

# Opretning af arkæologiske udgravningsfotos med AirPhoto

Metoder og eksempler  
med udgangspunkt i Skelhøjprojektet



Februar 2003  
Kasper Lambert Johansen

## Indledning

AirPhoto er et computerprogram udviklet af Irwin Scollar til at oprette luftfotos, der ikke er taget præcist i lod (Scollar 2000 - <http://www.uni-koeln.de/~al001/>). Problemet med at arbejde med sådanne fotos er, at de ikke er målefaste. De kan ikke georefereres og flere fotos kan ikke sættes sammen, uden at der opstår fejl.

Det, som AirPhoto kan gøre, er at oprette dem, og princippet er i virkeligheden meget simpelt. Man indscanner et landkort over det område, som luftfotoet dækker, markerer genkendelige punkter på såvel luftfoto som landkort og foretager derefter en såkaldt transformation. Herved "vrides" luftfotoet ned over landkortet, således at referencepunkterne ligger over hinanden, og resultatet bliver et målefast luftfoto, der fremstår som var det fotograferet i lod. Det, der i virkeligheden sker, er en interpolation af luftfotoets pixelværdier efter nogle matematiske principper, der bygger den afbildede overflades karakter. Der anvendes derfor forskellige transformationsalgoritmer alt efter om det landskabet er tilnærmeligvist fladt, lettere kuperet eller med store højdeforskelle.

Det oprettede luftfoto kan nu alle de ting, som det skæve luftfoto ikke kunne. Det kan fx. georefereres i MapInfo, uden at der opstår fejl, og her bruges som baggrund for kortlægning på samme måde som en indscannet plantegning eller et landkort. Da det oprettede luftfoto er uden målefejl, giver det heller ingen problemer at have flere af disse åbnet i MapInfo på samme tid.

Dette indlæg omhandler, hvorledes ovennævnte egenskaber ved AirPhoto kan udnyttes med hensyn til almindelige udgravningsfotos. På samme måde som et luftfoto kan oprettes ved at finde paspunkter på et indskannet landkort, så kan almindelige udgravningsfotos oprettes ud fra faste målepunkter. De oprettede udgravningsfotos kan derefter georefereres i MapInfo og her bruges til at producere plan-/profiltegninger ved digitalisering. Løsningen er dermed et alternativ til almindelig felttegning eller et supplement til denne. Ligeledes er metoden en mulighed for at få væsentligt mere ud af de mange udgravningsfotos, som alligevel altid bliver taget.

Indlæggets formål er at fungere som en manual til opretning af udgravningsfotos. Jeg vil forsøge at beskrive trin for trin, hvordan forskellige typer udgravningsfotos kan oprettes og illustrere arbejdsgangen via eksempler fra udgravningen af bronzealderhøjen Skelhøj ved Kongeåen, i hvis regi metoden er blevet udviklet og anvendt i praksis. At jeg vælger en manual-form skyldes, at metoden med fordel vil kunne anvendes på rigtigt mange udgravninger og her bidrage til data af en højere kvalitet og i visse tilfælde til en betydelig effektivisering af arbejdsgangen. AirPhoto er et meget brugervenligt program og en licens koster kun omkring 2000 kr. Ligeledes er det nemt at anvende AirPhoto i kombination med MapInfo, der i dag bliver stadig mere udbredt inden for dansk arkæologi.

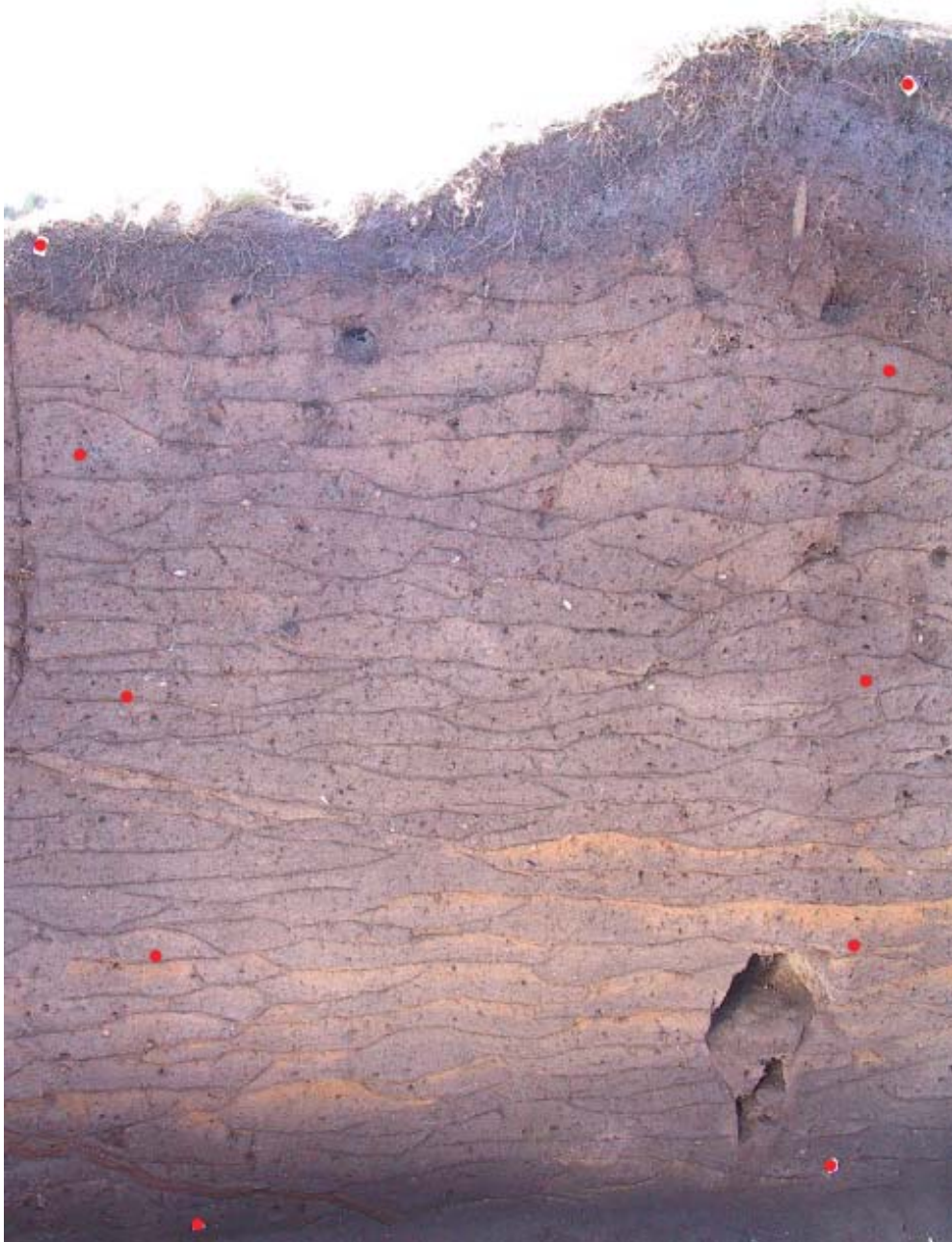
Metoden, som den er skitseret her, kræver AirPhoto og MapInfo, men det er en fordel også at have adgang til et digitalkamera og højpræcisions måleudstyr som fx. en totalstation.

## Plane overflader

Oprettningen af udgravningsfotos foregår forskelligt alt efter den afbildede overflades karakter. På samme måde som ved et luftfoto må man gøre sig klart, om man har med en plan, en let krummet eller en meget uregelmæssig overflade at gøre. Indledningsvis vil jeg detaljeret redegøre for plane overflader, som også er de hyppigst forekommende på en arkæologisk udgravning. Efterfølgende vil jeg kort skitsere, hvordan også krumme og ujævne flader kan håndteres.

Ved en plan flade eller en ret profil har proceduren på Skelhøj været følgende:

1) Når en profil/flade er afrenset og klar til fotodokumentation bliver der sat farvede papsøm i den (Fig. 1). Sømmene bliver anbragt således, at der på hvert foto kan ses mindst 6 søm langs dets sider. Oprettningen af et foto af en plan overflade kræver i virkeligheden kun 4 kendte punkter, men det er klart en fordel at have flere, fordi præcisionen derved øges. Sømmene anbringes langs kanten af billedfladen, idet opretningspræcisionen bliver størst inden for det af målesømmene definerede område, hvorimod der uden for målesømmene kan opstå problemer.



*Fig 1. Foto af afrenset, opsteget profil med målesøm.*



Fig. 2. Indmåling af søm med totalstation.

2) Når sømmene er anbragt, bliver der på Skelhøj taget to fotoserier med et digitalkamera med høj opløsning: En hvor profilen/fladen blot er afrenset, og en hvor de ting, der skal tegnes, tydeligt er opstregede med en spids graveske. Resultatet bliver klart bedst, hvis man bestræber sig på at tage billederne så vinkelret på fladen/profilen som muligt, fx. ved at anvende en stige, men selv ret skæve fotos er faktisk brugbare.

De digitale fotos bliver derefter overført til en computer, hvor de uopstregede arkiveres som observationsdata, mens de opstregede, og dermed fortolkede fotos, danner udgangspunkt for tegninger. Det er ikke afgørende om fotoserierne bliver taget med et digitalkamera eller med et almindeligt kamera. Ved et almindeligt kamera kan man blot foretage en indscanning efter fremkaldelsen, men det giver en forsinkelse, der ikke altid er hensigtsmæssig.

3) Når billederne er taget skal sømmene indmåles. Resultatet af opretningen er stærkt afhængig af indmålingspræcisionen, så det er vigtigt at i hvert tilfælde den relative præcisionen er i orden. På Skelhøj foretages indmålinger med totalstation og datalogger, og på den måde opnås en meget høj præcision, ligesom måledata allerede ligger digitalt fra starten (Fig. 2). En måde, hvorpå en høj relativ præcision kan afstedkommes på en almindelig udgravning, er at anvende tegnerammer til at afsætte målesøm med.

4) Det første skridt i den digitale behandling er at plote indmålingerne af sømmene i MapInfo (Fig. 3; se fx. Johnson 1995).

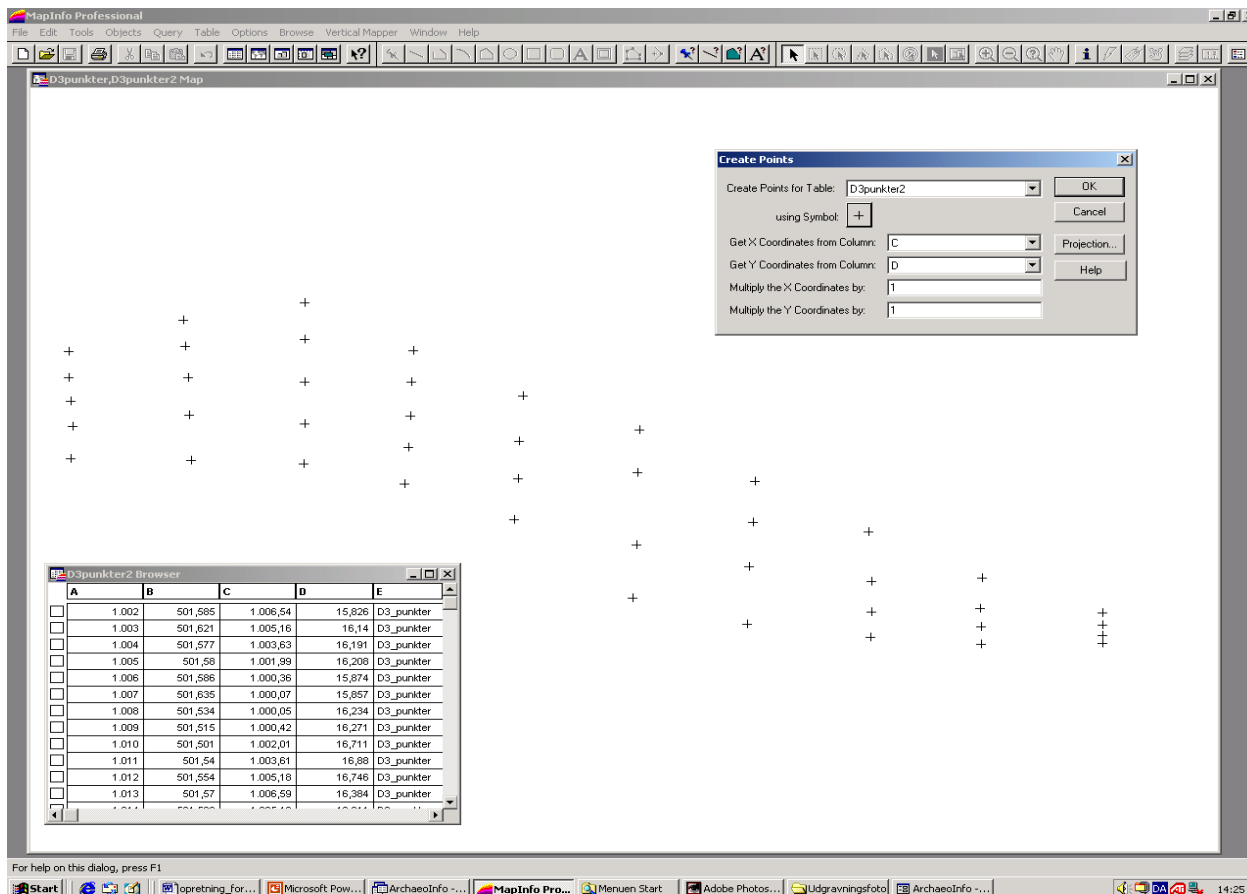


Fig. 3. Målesøm fra en profil plottet i MapInfo.

5) Det næste skridt er at konvertere plottet af målesømmene til rasterbilleder, idet AirPhoto kun kan håndtere rasterformater (fx. bitmap, TIF og JPEG). Det kan gøres på mange forskellige måder, men det nemmeste er direkte at eksportere fra MapInfo via funktionen *Save Window As* i menuen *File* (Fig. 4).

To ting er vigtige i denne forbindelse: For det første skal de eksporterede rasterbilleder være mindst lige så store og af lige så høj opløsning som de udgravningsfotos, der skal oprettes. For det andet er det en klar fordel, at målesømmene for hvert udgravningsfoto gemmes som et separat rasterbillede. Gør man ikke disse to ting, vil man senere få et ret markant kvalitetstab. Resultatet er, at der for hvert udgravningsfoto ligger et tilsvarende rasterbillede med et plot af de målesøm, der findes indenfor udgravningsfotoet. Disse rasterbilleder kommer i AirPhoto til at fungere som skabeloner for opretningen af udgravningsfotos, på samme måde som de indscannede landkort udgør skabeloner ved behandlingen af luftfotos.

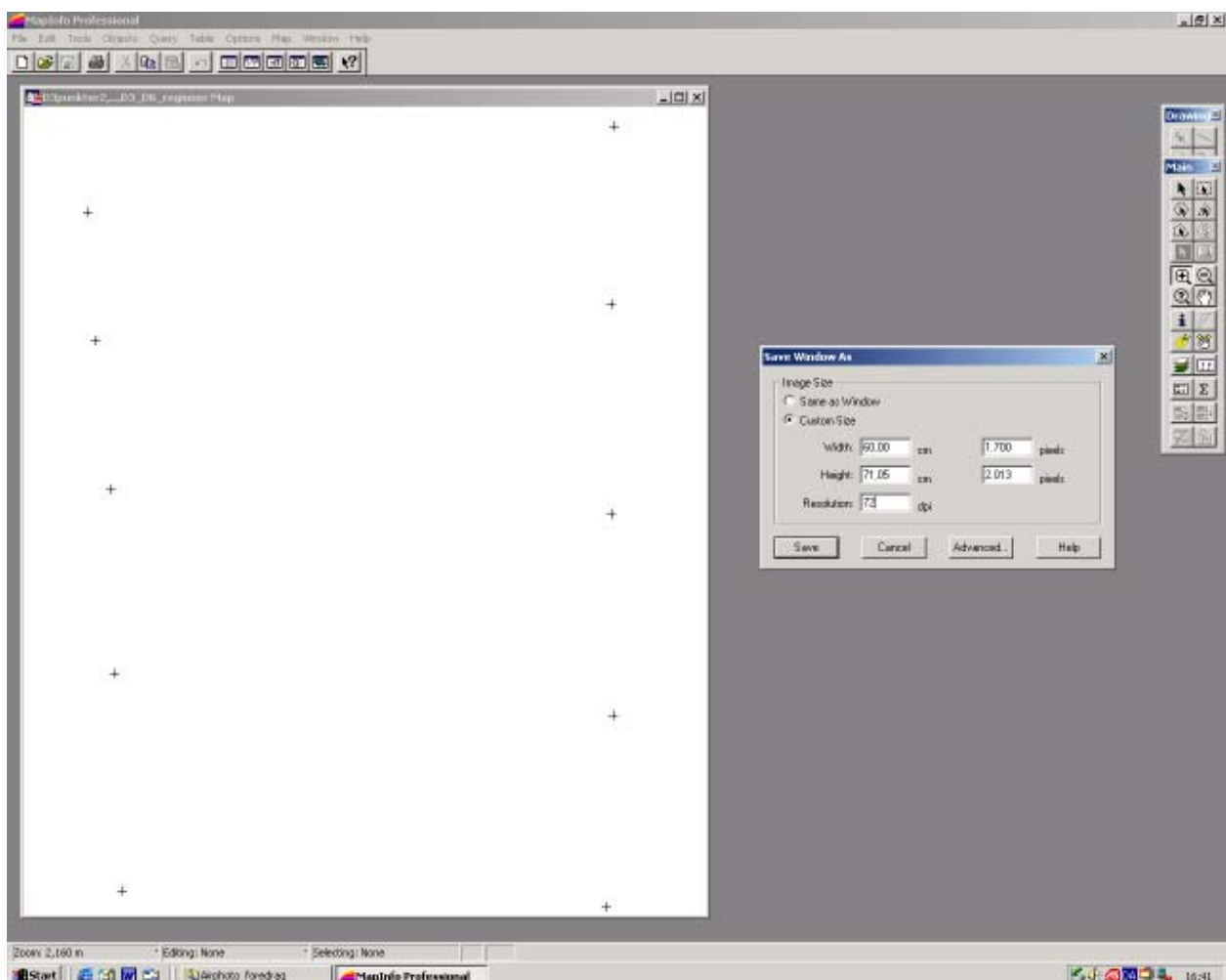


Fig. 4. Plottet af målesømmene inden for hvert enkelt foto laves om til selvstændige rasterbilleder i MapInfo.

6) I AirPhoto åbnes såvel det udgravningsfoto, der skal oprettes, som det rasterbillede af fotoets målesøm, der er eksporteret fra MapInfo. Fotoet vælges som *Source*, mens rasterbilledet med plottet af målesømmene defineres som *Target*. Dette foregår ved skiftevis at aktivere de to vinduer og klikke på *Scr/Trg* i menubjælken (Fig. 5).



Fig. 5. Definition af Source og Target i AirPhoto

7) Herefter indsættes *Controlpoints*, således at sømmene på fotoet bliver refereret til målepunkterne på rasterbilledet. Det gøres ved at klikke med et sigtekorn, som aktiveres/deaktiveres med den grønne knap i menubjælken. Kontrolpunkterne får automatisk numre, og disse skal stemme overens fra rasterbilledet til udgravningsfotoet (Fig. 6).

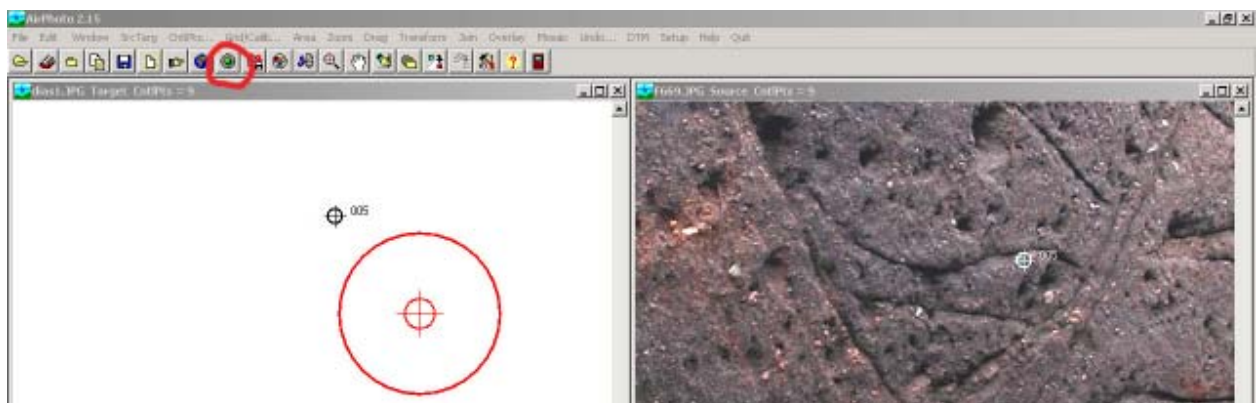


Fig. 6. Controlpoints indsættes.

8) Herefter trykkes på *Transform* i menubjælken, og fotoet bliver nu oprettet ved at blive lagt ned over rasterbilledet, således at sømmene på fotoet kommer til at ligge over målepunkterne på rasterbilledet. Når opretningen er udført, er der mulighed for tjekke opretningens kvalitet ved at se på pixelfejll (Fig. 7).

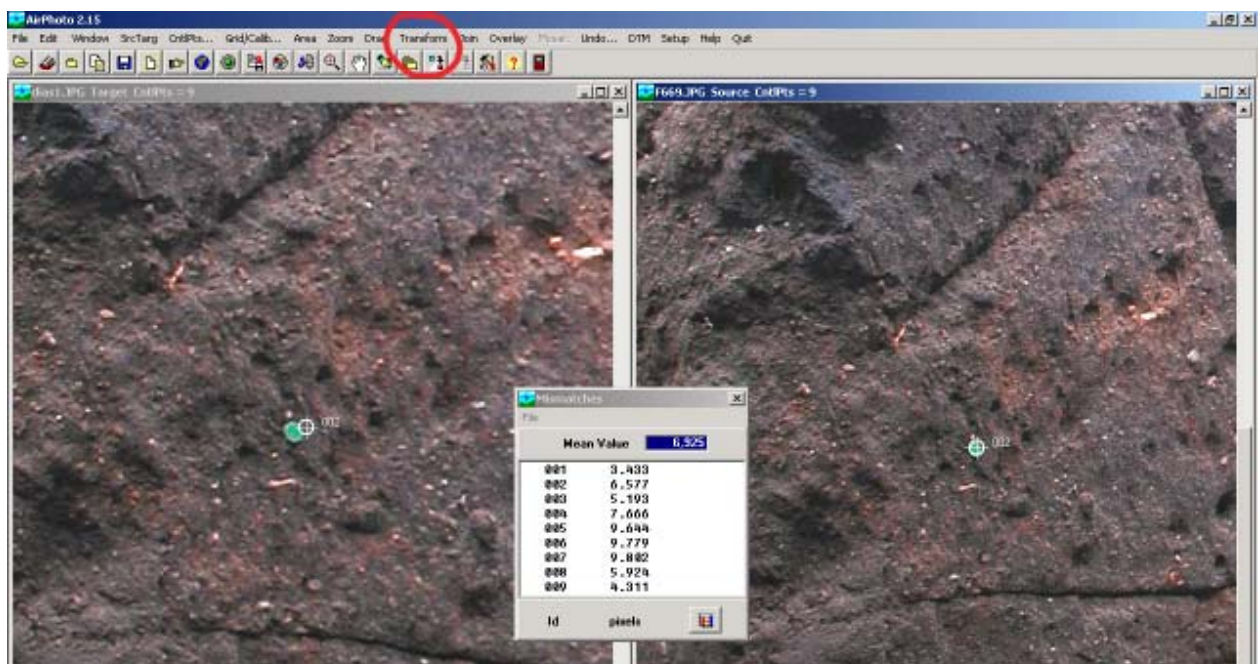


Fig. 7. Transformationen (opretningen) gennemføres.

Som det fremgår af figur 8 er resultatet for det meste forbløffende godt. Selv meget skæve udgravningsfotos kan faktisk oprettes med stor succes.



*Fig. 8. Eksempel på et profilfoto før og opretning.*

9) Nu er det i princippet bare at gemme det oprettede udgravningsfoto, men for senere at kunne sætte flere af disse sammen til en pæn sammenhængende flade/profil er det en fordel at foretage en beskæring (Fig. 9). Det oprettede foto arver nemlig rasterbilledets hvide baggrund, ligesom det ikke har nogen interesse at få de dele af fotoet med, der ligger udenfor det af målesømmene definerede område. På Skelhøj har vi brugt Adobe Photoshop til at beskære med, men der er mange andre muligheder.



*Fig. 9. Oprettet og beskåret profilfoto.*

10) Da udgravningsfotoet nu er oprettet, kan det georefereres i MapInfo efter målesømmenes koordinater, fuldstændig på samme måde som en indscannet plan eller et kort (Fig 10; se fx. Johnson 1995).



Fig. 10. Georeferering efter målesømmenes koordinater i MapInfo.

11) Grundet beskæringen kan man opnå en pæn sammenhængende fotoserie som baggrund for digitaliseringen i MapInfo og dermed produktionen af profil/fladetegninger. Digitaliseringen efter opstregningerne på de oprettede udgravningsfotos går utroligt hurtigt sammenlignet med almindelig felttegning, fordi man er fri for hele tiden at skulle måle (Fig. 11).

Hermed fra udgravningsfoto til tegning, hvad angår de plane flader. Proceduren kan opsummeres således:

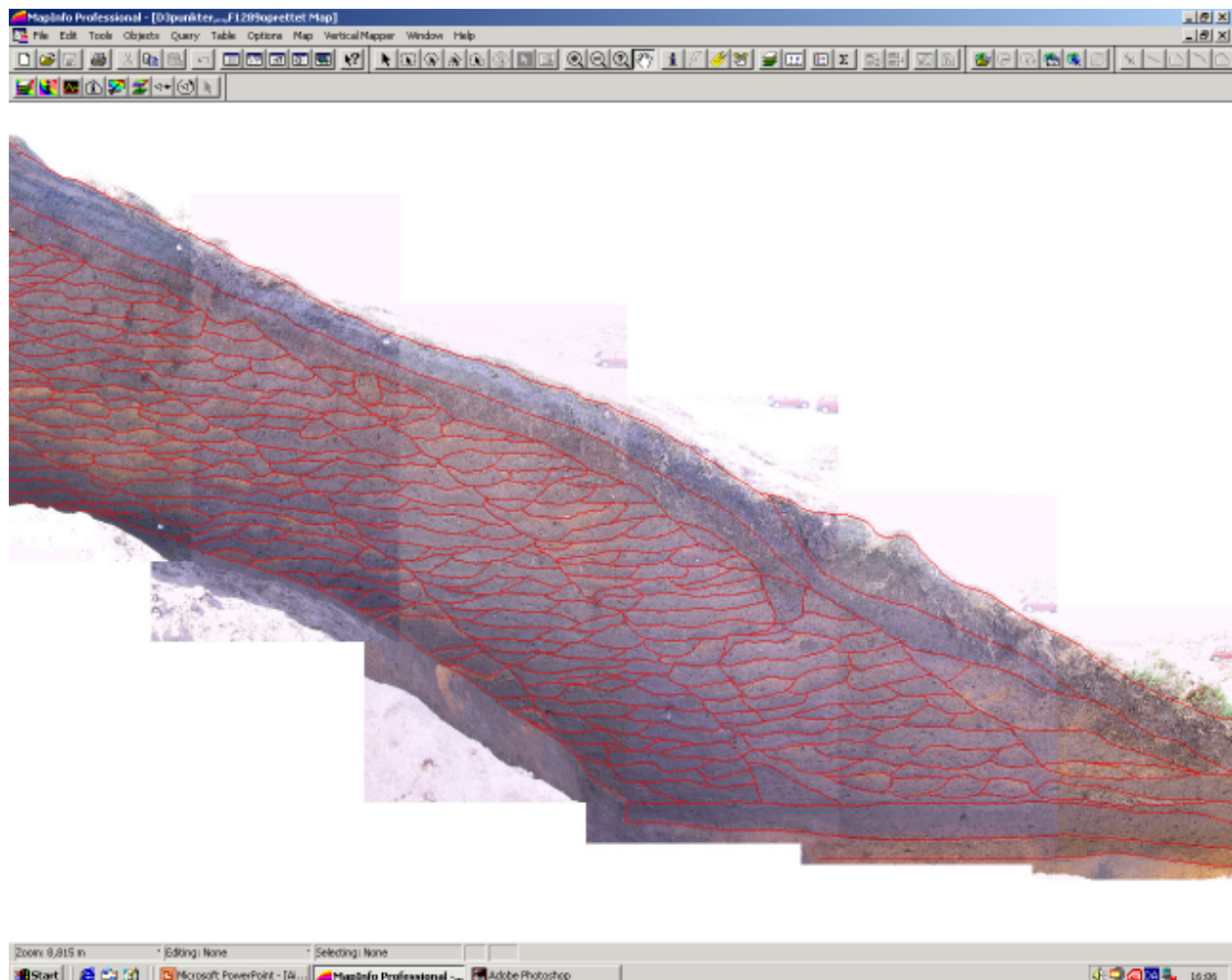


Fig. 11. Digitalisering efter en serie oprettede, opstregede profilfotos.



- Placering af målesøm i afrenset, opstregt profil/flade.
- Fotoserie med digitalkamera.
- Indmåling af søm med totalstation.
- Plot af målesøm i MapInfo.
- Konvertering af plottene af sømmene inden for hvert enkelt udgravningsfoto til et selvstændigt rasterbillede i MapInfo.
- Oprettning af udgravningsfoto i AirPhoto ved brug af rasterbilleder som skabeloner.
- Beskæring af de oprettede udgravningsfotos (Adobe Photoshop).
- Georeferering af de oprettede, beskårne udgravningsfotos i MapInfo ved hjælp af målesømmenes koordinater.
- Digitalisering i MapInfo efter opstregningerne på de oprettede, georefererede udgravningsfotos.

I forhold til den måde, hvorpå fotooprettning og digitalisering har været anvendt på Skelhøj, ligger der yderligere et par trin i proceduren. Efter endt digitalisering bliver tegningerne printet ud og korrigeret i felten, hvilket har vist sig at være ret vigtigt. Det sker samtidig med, at der bliver lavet fyldbeskrivelser. Fyldbeskrivelserne knyttes endelig til den digitaliserede plan/profil, som nu er aktiv og via forespørgsler i MapInfo kan analyseres på kryds og tværs.

## Overflader, der ikke er plane

Ovenstående er koncentreret om matematisk set plane flader, og transformationsalgoritmen i AirPhoto er her den såkaldte *Projective transform*, hvilket er programmets standardindstilling. Funktionaliteten i AirPhoto er dog ikke begrænset hertil, og overflader der ikke er plane kan også håndteres. I AirPhotos *Setup* kan man under fanebladet *Transform* vælge mellem flere forskellige opretningsmetoder, og i denne forbindelse har *Multipoint* og *Fischler-Bolles* interesse (Fig. 12). Via *Multipoint* kan man oprette udgravningsfotos af overflader med moderate uregelmæssigheder. Særligt fungerer metoden godt ved krumme overflader, hvor bevægelserne er jævne. Der kræves mindst 7 målepunkter, men det er en fordel at have flere. Jo flere målepunkter man har, desto højere en

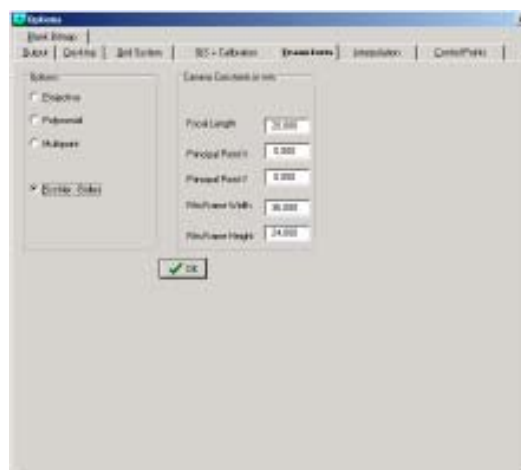
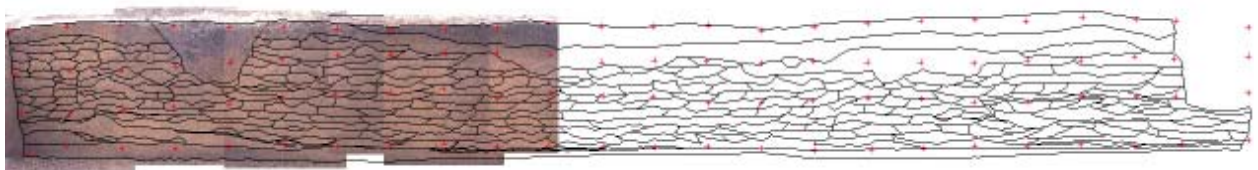


Fig. 12. AirPhotos setup-menu.

”orden” kan multipoint køre efter, og desto bedre bliver resultatet af oprettningen. Selve proceduren er fuldstændig den samme som for plane overflader. Blot skal der flere punkter til, og ligeledes skal man sørge for, at disse punkter afspejler overfladens bevægelser på en tilsvarende måde. På Skelhøj er multipoint blevet brugt til at oprette fotos af buede profiler, flader med krumninger og moderate uregelmæssigheder, og visse stenlægninger (Fig. 13).



*Fig. 13. Eksempler på anvendelse af multipoint.*

Er den overflade, som udgravningsfotoet skal dokumentere, mere ujævn, end hvad multipoint kan håndtere, så er *Fischler-Bolles* en mulighed. Den er dog noget mere kompliceret end de to andre metoder, idet opretningen foretages ud fra en højdemodel af den overflade, som udgravningsfotoet viser:

- Der kræves mindst 3 målepunkter og i praksis mange flere.
- Der kræves højdedata på mindst 5 punkter i billedfladen, og i praksis mange flere.
- Der kræves viden om en række kameraparametre: Fokuslængde, principal punkter (X,Y), og filmstørrelse (bredde og højde).

Proceduren i AirPhoto er også mere kompliceret:

1) Først åbnes rasterbilledet med målepunkterne, det indstilles som *Target*, og derefter georefereres det (i Airphoto hedder det at kalibrere). I *Setup* vælger man under fanebladet *Grid* den projektion, inden for hvilken kalibreringen skal foregå. Der er mange muligheder, men foregår udgravningen inden for et lokalt målesystem vælges *X-Y Decimal*. Dernæst vælges funktionen *Calibration* i menuen *Grid/Calib*, og der kommer et sigtekorn frem. Med det trykker man på rasterbilledets målepunkter, og i den dialog-boks, der nu dukker op, indtastes målepunkternes (X,Y,Z)-koordinater. Rasterbilledet er georefereret, når man har gjort det for tre punkter.

2) Næste skridt er at tilføje rasterbilledet højdedata. Det kan gøres manuelt ved i menuen *DTM* at vælge *Add/Del Height*, hvorved der dukker endnu et sigtekorn op. Med dette kan man trykke forskellige steder på rasterbilledet og indskrive disse positioners højde.

En ofte noget nemmere måde er at importere en tabel med (X,Y,Z)-koordinater og få højdedata tilført ved at plote tabellens indhold på rasterbilledet. Det foregår ved at vælge *Import Heights* i menuen *DTM*, og der kommer nu en dialog-boks frem, hvor det er muligt at importere (X,Y,Z)-koordinater i form af en *Text-file*, som kan genereres i Microsoft Excell. Det betyder ikke noget, at tabellen indeholder højdedata, som ligger uden for rasterbilledets område.

3) Endelig skal højdemodellen konstrueres, hvilket gøres ved i menuen *DTM* at vælge *Model*. Et nyt vindue åbnes, og man vælger her *Create* i menuen *File*, hvorved højdemodellen genereres. Der er en række muligheder for at arbejde med denne, men i de fleste tilfælde er det ikke nødvendigt at gøre andet end blot at lukke vinduet igen. Rasterbilledet er nu tilknyttet en højdemodel, som AirPhoto anvender ved opretningen af det tilhørende udgravningsfoto.

4) Som ved de to andre opretningsmetoder åbner man nu udgravningsfotoet, vælger det som *Source* og indsætter kontrolpunkter på såvel dette som på rasterbilledet. Dernæst udføres opretningen ved at trykke på *Transform*.

5) Ved en opretning med *Fischler-Bolles* er der potentielt op til fire løsningsmuligheder. Se på en af dem, tryk *Undo* i menubjælken, foretag transformationen igen, se på den næste, tryk *Undo*, foretag transformationen igen osv. I det hele taget kan det være en fordel at notere pixelfejlen og annullere transformationen. Derefter kan man gå ind under *Transform* i menuen *Setup* og ændre kameraparametrene for at se, om man ved en ny transformation kan reducere fejlen. På den måde kan man eksperimentere sig frem til de mest passende parametre for det anvendte kamera. I menuen *Grid/Calib* ligger også funktionen *Principal point*, som skulle kunne bruges til det samme men sjældent virker.

På Skelhøj er Fischler-Bolles forsøgsvis blevet anvendt til at oprette fotos af stenlægninger og skæve overflader ned af højsiden (Fig. 14). Det kan fint lade sig gøre, men det kræver, at højdemodellen udgør en god repræsentation af fladen. Ellers kan det gå ret galt. I mange tilfælde har multipoint vist sig at være ligeså god, eller, hvis der er problemer med højdemodelsrepræsentationen, faktisk bedre. Fischler-Bolles er dog en oplagt mulighed, når man står i den situation at skulle dokumentere en kompleks flade og har den fornødne tid til at lave en detaljeret højdemodel.

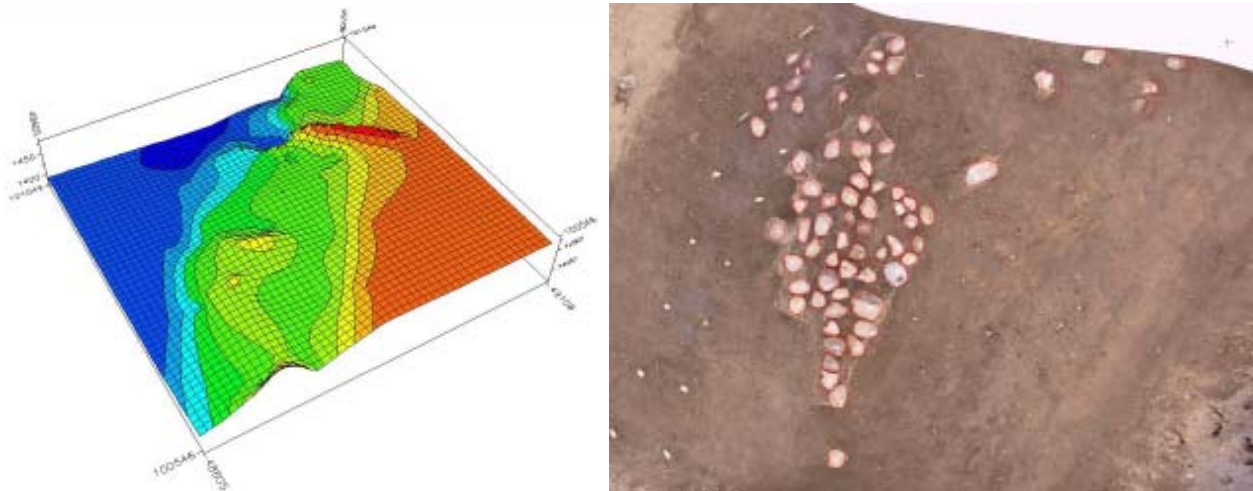


Fig. 14. Eksempel på Fischler-Bolles.

## Afslutning

Med de forskellige opretningsmetoder kan AirPhoto håndtere stort set alle de situationer, man bliver stillet i ved arkæologisk felttegning. Måske med udtagelse af Fischler-Bolles er funktionerne simple og hurtige, og resultaterne er gode. I en tid, hvor computeren spiller en stadig større rolle såvel under feltarbejdet som i efterbearbejdningsfasen, er der således et godt incitament til at anvende fotoopretning i forbindelse med arkæologiske udgravninger. AirPhoto er billigt, det er nemt at lære at bruge, og det går fint i spænd med MapInfo.

Der kan være flere grunde til at bruge AirPhoto til opretning af udgravningsfotos, hvilket også er tilfældet på Skelhøj. For det første er tegnearbejdet her meget omfattende, idet tørvestrukturerne er så velbevarede, at stort set samtlige tørv kan udskilles. Da højens konstruktion er en af hovedproblemstillingerne i Skelhøj-projektet, har det hele tiden været hensigten så vidt muligt at udskille de enkelte tørv ved dokumentation af profiler og flader i højen. Skal dette tegnearbejde udføres på konventionel vis, vil det grundet højens størrelse være ekstremt tidskrævende. For det andet vanskeliggør højens geometri såvel almindelig felttegning som anvendelsen af pantograf. Her tænkes ikke på dokumentation af almindelige profiler, men på behandlingen af flader, der ofte er så hældende og krumme, at det nærmest er umuligt at arbejde på traditionel vis. For det tredje har det hele tiden været målet, at tegningerne skulle foreligge digitalt for at udnytte de udvidede analytiske og repræsentationsmæssige muligheder, som det giver. Det rejste spørgsmålet, om papir-leddet kunne springes over, og det førte til løsningen med AirPhoto. På Skelhøj bliver der slet ikke tegnet i felten. Alt hvad der traditionelt vil blive tegnet, bliver fotograferet, indmålt, oprettet og digitaliseret, og ovennævnte procedurer er derfor en naturlig del af feltarbejdet. Inddrager man billedopretning på denne måde, kræver det computere på selve udgravningen og en omfattende omstrukturering af feltarbejdet. For at kunne hæfte fyldbemærkninger på de digitaliserede planer er det vigtigt, at den digitale behandling kan følge med udgravningen.

Ligeledes må man gøre sig klart, at hele tegneprocessen - en normalt ret væsentlig del af feltarbejdet - er blevet flyttet ind foran computeren. I praksis er flere personer gået fra feltarbejdet og har siddet ved computere på fuld tid. Udgravningen fungerer som seminargravning for nye arkæologistuderende, og her er der hele tiden to studenter og en ansvarshavende i computerrummet.

På Skelhøj har opretning af udgravningsfotos og digitalisering betydet en meget markant effektivisering af arbejdet: Det er lagt hurtigere at digitalisere end det er at tegne. Effektiviseringen hænger naturligvis sammen med de meget komplekse profiler og flader, der er på Skelhøj, og det er dermed langt fra sikkert, at billedopretning og digitalisering altid vil være en hurtigere og lettere løsning end almindelig felttegning. Fx. er det langt fra sikkert, at fotoopretning nødvendigvis vil øge effektiviteten på en stor fladegravning.

Man behøver dog heller ikke at købe hele pakken. Metoden kan også anvendes som et supplement til almindelig udgravningspraksis, i felten eller først i efterbearbejdningsfasen. Med billedopretning er der mulighed for at få nye og bedre data end tidligere. Udgravningsfotos bliver der altid taget en masse af. Er der blot 4 målepunkter på hver af disse, så vil de kunne bruges til langt mere end hidtil.

## Litteratur

Johnson, I.

1995 *Mapping Archaeological Data. A Structured Introduction to MapInfo*. Sydney.

Scollar, I.

2000 *AirPhoto 2.18 Tutorial*. UnkleBach Valley Software Works.