hyvin hallussa.

# Pulssitaajuisten röntgenlaitteiden käyttö muissa Pohjoismaissa

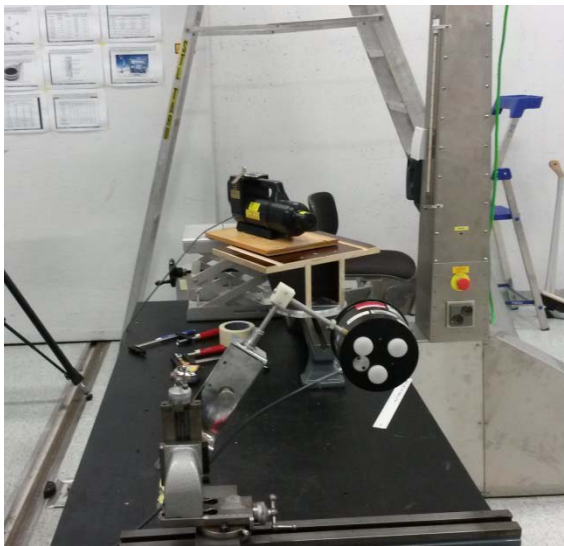
- Pulssitaajuisten röntgenlaitteiden käyttöä selvitettiin myös muissa Pohjoismaissa tekemällä kyselytutkimus Pohjoismaiden viranomaisille.
- Muissa Pohjoismaissa laitteita käytetään huomattavasti vähemmän kuin Suomessa
  - Käyttö on hyvin vähäistä yksityisellä sektorilla, esimerkiksi NDT-tutkimuksiin laitteita ei käytetä. Sen sijaan joissakin paikoin eläinlääkärit käyttävät ko laitteita.
- Vaatimukset laitteiden käytöstä ovat hyvin saman suuntaiset kaikissa Pohjoismaissa.

# Pulssitaajuisen röntgensäteilyn mittaaminen

- Pulssitaajuisen röntgensäteilyn mittaaminen ei ole helppoa johtuen lyhyestä pulssinleveydestä ja suuresta annosnopeudesta.
- Joitakin tieteellisiä artikkeleita pulssitaajuisen röntgensäteilyn mittaamisesta:
  - Useat testatut mittarit ovat kykenemättömiä mittaamaan pulssista röntgensäteilyä.
    - Esim: GM-putkella mittarin “kuollut aika” (ms) on yleensä suurempi kuin pulssin kesto (ns).
    - Suuri annosnopeus voi aiheuttaa signaalin kasautumista (“pile-up”).
    - Ionisaatiokammiot sopivin menetelmä mittaamiseen, muun elektroniikan oltava kuitenkin riittävän korkealaatuista.
    - Dosimetrit (DIS + TLD) pystyvät mittaamaan pulssista säteilyä.
- Nykyään markkinoilla on myös mittareita, jotka kykenevät niiden valmistajien mukaan mittaamaan pulssista röntgensäteilyä.

# STUKissa tehtyjä mittauksia pulssiröntgenlaitteilla (1)

- Käytössä oli XRS-3-laite.
- Mittauksia tehtiin eri mittareilla:
  - Mittanormaalilaboratorion mittanormaalilla (ionisaatiokammio)
  - Victoreen 451P -mittarilla (paineionisaatiokammio)
  - DIS-dosimetreillä
- Mittauksia eri kulmissa (suoraan edestä, sivuilla ja takana)



Mittanormaali kulmamittauksessa



Victoreen etäisyysmittauksessa

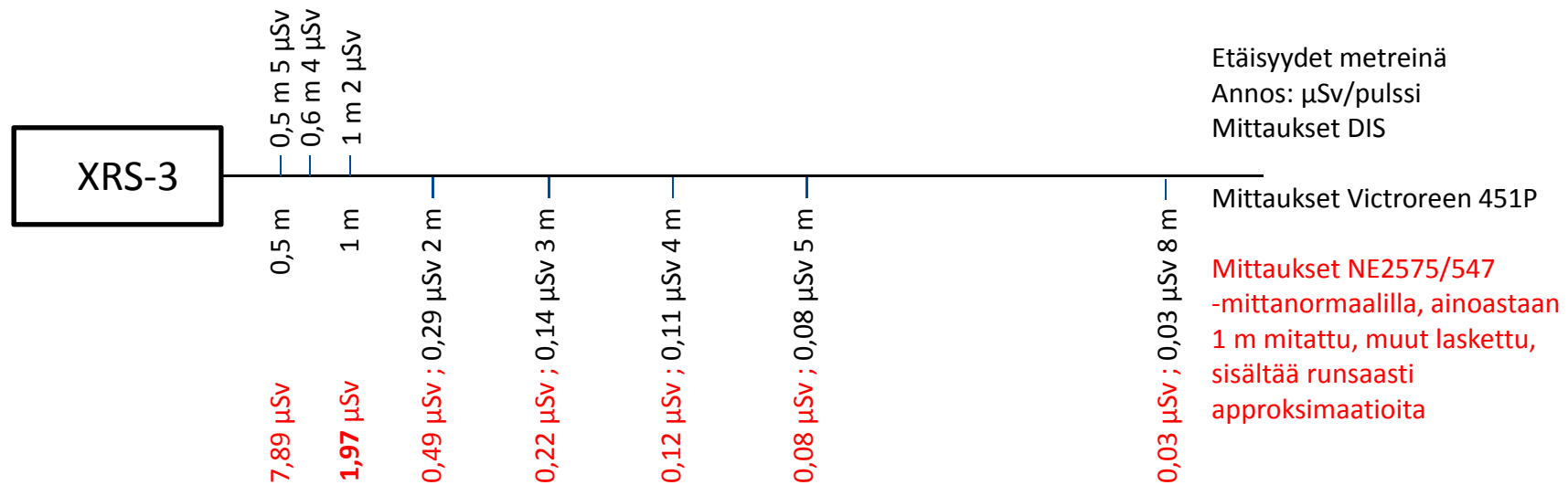


## STUKissa tehtyjä mittauksia pulssiröntgenlaitteilla (2)

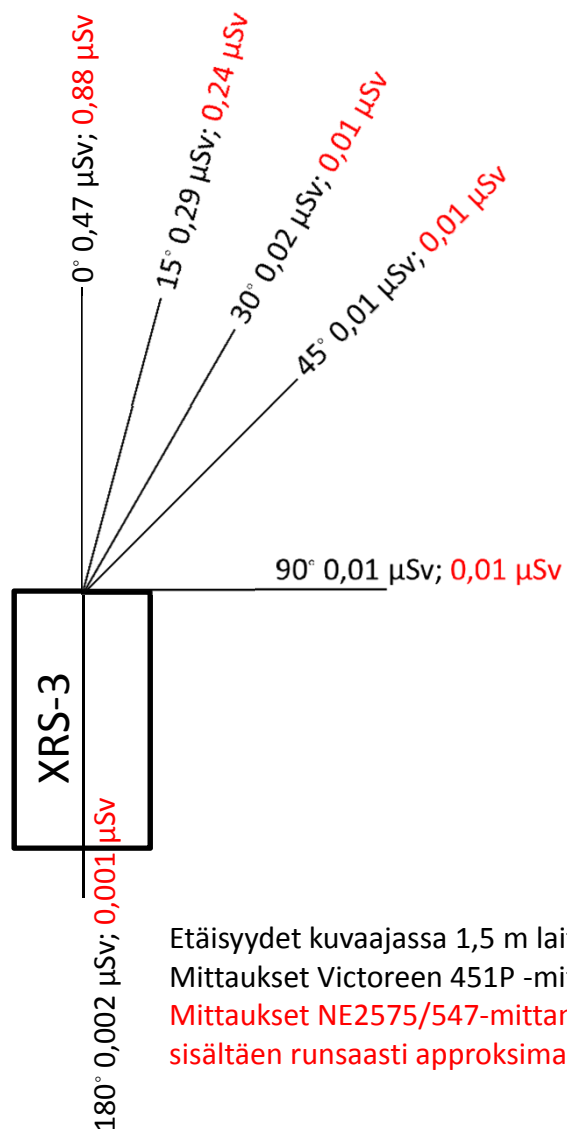
- Annokseen perustuvat mittaukset:
  - Lyhyillä etäisyyksillä mittaukset DIS-dosimetreillä
  - Pidemmillä etäisyyksillä mittaukset Victoreen 451P -mittarin annosmoodissa
  - Virranmittaus pulssitaajuudella → suuri epävarmuus
- Mittanormaalilla NE2575/547 mitattu varausta (pienempi epävarmuus), tulosten laskennassa käytetty runsaasti oletuksia: Mittaustulokset alunperin gray:nä [Gy], josta muunnettu sieverteiksi [Sv]. Mitattu ainoastaan 1 m, josta muut etäisyydet laskettu suhteessa etäisyyden neliöön (“etäisyyden kaksinkertaistuesssa annos pienee neljäsosaan”)
- Mittauksissa suuri epävarmuus ( $\sim \pm 50\%$ ), näin ollen mittaustuloksia voi käyttää ainoastaan suuntaa-antavina.
- Lisäksi käytetty laite oli noin 10 vuotta vanha eli laite on voinut osittain “hiipua” (ts. uudella laitteella mitatut annokset saattaisivat olla suurempia).

# Pulssiröntgenlaitteesta saatava annos suhteessa etäisyyteen annos/pulssi

- Kuvassa on esitettynä mittaustulokset annoksena  $\mu\text{Sv}/\text{pulssi}$
- Mittauksia tehtiin useammalla eri pulssimäärällä (10, 20, 50, 75, 99): mittausten mukaan annos  $\mu\text{Sv}/\text{pulssi}$  oli hyvin samansuuruinen riippumatta pulssimäärästä.
- Mittaustulokset vain suuntaa-antavia! Kaikissa tuloksissa esitystarkkuus liian tarkka suhteessa mittaustarkkuuteen!



# Pulssiröntgenlaitteesta saatava annos eri kulmissa



Etäisyydet kuvaajassa 1,5 m laitteen fokuksesta  
Mittaukset Victoreen 451P -mittarilla  
Mittaukset NE2575/547-mittanormaalilla  
sisältäen runsaasti approksimaatioita

Victoreen-mittarilla mittaukset on tehty 1,5 m etäisyydellä laitteen fokuksesta. Mittanormaalilla mittaukset on tehty 1 m etäisyydellä. Tulos on laskettu 1,5 metriin ja muunnettu Gy → Sv kuten edellisessäkin mittauksessa.

Mittaustulokset vain suuntaa-antavia!  
Kaikissa tuloksissa esitystarkkuus liian tarkka suhteessa mittaustarkkuuteen!

# Annosarvio eri pulssi- ja kuvausmäärillä

Sijainti 1,5 m laitteen fokuksesta	Pulssien lukumäärä, joista kertyy annosta 1 mSv	Kuvien lukumäärä, joista kertyy annosta 1 mSv (20 pulssia per kuva)
Edessä	1100	60
15°	4100	200
30°	95000	4700
45°	105000	5300
90°	160000	7800
Takana	770000	40000

Voidaan todeta, että “vahingossa” laitteella ei voi säteilyttää kovin suuria annoksia.

# Johtopäätelmät mittauksista & suosituksia mahdollisiksi vaatimuksiksi pulssiröntgenlaitteiden käyttöön

- Jos käytetään (valmistajan antamia) suojaetäisyyksiä, säteilyturvallisuus toteutuu.  
→ Vaatimus suojaetäisyyden noudattamisesta?
- Annokset pieniä normaalikäytössä ja poikkeavissa tapahtumissa ja mittaukset hankalia toteuttaa käytännön työssä.  
→ Säteilymittarin (annosnopeus-/annosmittarin) käyttö ei olisi välttämätöntä?
- Annokset jäävät poikkeavissa tapahtumissakin selvästi pienimmiksi kuin väestön annosrajat.  
→ Jos käytössä on ainoastaan pulssiröntgenlaite, ei tarvitsisi luokitella säteilyöntekijöiksi eikä käyttää henkilökohtaisia dosimetreja?
- Käyttö on verrattavissa ”normaalin” liikuteltavan röntgenlaitteen käyttöön.  
→ Turvajärjestelyjen taso C riittäisi?

## Muuta huomioitavaa

- Käytön oltava optimoitua, annokset niin pieniä kuin mahdollista
- Rinnastettavissa ohjeen ST 5.2 avoimeen röntgenlaitteeseen
- Kiinteistökuvauksissa on syytä tiedottaa lähellä olevia asukkaita ja muita tiloissa oleskelevia.

Kysymyksiä/kommentteja?

# Kiitos!