



AKADEMIN FÖR TEKNIK OCH MILJÖ
Avdelningen för industriell utveckling, IT och samhällsbyggnad

Jämförelse av metoder för att återskapa kameraparametrar i gamla flygbilder

Erik Sääf

2014

Examensarbete, Grundnivå (kandidatexamen), 15 hp
Lantmäteriteknik
Lantmätarprogrammet, teknisk inriktning

Handledare: Yuriy Reshetyuk
Examinator: Stig-Göran Mårtensson
Co-Examinator: Markku Pyykönen

Förord

I och med detta examensarbete avslutar jag min tre år långa lantmäteriutbildning med teknisk inriktning, på högskolan i Gävle. Först vill jag tacka min handledare på högskolan, Yuriy Reshetyuk, som hjälpt till med kunskap och guidning gällande examensarbetet. Hans kunskaper inom området har gjort en annars svår uppgift, enklare att slutföra. Jag vill även tacka Håkan Ågren och Anders Bygren som varit handledare och ställt upp med material till arbetet samt kunskap. De har på daglig bas försökt ge svar på många ofta svåra och komplicerade frågor. Tack till familj och vänner som stöttat mig under de tre åren på utbildningen. Ett stort tack till Elin Lind och Ted Spring som bidragit till att slutföra detta examensarbete. Slutligen vill jag tacka alla personer på "J3" som hjälpt till under de veckor jag suttit på lantmäteriet.

Erik Säaf

Sammanfattning

Till miljöanalyser går det att använda ortofoton från olika år för att göra jämförelser och se förändringar i miljön. Lantmäteriet har ett arkiv med flygbilder från 1930 fram till nutid. Med hjälp av självkalibrering är det möjligt att skapa ortofoton av de äldsta av dessa bilder som saknar data gällande kamera. Data för kameran som använts är nödvändig för att skapa ortofoton. Syftet med studien är att undersöka metoder för att återskapa kameraparametrar för den inre orienteringen i gamla flygbilder från 1940-talet. Genom att undersöka vilka metoder som finns är det också möjligt att se vilken som lämpar sig bäst vid ortofotoframställning för bilder fotograferade före 1950. Studien har använt två områden; Eslöv och Kärna med omnejd. Dessa två områden består av 25 flygbilder vardera. Kontrollpunkter har mätts in för att fastställa en kvalitet i bilderna. Arbetet har utförts i Applicationsmaster, ett program från Trimble. Självkalibrering under blockutjämning har utförts på båda områdena där olika förutsättningar satts. Kvadratisk medelvärde (RMS) i plan har fastställts för de olika utfallen och jämförts. De två bästa resultat från blockutjämning för Kärna har använts för att skapa slutliga ortofoton för att jämföras med ett modernt ortofoto. Blockutjämnningen visar att självkalibrering med kamerakonstant och felteckningskurva ger bäst resultat. Att använda en kamerafil med kameraparametrar som självkalibrerats för ett annat område visade en liten skillnad. Om självkalibrering ej utförs på området ger kamerakonstant och felteckningskurva ett resultat som inte är långt ifrån sett till om endast kamerakonstant är tillgänglig. Jämfört med utgångsläget där endast kamerakonstant är tillgänglig syns dock att alla metoder som prövats ger ett förbättrat resultat. Lantmäteriet har en tolerans för historiska ortofoton i slutliga ortofotot som är ett RMS i plan på 2 m. Det ortofoto som skapats under arbetets gång har i plan ett RMS som är 1,2 m. Trots att ett fåtal kontrollpunkter har använts vid kontroll av slutligt ortofoto går det att säga att självkalibrering är en bra metod för att göra gamla flygbilder användbara för miljöanalyser.

Abstract

In order to perform environmental analyses, it is possible to utilize orthophotos from different years to do comparisons and detect environmental changes over time.

Lantmäteriet, the National Land Survey of Sweden, has archived aerial photographs since the year of 1930. With the help of self-calibration it is possible to produce orthophotos from these photographs which otherwise lack camera data. Camera data is necessary to produce orthophotos.

The purpose of this study is to investigate different methods to re-create camera parameters for the interior orientation in old orthophotos from the 1940s. By investigating which methods that exist, it is possible to determine which one is the most viable in the production of archival orthophotos from photographs taken before 1950. This study has evaluated two areas, Eslöv and Kärna and the surrounding areas. These areas are covered by 25 aerial photographs. Ground control points have been used to determine the level of quality of the photographs.

The two best results from the block adjustment for Kärna have been used to produce archival orthophotos, which has been used for comparison with new orthophotos. Lantmäteriet has a tolerance of 2 m root mean square (RMS) in level for archival orthophotos. Block adjustment has shown that performing self-calibration with the camera constant and information on lens distortion gives the best result. The study shows that all the different methods that have been tested gives an improvement in result compared to only having the camera constant and not performing self-calibration. The best orthophotos of this study achieved a RMS of 1.2 m in plane. Although a low number of check points were used for control of the final orthophoto, this study shows that self-calibration is a good method for making old photographs useful.

Innehåll

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte/frågeställningar	1
1.3 Självkalibrering	2
1.4 Tidigare studier	3
2 Material och metod	5
2.1 Material	5
2.2 Metod	5
2.2.1 Datainsamling	6
2.2.2 Databearbetning	6
2.2.3.1 Blocktriangulering	7
2.2.3.2 Ortofotoframställning	9
3 Resultat	11
4 Diskussion	13
4.1 Framtida studier	15
5 Slutsats	17
6 Referenser	18
6 Bilaga 1. Kontrollpunkter ortofoton.	20
6 Bilaga 2. Kontrollpunkter i blockutjämnning för Eslöv.	21
6 Bilaga 3. Kontrollpunkter i blockutjämnning för Kärna.	22

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Användning av gamla flygbilder har på senare år blivit allt mer vanligt i och med ett ökat intresse för miljön. Lantmäteriet (u.å.a) har flygfotograferat Sverige sedan 1930-talet. Detta medför att material långt tillbaka finns tillgängligt för att analysera förändringar i miljön över tiden. Inom samhällsplanering är det viktigt att upptäcka förändringar, trender eller föroreningar i marken som kan hota eventuella byggnationer. Genom att skapa ortofoton av de gamla flygbilderna och jämföra dem med nya ortofoton över samma plats kan skillnader i miljön tolkas. Exempelvis hur ett vattendrag ändrat bana eller var en gammal bensinstation funnits, är möjliga användningsområden för historiska ortofoton.

Vid ortofotoframställning används data om kameran för att skapa inre orientering av flygbilderna, något som är nödvändigt för att generera ortofoton. De flygbilder som Lantmäteriet har arkiverade sedan 1930-talet är negativ och mikrofilm. Det är vanligt att data gällande kameraparametrar inte finns lagrade för äldre flygbilder. Att lagra kameraparametrarna gjordes av Lantmäteriet först efter 1950. Chandler och Clark (1992) skriver att kalibreringsdata som saknas för kameran kan lösas genom att använda en metod kallad självkalibrering, där de inre orienteringsparametrarna uppskattas med hjälp av minstakvadratmetoden.

1.2 Syfte/frågeställningar

Syftet är att undersöka metoder för att återskapa kameraparametrar för den inre orienteringen i gamla flygbilder från 40–50-talet. Flygbilderna som ska användas för studien är fotograferade över Eslöv med omnejd samt ett område över Kärna med omnejd. Programvaran som kommer att användas till studien har flera funktioner än just självkalibrering och därför har studien begränsats till att svara på följande frågeställningar:

1. Hur låg osäkerhet i plan har de färdiga ortofoton som skapats med hjälp av kameraparametrar erhållna via självkalibrering, jämfört med ett modernt ortofoto?

2. Hur låg är osäkerheten i de historiska ortofoton som skapats med hjälp av självkalibrering, jämfört med ortofoton där kamerakalibreringsdata finns tillgängliga?
3. Varför är en modell för självkalibrering mer lämpad än andra?
4. Är det möjligt att använda en kamera med kameraparametrar skapad via självkalibrering för ett område, till ett annat som fotograferats med samma kamera?

Avslutningsvis kommer förslag på hur resultat kan förbättras att presenteras samt förslag på vidare studier.

1.3 Självkalibrering

Självkalibrering är en metod för att korrigera systematiska bildfel, exempelvis deformationer (Klang och Reshetyuk, 2013). Med självkalibrering är det möjligt att inkludera felteckning och kameraparametrar som en del av lösningen vid blockutjämnning (Mikhail, Bethel och McGlone, 2001). Vanligtvis är de inre parametrarna för kameran bestämda och fixerade under blocktrianguleringsprocessen. Enligt Mikhail et al. (2001) gör detta att förenklade geometriska och stokastiska modeller kan användas vid självkalibrering, eftersom de fel som finns kvar ej är systematiska. Bildkoordinatmätningarna antas därför ha korrigerats för systematiska fel under blocktrianguleringsprocessen.

Enligt Match-AT:s manual krävs stödpunkter och konnektionspunkter för att utföra självkalibrering, något som Mikhail et al. (2001) stödjer. Med minstakvadratutjämnning är det enligt Mikhail et al. (2001) möjligt att vikta de olika parametrarna för att kontrollera och stabilisera lösningen. De påpekar dock att det krävs noggrann övervakning av standardosäkerheten hos residualerna för kontrollpunkterna.

Vid självkalibrering är det vanligt att använda extra parametrar för att korrigera för systematiska bildfel, exempelvis deformationer (Aguilar et al., 2013). Dessa extra parametrar är ett tillägg till minstakvadratmetoden som används vid självkalibreringen. Olika modeller med varierande antal extra parametrar finns för att lösa olika fel. Några av dessa modeller är Ebner, Brown och Bauer. Bauers modell har tre extra parametrar, två som bestämmer utsträckningen för affin deformation och en som uppskattar

symmetrisk felteckning. Ebners ortogonala modell är en matematisk modell med tolv extraparametrar som kompenserar för olika sorters systematiska fel. Fel som Ebners modell löser ut är bland annat felteckning, affinitet och förhållandet för deformation. I Ebners modell behöver fler stödpunkter användas än i Bauers modell. Detta beror på att fler extraparametrar beräknas i den förra. Enligt Cramer (2002) kan Ebners modell med fördel kombineras med en felteckningskurva och ge ett bra resultat. Browns fysiska modell har fjorton extraparametrar och kompenserar för linjära och icke linjära förvrängningar av filmen och linsen.

1.4 Tidigare studier

Hos de tidigaste studierna rörande självkalibrering har fokus mestadels varit på slutprodukten, en 3D-modell, istället för självkalibrering. Fokus på självkalibrering och dess effekter på historiska bilder har berörts främst på senare tid då de blivit intressanta som underlag till miljöanalyser. Flera olika programvaror nämns för att utföra självkalibrering. Under 90-talet utvecklades programmet General Adjustment Program (GAP) för att utföra självkalibrering med historiska bilder (Chandler och Clark, 1992). En funktion för att använda självkalibrering finns idag i de flesta programvarorna för fotogrammetri. Leica Photogrammetry Suite (LPS), och Photomodeler är programvaror vanligt förekommande i flera artiklar inom området.

För att veta osäkerheten för självkalibreringen krävs stödpunkter i terrängen. Cardenal, Delgado, Mata, González och Olague (2006) skriver i en artikel att självkalibrering är ett måste för att det ska vara möjligt att använda de historiska flygbilderna. Författarna lägger en stor vikt på användandet av kontrollpunkter och stödpunkter. För att få ett bra resultat menar författarna att antalet kontrollpunkter per stereopar är viktigt. De varnar även för att vid blockutjämnning ej utföra extrapolation av extraparametrarna i delar av bilder som är långt från stödpunkterna eller kontrollpunkterna då det kan försämra kvaliteten i ortofotot, något som även Aguilar et al. (2013) stödjer. Användning av väldefinierade naturliga stödpunkter kan med fördelaktigt resultat nyttjas enligt Schiefer och Gilbert (2007). De använder sig av PCI Geomatica för att utföra självkalibrering. Schiefer och Gilbert (2007) använder sig av flygbilder från 1947 har använt sig av 8 stödpunkter per stereopar.

Den första tydliga jämförelsen mellan olika modeller för självkalibrering utfördes av

Aguilar, Aguilar och Negreiros (2009). De ser självkalibrering som en självklar metod för att få fiktiva parametrar och visar på att olika modeller ger olika bra resultat. I sin studie använder de sig av modellerna: Bauer, Brown, Jacobsen och Ebner. Modellerna jämförs med fall där endast kamerakonstanten fanns tillgänglig. Om 12 eller 24 stödpunkter per stereopar gav bäst resultat testades också i studien. Testerna som Aguilar et al. (2009) utförde visade att Ebners ortogonala modell, vid användning av 24 stödpunkter, var den bästa. Metoden gav lägst medelvärden för osäkerhet, vilket var 0,1 m i plan och 0,1 m i höjd. Aguilar et al. (2009) påpekar dock att det sällan går att hitta 24 stödpunkter i ett stereopar och att 12 stödpunkter fortfarande ger ett godtagbart resultat.

Aguilar, Aguilar, Fernández och Mills gjorde 2013 en studie där de jämförde olika självkalibreringsmetoder för historiska bilder. Likt Aguilar et al. (2009) använde de sig av programvaran LPS för att utföra självkalibrering. De jämför till att börja med Bauer, Brown, Ebner, Jacobsen och det fall där endast kamerakonstant är tillgänglig. De utför även ett andra test där de använder de sig av ytterligare en modell, linsförvrängningsmodellen. Från dessa tester kommer Aguilar et al. (2013) fram till att endast 6 till 9 stödpunkter är nödvändiga per stereopar. Författarna belyser dock att 12 till 16 stödpunkter bör eftersträvas för bilder som är av sämre kvalitet. De påpekar även att de inte rekommenderar att använda resultaten från en självkalibrering till andra flygningar. De menar att varje flygning har olika förutsättningar och därför behöver en ny självkalibrering.

Resultaten från Aguilar et al. (2013 och 2009) visar att ingen modell är perfekt för alla bilder. Båda artiklarna har använt bilder från olika årtal och även olika antal stödpunkter. Utifrån detta har slutsatsen att ett lägre antal stödpunkter räcker för att få ett godtagbart resultat dragits.

2 Material och metod

2.1 Material

Material och programvaror för arbetet har upplåtits av Lantmäteriet, Gävle 2014.

- 25 Flygbilder över Eslöv och närliggande område.
- 25 Flygbilder över Kärna med omnejd.
- Textfil med 28 stödpunkter över Eslöv
- Textfil med 43 stödpunkter över Kärna.
- Inpho Applicationsmaster version 5.5.1.43272
- Inpho Match-AT version 5.5.1.43272

Inpho Applicationsmaster är en kommersiellt tillgänglig programvara från företaget Trimble. Applicationsmaster är huvudprogramvaran i Trimbles serie med fotogrammetriska programvaror, Inpho. Den integrerar Match-AT, Orthomaster och de andra fotogrammetriska programvarorna till en arbetsmiljö (Inpho , 2014). Genom att samla programmen kan arbetsflödet bli sömfritt då all data lagras i samma projektfil. Match-AT är inphos programvara för att utföra blocktriangulering. Applicationsmaster installeras lokalt på datorn och finns i tre olika versioner, full, lätt och utbildningsversion. Skillnaden mellan dessa är att den lätta främst är till för mindre företag och projekt. Exempelvis kan fullversionen hantera större områden med fler bilder jämfört med de andra versionerna.

2.2 Metod

De testytor som valdes för att utföra självkalibreringen var Eslöv med omnejd samt Kärna med omnejd (figur 1). Båda områdena har fotograferats samma år och med samma kamera. Eftersom de två testytorna fotograferats samma år minskar risken för att kameraparametrarna förändrats markant mellan de två flygningarna. Lika förutsättningar har eftersträvat för båda områdena. De största faktorerna som skiljer områdena åt är skicket på bilderna samt antalet stödpunkter. Att fler stödpunkter använts för området Kärna med omnejd är pga. att de bilderna är av sämre kvalitet.



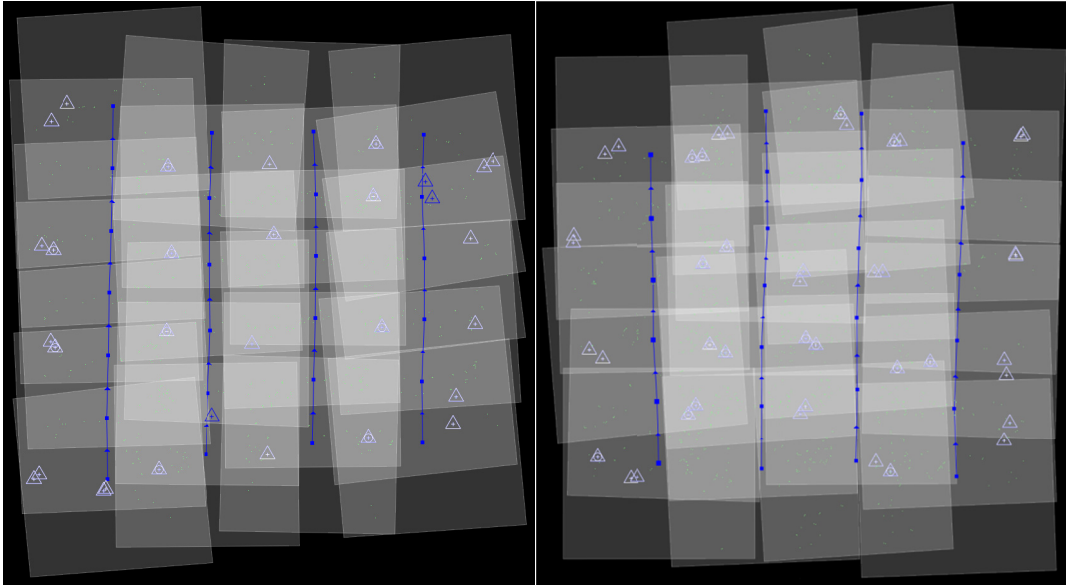
Figur 1. Eslöv med omnejd (vänster), Kärna med omnejd (höger). Källa: © Lantmäteriet [;2012/891].

2.2.1 Datainsamling

Lantmäteriet flygfotograferade Eslöv samt Kärna med respektive omnejd 1947. Data gällande respektive flygning samt kameran finns ej tillgängliga. De data som finns tillgänglig om respektive område är negativerna. På negativerna finns rammärken, kamerakonstant samt datum. Båda flygningarna skedde samma månad, Eslöv i början av juni och Kärna i slutet av juni. Bilderna har 0,5 m markupplösning. Dessa har blivit inskannade med en upplösning på 16 μm . Stödpunkter mättes av Lantmäteriet in fotogrammetriskt med hjälp av moderna ortofoton med 0,25 m markupplösning. Väldefinierade taknockar mättes in i RT90/RH2000.

2.2.2 Databearbetning

Respektive datasett innehöll 25 flygbilder täckande en yta på cirka 17500 ha. Den totala datamängden för bilderna i varje dataset var 11,1 GB. Båda de valda testytorna bestod av 4 stråk. Till båda dataset mättes stödpunkter med hjälp av en funktion tillgänglig i match-AT. För placeringen av dessa i förhållande till blocken för båda områdena se figur 2. Stödpunkter delas in i två grupper för kontroll av blocktrianguleringen, stödpunkter och kontrollpunkter. För att säkerställa lika förutsättningar till analysering placerades stödpunkter med så lika placering som möjligt över de båda områdena. Rekommendationer för bearbetning av data finns i manualen för Match-AT.



Figur 2: Stödpunkter i förhållande till bilder och stråk, över respektive block. Eslöv med omnejd (vänster), Kärna med omnejd (höger).

2.2.3.1 Blocktriangulering

Arbetsgången bygger på lantmäteriets rutinbeskrivning för framställning av historiska ortofoton. Rutinbeskrivningen följer de generella principerna som finns för att framställa ortofoton. För att framställa ortofoton behövs först bilderna, stödpunkterna, ”falska GNSS data” samt en kamerakalibreringsfil. Falska GNSS data används för att bilderna ska bli någorlunda georefererade mot varandra, vilket minskar tid för beräkningar och är ett krav av programvaran. Falska GNSS data innebär att varje flygbild blivit georefererat med några tusen meters osäkerhet. Detta tas sedan bort vid blockutjämnning. En Kamerakalibreringsfil finns som tidigare nämnts ej tillgänglig och därför skapas en ny till de två områdena som studien omfattar. De parametrar som finns tillgängliga för båda områdena är kamerakonstant och koordinater för rammärken, de förs in i den nya skapade kamerafilen. Koordinater för rammärken mäts digitalt in med utgångspunkt att centrum på bilden är origo.

Med kamerakalibreringsfilen skapad för båda områdena utförs inre orientering. Vilken utförs manuellt där rammärken mäts för respektive bild. För yttre orientering påbörjas en matchning som innebär att konnektionspunkter automatiskt lokaliseras och matchas i bilder som överlappar varandra. Antalet konnektionspunkter som skapas beror på övertäckning samt kvalitet i bilden. Felaktiga konnektionspunkter raderas manuellt. Efter matchning mäts alla stödpunkter in i blocket, därefter utförs blockutjämnning.

I blockutjämningsen vikts både de manuella och automatiska konnektionspunkterna till 0,03 mm. Alla stödpunkter och kontrollpunkter vikts till 0,4 m i plan och 0,6 m i höjd. Kvalitetsrapport som skapas vid blockutjämningsen för de båda områdena exporterats och lagras. De första resultaten blir alltså för blockutjämningsen där endast kamerakonstant och rammärkeskoordinater finns med i kamerafilen.

Efter utförd blockutjämningsen på båda områdena körs den igen, nu med självkalibreringsen samt Ebners extra parametermodell. Resultat för blockutjämningsen med självkalibreringsfunktionen exporterats för jämförelse med resterande resultat. Med resultat från båda områdena med och utan självkalibreringsen testats samtidigt om den självkalibrerade kameran från området Eslöv men omnejd går att använda på område Kärna med omnejd. Resultat från den blockutjämningsen sammanställs med de tidigare fyra resultaten.

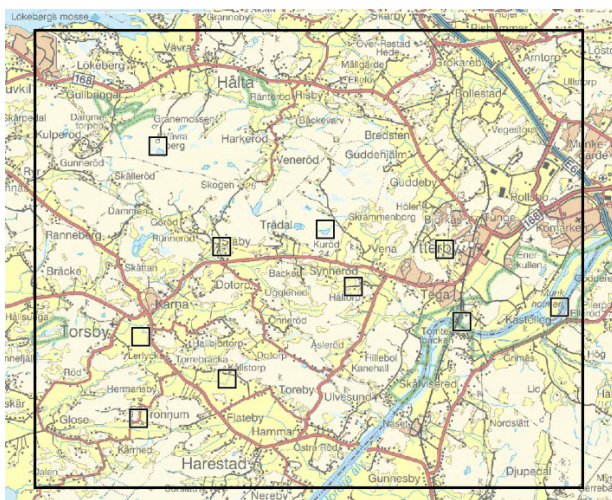
För att se om resultatet går att förbättra prövas ytterligare en metod för att framställa kameraparametrar. Ottoson, Ternryd och Torlegård (2004) skriver om svensk fotogrammetri under 1900-talet. Författarna skriver om en generell felteckningskurva som gäller för de Zeiss RMK kameror som använts av lantmäteriet under den rikstäckande fotograferingen av Sverige 1944 - 1953. Eftersom endast kamerakonstant tidigare varit tillgänglig utförs ännu en blockutjämningsen på område Eslöv med omnejd, där även felteckningskurvan tillsammans med kamerakonstanten används.

Slutligen testats även blockutjämningsen på båda områdena med självkalibreringsen där kamerakonstanten och felteckningskurvan funnits med. Enligt Cramer (2002) kan felteckningskurva kombineras med Ebners modell vid självkalibreringsen och ge ett bra resultat. Kvadratiska medelvärden (RMS) beräknas efter respektive blockutjämningsen.

2.2.3.2 Ortofotoframställning

Med alla blockutjämnings utförda används de två metoder som genererat bäst resultat från blockutjämnings för området Kärna med omnejd, till att framställa ortofoton. För generering av ortofoton är det för varje metod inom samma område, samma parametrar som används med respektive resultat från blockutjämnings. Detta innebär därför att de faktorer som tilläggs med blockutjämnings är desamma för varje metod och får därmed lika stor påverkan. Resultaten från blockutjämnings kombineras med höjddata i form av en digital höjdmodell (DTM), för att generera ortofoton. Den DTM som lantmäteriet använder för generering historiska ortofoton är enligt GeoLex skapad genom profilmätning samt digitalisering av höjdkurvor.

För att se hur bra dessa ortofoton är, jämförs de med moderna ortofoton. I och med att ett ortofoto är en 2D-produkt mäts kontrollpunkter endast på marken och kan därmed bäst bedömmas med ett RMS i plan. 10 kontrollpunkter utspridda över området mäts in i både nytt ortofoto och de två historiska ortofoton som skapats. För konfiguration av kontrollpunkter (figur 3).



Figur 3: Placering av kontrollpunkter över området för Kärna med omnejd. Källa: © Lantmäteriet [;2012/891].

Kontrollpunkterna består av väl definierade objekt i terrängen som tydligt syns i nya och gamla ortofoton. Viktigt är att de element som används som kontrollpunkter, ej flyttats i större grad, mellan tillfällena för de olika flygfotograferingarna. Exempel på element som valt som kontrollpunkter är stenar på mindre sjöar (figur 4).



Figur 4: Kontrollpunkter i gammalt och nytt ortofoto. Sten i sjö.

De nyaste ortofotona över Kärna med omnejd är fotade 2012, med 0,25 m markupplösning. Bilderna har skapats med en DTM genererad från den nationella höjdmodellen (NH). De nya bilderna har en osäkerhet i plan på 0,3 m.

2.2.4 Motgångar

Tester på att överföra arbetet från Match-AT till Erdas LPS 2014 påbörjades under arbetets gång. Problem uppstod då de projektfiler som skapas i Match-AT inte gick att överföra till Erdas. Genom kontakt med Erdas support gavs svaret att buggar finns i programvaran som gör att det inte är möjligt att få med all data när det skall flyttas mellan de två programvarorna. Flera tester utfördes för att se vad problemet är och efter flera tester visar det sig att varken inre orientering, yttre orientering eller matchning gick att överföra mellan programmen. Erdas support jobbar i dagsläget med problemet och försöker hitta en lösning så att överföring av projekt från matchAT till Erdas ska vara möjligt.

3 Resultat

Först kommer värden från blockutjämnningen och sedan resultaten från jämförelsen av ortofoto. För att förtydliga resultaten från blockutjämnningen har båda områdena delats upp i varsin tabell där respektive metod för att återfå kameraparametrar finns med.

Tabellerna bygger på de residualer som kontrollpunkterna gett i respektive blockutjämnning. Tabellerna 1 och 2 visar resultat för osäkerhet i plan (radiell) och höjd. Tabell 1 visar Eslöv med omnejd samt resultaten från de blockutjämnningar som utförts på området. Först med endast kamerakonstant tillgänglig, sedan med Ebners självkalibreringsmodell och sist Ebners självkalibreringsmodell där både felteckningskurva samt kamerakonstanten ingått.

Tabell 1. Kvalitet på blockutjämnning för Eslöv med omnejd.

Kameraparametrar	RMS (m)	
	Plan	Höjd
Endast kamerakonstant	1,9	7,2
Självkalibrering Ebner	1,6	4,6
Självkalibrering med kamerakonstant och felteckningskurva	1,7	2,8

Tabell 2 visar de sammanställda resultaten från blockutjämnings utförda på Kärna med omnejd. Första fallet är med endast kamerakonstanten tillgänglig. Andra fallet är där Ebners modell använts. Det tredje fallet visar resultat för när den självkalibrerade kameran för Eslöv används för Kärna. Det fjärde fallet är blockutjämnings där endast kamerakonstant och felteckningskurva använts. Den sista blockutjämnings visar resultat där en självkalibrering utförts på data med kamerakonstant och felteckningskurva.

Tabell 2. Kvalitet på blockutjämnings för Kärna med omnejd.

Kameraparametrar	RMS (m)	
	Plan	Höjd
Endast kamerakonstant	2,2	12,4
Självkalibrering Ebner	1,9	9,4
Eslövs självkalibrerade kamera	1,9	9,4
Kamerakonstant och felteckningskurva	1,6	8,9
Självkalibrering med kamerakonstant och felteckningskurva	1,4	6,7

Nedan följer en tabell med resultat från RMS för kontrollpunkter i ortofoto (tabell 3). Data om RMS bygger på observation av 10 kontrollpunkter utspridda över området Kärna med omnejd. De två metoder med bäst resultat från blockutjämnings vars historiska ortofoton har jämförts med ett nytt ortofoto över samma område, fotograferat 2012.

Tabell 3. Kvalitet för kontrollpunkter i färdigt ortofoto för Kärna med omnejd.

Typ av ortofoto -Metod	RMS _{plan} (m)
Historiskt ortofoto - Kamerakonstant och felteckningskurva	2,4
Historiskt ortofoto - Självkalibrering med kamerakonstant och felteckningskurva	1,2
Modernt ortofoto	0,3

4 Diskussion

Resultaten från blockutjämnings visar en förbättring av RMS-värdet när självkalibrering förekommer. För Eslövs område minskar RMS i plan från 1,9 m till 1,7 m medan det för Kärnas område minskar från 2,2 m till 1,4 m, när självkalibrering utförts på en kamerafil där kamerakonstant och felteckningskurva ingått. Utifrån beräkningar syns en förbättring både i plan och höjd. Även om självkalibreringen som metod förbättrar resultatet från blockutjämnings, syns att bästa resultat erhålls när Ebners modell kombineras med en felteckningskurva. Kramer (2002) skriver att felteckningskurva med fördel kan användas tillsammans med en matematisk modell, vilket Ebners modell är. Resultaten från detta arbete styrker därmed Kramers påstående. Felteckningskurvan, tillsammans med kamerakonstanten utan självkalibreringen, visar även att resultatet blir bättre än om endast självkalibrering utförs med hjälp av kamerakonstanten.

Lantmäteriet har en tolerans för blockutjämnings på 2 m RMS i plan. Nästan alla blockutjämnings har RMS-värden som ligger under den toleransen. Blockutjämnings över Kärnas område, där endast kamerakonstant var känd kameraparameter, var det enda fallet där toleransen inte klarades. Vid bearbetning av Kärnas område syntes det under blockutjämnings att detta område var av sämre kvalitet. För att få bra resultat krävdes fler stödpunkter jämfört med Eslövs område. Överlag var kontrollpunkternas residualer högre i höjd för Kärna. Delvis kan det bero på att bilderna fotade över Kärna hade sämre kvalitet. Detta syntes genom att i många bilder var svårare att utskilja väldefinierade objekt.

Studierna som Aguilar et al. (2013) utfört visar att ett RMS-värde på 1,3 m i plan är möjligt att uppnå med Ebners modell. Författarna har då använt sig av 9 stödpunkter per stereopar och har bilder från 1956. Nyare bilder bör vara bättre och ett högre antal stödpunkter per stereopar bör ge ett lägre RMS-värde. De egna testerna som utförts stödjer Aguilar et al. (2013) påstående om att självkalibrering är en metod som förbättrar RMS-värdet vid blockutjämnings. För Eslövs område där en självkalibrerad kamera skapad med Ebners modell använts gavs ett värde på 1,6 m i plan, vilket är relativt bra i och med att ett mycket mindre antal stödpunkter använts för hela området jämfört med vad Aguilar et al. (2013) använt. En faktor som påverkat resultaten är kvaliteten på rammärkena i bilderna. Rammärkena har syntes dåligt i bilderna jämfört

med bilder fotade efter 1950-talet. Detta får därför följer när rammärken ska mätas in för inre orientering.

Ebner modell har använts och gett bra resultat då RMS-värden i plan blivit godkända enligt Lantmäteriets tolerans på 2 m i plan. Eftersom endast Ebners modell är tillgänglig i matchAT skulle det vara av intresse att se om Browns modell skulle vara bättre lämpad. Ebners modell skrivs dock av Aguilar et al. (2009) som den mest lämpade modellen för självkalibrering, vilket ger mina resultat trovärdighet.

Den första frågan berör hur låg osäkerhet som går att få i det färdiga ortofotot jämfört med ett modernt ortofoto, när självkalibrering använts. Som nämnts tidigare uppnåddes relativt låga RMS-värden utifrån testerna i detta arbete. Detta trots att ett lågt antal stödpunkter använts, jämfört med de tester som Aguilar et al. (2009), Aguilar et al. (2013) och Cardenal et al. (2006) utfört. RMS-värdet går att påverka och få bättre genom att öka antalet stödpunkter. Genom att fördela stödpunkterna mer jämnt i blocket och i stereoparen skulle bättre resultat vara möjligt att uppnå. Att RMS-värdet i ortofotot blev lägre än det RMS-värde som blockutjämnningen visar är en indikation för att fler kontrollpunkter är nödvändigt vid kontroll av ortofotot. Detta för att få ett mer rättvist värde. Att RMS för ortofotot är lägre än RMS från blockutjämnningen kan vara ett tecken på att för få kontrollpunkter använts. Det kan även bero på att kontrollpunkterna i blockutjämnningen är taknockar inmätta i plan och höjd, medan kontrollpunkterna i ortofotot är punkter på marken. Var kontrollpunkterna finns i bilderna kan vara ytterligare en faktor som påverkar.

Den andra frågeställningen i arbetet handlar om huruvida ortofoton skapade med självkalibrering kan få ett resultat som är likvärdigt med de ortofoton där alla kameraparametrar är kända. Lantmäteriets flygbilder fotade före 1950-talet saknar data gällande kameraparametrar. Detta gör det svårt att jämföra resultatet från detta arbete med bilder från samma årtionde. Då Lantmäteriet har en tolerans för historiska ortofoton på 2 m i plan, som gäller för de historiska ortofoton där kända kameraparametrar existerar blir det detta värde som används som jämförelse, vilket har uppnåtts i detta arbete.

Den tredje frågeställningen berör huruvida en modell för självkalibrering är bättre än de andra. Match-AT innehåller endast Ebners 12 parameter modell för självkalibrering och därför kunde de olika AP-modellerna inte jämföras. Det hade varit intressant att prova Browns modell som är en fysikalisk modell, jämfört med Ebners modell som är en matematisk modell. Browns modell är i Applicationsmaster endast tillgänglig för bilder fotograferade med en digital kamera. Efter kontakt med supporten för Match-AT meddelar de att Browns modell inte är tillgänglig för bilder fotade med analog kamera eller är planerad att bli det.

Den fjärde och sista frågeställningen gäller om det är möjligt att använda en självkalibrerad kamera för ett område till ett annat område fotat med samma kamera. Aguilar et al. (2013) skriver i sin artikel att varje flygning medför specifika problem och att därför bör en ny självkalibrering utföras för varje område. Resultaten från denna studie visar att det går att få godtagbara resultat genom att använda en kamerafil skapad för ett annat område. Tiden mellan de två olika flygningar som självkalibrering använts på är förhållandevis kort. Flygningen över Eslöv skedde i början av juni och Kärna i slutet av samma månad. Normalt sett utförs en ny kamerakalibrering med några års mellanrum. Flygningar samma år bör därför inte innebära stora förändringar vad avser kameraparametrar. För att ta reda på om flygningar olika år kan använda samma självkalibrerade kamera kräver mer forskning.

4.1 Framtida studier

En rekommendation är att mer forskning bör göras inom området. Även fast självkalibrering visat sig vara en effektiv metod för att skapa kameraparametrar i flygbilder fotograferade före 1950 rekommenderas att fler metoder prövas, främst för de äldsta bilderna. De kan vara av betydligt sämre kvalitet jämfört med bilder från 1947 som använts i detta arbete. Äldre bilder kan innebära att fler stödpunkter är ett måste för att få bra resultat.

Ytterligare en anledning att utföra tester med andra metoder är för att se om det finns ett generellt systematiskt fel i alla bilderna. Resultaten från detta arbete visar att medeltalet på avvikelsen hos kontrollpunkterna för de båda områdena är positiv. Om fler områden skulle visa på samma tendens kan det innebära att korrigerigering är möjlig. Ebners modell har visat sig vara en fungerande modell för självkalibrering. Vidare forskning

rekommenderas för att ta reda på om Ebner även är en bra modell för en kamera med annan kamerakonstant. Aguilar et al. (2013) resultat visar att ingen modell för självkalibrering är bäst. Genom att pröva de olika AP-modellerna på områden med olika självkalibreringsmodell kan påståendet Aguilar et al. (2013) styrkas eller avvisas.

Det är av intresse att pröva huruvida en självkalibrerad kamerafil passande för ett område fotat ett år går att använda för ett område fotat ett annat år. GeoLex är Lantmäteriets visningstjänst för geografiska data. I GeoLex finns information lagrat gällande kamerakalibrering för flera analoga kameror. Dessa har kalibrerats med några års mellanrum, vilket skulle kunna stödja att en självkalibrerad kamera går att använda för två områden fotade olika år. Slutligen är det intressant att se hur lågt RMS-värde i plan som självkalibrering kan ge på ett större projekt med fler bilder, likt vad som normalt använts vid framställning av historiska ortofoton. Inga tester av självkalibrering på områden med ca 300 bilder fotade före 1950 har ännu prövats. Ett större projekt med fler bilder kan visa tydligare tendenser för hur stort antal stödpunkter som krävs för ett visst antal bilder.

5 Slutsats

De utförda testerna ger belägg för att självkalibrering med fördel kan användas för att erhålla kameraparametrar och sedan skapa ortofoton av bilder fotade före 1950.

Kvaliteten i ortofotot beror till stor del på antalet stödpunkter i förhållande till antalet bilder. Tidigare studier utförda gällande självkalibrering rekommenderar att ett högre antal stödpunkter behövs, än som använts för detta arbete. Genom att hålla antalet stödpunkter lågt, krävs mindre manuell hantering och arbetsprocessen går därmed snabbare. Resultaten av ortofotot blir en avvägning mellan kvalitet och tidsåtgång.

Lantmäteriets tolerans på 2 m i plan för historiska ortofoton är fullt möjligt att klara med självkalibrering. Vid kontroll av ortofoto konstateras för bästa metod ett RMS i plan på 1,2 m jämfört med ett modernt ortofoto. De moderna ortofoton har ett RMS i plan på 0,3 m. Detta arbete ger belägg för att det är möjligt att använda en kamerafil skapad med självkalibrering för ett område, till ett annat.

6 Referenser

Aguilar, M. A., Aguilar, F. J., Fernández, I., & Mills, J. P. (2013). Accuracy assessment of commercial self-calibrating bundle adjustment routines applied to archival aerial photography. *Photogrammetric record*, 28(141), 96-114. doi: 10.1111/j.1477-9730.2012.00704.x

Aguilar, M. A., Aguilar, F. J., & Negreiros, J. G. (2009). Self-calibration methods for using historical photographs with photogrammetric purposes. *Anales de Ingeniería Gráfica*, 21, 33-40.

Cardenal, J., Delgado, J., Mata, E., González, A., & Olague, I. (2006). Use of historical flight for landslide monitoring. *7th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences, Lisbon, Portugal*. 129-138.

Chandler, J. H., & Clark, J. S. (1992). The archival photogrammetric technique: Further application and development. *Photogrammetric record*, 14(80), 241-247. doi: 10.1111/j.1477-9730.1992.tb00249.x

Cramer, M. (2002). *Investigations on long term stability of system calibration for direct georeferencing*. Stuttgart: University of Stuttgart

HMK-Fo (1994). *Handbok till mätningsskugörelsen, Fotogrammetri*. Gävle: Lantmäteriet.

Klang, D & Reshetuyk, Y. (2013) *Digital Photogrammetry Lecture 6 – Block adjustment*. Hämtad från <https://lms.hig.se>

Lantmäteriet (u.å.a). *Historiska Ortofoton*. Hämtat 12/03/2014 från <https://www.lantmateriet.se/Kartor-och-geografisk-information/Flyg--och-satellitbilder/Flygbilder/Historiska-ortofoton/>.

Lantmäteriet(u.å.b) *Ordlista*. Hämtat 08/04/14 från <https://www.lantmateriet.se/sv/Fastigheter/Andra-fastighet/Ordlista/#G>

McGlone, J., Mikhail, E., Bethel, J., & Mullen, R.(Eds). (2004) *Manual of photogrammetry*. Maryland: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.

Mikhail, E. M., Bethel, J. S. & McGlone, J. C. (2001). *Introduction to modern photogrammetry*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Ottoson, L., Ternryd, C. & Torlegård, K. (2004). *Svensk fotogrammetri och fjärranalys under 1990-talet*. Gävle: Gävle offset

Schiefer, E., & Gilbert, R. (2007). Reconstructing morphometric change in a proglacial landscape using historical aerial photography and automated DEM generation. *Geomorphology*, 88, 167-178. doi:10.1016/j.geomorph.2006.11.003

Trimble. (2014.a) Applicationsmaster (Version 5.5.1.43272) [programvara och manual]. Tyskland: Trimble

Trimble. (2014.b) Match-AT (Version 5.5.1.43272) [programvara och manual]. Tyskland: Trimble

6 Bilaga 1. Kontrollpunkter i ortofoton över Kärna.

Tabell B1. Skillnad i slutprodukt mellan historiskt ortofoto skapad med hjälp av självkalibrering från kamerakonstant och felteckningskurva, och modernt ortofoto.

Kontrollpunkter ID	Δx (m)	Δy (m)
1	0,6605	-1,1616
2	-0,0922	1,3154
3	-0,0701	0,0000
4	-0,8230	0,9876
5	1,3080	0,4391
6	0,2085	-0,2085
7	-0,2720	-1,0880
8	-0,2963	-0,1482
9	1,5917	0,5784
10	0,9634	0,9634
RMS		
	RMSplan	

Tabell B2. Skillnad i slutprodukt mellan historiskt ortofoto skapad med hjälp kamerakonstant och felteckningskurva, och modernt ortofoto.

Kontrollpunkter ID	Δx (m)	Δy (m)
1	-0,4171	-1,2720
2	-0,2573	0,5915
3	0,4873	1,3743
4	2,5939	-3,5869
5	1,5342	0,3793
6	-0,2615	-1,0438
7	-1,3731	-0,3790
8	-1,998	-1,4001
9	3,4415	-0,0682
10	2,3651	2,2127
RMS		
	RMSplan	

6 Bilaga 2. Kontrollpunkter för blockutjämnning för Eslöv.

Tabell B2. Koordinater för kontrollpunkter i blockutjämnning, område Eslöv med omnejd. Inmätta i RT90/RH2000.

Kontrollpunkter ID	x	y	z
1947_2505	6194419,456	1337205,532	48,798
1947_2508	6197730,276	1337155,516	89,887
1947_2511	6200559,812	1341048,228	100,353
1947_2512	6197618,915	1341173,169	75,074
1947_2513	6194970,193	1341005,998	69,202
1947_2514	6190278,735	1340753,615	71,351
1947_2516	6191352,764	1347870,540	93,607
1947_2518	6195109,587	1348332,853	116,399
1947_2519	6198260,749	1344651,581	81,806
1947_2520	6199552,789	1348039,543	103,526
1947_2522	6201337,711	1348128,986	98,246

6 Bilaga 3. Kontrollpunkter för blockutjämnning för Kärna.

Tabell B3. Koordinater för kontrollpunkter i blockutjämnning, område Kärna med omnejd. Inmätta i RT90/RH2000.

Kontrollpunkter ID	x	y	z
O47_4809	6425706.595	1261036.286	37.026
O47_4810	6425650.855	1260710.043	23.244
O47_4811	6422726.434	1261829.604	32.732
O47_4812	6422189.003	1261055.053	27.763
O47_4813	6419499.415	1261281.396	24.778
O47_4814	6419237.447	1261790.209	16.884
O47_4815	6417217.302	1260582.247	21.219
O47_4816	6417521.777	1260826.292	15.632
O47_4819	6419707.991	1264466.442	38.961
O47_4820	6419489.118	1264790.420	41.918
O47_4825	6427100.653	1265597.600	13.627
O47_4828	6426203.107	1267332.318	30.287
O47_4829	6415332.188	1267216.401	27.521
O47_4835	6418737.160	1267439.286	23.381
O47_4836	6418939.401	1268529.908	13.207
O47_4843	6415808.788	1257606.092	3.193