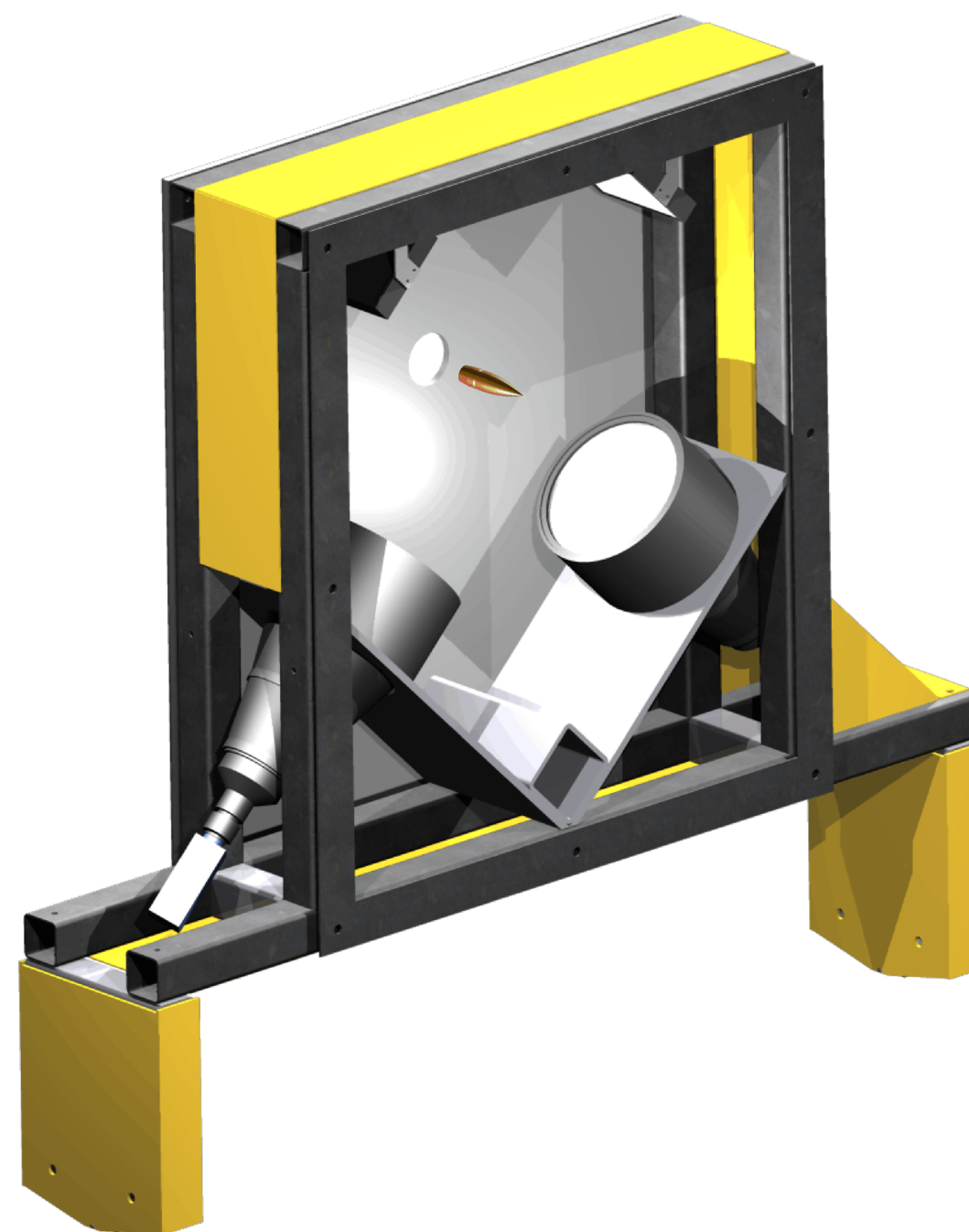


BO JOHANSSON



FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Förvarsdepartementet. 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.

Bo Johansson

Lägesrapport: Uppbygggnad av finkaliberanläggning

Titel	Lägesrapport: Uppbyggnad av finkaliberanläggning
Title	Status report: Small calibre test equipment
Rapportnr/Report no	FOI-R--2882--SE
Rapporttyp Report Type	Teknisk rapport
Sidor/Pages	23 p
Månad/Month	December
Utgivningsår/Year	2009
ISSN	ISSN 1650-1942
Kund/Customer	Försvarmakten
Projektnr/Project no	E20523
Godkänd av/Approved by	Patrik Lundberg
FOI, Totalförsvarets Forskningsinstitut	FOI, Swedish Defence Research Agency
Avdelningen för Försvars- och säkerhetssystem	Defence & Security, Systems and Technology
SE-164 90 Stockholm	SE-164 90 Stockholm
	Sweden

Sammanfattning

Det finns alltid en viss pendlingsrörelse i banan hos utskjutna projektiler som beror av vapen, skjutavstånd, pipslitage, räffelstigning, projektilens stabilitet mm. Detta kan resultera i en snedställningsvinkel hos projektilen vid anslag mot ett mål som är så stor att den märkbart påverkar penetrationen i målet. Vid försök som syftar till att bestämma lägsta hastighet eller minsta vinkel för perforation (gränsskjutningar) är det av synnerligen stor vikt att endast de skott där projektilens snedställningsvinkel är så liten att den har marginell inverkan på penetrationen används som underlag i analysen. Av detta skäl är det nödvändigt att kunna uppskatta projektilers snedställning vid anslag.

För att effektivt kunna mäta snedställning på projektiler samt för att effektivisera gränsskjutningar byggs nu en finkaliberanläggning för automatiserade gränshastighetsskjutningar och gränsvinkelskjutningar. Mätssystemet består bland annat av två mätarmar vid två positioner längs skjutriktningen som innehåller kameror. Vid varje position fotograferas projektilen i två vinkelräta projektioner. Från de två projektionerna beräknas projektilens totala snedställningsvinkel relativt skottlinjen. Ur bilderna vid de två positionerna fås även projektilens medelhastighet i intervallet.

I rapporten beskrivs anläggningens funktion och vad som återstår för att anläggningen skall kunna tas i drift för gränsskjutningar. För en kortare överblick rekommenderas kapitlen 1, 2, 3.1 samt 6.

Nyckelord: finkaliber, splittersimulatorer, skydd, snedställningsvinkel, försöksanläggning, gränshastighet, gränsvinkel, V50

Summary

When the projectile strikes a target it will always have a yawed attitude to the firing direction. A yaw angle is considered as large if it will noticeably affect the penetration off the target. At ballistic limit tests it is important to only use test results where the yaw angles are small enough to not affect the penetration sorely. Because of this it is necessary to be able to estimate the yaw angle of a projectile when it strikes a target.

A small calibre test facility for automated ballistic tests is under construction. The measurement device consists of two sets of camera pairs placed at two positions along the firing direction. Each camera pair produces images of the projectile in two perpendicular projections. The images are then analysed to obtain the yaw angle of the projectile at two positions along the direction of fire. Additionally, the average velocity of the projectile between the two positions is obtained.

The report describes in detail the function of the test facility and the remaining work that has to be done to make the equipment operational for ballistic limit tests.

Keywords: small calibre, fragment simulator, protection, yaw angle, test facility
ballistic limit test, V50

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
2	Projektilsnedställning	8
3	Mätsystem för projektilers snedställning	10
3.1	Funktion	10
3.2	System och komponenter	12
4	Systemtest	14
4.1	Statiska försök.....	14
4.2	Dynamiska försök	14
5	Utvärdering av försök	16
5.1	Bildbehandling.....	16
5.2	Beräkning av snedställning och hastighet	17
5.3	Användargränssnitt	20
6	Planerad verksamhet	22
7	Referenser	23

1 Inledning

I en tidigare rapport [1] från 2006 beskrivs en metod samt utvecklingen av en finkaliberanläggning för automatiserade gränshastighetsskjutningar och gränsvinkelskjutningar. Den nuvarande rapporten ska ses som en utvidgning av den förra rapporten [1] och redogör för anläggningens funktionalitet och status i slutet av 2009.

Arbetet med finkaliberanläggningen har fram till och med 2008 pågått i mycket begränsad omfattning varför färdigställandet av anläggningen har dröjt. Färdigställandet är nu inom räckhåll då det mest väsentliga avseende dess funktion är klart och fungerar. Det återstår dock att färdigställa några delfunktioner och att länka samman allt till ett system, finslipa de grafiska användargränssnitten för inhämtning respektive utvärdering av bilder samt att utarbeta rutiner för försöksverksamheten. Rutinerna utarbetas i samband med att en skarp utprovning görs.

Vid skjutförsöken är det i första hand två parametrar som skall registreras; projektilens hastighet och projektilens snedställning i förhållande till hastighetsvektorn innan den träffar målet. Noggrannheten vid bestämning av hastigheten måste vara hög för att skattningen av gränshastigheten skall bli tillförlitlig. Om projektilens snedställning överstiger en fastställd gräns så måste resultatet förkastas. Vid gränsvinkelskjutningar måste även snedställningsvinkeln delas upp i komponenter dvs. tipp och gir.

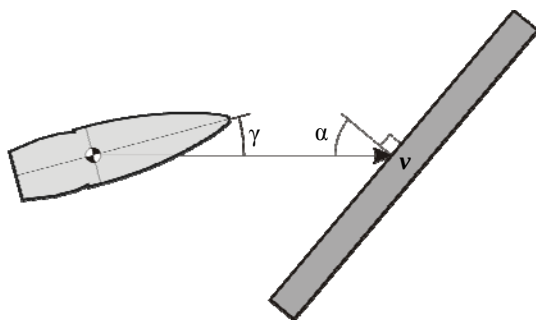
Projektilens snedställning beräknas genom att analysera skuggbilder av projektilen tagna vid två tidpunkter vid två positioner längs skottlinjen strax innan anslagspunkten i målet. Vid varje position fotograferas projektilen i två vinkelräta projektioner. Ur de två projektionerna beräknas projektilens snedställningsvinkel till skottlinjen och resultaten vägs samman till en snedställningsvinkel i rummet. Ur skuggbilderna vid de två positionerna bestäms också avståndet mellan avbildningarna av projektilen som tillsammans med de två tidpunkterna ger projektilens medelhastighet i intervallet.

Tills vidare används metoder för gränsskjutningar beskrivna i [2] men de statistiska metoderna för skattning av gränshastigheter är under utveckling och kan därför komma att ändras i framtiden. Detta påverkar inte i sig anläggningens funktion men kommer in då gränshastigheterna skall beräknas. Annat som berör anläggningen är vad som skall mätas och noteras vid försöken och hur det skall dokumenteras och sparas. Vad som skall mätas och noteras finns beskrivet i [2] vilket har sin grund i en tidigare utredning [3]. Formerna för uppbyggnad av databas diskuteras i [4]. Ett exempel på hur en sådan databas kan vara uppbyggd presenteras i [5].

2 Projektilsnedställning

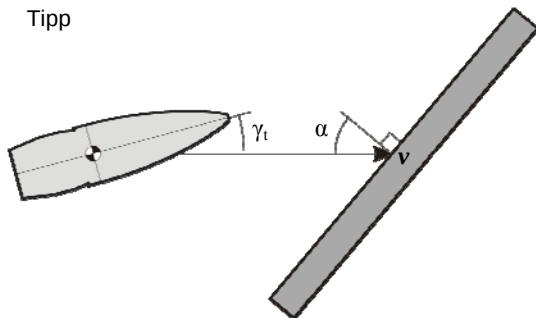
Det finns alltid en viss pendlingsrörelse i banan hos utskjutna projektiler som beror av vapen, skjutavstånd, pipslitage, räffelstigning, projektilens stabilitet mm. Normalt är snedställningen störst nära mynningen för att sedan successivt dämpas på större avstånd. Projektilens snedställning vid anslag mot ett mål kan märkbart påverka penetrationen. En snedställd projektil tenderar också att vridas ytterligare på grund av snedkrafter vid anslag vilket kan medföra att projektilen bryts sönder eller välter. Båda dessa effekter ger en minskad penetrativ förmåga hos projektilen. Ur skyddssynpunkt kan den varierande snedställningen innebära att skyddsmaterialet vid utprovning (vanligtvis korta avstånd) kan förefalla bättre än det verkligen är (vanligtvis långa skjutavstånd).

Projektilsnedställningen definieras enligt Figur 1 där γ är vinkeln mellan projektilens längdaxel och hastighetsvektorn (projektilens snedställning) och α är vinkeln mellan projektilens hastighetsvektor och målets normal. Vid ett vinkelrätt anslag ($\alpha = 0$) sammanfaller hastighetsvektorn med målets normalriktning och γ är den enda vinkeln att ta hänsyn till. Vid gränsvinkelskjutningar har målet en normal skild från hastighetsvektorn ($\alpha > 0$). I detta fall delas γ upp i komponenterna tipp γ_t och gir γ_g , se Figur 2.

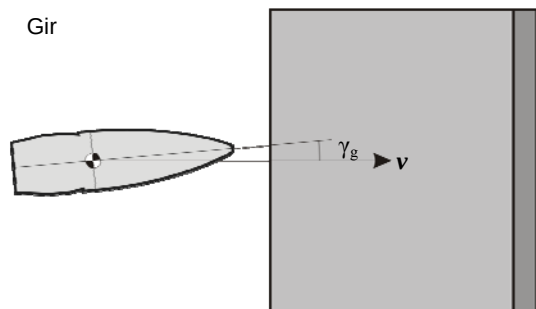


Figur 1. Projektilens snedställning.

Tipp



Gir



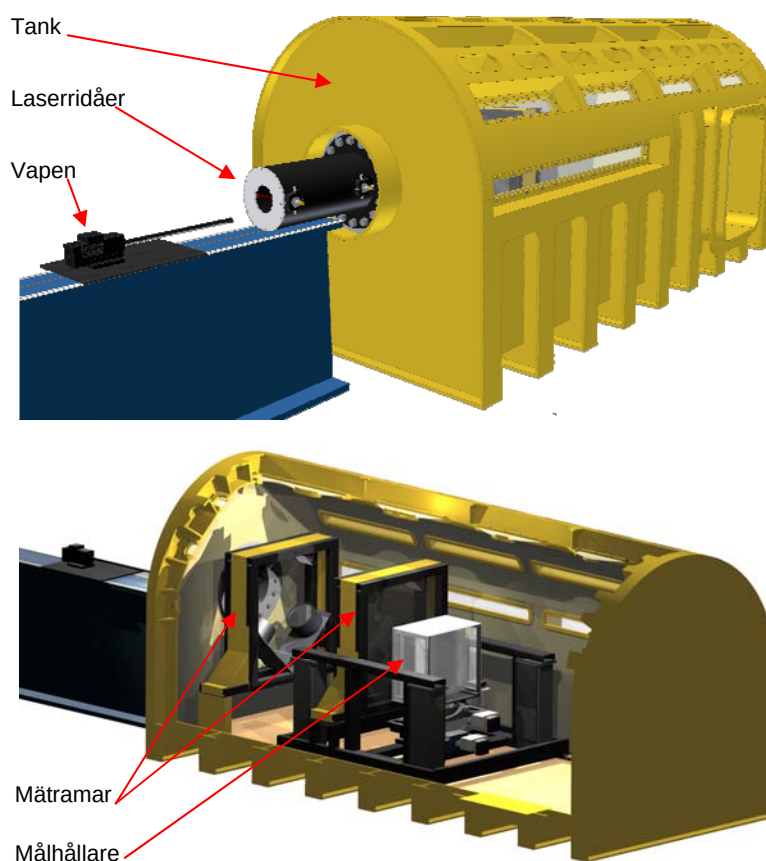
Figur 2. Definition av tipp och gir.

Effekten av en projektilsnedställning på en skjutserie kan vara helt avgörande för resultatet då det är en slumpmässig felkälla i serien och samtidigt kan ge upphov till svårförklarliga skillnader mellan skjutserier. En vanlig metod för att göra gränshastighetsskjutningar är V50 metoden där man försöker skatta hastigheten där sannolikheten för genomslag är 50 %, för ytterligare information se [2]. För en sådan skjutserie är det nödvändigt att hålla alla parametrar förutom anslagshastigheten så konstanta som möjligt för samtliga skott. Vid försök där den ballistiska skyddsförmågan provas kan eventuell projektilsnedställning resultera i att materialen verkar effektivare som skyddsmaterial än vad som verkligen är fallet. För flertalet internationella skjutstandarder gäller därför att ett skott förkastas om det har en större snedställning än 5° [6], 1° [7] samt 5° för splittersimulatorer och 3° för projektiler [8].

3 Mätsystem för projektilers snedställning

3.1 Funktion

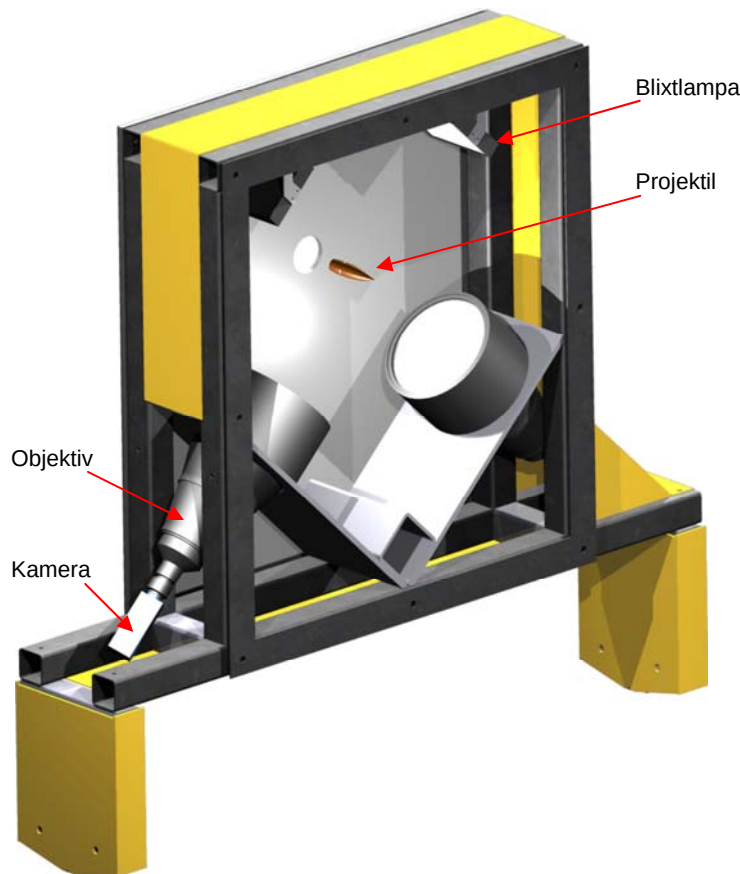
Figur 3 visar ritningar över finkaliberanläggningen. Vapnet är placerat på en balk med skjutriktning in mot en tank där två mätramar samt målhållare är monterade. På utsidan av tanken framför vapnet finns två laserridåer för triggfunktion monterade på ett bestämt avstånd emellan. Den första mätramen är ställd på längsgående räls parallella med skottlinjen och kan låsas i önskad position. Den andra ramen är tillsammans med målhållaren monterad på en vagn som även den är ställd på rälsen och är justerbar i position samt låsbar. Avståndet mellan de två ramarna kommer att kunna varieras för att kunna användas för olika projektiler i ett stort hastighetsintervall. Avståndet mellan ramarna och målet kommer att vara så litet som möjligt, men begränsas nedåt av ramarnas samt målhållarens utsträckning i skjutriktningen.



Figur 3. Ritningar över finkaliberanläggningen.

Varje mätram innehåller två kameror och tillhörande blixtlampor som avbildar projektilen som skuggbilder i två vinkelräta projektioner, se Figur 4. Tidpunkterna då bilderna tas bestäms av styrelektronik med triggtider från laserridåerna samt avstånd mellan ridåerna och till mätrarna som indata. Totalt tas fyra bilder vid två tidpunkter och från dessa beräknas sedan projektilens snedställning och dess medelhastighet mellan mätrarna. Målet är att även periodtiden för projektilens svängningar skall kunna bestämmas. Avsikten är att med hjälp av periodtiden kunna extrapolera projektilens snedställning till

anslagsögonblicket. Projektilens hastighet kan också beräknas utifrån passagen genom laserridåerna. Detta kan utnyttjas för att extrapolera projektilens hastighet till anslagsögonblicket, med hänsyn taget till luftbromsningen.



Figur 4. Mätram med kameror, objektiv, blixtlampor och projektil.

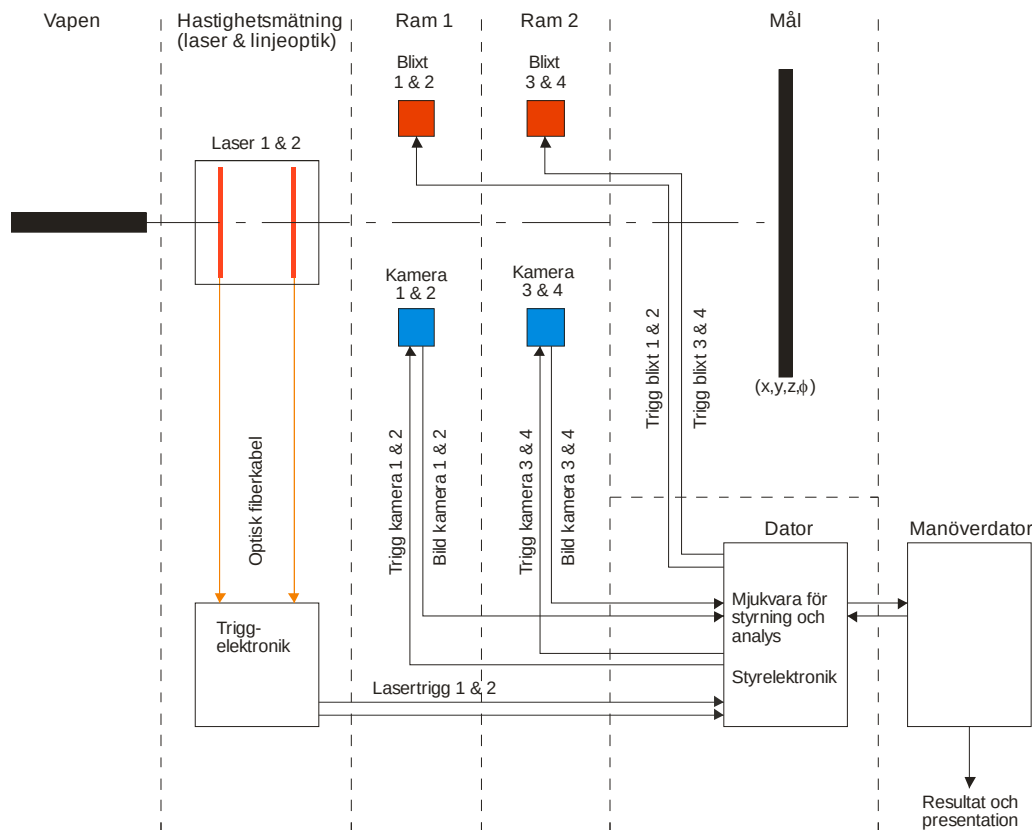
Enligt den ursprungliga planen [1] konstruerades systemet för att kunna möta följande krav.

- Projektilstorlek ($d \times l$): 1x1 till 25x100 mm²
- Hastighet: 0 m/s – 2000 m/s
- Noggrannhet: hastighet 1 %, snedställningsvinklar 0.1°

Den minsta projektilstorleken 1x1 mm är endast möjlig att använda vid låga hastigheter (~50 m/s) eftersom rörelseoskärpan i bilden annars blir för stor i förhållande till projektilens längd. Den maximala projektilstorleken är på gränsen till vad systemet kan tänkas klara av eftersom bildfältet är av samma storleksordning som projektillängden.

Systemet är än så länge testat vid hastigheterna omkring 150 och 800 m/s men bör klara betydligt högre hastigheter kanske ända upp till 2000 m/s.

Noggrannhet vid bestämning av hastigheten beror i huvudsak på hur noggrant det går att mäta in avståndet mellan mätramarna. Den tekniska lösningen för att praktiskt effektivt kunna göra denna inmätning är ännu ej klar. Noggrannheten i beräkningen av snedställningsvinklar är beroende av projektilstorlek, bildupplösning, ljusförhållanden och rörelseoskärpa och kan troligen inte uppfyllas för alla fall med nuvarande prestanda på utrustning.



Figur 5. Schematisk beskrivning av systemet.

3.2 System och komponenter

Figur 5 visar en schematisk beskrivning av systemet och dess komponenter.

Systemet består av ett följande komponenter:

- 4 st Sony Vision SX-910 digitalkamera, valbar upplösning upp till 1376x1024 pixlar (här används 1024x1024 pixlar).
- 4 st Sill 5LPJ2716 telecentriskt objektiv, bildfält 125x95 mm², fokusavstånd 270 mm.
- 4 st LATAB Backlights PAD7 blytlampor, brinntid 1 µs med tillhörande drivdon.
- 2 st laserridåer för triggnings och hastighetsmätning. Latronix LD6-635L samt optik från Melles Griot. Ny optik som breddar laserridåerna är under uppbyggnad.
- Elektronik för lasertrigg. Laret Trigg PCP från HamLinco AB.
- 2 st pulsaggregat av typ för test av styrkort, kameror och blytlampor. TGP 110 från TTI.
- 1 st oscilloskop för test och "manuell" tidmätning. MTX 1054 från Metrix, 4 kanaler, ethernet för uppkoppling mot dator.
- Styrkort som triggar kameror och blytlampor. APCI1710 från ADDI-DATA GmbH.
- Dator PC Windows XP (32 bit).
- MATLAB version 2009a, Image Acquisition toolbox, Image Processing toolbox.
- Målhallare med fjärrstyrt positioneringsbord med fyra frihetsgrader.

- Riktlaser med positioneringsutrustning för upplinjeriing av vapen och mål. Helium Neon Laser 25 LGR 025-230 Green (543.5 nm) från Melles Griot.

Kamerorna är ur Sonys "machine vision"-serie vilken består av kameror för industriellt bruk med typiskt användning för övervakning, kontroll och mätning i processindustri. Kameran tar svartvita bilder och ansluts till en dator via firewire. För att kunna trigga kamerorna externt är de försedda med triggeringång. Då kamerorna triggas tas en bild av respektive kamera som överförs till datorn via firewire-gränssnitt.

Objektiven är telecentriska och av hög kvalitet. Telecentrisk innebär att objektiven har samma förstoring oavsett avstånd och för Sill 5LPJ2716 är bildfältet $125 \times 95 \text{ mm}^2$ och skärpan som bäst på 270 mm framför objektivet. Objektiven är försedda med bandpassfilter med centervåglängd 660 nm vilka är avpassade för ljuset som kommer från blixtlamporna. På så sätt blir systemet mindre känsligt för omgivande störljus.

Blixtlamporna är uppbyggda av röda lysdioder med en diffus plastskiva framför som utjämnar ljuset. Vid triggpuls till de specialtillverkade drivdonen levererar blixtlamporna en ljuspuls med varaktighet på en mikrosekund (1 μs).

För att trigga kameror och blixtlampor vid rätt tidpunkt registreras projektilens passage genom de två laserridåerna av ljusdetektorer. En ljusdetektor består av åtta fiberkablar placerade tätt samman i linje med laserridåerna. Fiberkablarna är kopplade till en elektronikbox (Laret Trig PCP). Elektroniken känner av om ljusintensiteten i någon av fibrerna ändras till följd av att projektilen passerar och ger då ut en triggpuls. Elektroniken är inställbar för olika känslighet för att kunna förhindra tjuvtrigg från t ex dammpartiklar.

Styrkortet APCII1710 är programmerad för två funktioner. "Ballistic" funktionen har till uppgift att starta kamerorna och trigga blixtlamporna vid rätt tidpunkt. Funktionen har som indata laserridåernas och ramarnas positioner samt signalerna från triggelektroniken. "Chronos" funktionen har till uppgift att mäta tid mellan två signaler med hög noggrannhet. Funktionen är ännu inte i bruk men kommer att användas för att bestämma projektilens medelhastighet mellan mätarmarna.

För att kunna uppnå ett så normalt anslag i målet som möjligt vid gränshastighets-skjutningar kommer en riktlaser att användas för upplinjeriing av vapnet samt injustering av målet. Vid gränsvinkelskjutningar behövs en korrekt normalriktning som referensvinkel.

Vid gränsskjutningar mot ett och samma mål är det önskvärt att enkelt kunna ställa in siktpunkten till ett på målet oskadat område. Med hjälp av den fjärrstyrda målhållaren kan målet förflyttas längs skottlinjen, åt sidan och vertikalt. Det går även att rotera målet i horisontalplanet vilket är speciellt användbart vid gränsvinkelskjutningar. Det finns på förslag är att montera ytterligare en kamera i tanken som är riktad mot målet. Denna skall användas som hjälp vid injustering av målet för att säkerställa att avstånden mellan träffpunkterna blir tillräckligt stora för att skotten skall kunna bli godkända.

Ett användargränssnitt skrivet i Matlab används till att ställa in styrkortet och kameror innan skott samt att ta emot bilder från kameror efter skott och spara undan dessa samt försöksdata på hårddisk. Matlab används även till bildbehandling samt till beräkning av snedställningsvinklar och hastighet. En utveckling av användargränssnittet för bildbehandling och beräkningar pågår.

4 Systemtest

4.1 Statiska försök

Systemets funktion har testats i ett antal statiska försök där bland annat kommunikationen mellan styrkort, kameror och blixtlampor samt dator har testats. Vid försöken triggades styrkortet med pulsaggregat istället för lasertrigg. Vid försöken uppdagades några brister som i sig är av mindre betydelse för anläggningens funktion men som på sikt ändå är önskvärt att eliminera. Initieringen av kamerorna vid uppstart är långsam vilket har att göra med kommunikation mellan kamerorna och Matlab. Ljuset från blixtlamporna har visat sig vara så svagt att kamerorna måste ställas in på maximal bildförstärkning samtidigt som bändaren på objektiven måste ställas på maximal öppning. Vid mätning av ljuset från blixtlamporna uppdagades ett fel på styrdonet till blixtparet placerade i ram 2. Signalen som erhöles visade på en dubbelpuls vilket antogs kunna ge dubbelexponeringar i de dynamiska försöken.

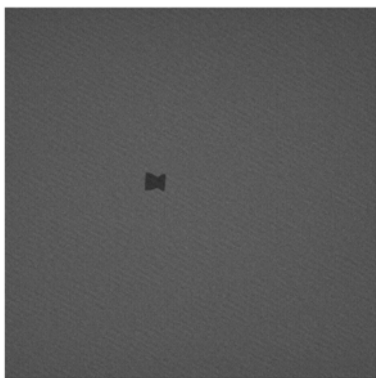
4.2 Dynamiska försök

Hittills har totalt fem lyckade dynamiska försök gjorts med två olika projektiltyper. I de två första försöken användes luftgevärskula kaliber 4,5 mm och i de tre nästkommande Skrp ptr 10 kaliber 7,62. Vapnen som användes var dels ett ordinärt luftgevär och dels en HS som är ett vapen speciellt framtaget för försöksverksamhet och har utbytbara pipor med olika kaliber.

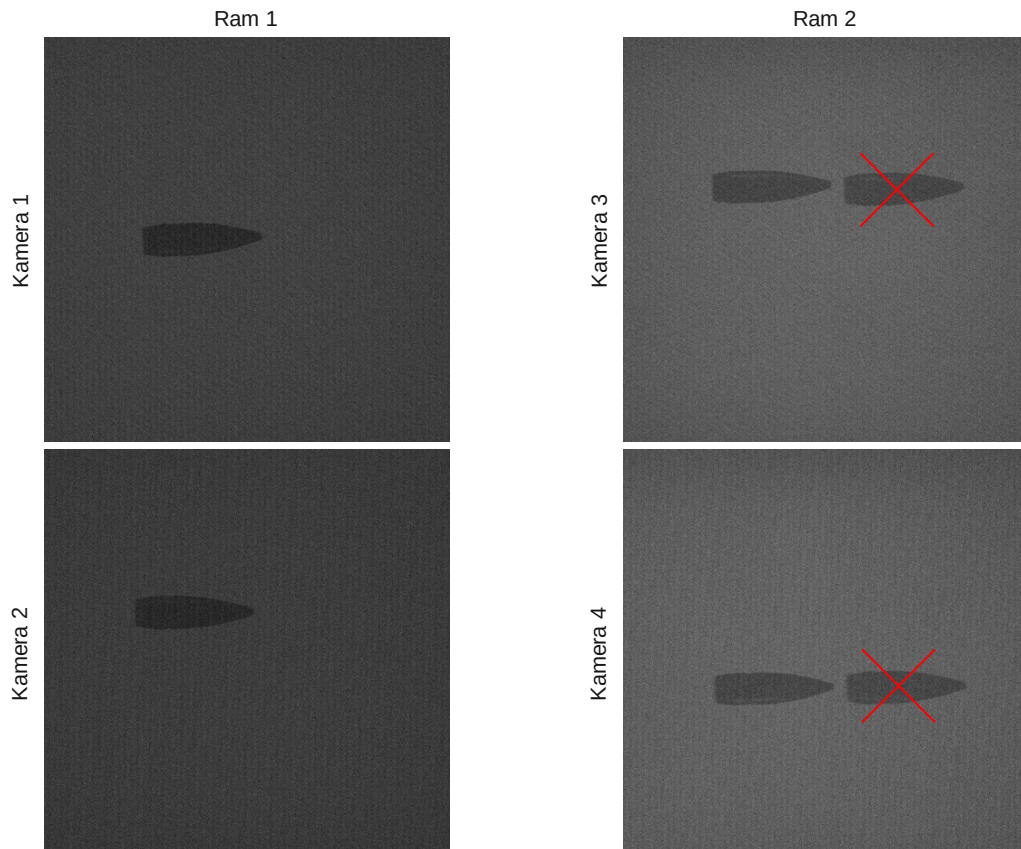
Några försök misslyckades då projektilen missade en eller båda laserridåerna. Det finns två orsaker till detta. Vid försöken fanns inte systemet med riktlaser utan upplinjeringen av vapnet fick göras visuellt för luftgeväret och med mynningslaser för vapnet kaliber 7,62. Laserridåernas utsträckning är som bredast 10 mm och vilket är lätt att missa. Ny optik som breddar laserridåerna finns men är ännu ej i bruk.

Vid beräkning av hastigheten användes oscilloskopmätning av tiden mellan signalerna från lasertriggsystemet. Avståndet mellan laserridåerna är 500 mm och tillsammans med de uppmätta tiderna beräknades projektilernas hastighet. Det är än så länge oklart hur projektilens position då den passerar laserridåerna påverkar triggtiderna och det är därför oklart hur noggrant hastigheten kan beräknas utifrån denna metod. Bildresultaten från de försök som har genomförts visar dock att metoden ger en förhållandevis god uppskattning av hastigheten.

Figur 6 visar en skuggbild av en luftgevärskula med en uppskattad hastighet av 158 m/s. I försöken användes endast kamerorna i den första mätramen. Projektilen har här en rörelseoskärpa på ca 0,16 mm dvs mindre än två pixlar (ca 3 % av projektillängden).



Figur 6. Skuggbild av en luftgevärskula med uppskattad hastighet 158 m/s



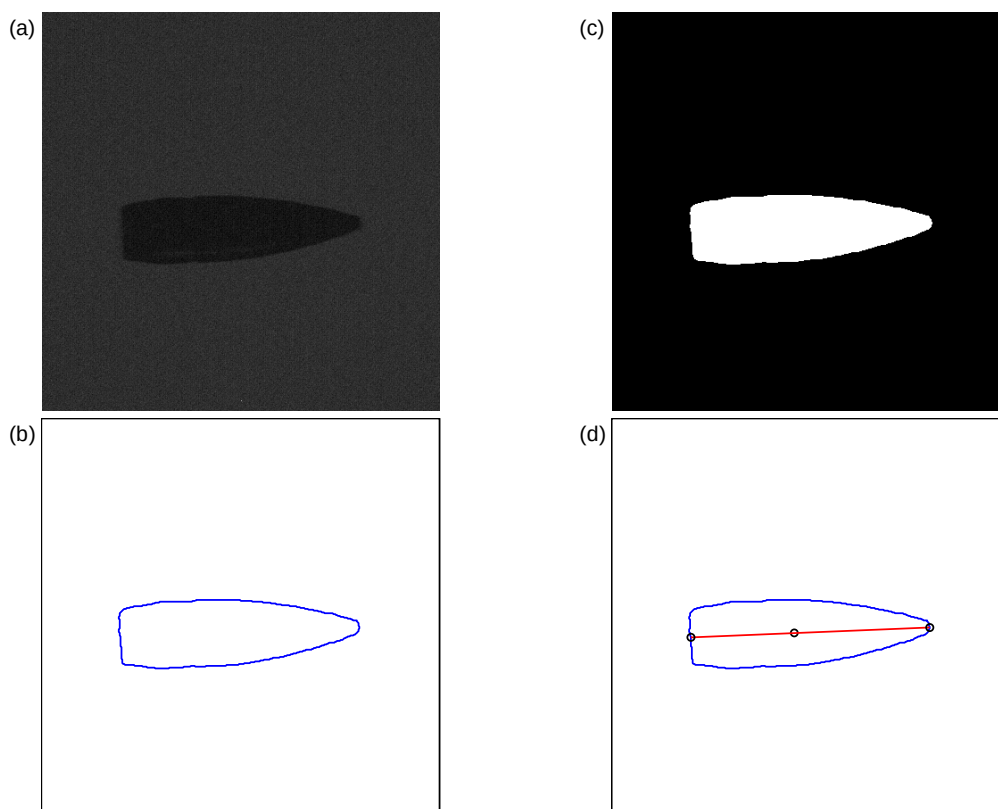
Figur 7. Skuggbilder av en Skrp ptr 10 med uppskattad hastighet 855 m/s.

Figur 7 visar skuggbilder av en Skrp ptr 10 där bilder togs med samtliga kameror. Hastigheten uppskattades här till 855 m/s. Bilderna från ram två gav som väntat dubbel exponering av projektilen. Observera att de överkryssade exponeringarna ej är giltiga. Dubbel exponeringar kan i vissa fall vara önskvärda för att kunna se vad som händer under ett kort tidsintervall men eftersom i detta fall varken tidsintervallet eller pulsbredden för den andra ljuspulsen inte går att styra så har man ingen nytta av detta. Det är det snarare så att det kommer uppstå problem vid lägre hastigheter då exponeringarna kommer att överlappa varandra vilket i sin tur försvårar den efterkommande bildanalysen. Projektilen har här en rörelseoskärpa på ca 0.8 mm dvs mindre än tio pixlar (även här ca 3 % av projektillängden).

5 Utvärdering av försök

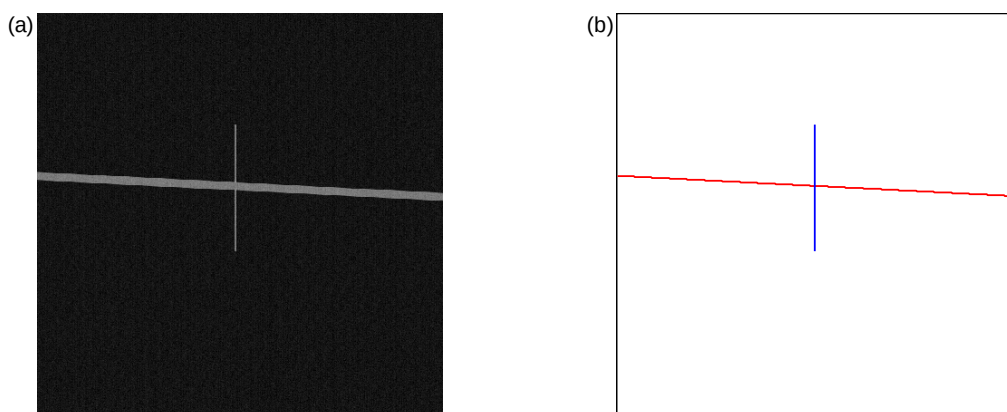
5.1 Bildbehandling

Figur 8 (a)-(c) visar i olika steg ett exempel på en fungerande metod för att ta fram projektilens centrumaxel, nos- och baspunkt. I (a) visas den ursprungliga bilden. Bilden filtreras med ett gaussfilter vilket genererar gradienterna av bildens grå nyanser. Metoden använder interpolation för att hitta de pixlar där normen av gradienten har lokalt maxima. Ytterligare en funktion sammanlänkar pixlarna till hela linjer. Av dessa linjer väljs den längsta slutna kurvan, se (b). Den slutna kurvan och dess innehåll görs om till en svartvit binär bild (c) som sedan kan analyseras med hjälp av Matlabs image processing toolbox. Med denna beräknas sedan det fyllda området yttreghetsaxlar varav den ena axeln antas gå igenom projektilens centrumaxel, se (d). Sedan approximeras nos- och baspunkter. Programmet beräknar även den fyllda ytans "centrumpunkt". Denna punkt kan endast antas sammanfalla med masscentrum för cylindriska och sfärsiska projektiler och liknande som består av ett material. För andra projektiler behövs kännedom om projektilens verkliga masscentrum eller om projektilens uppbyggnad så att masscentrum kan beräknas.



Figur 8. Bildanalys i olika steg: (a) ursprunglig bild, (b) kantidentifiering, (c) ytidentifiering samt (d) beräkning av projektilbildens centrumaxel mm.

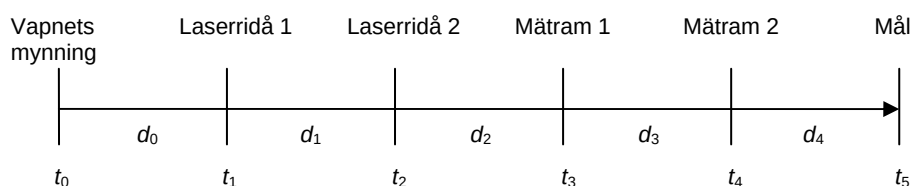
För att kunna sammanlänka bilderna från de två mätramarna behövs en referenslinje som går rakt igenom bildfälten i bägge mätramarna. Det behövs också en vertikal referenslinje i respektive mätram mellan vilka avståndet kan mätas noggrant. Detta problem är inte helt löst än men olika förslag är under utvärdering. I Figur 9 visas ett exempel där en konstruerad bild analyserats på liknande sätt som ovan. Exemplet visar att det med denna metod även är möjligt ta fram och särskilja horisontella och vertikala referenslinjer.



Figur 9. Exempel där en konstruerad bild har analyserats för att ta fram referenslinjer.

5.2 Beräkning av snedställning och hastighet

Avstånden mellan systemets olika delar längs skjutriktningen samt tidpunkter när projektilen passerar genom de olika delarna illustreras av Figur 10.



Figur 10. Systembeteckningar för avstånd (d) och tidpunkter (t).

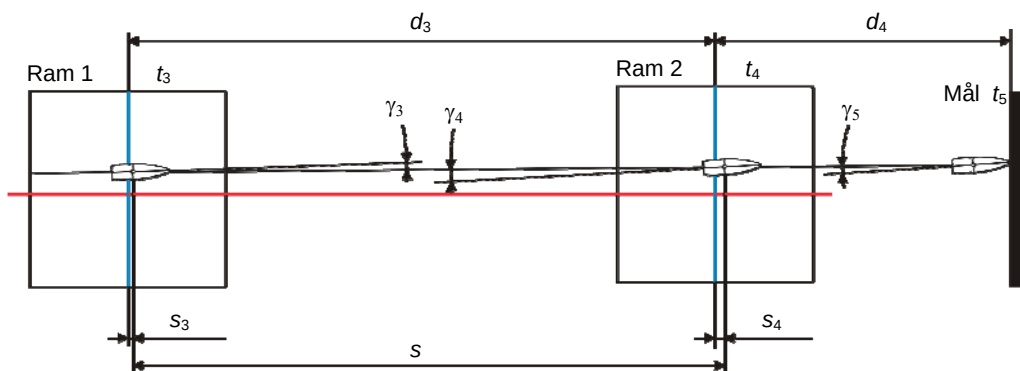
Utöver dessa beteckningar används γ_3 och s_3 respektive γ_4 och s_4 för snedställningsvinklar och positionsavvikelse mot referenslinje för ram 1 respektive ram 2.

Figur 11 illustrerar projektilens position och snedställning vid olika tidpunkter reducerat till rörelser i ett plan. Medelhastigheten mellan ramarna är förhållandevis enkel att ta fram och beräknas enligt

$$v_3 = \frac{d_3 - s_3 + s_4}{t_4 - t_3}. \quad (1)$$

För finkalibrig ammunition och vid måttliga snedställningar har luftbromsningen vanligen marginell inverkan på hastigheten på de korta avstånd som kan komma ifråga här. I det fallet kan sluthastigheten v med god noggrannhet anses vara lika med den beräknade hastigheten v_3 . För exempelvis små splittersimulatorer kan emellertid luftbromsningen spela en roll. I det fallet måste den beräknade hastigheten korrigeras med hjälp av beräkningar baserade på aerodynamiska data för projektilen, alternativt kan man utnyttja hastighetsmätningar vid andra positioner. Exempelvis kan medelhastigheten v_1 genom laserridåerna beräknad utifrån avståndet d_1 samt tiderna t_1 och t_2 användas, förutsatt att mätningarna av avstånd och tid är tillräckligt noggrann. Den slutliga hastigheten v_5 kan då approximeras enligt uttrycket

$$v_5 = v_3 \left(\frac{v_1}{v_3} \right)^{\frac{d_3 - s_3 - s_4 + 2d_4}{d_1 + 2d_2 + d_3 + s_3 + s_4}}. \quad (2)$$



Figur 11. Illustration av viktiga parametrar och referenslinjer (rött och blått).

För små snedställningsvinklar och små ändringar i projektilens snedställning mellan ramarna och om avståndet mellan ramarna respektive ram 2 och målet är litet kan den slutliga snedställningsvinkeln γ_5 troligen approximativt sättas lika med vinkel γ_4 . För större snedställningar kan denna approximation bli missvisande. I det fallet krävs separata försöksserier där projektilens pendling undersöks genom att dels variera de olika avstånden mellan vapnet och ramar och dels avståndet mellan ramarna. Exakt hur denna mätprocedur skall utformas är ännu ej bestämt.

Finkalibriga projektiler har vid normala hastigheter en pendlingsperiod som uppskattas till att var i storleksordningen 5 m, enligt formel presenterad i Englund [9]. Vid nerladdning av ammunition (mindre krutmängd), vilket ofta används vid gränshastighetsskjutningar, kan dock antas att både pendlingsperioden och amplitud påverkas. Av detta skäl är det därför även nödvändigt att undersöka projektilhastighetens inverkan på pendlingsrörelsen.

I verkligheten måste projektilens snedställning mot skottlinjen betraktas utifrån det tredimensionella rummet tillsammans med tiden. Figur 12 illustrerar i olika projektioner hur detta samband ser ut vid en fix tidpunkt. Låt koordinaten z vara den i systemet längsgående referenslinje som går igenom båda mätramarna. Koordinaterna x respektive y är den horisontella respektive den vertikala riktningen. Skottlinjens riktning betecknas som $\mathbf{w}$ och projektilens attityd i rummet som $\mathbf{u}$. Ett rimligt antagande är att vektorn för skottlinjen $\mathbf{w}$ avviker något från riktningen $(0, 0, z)$. Projektilens attityd i rummet $\mathbf{u}$ tillsammans med skottlinjen $\mathbf{w}$ ger då projektilens snedställningsvinkel γ enligt

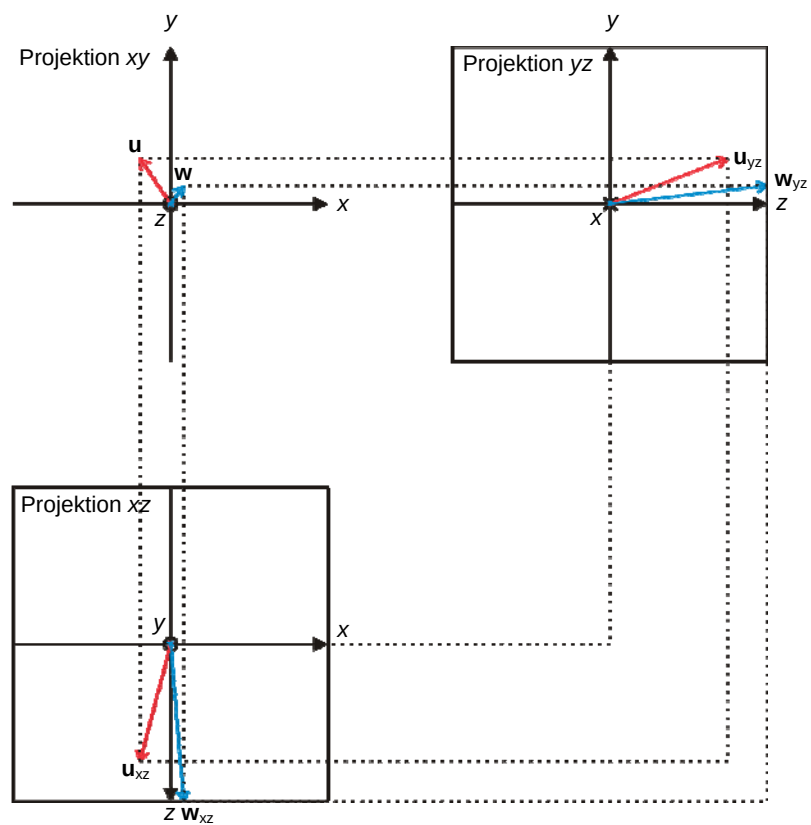
$$\cos(\gamma) = \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{w}}{|\mathbf{u}| |\mathbf{w}|}. \quad (3)$$

Det plan som spänns upp av $\mathbf{u}$ och $\mathbf{w}$ har normalriktningen $\mathbf{n}$

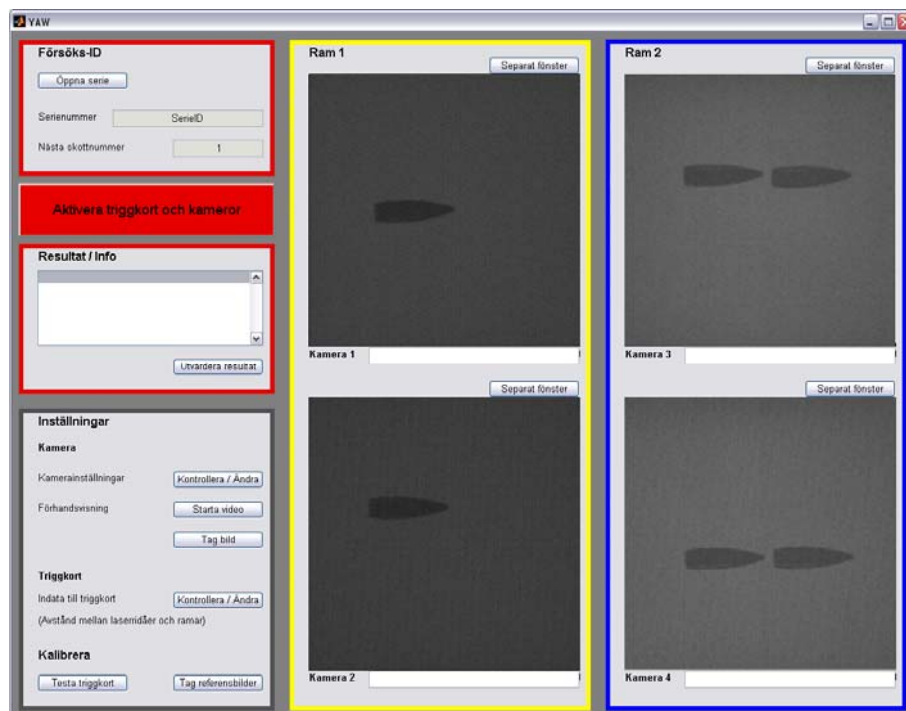
$$\mathbf{n} = \frac{\mathbf{u} \times \mathbf{w}}{|\mathbf{u} \times \mathbf{w}|}. \quad (4)$$

Både snedställningsvinkel γ och normalriktningen $\mathbf{n}$ kommer att variera med mätposition (tiden). Snedställningens rotation φ kring skottlinjen mellan ram 1 och ram 2 ges då av sambandet

$$\cos(\varphi) = \mathbf{n}_3 \cdot \mathbf{n}_4. \quad (5)$$



Figur 12. Illustration av projektilens snedställning mot skottlinjen betraktad i tre projektioner. Skottlinjens riktning visas som blå vektor och projektilens snedställning som röd vektor.



Figur 13. Fönstret för styrning av styrkort och kameror.

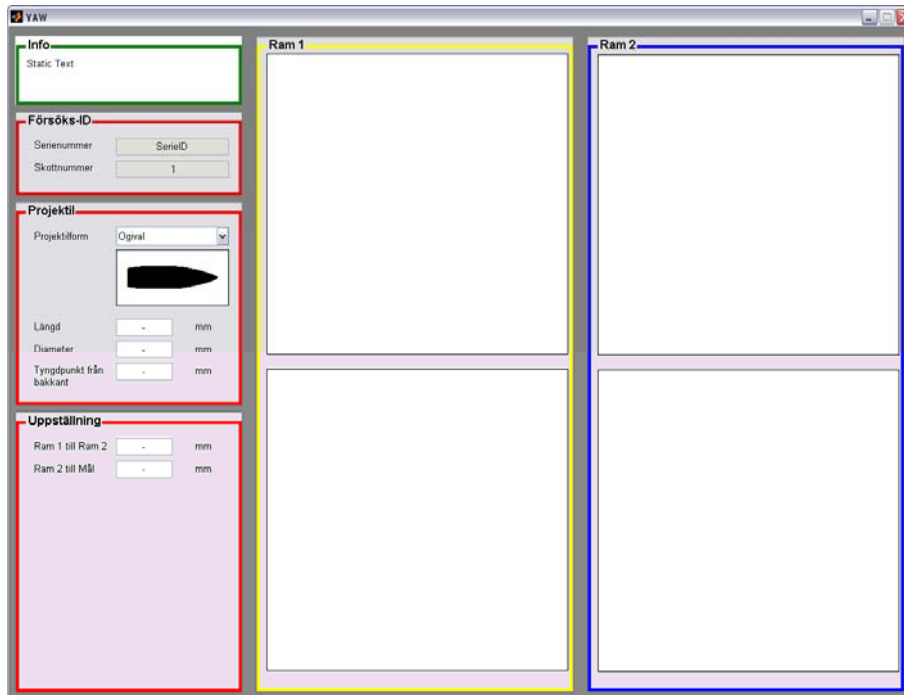
5.3 Användargränssnitt

Försöksanläggningens styrkort och kameror samt påföljande bildanalyser och beräkningar går att styra direkt från Matlabs kommandofönster via olika enskilda program skrivna i Matlab. För att underlätta hanteringen av försöken behövs emellertid användargränssnitt där de olika enskilda programmen finns implementerade. Slutmålet för användargränssnittet är att kunna ta emot bilder från kamerorna, analysera dessa och beräkna hastighet och snedställning för varje skott samt att beräkna exempelvis gränshastigheter som V50 för en hel skottserie. Metoderna för detta finns implementerade i olika program men det behövs en del insatser för att samtliga program skall kunna implementeras i användargränssnittet.

Figur 13 visar det nuvarande utseendet på fönstret för styrning av styrkort och kameror. I fönstret finns följande funktioner. Vid start av användargränssnittet initieras styrkort (i bilden triggkort) respektive kameror och dess indata (exempelvis avstånd respektive bländaröppning) ställs in enligt sparade värden från tidigare skott. I menyerna för inställningar kan man ändra indata vilket bland annat är aktuellt då man ändrar ramarnas positioner. Här finns också möjligheter att testa styrkort och kameror.

Det som måste göras då en ny skottserie påbörjas är att skapa en identitet för det aktuella skottet vilken består av skottserienummer och löpande skottnummer. Man kan här välja en ny skottserie alternativt fortsätta en redan påbörjad serie som sparats i en separat fil. Vid återstart och efter att ha utfört ett försök ställs alltid det aktuella skottserienumret samt nästkommande skottnumret in.

Vid ett försök aktiverar man styrkort och kameror vilka då väntar på triggsignalerna från lasertriggsystemet. Programmet kontrollerar med jämna mellanrum om kamerorna har mottagit bilder och efter skott då bilder finns överförs dessa till datorn och sparas. I fönstret finns också möjlighet att öppna nästa fönster för bildanalys och beräkningar.



Figur 14. Fönster för bildanalys och beräkningar av hastighet och snedställning.

Nästa fönster, Figur 14, för bildanalys och beräkningar av hastighet och snedställning är under utveckling och saknar en del funktioner. Program för bland annat beräkning av hastighet och snedställning är ännu inte implementerade. (Huruvida beräkningsdelen skall ingå i fönstret eller om denna skall ingå i ett separat fönster är ännu ej bestämt.)

I fönstret finns en meny för skottidentitet men det saknas än så länge en knapp för inhämtning av bilder från det skott som skall analyseras. I nästa meny kan man välja vilken typ av projektil som är aktuell t ex projektiler med ogival nos, med konisk nos, sfäriska projektiler och splittersimulatorer som FSP och cylindrar. Projektilens längd och diameter kan eventuellt vara användbara för att förbättra resultaten från beräkningarna. Finkalibrig ammunition består ofta av flera material och det kan därför vara aktuellt att använda den verkliga tyngdpunkten som indata. Det finns ytterligare en meny för avstånd i försöksuppställningen. Bildanalyser kommer att göras för både referenslinjer och projektil.

6 Planerad verksamhet

Det som återstår för att göra försöksanläggningen praktiskt användbar är följande.

- Montera en riktlaser för upplinjering av vapen och mål.
- Bredda laserridåerna för att öka möjligheterna till trigg.
- Utveckla och praktiskt införa en metod för att få in referenslinjer i bilderna alternativt i separata referensbilder.
- Utveckla en metod för att uppskatta pendlingsrörelsen.
- Utveckla metoder för att bestämma den slutliga snedställningen och hastigheten då projektilen når målet.
- Fastställa standard för hur mottagna data skall sparas.
- Utveckla användargränssnittet med fler funktioner till ett fungerande verktyg för gränsskjutningar.

Det som sedan återstår är att utföra slutliga test av systemet tillsammans med beräkningar. Dessa bör göras med olika projektiler och vid olika hastigheter. På sikt finns också önskemål om att kunna ersätta de befintliga blixterna med nya som ger högre ljusintensitet och eventuellt kortare blixttider.

7 Referenser

- [1] I. Eriksson och M. Elfsberg, "Lägesrapport avseende utrustning för rationell uppmätning av projektilsnedställning", FOI-R--1957--SE, 2006.
- [2] A. Tyrberg, M. Nilsson och J. Ottosson, "Standardiserat förfarande vid bestämning av gränshastighet för skydd, utgåva 0.9", FOI-R--2351--SE, 2007.
- [3] M. Nilsson, "Lägesrapport: Underlag för framtagning av standard för gränshastighetsskjutningar", FOI-R--1728--SE, 2005.
- [4] J. Ottosson, "Lägesrapport systemvärdering", FOI Memo H256, 2005.
- [5] M. Hartmann, "Hotdatabas - Teknisk prestanda", Stockholm, FOI, FOI-R--2658--SE, 2008.
- [6] "Department of Defense test method standard. V50 ballistic test for armor. ", MIL-STD-662F, Department of Defense, USA, 1997.
- [7] "Test procedures for armour perforation tests of anti-armour ammunition", STANAG 4164, Edition 2, NATO, 1998.
- [8] "Ballistic test method for personal armour materials and combat clothing", STANAG 2920, Edition 2, NATO, 2003.
- [9] C.-E. Englund, "Sammanställning av teori och resultat från undersökningar av stabilitet och aerodynamiska koefficienter hos friflygande projektiler", Stockholm, FOA, FOA C 20690-2.1, 1987.