



# FoTomo

## Transportabelt röntgentomografisystem

HÅKAN ÖRNHED

FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI  
Totalförsvarets forskningsinstitut  
Försvars- och säkerhetssystem  
Grindsjöns forskningscentrum  
147 25 Tumba

Tel: 08-55 50 30 00  
Fax: 08-55 50 31 00

[www.foi.se](http://www.foi.se)

FOI-R--2600--SE Teknisk rapport  
ISSN 1650-1942 November 2008

**Försvars- och säkerhetssystem**

Håkan Örnhed

# FoTomo

Transportabelt röntgentomografisystem

Titel	FoTomo
Title	FoTomo
Rapportnr/Report no	FOI-R--2600--SE
Rapporttyp Report Type	Teknisk rapport Technical report
Sidor/Pages	22 p
Månad/Month	November
Utgivningsår/Year	2008
ISSN	ISSN 1650-1942
Kund/Customer	FMV
Forskningsområde Programme area	5. Bekämpning och skydd 5. Strike and Protection
Delområde Subcategory	51 VVS med styrda vapen 51 Weapons and Protection
Projektnr/Project no	E262614
Godkänd av/Approved by	Oskar Parmhed
FOI, Totalförsvarets Forskningsinstitut	FOI, Swedish Defence Research Agency
Avdelningen för Försvars- och säkerhetssystem	Defence & Security, Systems and Technology
Grindsjöns forskningscentrum	
147 25 Tumba	SE-147 25 Tumba

## Sammanfattning

Denna rapport redogör för de resultat som har uppnåtts vid utvecklingen av FoTomo (FOI Tomograf), en förhållandevis enkel metod för datortomografi med i förhållande till andra tomografiska tekniker blygsamma utrustningskostnader. Denna metod kan hjälpa både FM och FMV när det kommer till materialprovningar. Metoden går att använda för bland annat analys av hemtagen ammunition från utlandstjänstgöring, inspektion av icke kända föremål och kontroll av vapensystem. Den utrustning FOI tagit fram är både transportabel och enkel att använda, programmet som utvärderar bilderna är skrivet på FOI och därför finns källkoden vilket gör att det är enkelt att göra ändringar efter hand och kunna göra speciallösningar för olika ändamål. Utrustningen är konstruerad för att användas tillsammans med explosivämnen.

Nyckelord: 3D-avbildning, tomografi, datortomografi, DT



# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Avbildning och rekonstruktion</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Utrustning</b>	<b>12</b>
3.1	Uppställning .....	12
3.2	Container.....	13
3.3	Röntgenkälla .....	13
3.4	Detektor.....	14
3.5	Rotationsbord.....	14
3.6	Program .....	14
<b>4</b>	<b>Experiment</b>	<b>16</b>
4.1	Experiment 1 .....	16
4.2	Experiment 2.....	17
4.3	Experiment 3.....	18
<b>5</b>	<b>Diskussion och slutsats</b>	<b>20</b>
<b>6</b>	<b>Fortsatt arbete</b>	<b>21</b>
<b>7</b>	<b>Referenser</b>	<b>22</b>

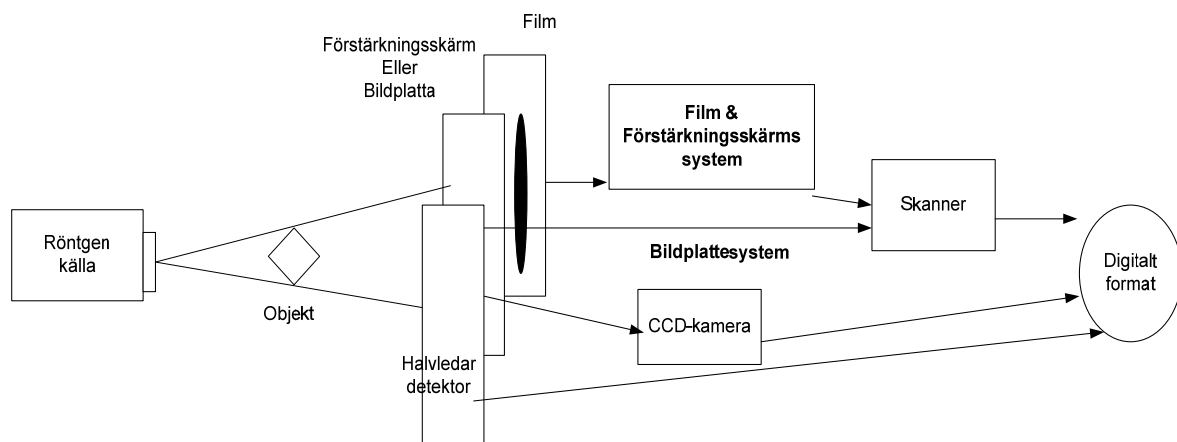


# 1 Inledning

I denna rapport redogörs för det fortsatta arbetet med att ta fram en komplett fungerande transportabel datortomograf. Arbetet har bestått av 3 delar, uppbyggnaden av en container med utrustning, utveckling av ett styrprogram ("FoTomo") samt utveckling av ett bättre analysprogram ("FoTomi") med en bättre rekonstruktionsalgoritm.

Tomografi kan vara FM och FMV till nytta för att kontrollera och inspektera ammunition före och efter testning, vapensystem före och efter utlandstjänstgöring och som en del i åldringsprov av sprängämne och krutmotorer. Den utrustning FOI tagit fram är både transportabel och enkel att använda, programmet som utvärderar bilderna är skrivet på FOI och därför finns källkoden tillgänglig vilket gör det enkelt att göra ändringar efter hand och kunna göra speciallösningar för olika ändamål. Det finns färdiga datortomografisystem på marknaden, de är dock dyrare, tyngre och inte transportabla. Dessa är optimerade för en viss typ av provning, vilket utgör en begränsning i användbarheten.

Ordet tomo kommer från grekiskan och betyder snitt. Jämfört med traditionell röntgen innehåller bildframställning med datortomografi många moment. Vid datortomografering är den primära bildinformationen, (uppmätning och registrering av röntgenstrålningen) inte detsamma som slutresultatet, utan utgör istället ingångsdata till en relativt omfattande bildrekonstruktionsalgoritm. Rekonstruktionsproblemet går igenom översiktligt i denna rapport (kap. 2). Figur 1 visar en schematisk bild av fyra olika metoder att generera en digital röntgenbild, vilken är ingångsdata till rekonstruktionsalgoritmen i datortomografi.



Figur 1. Olika sätt att generera digitala bilder från röntgen

Det finns fyra alternativ att generera en digitalbild från röntgen:

1. Film och förstärkningsskärmssystem
2. Bildplattesystem
3. CCD-kamera- och förstärkningsskärmssystem
4. Halvledardetektor.

Alla dessa system har sina för och nackdelar, för tomografi är det bara alternativ 3 och 4 som går att använda med rimlig tidsåtgång i framtagandet av rådatabilderna.

Röntgenbilderna i CCD-kamerasystemet avbildas med en förstärkningsskärm, vars avbildning fotograferas med en digitalkamera. På grund av att det är fler delar i systemet måste upplinjeringen av utrustningen göras noggrannare i CCD-kamera systemet än i halvledarsystemet. Halvledardetektorn har en stabilare konstruktion än förstärkningsskärmssystemet, nackdelen med halvledardetektorn är att den har fast upplösning, större pixelelement och är dyrare. Alternativet med CCD-kamera och förstärkningsskärmssystemet ger mindre begränsningar genom att man kan välja förstöringsgrad på kameran genom val av objektiva i förhållande till objektet som



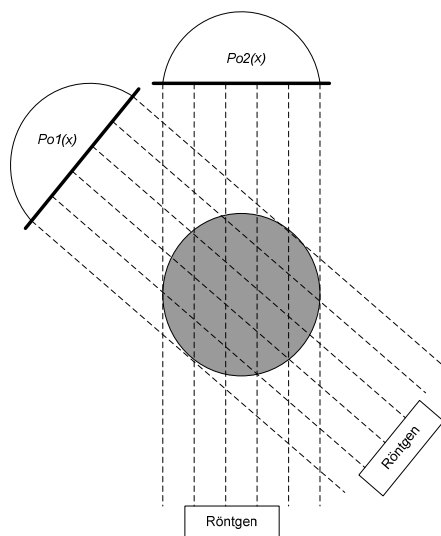
inspekteras och den upplösning som krävs. Den tredimensionella fördelningen rekonstrueras från röntgenbilderna med invers radontransformering till tomogram.

## 2 Avbildning och rekonstruktion

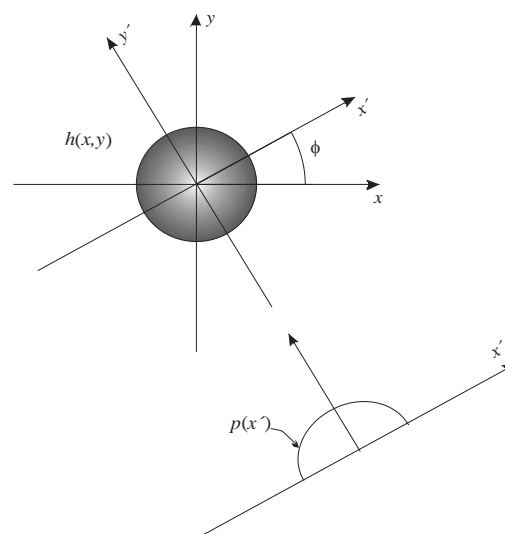
Vid tomografering skall de avbildade objektens tredimensionella utbredning beräknas utifrån de upptagna röntgenbilderna. Detta representerar en typ av inversproblem där man utifrån projektioner från olika vinklar ska återskapa en tredimensionell rumslig fördelning. För transparenta objekt finns för detta ändamål åtskilliga tomografiska rekonstruktionsalgoritmer utvecklade (se [1-4]), där ingångsvärdena kan vara röntgenbilder, akustiska signaler, radarsignaler, etc.

För att inte tynga framställningen alltför mycket begränsar vi oss här till att visa parallella projektioner som algoritmexempel, medan FOI's utvärderingsprogram FoTomi kan använda både parallell- och solfjäderalgoritm. Det senare fallet överensstämmer bättre med verkligheten eftersom vi använder av en punktstrålkälla, och vi därmed får en konisk avbildning. Det är emellertid dels relativt trivialt att gå från en parallell till en solfjäderkonfiguration ("fan-beam", som dessutom finns implementerad i Matlab [5]) eller konisk konfiguration genom FDK (Feldkamp–Davis–Kress) rekonstruktion se [1,2], dels avbildar vi en relativt liten volym på ett långt avstånd. Vi begränsar oss också till radontransformen och dess släktingar. Även om exempelvis ART – Algebraic Reconstruction Technique skulle kunna vara av intresse för vår tillämpning bedöms den vara alltför beräkningskrävande.

Tomografisk rekonstruktion av ett föremål är möjlig genom att ta röntgenbilder eller linjer från flera riktningar. I figur 2 och 3 visas röntgenprojektionerna i ett sidosnitt som sedan bearbetas till ett tomogram. Meningen med datotomografi är att generera en 2-D bild genom att beräkna flera 1-D projektioner. Som visualisering är det möjligt att generera en 3-D beskrivning av objektet genom att sätta ihop flera 2-D bilder.



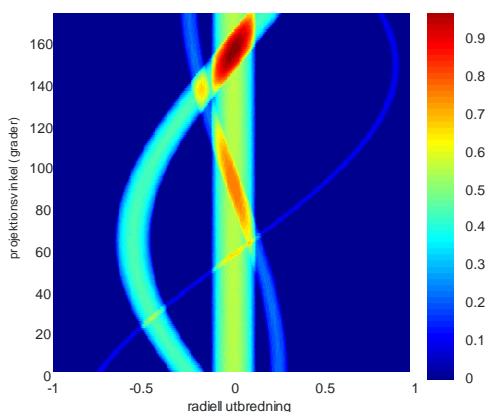
Figur 2 Röntgenbilder tagna i olika vinklar



Figur 3 Projektion i vinkeln  $\phi$

Vi utgår från det generella problemet med transparenta objekt med en rumsberoende dämpningsfunktion för aktuell strålning som typiskt beror på densiteten eller någon annan fysikalisk egenskap av intresse. Låt oss begränsa oss till en projektion av ett cirkulärt tvärsnitt med radien  $R$ , och  $R'$  är radontransformen av objektet.

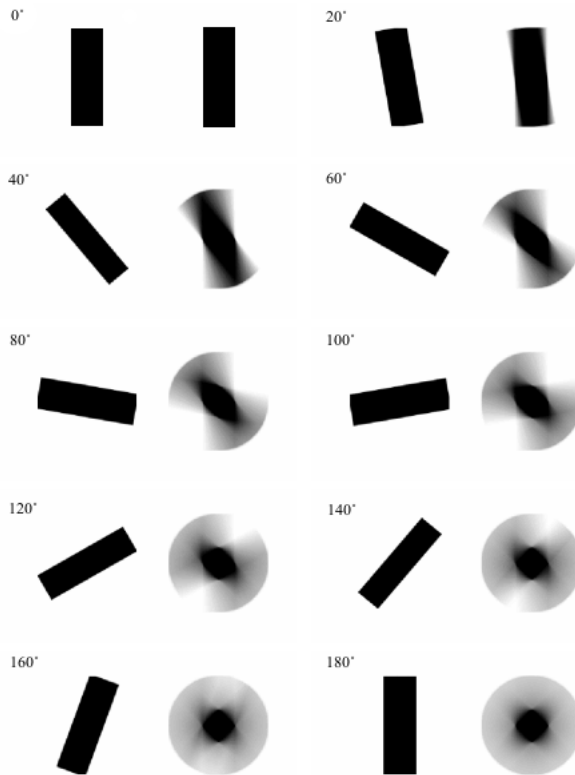
Om vi avsätter radontransformen i ett diagram med radiell utbredning mot



Figur 4. Sinogram representerande radontransformen för flera  $\zeta$  cirkulära objekt placerade på olika radier från centrum.

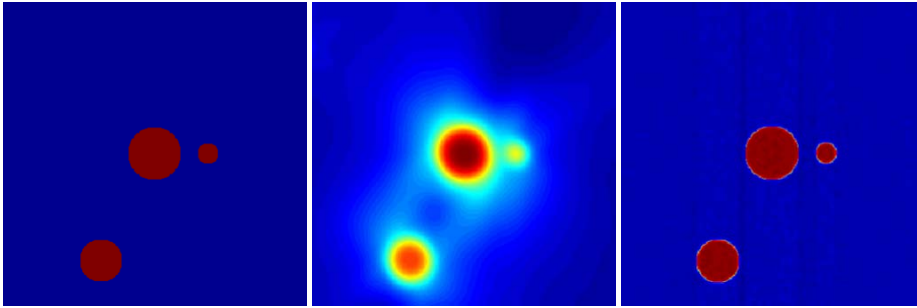
projektionsvinkel fås ett typiskt utseende som i figur 4 (där intensiteten är normerad). Detta diagram kallas ofta sinogram, vilket beror på att en objektpunkts avbildning kommer att följa en sinusformad kurva då objektet roteras runt ett rotationscentrum.

I figur 5 visas en simulerad rekonstruktionssekvens med återprojektion (med inverterade bilder) från en mätning av ett snitt från ett cylindrisk objekt. Trots den simulerade ideala avbildningen blir vissa områden utsmetade ("gråa"). Detta beror på att summeringen kan visa resultera i en lågpasfilterad version av dämpningskurvan från figur 1. Som ses i figur 5 så kan man dra slutsatsen att ju fler återprojektioner som tas med i rekonstruktionen, desto bättre kantdetektion.



Figur 5. Tomografisekvens av ett runt objekt,  $5^\circ$  rotation mellan "avbildningarna", Serien visar var 20:e grad. Vänster delbild: aktuell projektion, höger delbild: konsekutiv rekonstruktion .

För att minska den gråade zonen, vilket inte tillhör objektet, görs en faltning med ett avfaltungsfilter (ett rampfilter), därav metodens svenska namn filterad återprojektion eller på engelska "Filtered back-projection". Kombinationen med att göra radontransformen tillsammans med filterad återprojektion är i särklass den vanligaste använda rekonstruktionsmetoden för tomografi.



Figur 6 Exempel på rekonstruktion. Realiteten (vänster), enkel återprojektion (mitten) och filtrerad återprojektion (höger).

I figur 6 visas ett enkelt exempel på filtrerad återprojektion. Alla beräkningar här och i det följande har gjorts i Matlab och speciellt med hjälp av Image Processing Toolbox [5], där filtrerad återprojektion finns implementerad i dess "iradon" -och "ifanbeam" -funktioner (den senare för solfjädersprojektion).

### 3 Utrustning

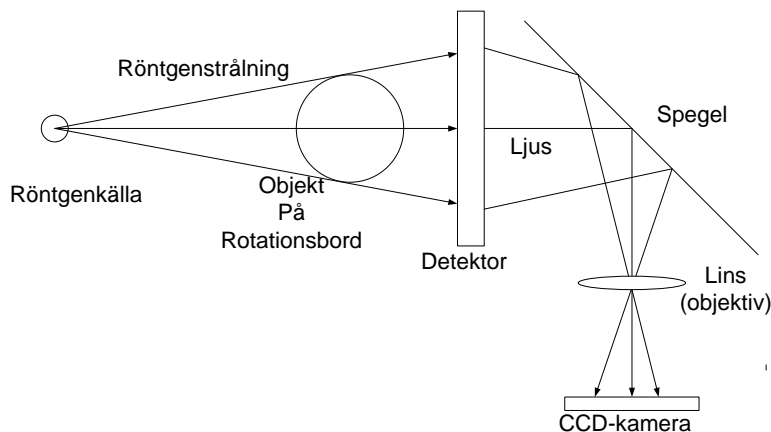
För att ta fram en transportabel tomograf införskaffades en container för att placera utrustningen i, detta kunde även ha gjorts i större bil eller dylikt. Att använda sig av en container medför att utrustningen lätt kan transporteras till objekten som ska tomograferas istället för att behöva transportera objekten vilket i vissa fall är betydligt svårare om inte omöjligt. Utrustningen i containern behöver el-imatning på enfas 220 volt. All elinstallation i containern och dess uppvärmning är IP 64 klassat.

Containern innehåller framförallt ett balksystem för att kunna linjera utrustningen (röntgenkälla, rotationsbord förstärkningsskärm och kamera) på och en el-central som innehåller datorn och övrig elstyrning.

#### 3.1 Uppställning

Det är möjligt att använda olika typer av röntgenkällor i systemet men de experiment som redovisas i denna rapport är gjorda med en kontinuerlig röntgenkälla. Objektet som ska undersökas roterades av ett datorstyrt rotationsbord och röntgenbilderna avbildades på en förstärkningsskärm. Denna avbildning fotograferas i sin tur med hjälp av en digitalkamera. Rotationsbordet och CCD-kameran synkroniseras med hjälp av insamlingsdatorn.

När förstärkningsskärmen blir bestrålad av röntgenstrålning emitteras ljus genom fluorescens och fosforescens. Fluorescens innebär att ljus bara emitteras under själva infallet av röntgenstrålning. Fosforescens ger en efterlysning, materialet lyser alltså en tid efter exponeringen av röntgenstrålningen. Här utför detektorn en energiomvandling från röntgen till synligt ljus (så kallad förstärkningsskärm). På baksidan av primärdetektorn finns ett optiskt system med en spegel som avbildar den uppfångade projektionen på en CCD-array (kamera). Spegeln gör att CCD-arrayen och annan strålkänslig elektronik kan flyttas ur vägen för skadlig röntgenstrålning. I figur 7 ses en schematisk uppställningskiss.



Figur 7 Detektoruppställning med fluorescensdetektor (förstärkningsskärm) och optiskt mellansteg (CCD-kamera)

Röntgenkällan som användes var en Smart 300 (max 300 kV och max 3 mA) . Rotationsbordet som finns i uppställningen klarar en belastning på 200 kg och höga moment. Förstärkningsskärmen som användes vid experimenten var Green 600. Kameran var en firewire kamera (AVT Pike-210 B/C) med upplösningen 1920 \* 1080 pixlar. Kameran och rotationsbordet synkroniserades med hjälp av en dator. För att erhålla bra tomografibilder måste rotationscentrum och rotationsvinkeln i bilden vara kända..

## 3.2 Container

En 20 fots isolerad container har införskaffats för att användas som tomograferingsutrymme. Containerns el och uppvärmningssystem är explosivämnesklassat för zon E2, vilket gör att allt explosivämne förutom explosivämnena i pulverform kan tas in i containern.



Figur 8 Till vänster container för tomografering, till höger styrcentralen för tomografisystemet.

Uppvärmningen sker med hjälp av en lufttorkare på utsidan av containern. Denna trycker in 20 gradig torr luft in i containern, vilket gör att utrustningen inte tar skada.

## 3.3 Röntgenkälla

I det tomografisystem som har tagits fram på FOI är tanken att val av röntgenkälla skall vara fritt. Detta för att ta hänsyn till att man ska använda befintliga system, beroende på att detta oftast är den dyraste delen av ett sådant system.

Röntgenkällan (figur 9) som är använt inom projekt FoTomo är Smart 300, med max 300 kV och 3 mA.

Detta är en bra portabel röntgenutrustning men inte optimal för tomografering, det finns andra bättre lämpade utrustningar på marknaden. Dessa har ett mindre röntgenhuvud vilket medför att det blir enklare att linjera upp systemet.



Figur 9 Röntgenkälla Smart 300

### 3.4 Detektor

Kameran i systemet är en firewire kamera (AVT Pike-210 B/C, se figur 10) med upplösningen 1920 \* 1080 pixlar. Val av kamera är gjort efter att en kamera med större pixlar blir ljuskänsligare, denna kamera har 7,8  $\mu\text{m}$  stora pixlar vilket skall jämföras med att de flesta kameror idag har pixelstorlekar på mellan 3-4  $\mu\text{m}$ . Ökar man upplösningen går pixelstorleken ner vilket medför en kamera med lägre ljuskänslighet.

Kameran är störningskänslig för röntgenstrålning varför kan man tvingas till arrangemanget som i figur 10, det vill säga att ta bilderna via spegel för att skydda kameran. Kameran behöver sedan skyddas för röntgenstrålning genom att blyskärmar sätts framför kameran.



Figur 10 Kamerastativ med kamera

### 3.5 Rotationsbord

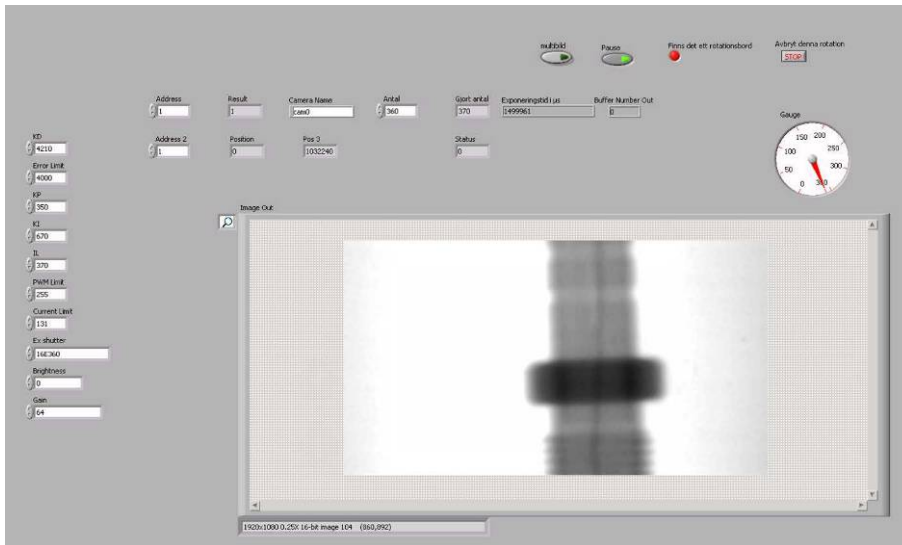
Tomografisystemets rotationsbordet (figur 11) är byggt för att kunna rotera objekt upp till 200 kg, rotationsbordet klarar dessutom höga moment vilket kan vara till användning vid tomografering av långa objekt. Vinkelupplösningen för rotationsbordet är 1,5 vinkelsekunder, vilket är 1,5/3600 grader.



Figur 11 Rotationsbord

### 3.6 Program

För att styra tomografisystemet har programmet "FoTomo" skrivits i Labview. Programmet utnyttjar dessutom tilläggsmodulen "Vision". Figur 12 visar en skärmbild från FoTomo.



Figur 12 Skärmbild från programmet FoTomo

Ett beräkningsprogram för att analysera röntgenbilderna från Labview och rekonstruera tomogram är skrivet i Matlab [5]. Det benämns "FoTomi" och kan utföra återrekonstruktion med såväl parallell- som solfjäderalgoritm. Programmet är kompilerat för att bli snabbare. Tidsåtgången för att beräkna ett tomogram är ca 20 sekunder per snitt, för 1080 snitt per bild blir det 6 timmar på en normal dator med en kärna i processorn. Därför används en dator med 4 kärnor för att öka kapaciteten. Då är beräkningstiden 1,5 timmar.

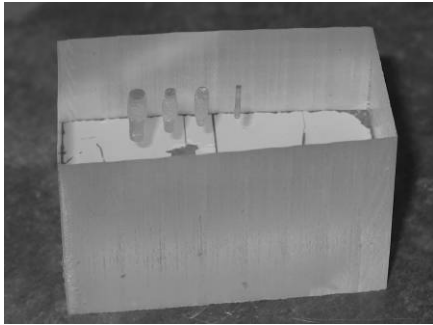


## 4 Experiment

Tre olika experiment är genomförda. Två för att utvärdera vilken upplösningspotential FOI's tomografisystem har och ett för att simulera en tändare för att se om det går att undersöka små objekt.

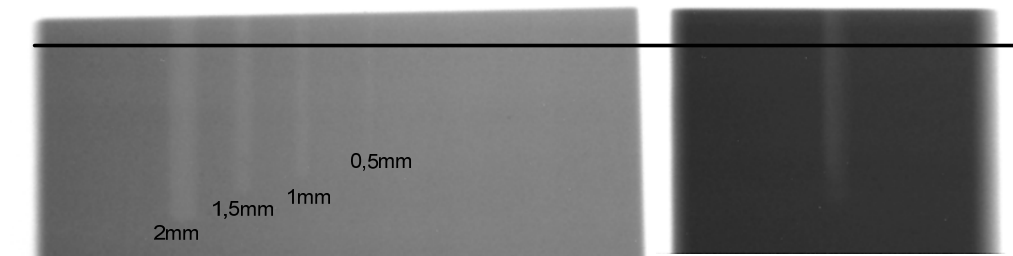
### 4.1 Experiment 1

Objekt 1 (figur 13) är en fyrkantig plastdetalj med 4 hål (0,5 mm - 1 mm - 1,5 mm och 2 mm). Objektet röntgades ett helt varv (360 grader) med varje bild tagen med 1 grads mellanrum.

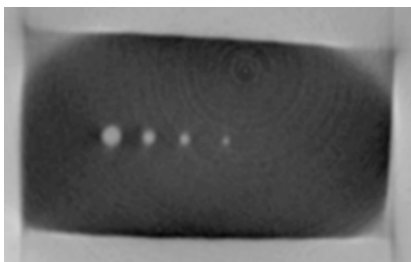


Figur 13 Bild på provobjekt 1

I figur 14 ses radiografier från två riktningar med 90 grader mellan projektionerna.



Figur 14 Två radiografier sedda från sidan med 90 grader emellan, svarta strecket är snittet som tomogramet i figur 15 är gjort av.



Figur 15 Tomografisnitt från toppen av objektet.

I figur 15 kan det återprojicerade tomogrammet ses. I tomografirekonstruktionen i figur 15 ses hålen bättre än i radiografiet i figur 14. Detta visar att det finns en stor potential att få en upplösning på mindre än 0,5 mm i ett mindre objekt.

## 4.2 Experiment 2

Objekt 2 är ett runt aluminiumrör med ytterdiameter 100 mm och innerdiameter 80 mm, i detta rör är en plastkropp intryckt. Denna kropp är modifierad med 5 stycken hål ovanifrån (0,5 mm - 1,1 mm - 1,5 mm - 2 mm - 3 mm) och ett hål från sidan (1 mm). Objektet röntgades ett helt varv (360 grader) med varje bild tagen med 1 grads mellanrum. I figur 16 ses en bild ovanifrån, de olika hålen är markerade i bilden.



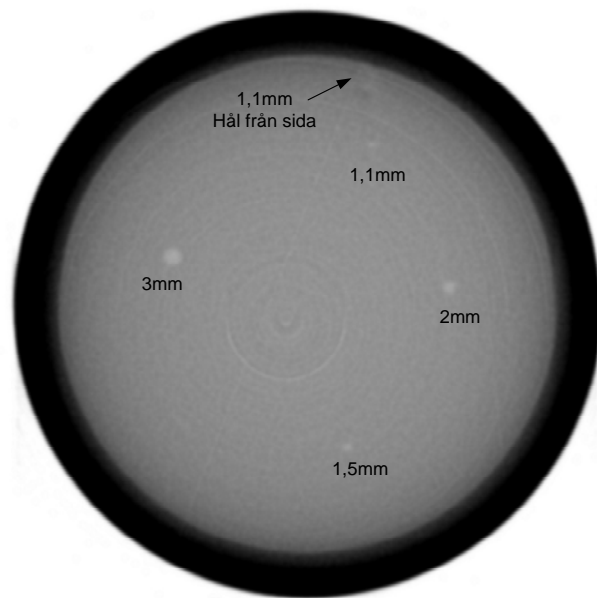
Figur 16 Bild ovanifrån av objekt 2.

Ett exempel på röntgenbild av objekt 2 ses i figur 17, det svarta strecket är det snitt som sedan är analyserat. Det snittets tomogram ses i figur 18.



Figur 17 Röntgenbild, svarta strecket är snittet som tomogramet i figur 18 är gjort av.

I röntgenbilden ovan syns hålen dåligt, medan i tomogramet nedan kan hålen detekteras.

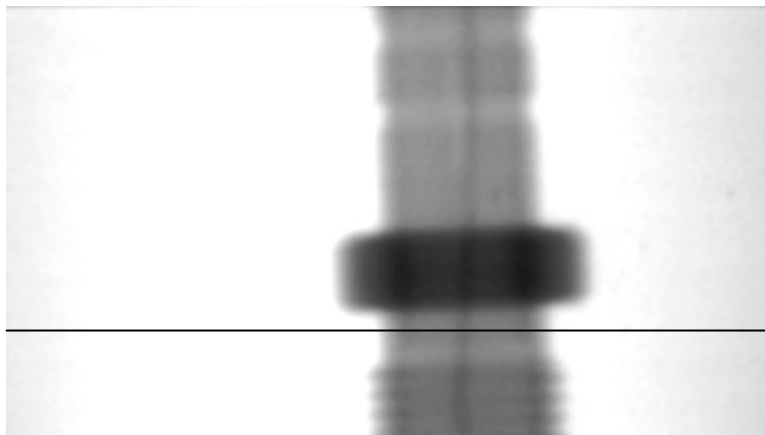


Figur 18 Rekonstruktionsbild av objekt 2

I rekonstruktionen i figur 18 ses de flesta av hålen som är gjorda. Upplösningen i objekt är någonstans emellan 0,5mm till 1 mm. Ringmönstret som finns i bilden kommer ifrån fel i beräkningsalgoritmen.

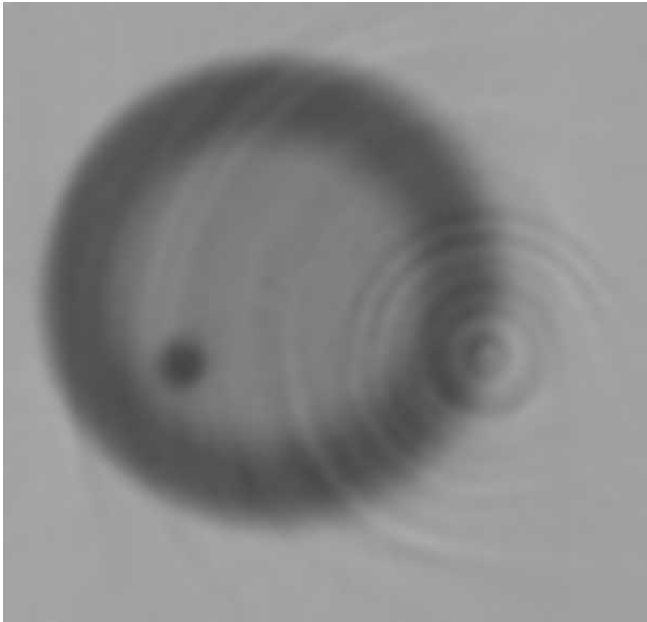
### 4.3 Experiment 3

Tanken med objekt 3 är att det ska simulera en tändare och utgörs av ett aluminiumrör med en innerdiameter 4 mm. Röret är löst fyllt med lera och en 0,2 mm tjock koppartråd. I radiografiet i figur 19 ses koppartråden väl och även vissa porisiteter i leran.



Figur 19 Röntgenbild av tändarsimulant (objekt 3), svarta strecket är snittet som tomogramet i figur 20 är gjort av.

I tomografirekonstruktionen i figur 20 ses det ringar i mitten av rotationscentrum. Dessa kommer från mönster i förstärkningsskärmen. Denna typ av störning kan undvikas om en annan förstärkningsskärm väljs i dom fall det är väldigt små föremål som ska inspekteras. Den skärm som kan komma i fråga är Fujifilms medical 600, denna är inte lika ljusstark men ger i sin tur mindre variationer i makroskalan.



Figur 20 Rekonstruktionsbild av objekt 3, det syns mycket bra var tråden är placerad i röret.

Tomogramet i figur 20 visar att tomografisystemet även fungerar för små objekt. Ringmönstret som finns i bilden kommer ifrån fel i beräkningsalgoritmen i kombination med mönster i förstärkningsskärmen.

## 5 Diskussion och slutsats

I detta arbete har några exempel redovisats på vilka möjlighet som en förhållandevis enkel datortomografiteknik kan ge. Containersystemet fungera bra, med möjlighet att förflytta utrustningen snabbt mellan platser, utrustningen går att använda när containern är på lastenheten. Systemet har fungerat tillfredställande med tanke på att systemet är konfigurerat för att kunna använda en stor variation av röntgenkällor.

Det är visat att metoden fungerar utmärkt från små objekt med diameter på 6 mm till mellanstora objekt med en diameter på 100 mm. Vid större objekt förloras för mycket i upplösning med den kamera som används vid experimenten i denna rapport. Upplösningen som finns idag, med nuvarande utrustning och analysprogram är tillräcklig för att se hur objekt ser ut inuti. Upplösningsbehovet för att kunna detektera och visualisera sprickor i sprängämne är inte nåd. Vissa problem med interferensmönster i återprojektionerna ses i experimenten (se figur 15,18 och 20). En högre upplösning på återprojektionerna kan uppnås med en bättre utrustning eller/och beräkningsalgoritm. I den tomografiutrustning som är framtagen på FOI är det enkelt att byta delar av utrustningen när tekniken inom dom olika områdena förbättras, exempelvis högre upplösning på kameror, känsligare kameror och förstärkningskärmar och snabbare datorer för att korta ner beräkningstiden för återprojektionerna.

## 6 Fortsatt arbete

Testerna av objekt 1, 2 och 3 åskådliggör att detta är en utmärkt icke förstörande provningsmetod för att kontrollera utrustning om mekaniska problem har uppstått. Utrustningskostnaderna är i förhållande till andra tomografiska tekniker blygsamma. Potentialen i datortomografi har visats i detta arbete. Vid vidare utveckling av ett system för användning inom Försvarets materielverk och Försvarsmakten bör förbättringsarbete göras inom optimering av kamera-förstärkningskärm systemet för röntgentomografering. Detta kan göras genom röntgenkänsligare förstärkningskärm med mindre kornstorlek. Andra förbättringsområden är förbättrad kamerateknik, med ljuskänsligare kameror och högre upplösning liksom Optimering av inställningarna i kameran för att minska bland annat interferens.

För att förbättra bildkvaliteten bör en bättre analys av mjukvaran göras, bland annat bör snabbare och mer precisa algoritmer för att minimera brus och maximera upplösningen skapas. Koden bör även programmeras i något annat språk än Matlab [5] för att göra koden snabbare. Genom att använda ett egentillverkat program har vi friheten att styra de beräkningar av data som vi vill göra. Då finns det utvecklingsmöjligheter med nya algoritmer när beräkningsdatorerna blir snabbare. Ett vidare arbete borde också göras med en optimering och utveckling av algoritmerna för tomografin, bland annat modifiera de filter som man kan applicera på återprojektionerna. Programmet bör få ett enklare grafiskt gränssnitt vilket medför att det inte måste vara personen som tillverkat programmet som använder det.

Uppställningen och upplinjeringen måste förbättras för att göra systemet så flexibelt som möjligt. Bland annat för att ha möjlighet att undersöka ett längre objekt måste vi kunna röra datortomografiutrustningen parallellt med rotationsaxeln. I vissa applikationer kan objektet ej roteras, så som improviserade stridsdelar eller odetonerad ammunition, då borde en utrustning som roterar runt objektet konstrueras. En sådan utrustning går att tillverka från befintlig utrustning med mindre ingrepp. En sådan utrustning kan vara lämplig för fältförsök där det inte går att ta med sig en stor industritomografiutrustning. Det finns fördelar med detta system då upplinjering av systemet är fixt, vilket gör att ett sådant system bör vara enklare att använda för tredje part.

Vid eventuellt fortsatt arbete bör ett stort fokus sättas till taktiskt användande genom att hjälpa Försvarets materielverk och Försvarsmakten med hur utrustningen kan användas på bästa sätt.

## 7 Referenser

1. G.T. Herman, *Image reconstruction from projections*, Academic Press, London, (1980)
2. J. Hsieh, *Computed Tomography*, SPIE Press, Bellingham, Washington, (2002)
3. T. Kreiss, "Computer Aided Tomography," *Holographic Interferometry*, Akademie Verlag, Berlin, s.287-298. (1996)
4. D.L. Marks, R. Stack, A.J. Johnson, D. J. Brady and D. C. Munson Jr. "Cone-beam tomography with a digital camera," *Appl. Opt.* **40**(11), s.1795-1805, (2001)
5. *Matlab R2007b, Matlab Signal Processing Toolbox 6, Matlab Image Processing Toolbox 6*, © COPYRIGHT 1984–2007 by The MathWorks, Inc.