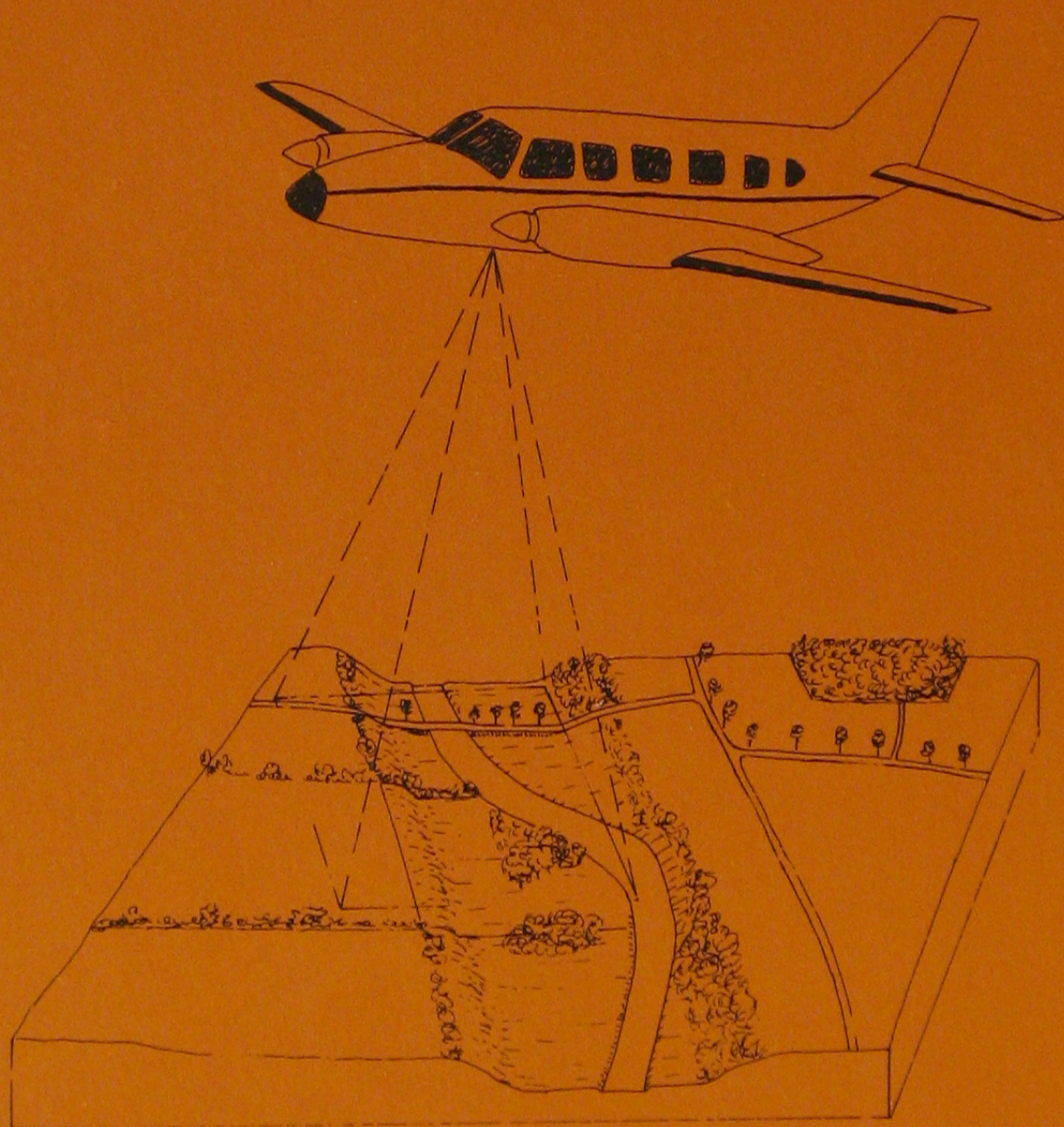


Litologisk kortlægning ved anvendelse af spektrale luftfotos

Af Ib Marcussen



DGU

Danmarks Geologiske Undersøgelse
Miljøministeriet

1988

Litologisk kortlægning ved anvendelse af spektrale luftfotos

Rapport fra et forsøg

Af Ib Marcussen

April 1988

DGU serie D nr. 4

DGU

Danmarks Geologiske Undersøgelse
Miljøministeriet

Nøgleord:

Kortlægning, Fotogrammetri, Remote Sensing

DGU serie D nr. 4

ISBN 87-88640-12-4

ISSN 0900-6257

Trykt i 750 eksemplarer

Tryk: DGU, offset

Plancher: Ryvang Bogtryk

DGU 1988

Ib Marcussen

Danmarks Geologiske Undersøgelse

Thoravej 8, 2400 København NV

Redaktør: Ole Valdemar Vejbæk

© Danmarks Geologiske Undersøgelse

Thoravej 8, DK-2400 København NV, Danmark

INDHOLD

INDLEDNING	4
DET FYSISKE GRUNDLAG	6
ERFARINGER FRA DANSKE OG HOLLANDSKE KORTLÆGNINGER	9
FOTOGRAFERING OG BILLEDMAERIALE	11
Fotograferingen	12
Fugtigheden i jorden	12
Reflektionens afhængighed af plantedækket	13
Tolkning og feltarbejde	14
Organiske aflejringer	14
Minerogene aflejringer	14
FORSØGSKORTLÆGNINGENS RESULTAT	19
Råstofgeologiske forhold	28
Det kortlagte områdes geologiske opbygning	28
SAMMENFATNING	31
TAKSIGELSE	33
LITTERATURLISTE	34

INDLEDNING

Kortlægningen af de overfladenære dannelser har været en hovedopgave for DGU siden oprettelsen i 1888. Formålet har været, og er fortsat, at kunne udrede den litologiske, strukturelle og stratigrafiske opbygning af aflejringerne.

Kortlægningen finder anvendelse i mange praktiske opgaver, men den udgør tillige baggrunden for den geologiske tolkning af dannelsesmåderne for aflejringerne samt deres geologiske historie.

I praksis foregår kortlægningen ved at bjergarternes udbredelse under dyrkningshorisonten karteres ved hjælp af et 1 meter langt stikbor. Sammen med disse arealdækkende oplysninger indsamles observationer alle steder, hvor der findes "åbninger" i jorden, som råstofgrave, udgravninger til anlægsarbejder og klinger. Desuden inddrages boringer i kortlægningen; såvel vandforsyningsboringer som specielle boringer udført med henblik på kortlægningen. De arealdækkende oplysninger er blevet indsamlet ved hjælp af samme metode siden kortlægningen påbegyndtes. Det er en ressourcekrævende fremgangsmåde, og det har derfor været naturligt at søge efter andre fremgangsmåder til fremskaffelse af disse observationer.

I årene 1970-72 blev det, i samarbejde med andre statslige organisationer, forsøgt at bruge luftfotos af forskellig type til arealkortlægning. Forsøget førte ikke til noget brugbart resultat, men herom senere.

Den hollandske geologiske undersøgelse har tidligere udført kortlægningen på samme måde som DGU. Det er imidlertid lykkedes hollænderne at udvikle en fotogeologisk kortlægningsmetode, som har lettet deres arbejde. DGU iværksatte i 1986 et forsøg for

at prøve den hollandske metode og nærværende rapport er en redegørelse for dette forsøg.

Da undersøgelsen også kan have betydning for den detaljerede råstofkortlægning (fase 2 kortlægningen), har Fredningsstyrelsens Råstofkontor deltaget i et samarbejde om undersøgelsen. Tillige har Skov- og Naturstyrelsens Fortidsminde Forvaltning deltaget i projektet.

DET FYSISKE GRUNDLAG

Solen udsender elektromagnetisk stråling i et bredt spektrum. Bølgelængderne ligger mellem de meget kortbølgede typer som gamma og røntgen stråling over det synlige lys til de mere langbølgede typer som radar og radiostråling.

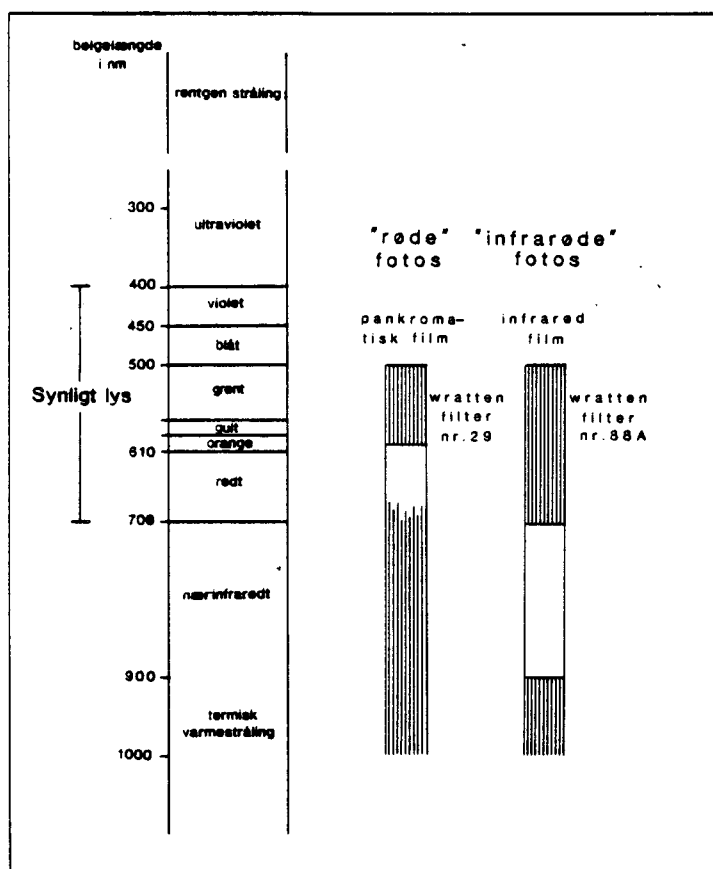


Fig. 1. Skematisk oversigt over en del af det elektromagnetiske spektrum. Til højre er angivet de filtre, som er blevet brugt ved fotograferingen.

Det menneskelige øje opfatter en lille del af den elektromagnetiske stråling. Det er bølgelængder mellem ca. 400 nm og 700 nm ($1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-6} \text{ mm}$). Den almindelige fotografiske film, den pankromatiske, gengiver strålingen nogenlunde på samme måde som det menneskelige øje opfatter den. De infrarødtfølsomme film, kan gengive stråling i det nærinfrarøde område. Den mere langbølgede stråling i det infrarøde område, varmestrålingen, kan ikke i praksis gengives på film, men må opfanges med elektroniske sensorer.

Lyset, der rammer materialer, reflekteres af disse. Reflektionen er ikke den samme for alle bølgelængder og alle materialer. Nogle fysiske forhold hos materialerne som molekylæthed, absorption af visse bølgelængder hvorved de fremstår med farver og overfladens ruhed er af grundlæggende betydning for reflektionen. I naturen forekommer som regel komplekse sammensætning-

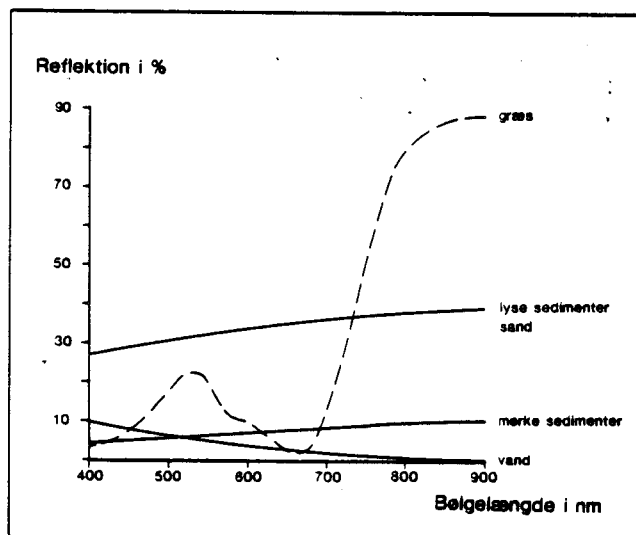


Fig. 2. Kurverne viser reflektionens afhængighed af bølgelængden for relevante materialer. Ler vil have en refleksionskurve, der ligger mellem sand og mørke sedimentter. Minimumsværdien på kurven for græs mellem 600 og 700 nm skyldes græssets fotosyntese.

er af materialer, og reflektionsforholdene er derfor tilsvarende komplekse. Fra forsøg kendes reflektionen for mange af de sammensatte materialer, der forekommer i naturen; planter, bjergarter og mineraler.

I praksis er det følgende forhold, der har betydning for tolkningen af reflektionen fra landskabets overflade i Danmark:

1. Tilstedeværelsen af vand enten som fugt i jorden eller som søer.
2. Plantedækkets tæthed og artssammensætning.
3. Bjergartstypen i og lige under overfladen.
4. Bølgelængden af den reflekterede stråling.

Af fig. 2 fremgår det, at vand reflekterer det blå lys, men at det ellers generelt absorberer stråling med længere bølgelængder. Vand og fugtige områder vil derfor fremtræde mørke for lys i den øvre del af spektret. Plantemateriale, såvel levende som dødt, vil generelt reflektere den elektromagnetiske stråling i det synlige lys område dårligt. Ved henfald af plantematerialet tiltager absorptionen, som det ses af den sorte farve på tørv. Ved planternes fotosyntese bruges navnlig den røde del af lyset, og som følge deraf, vil reflektionen være specielt lille i dette spektralområde.

De hyppigst forekommende bjergarter i overfladen i Danmark er ler og sand. Af fig. 2 fremgår det, at reflektionen fra sedimenterne er tiltagende ved større og større bølgelængde. Kurverne viser endvidere, at der er en stadig større forskel i reflektionen mellem bjergartstyperne.

De optimale forhold for en geologisk kortlægning baseret på den reflekterede naturligt forekommende stråling er derfor en tør, planteløs overflade, fra hvilken reflektionen af de lange bølgelængder i rødt og infrarødt registreres.

ERFARINGER FRA DANSKE OG HOLLANDSKE KORTLÆGNINGER

Flyfotos har tidligere været benyttet til geologiske undersøgelser i Danmark. Strukturer, der er resultat af permafrostforhold, har været genstand for kortlægning af flere forfattere (Berthelsen 1970; Christensen 1973, 1973, 1974, 1974; Svensson 1963, 1964, 1972). Den arktiske strukturmark (polygonjord) viser sig litologisk som en sortering, hvor det grove materiale ligger i polygonernes periferi og det fine i midten af ringene. Til morfologiske studier har flyfotos også været benyttet (Houmark-Nielsen 1975; Sjørring 1974).

På pankromatiske luftfotos ses ofte områder på markerne med forskellig gråtoning, og det er nærliggende at antage, at disse variationer afspejler litologiske forskelle. Derfor gennemførtes i årene 1969-1971 en undersøgelse af anvendeligheden af luftfotos til geologisk kortlægning i Danmark. Projektet blev udført som et samarbejde mellem Danmarks Geotekniske Institut, Danmarks Ingeniørakademi, Danske Statsbaner, Geografisk Institut ved Københavns Universitet, Statens Vejlaboratorium og Danmarks Geologiske Undersøgelse. Såvel sort-hvide som farvefilm har været studeret, men der foreligger ingen sammenfatning af undersøgelsen.

Mulighederne for at bruge flyfotos til geologisk og pedologisk kortlægning blev undersøgt af Fobian i 1977. Undersøgelsen fokuserede specielt på drænings- og reliefforhold som indikatorer for de overfladenære sedimentter. Der blev i undersøgelsen ikke foretaget nogen videregående analyse af markoverfladens gråtone forhold. Fobian anbefaler flyfotos som et værdifuldt hjælpeværktøj til geologisk kortlægning, fordi de giver overblik, og fordi "de i mange tilfælde muliggør en mere nøjagtig grænsedragning, end det er praktisk muligt at gennemføre ved konventionel kortlægning" (Fobian 1977).

I interne rapporter til den Hollandske Geologiske Undersøgelse redegjorde Dr. A. Sesören i 1977 og 1981 for sine forsøg med anvendelse af multispektrale flyfotos til geologisk kortlægning i landbrugsområder. Der blev benyttet synkrone optagelser af reflektionen i det røde og nærinfrarøde spektralområde. Tolkningerne af billederne skete dels ud fra drænings- og relief-forhold, og dels ved analyse af gråtone-forskellene. Resultaterne af undersøgelsen var så gunstige, at disse specielle flyfototyper nu benyttes som standard ved den geologiske kortlægning (Oele et al. 1983).

Forløbet i den hollandske overfladekortlægning er følgende. Flyfotos tolkes med henblik på afgrænsning af områder med ensartet reflektion og morfologiske elementer af kendt oprindelse, som f.eks. terrasser og fladbundede dale. I karakteristiske områder karteres derefter med stikbor, idet flyfototolkningerne danner grundlag. Sedimenttyperne i de afgrænsede områder bestemmes, og grænserne kontrolleres et antal steder. Efter denne arealkortlægning suppleres med boringer samt geologiske undersøgelser og beskrivelser af profiler med henblik på fremstilling af det geologiske kort.

Det forsøg, som beskrives i denne rapport, har til formål at undersøge, i hvilken grad den hollandske flyfototolkning kan benyttes til arealkortlægning i Danmark.

FOTOGRAFERING OG BILLEMATERIALE

Til forsøget blev udvalgt et område vest for Roskilde. Egnen viser på de geologiske jordartskort en varieret opbygning, og landskabet har en vekslende morfologi. Det skulle sikre, at metoden blev afprøvet på geologisk varierede forhold. Forsø-

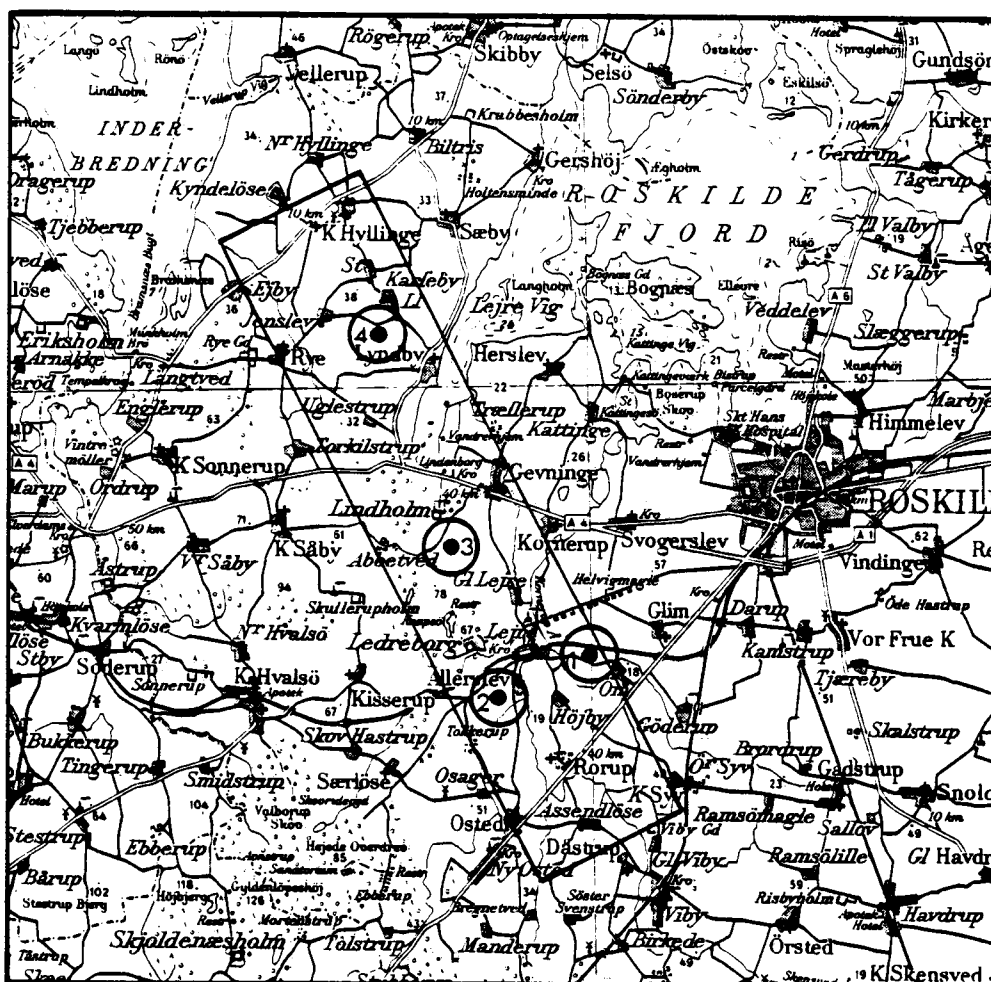


Fig. 3. Det flyfotograferede område er rammet ind, og de 4 stationer, hvor der er blevet bestemt jordfugtighed, er indtegnet. Reproduceret efter Geodætisk Instituts kort 1:200.000 med tilladelse af Geodætisk Institut (A 83).

get blev gennemført i samarbejde med Skov- og Naturstyrelsens Fortidsminde Forvaltning, og denne egn skulle ligeledes give gode muligheder for at undersøge metodens anvendelighed til kortlægning af fortidsminder.

Fotograferingen

Som følge af grundlæggende fysiske forhold skal fotograferingen ske, når jordfugtigheden er lille, og afgrøderne enten ikke er sået eller er lave (højst ca. 10 cm). Fotograferingen blev foretaget den 3. maj 1986 i solskin og med en frisk vind. Der blev fotograferet 4 linier, således at billederne har fotogrammetrisk overlappning. Filmene var af sort-hvid type, og der blev brugt et rødt filter (Wratten nr. 29) til en sædvanlig fotogrammetrisk film og et visuelt uigennemsigtigt filter (Wratten nr. 88A) til den infrarøde film. Flyhøjden var ca. 900 m, og billedernes måleforhold blev ca. 1:6.000. Fotograferingen udførtes af Geoplan A/S.

Fugtigheden i jorden

På grund af vands store absorptionsevne for rød og infrarød stråling kan et kendskab til størrelsen af fugtigheden i jordens allerøverste lag have interesse. Forud for fotograferingen blev der på 4 stationer bestemt fugtighed i de øverste 5 cm, den var i gennemsnit 5,5 volumenprocent. Se fig. 4.

Dato	23/4	28/4	2/5	
Station 1 Station 1b	21,8	15,3	7	moræneler, horisontal flade
Station 2	21		5,5	smeltevandsgrus, flade, svagt hældende mod øst
Station 3 Station 3b	19,8	19,2	4	smeltevandssand, bakke, hældning mod N
Station 4	18,1	17,8	5,6	moræneler, horisontal flade
Stationernes placering fremgår af fig. 3.				

Fig. 4. Fugtigheden i jordens øverste ca. 5 cm angivet i volumenprocent. Stationernes placering fremgår af fig. 3.

Reflektionens afhængighed af plantedækket

Det fremgår meget tydeligt af billederne, at markernes reflektion er afhængig af dyrkningstilstanden og afgrødens art. Ved fotograferingstidspunktet (3. maj) var mange marker endnu uden plantevækst, og det giver de bedste observationsmuligheder. Disse marker fremtræder lyse på billederne. Marker tilsået med vintersæd viser variationer efter afgrødernes art. Skovarealer vil på begge billedtyper fremtræde på en sådan måde, at det ikke er muligt at se jordbunden. Der kan derfor ikke udføres fotogeologisk kortlægning i skovarealer.

Tolkning og feltarbejde

I det fotograferede område findes et varieret landskab med flere typer aflejringer samt vekslende typer og grader af plantedække. På flyfotos ses på markerne store variationer i gråtoner, og formålet med feltundersøgelsen har været at klarlægge, hvorvidt disse har relation til forskelle i sedimenterne i overfladen. På baggrund af fotos er der derfor foretaget en kartering til verifikation af grænser og klarlæggelse af sedimenttyper.

Organiske aflejringer

Disse i sig selv mørke sedimentter ligger i landskabets laveste dele og vil derfor ofte være fugtige. På begge typer flyfotos vil de derfor fremstå som meget mørke områder. Afgrænsningen af organiske aflejringer dækket af engvegetation kan kun ske med en vis usikkerhed, hvorimod de vegetationsløse aflejringer lader sig kartere. Det samme gælder græsbevoksede arealer.

Minerogene aflejringer

I undersøgelsesområdet er der fundet 4 typer af minerogene sedimentter:

Postglacialt, marint sand og grus

Smeltevandssand og -grus

Moræneler

Kertemindemergel

Marint forland, der er udformet som strandvoldssystemer, vil forholdsvis let kunne identificeres ved sin beliggenhed og sin morfologi. Da det hyppigst vil være dækket af græs, vil det fremstå mørkt på "røde" billeder men lyst på "infrarøde". På de sidstnævnte billeder findes mønstre i gråtonerne, der skyldes litologiske forskelle i strandvoldssystemerne.

I det bakkede, glaciale landskab findes smeltevandsaflejringer og moræneler. Det er en almindelig erfaring, at aflejringerne under muldlaget sætter sit præg på muldlagets tekstur. Således vil man over en leraflejrings få en leret muld. Den fremtræder knoldet og viser efter pløjning blanke flader. Moræneler fremtræder på denne måde, men det er særlig udpræget for renere



Fig. 5. Sedimentet, der underlejrer dyrkningslaget, præger overfladen og giver sig til kende ved forskellige gråtoninger på billedet. På bakketoppen og et stykke ned ad siden findes moræneler. Længere nede og i bakkens højre side findes smeltevandssand. I dalen er der aflejringer af organisk materiale. Billedet er fra marken syd for gravmonumentet vest for Ledreborg.

leraflejringer som f.eks. smeltevandsler. Over sandede og grusede aflejringer vil mulden være sandet, og overfladen vil være mere udjævnet end den er over lerede aflejringer. Disse mikro reliefforhold må antages også at have indflydelse på den måde overfladen gengives på de fotografiske billeder.

Afviigelser fra denne generelle regel kan naturligvis forekomme i områder, hvor sandflugt har givet anledning til, at sandet muld ligger oven på et leret underlag.



Fig. 6. På bakkede marker er muldlaget tyndere end på bakketoppene, og den lyse mineraljord træder tydeligt frem. Billedet er fra området vest for Lindholm.

På de to sæt flyfotos ses, at der på markerne er flere typer gråtoning. En del gråtoning følger i sin udbredelse markskel og er forårsaget af afgrøderne. De forskellige arter af afgrøder viser iøvrigt stor forskel i deres måde at reflektere lyset, og det er derfor muligt at identificere dem på billederne. Såfremt afgrøderne har vokset sig for høje og omfangsrige vil de dække jordoverfladen og billederne vil kun vise refleksionen på planternes blade og stængler. Fotograferingen skal derfor ske tidligt på foråret, således at det er muligt at se ned imellem planterne. En anden del af gråtoningen har en uregelmæssig

udbredelse, og ved betragtning i stereoskop vil det ses, at de mørke områder typisk er beliggende i lavninger i landskabet. Denne gråtoning tilskrives fugt, humus eller begge dele i jorden. Ved landbrugsdriften og ved naturlige processer vil muld føres bort fra bakketoppe, således at underlaget af uorganisk materiale bliver mere synligt. Da muld på grund af indholdet af organisk materiale altid vil være mørkere end uorganiske dannelser, vil bakketoppene både for øjet og på fotografisk film fremstå lyse.

Der vil naturligvis ved den beskrevne flytning af muldlaget ske en sløring af det underliggende materiale. Det synes ikke i undersøgelsesområdet at have haft nogen praktisk betydning, men ved afgrænsningen af sedimenterne, bør man være opmærksom på, at muldlaget kan være tilført og fortykket. Ligeledes bør man være særlig opmærksom ved sedimentbestemmelse på den øverste del af dyrkningsskrænter, hvor store tilførte muldmængder kan findes.

Når de beskrevne forhold er taget i betragtning, bliver der stadig nogle gråtoneforskelle tilbage. På basis af hollandske erfaringer og gennem feltarbejdet har det været muligt at vise, at lerede og sandede områder er årsagen til denne vekslen. Lerede aflejringer aftegner sig på både de "røde" og "infrarøde" fotos med en "blød" grå tone, medens sandaflejringer viser en varieret toning, der dog på bakketoppene er meget lys. Det synes i almindelighed at være muligt at tegne grænserne mellem aflejringerne med stor sikkerhed. Det kan illustreres ved, at det var muligt på billederne at lokalisere et morænelersområde med et areal på ca. $1/4 \text{ m}^2$. Figurerne 8 og 9 viser udsnit af de to typer flyfotos, og på figur 10 gives en sammenstilling af billedtolkning og feltarbejde.

I undersøgelsesområdet forekommer flager af Kertemindemergel. Det er en meget hvid bjergart, der på markoverfladen ses som hvide skjolder. På flyfotos fremtræder de som meget hvide pletter. Afgrænsningen kan være lidt vanskelig, idet den hvide

bjergarts refleksion er så kraftig i forhold til omgivelsernes, at blot tilstedeværelsen af få sten af den udenfor området, hvor den står fast, vil tiltrække sig opmærksomhed.

FORSØGSKORTLÆGNINGENS RESULTAT

Ved forsøgskortlægningen var formålet dels at søge at tilvejebringe generelle erfaringer for, hvorledes mulighederne er for at benytte multispektral fotogeologi i Danmark, dels at formulere et undersøgelsesforløb for en fotogeologisk kortlægningsmetode.

På grundlag af de hollandske erfaringer måtte der ske en indsamling af observationer af, hvorledes danske aflejring reagerer overfor denne undersøgelsesmetode. I praksis er dette sket ved et intensivt feltarbejde. Herunder blev alle nuanceforskelle i gråtoner på billederne i en del af undersøgelsesområdet undersøgt i naturen. Kortet, som er gengivet som fig. 8, er blevet til på denne måde. Det blev hurtigt klart, at det er vigtigt, at gøre sig landskabsformerne klare og ikke mindst skråningernes eksponering for sol og vind. Det er ikke altid, det er de mest iøjnefaldende gråtoneforskelle, der er de vigtige. Ved at sammenholde gråtoningen for samme område på de to billeder, er det muligt at vurdere, om det er vegetation eller fugt-humus, der giver gråtoningen. På samme måde kan det vurderes hvorvidt en mellemgråtone skyldes ler eller vegetation.

Tolkningen er baseret på relative forskelle i gråtoneværdier, og disse kan variere fra mark til mark afhængig af afgrøden. Det er derfor næppe muligt, at benytte en elektronisk billedanalysator. Den vil inddele områderne efter absolutte gråtoneværdier og ikke relative værdier. Desuden forudsætter tolkningen, som anført, kendskab til reliefforhold og vegetation, hvilket betyder, at der bliver mange variabler at tage hensyn til inden tolkningen. En fotogeologisk kortlægning stiller derfor krav til kartørens kombinationsevner samt træning i kortlægning og kendskab til områdets geologiske opbygning.

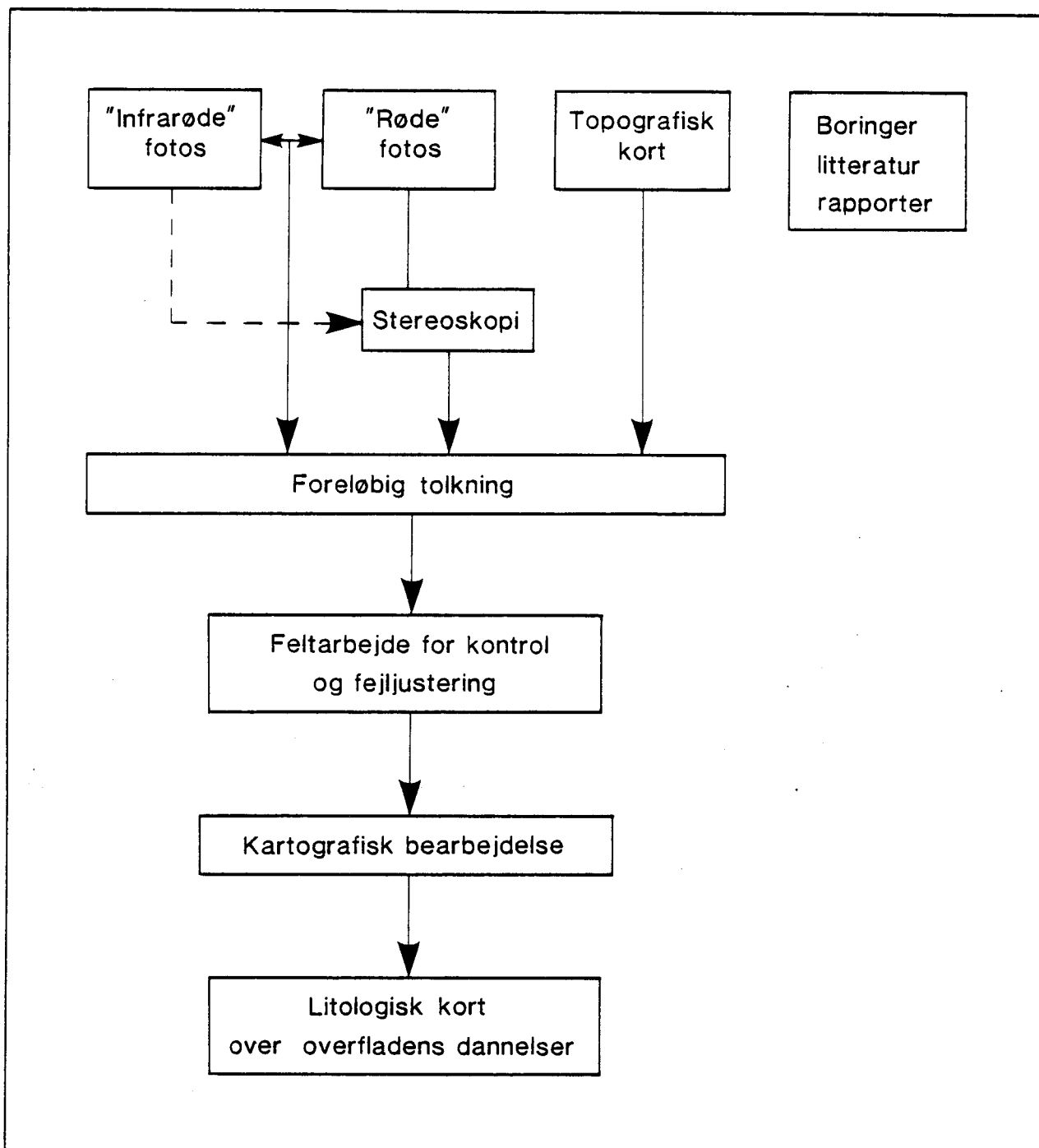


Fig. 7. Diagram der viser forløbet af tolkningen af luftfotos frem til det lithologiske kort. Baggrundviden, der kan inddrages ved tolkningsarbejdet, er angivet i feltet øverst til højre.

På grundlag af de første indvundne erfaringer kunne tempoet i kortlægningen sættes op og en foreløbig tolkning tegnes på billederne. Ved efterfølgende feltkontrol blev mistolkninger rettet. Fejltolkningerne bestod altovervejende i usikkerhed om mindre lerforekomsters eksistens. En systematisk fotogeologisk kortlægning vil kunne forløbe efter flow-diagrammet fig. 7.

Tolkningen er tegnet på de fotografiske billeder, og der forstås derfor efter den afsluttende feltkontrol et kartografisk arbejde med overførsel af resultaterne til kort. I dette tilfælde er det sket manuelt fra billederne i måleforholdet 1:6.000 til Geodætisk Instituts kortmanuskripter i 1:10.000. I denne proces kan EDB-teknik antageligvis med fordel have været inddraget. Kortet er i formindsket måleforhold gengivet figur 11.

Ved den traditionelle kartering, hvor observatøren færdes på jordoverfladen, kan det være vanskeligt at få overblik over sedimenternes arealudbredelse. Ved benyttelse af flyfotos opnås overblikket, og feltarbejdet indskrænkes til at verificere og kontrollere sedimenttyper på i forvejen udvalgte lokaliteter samt at kontrollere grænsedragninger efter samme princip. Kortet over overfladens sedimenter, der kan tegnes ved fotogeologisk kortlægning, bliver meget detaljeret og kan fremstilles i det målforhold som flyfotos er optaget i.

Da feltarbejdet kan begrænses ved anvendelse af luftfotos ligger heri en økonomisk fordel i forhold til den sædvanlige kortlægning. Til gengæld skal der foretages en flyfotografering, der er bekostelig dels på grund af flyvningen, dels i indkøb af film. En egentlig økonomisk sammenligning af de to metoder giver den gennemførte undersøgelse ikke mulighed for. Men undersøgelsesprojektet viser, at det er muligt at udtegne litologiske kort over overfladens sammensætning med stor detaljrigdom på relativ kort tid. En erfaring der også er gjort i Holland.

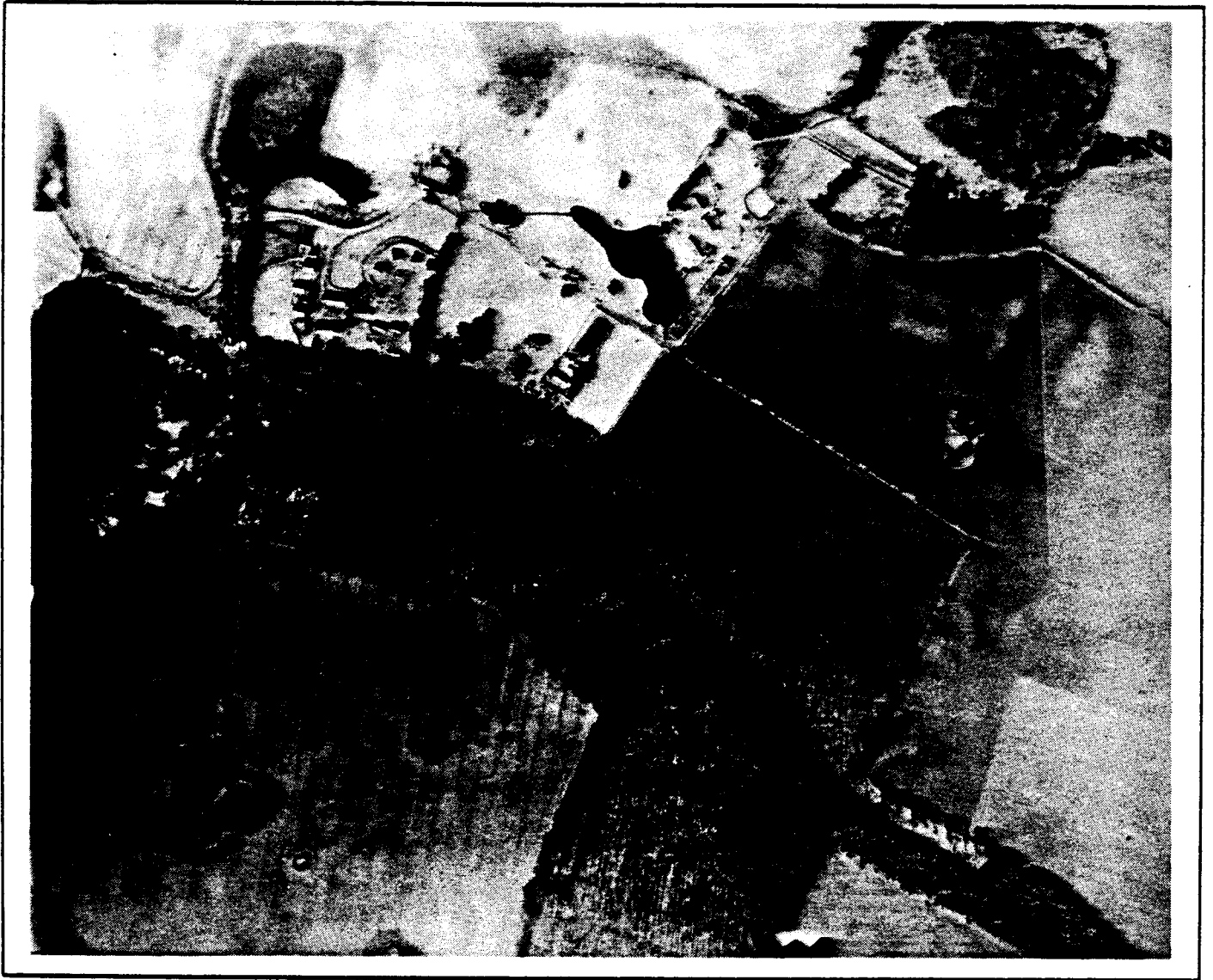
DGU's tidligere kortlægning i forsøgsområdet ved Lejre blev udført i forrige århundredets sidste årti, på et tidspunkt hvor den systematiske geologiske kortlægning var i sin begyndelsesfase. Der har derfor sandsynligvis rådet en vis usikkerhed vedrørende tolkninger og den tilstrækkelige tæthed i karteringen. Desuden har der utvivlsomt været praktiske problemer blandt andet med transport rundt i landskabet. Når disse forhold sættes i relation til den politik med hensyn til udgivelsesfrekvensen for de geologiske kort, som instituttet havde, har man formodentlig de væsentligste årsager til forskellen mellem de to kort figur 11 og 12.

Sammenligningen mellem Rørdams kort fra 1899 (fig. 12) og det nye fotogeologiske kort kan imidlertid føre til generelle overvejelser om pålideligheden af DGU's ældre kort, i forhold til de krav nutidens brugere har til geologisk information.



©Copyright GEOPLAN A/S

Fig. 8. Udsnit af flyfotos fra området nord for Ledreborg. Billedet gengiver den røde refleksion. Bemærk gråtoneforskellene på markerne på dette og det efterfølgende foto. Forskellene skyldes forskelle i litologi, fugtighedstilstand og vegetationstype. I fig. 10 vises tolkningen af litologien.



© Copyright GEOPLAN A/S

Fig. 9. Flyfotos fra samme område som gengivet i fig. 8.
Billedet gengiver den infrarøde refleksion.

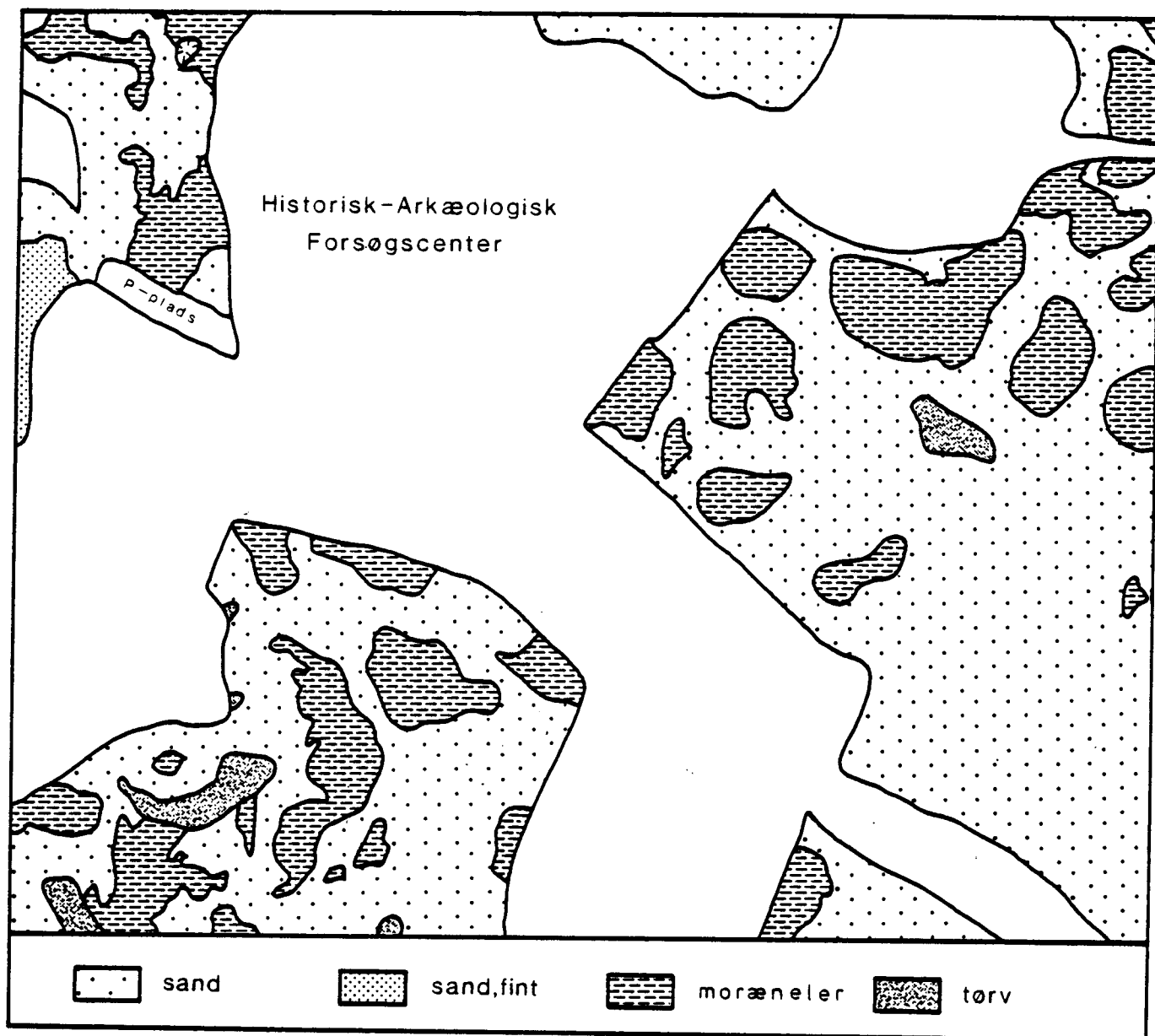
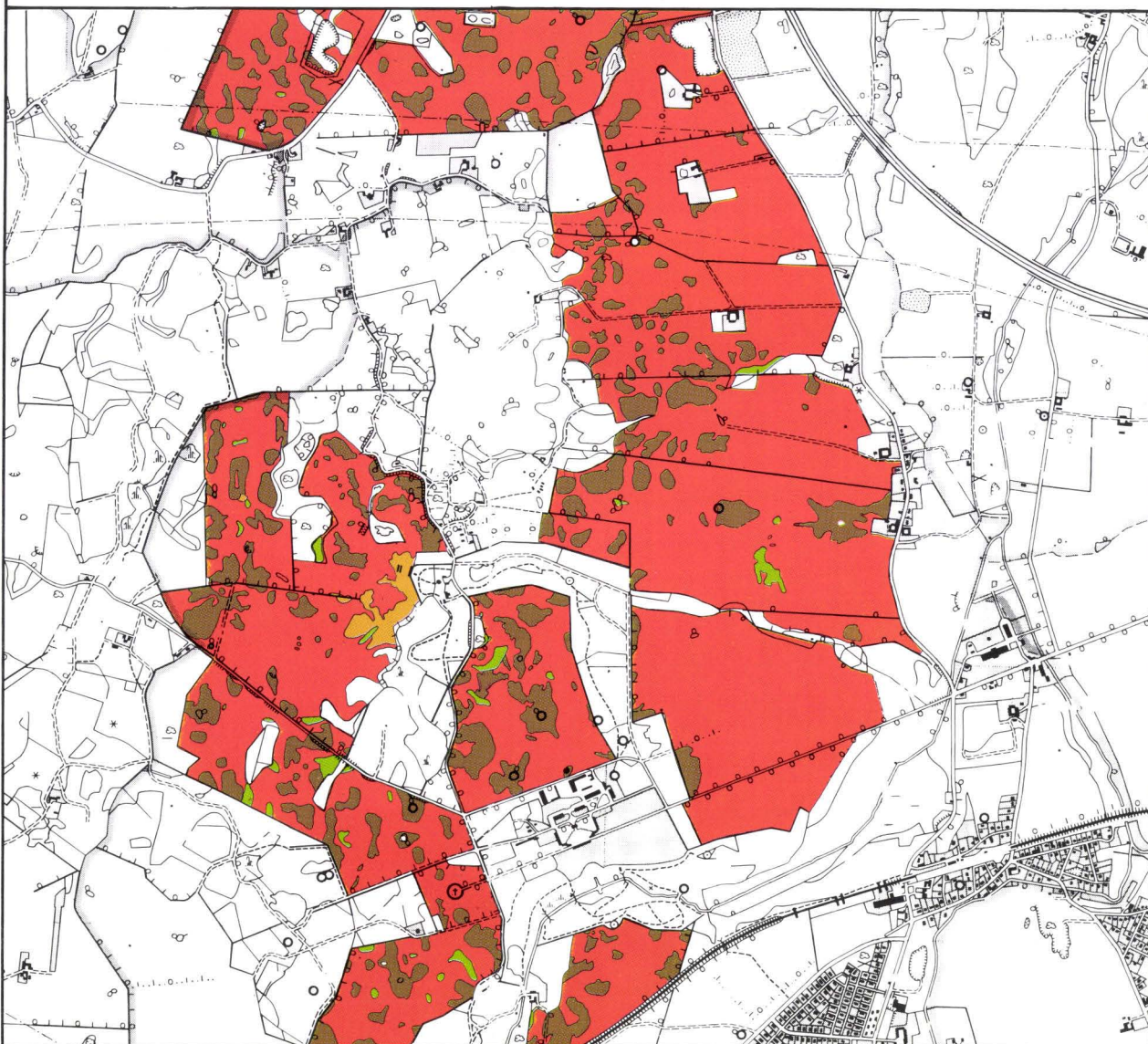


Fig. 10. Kortet gengiver samme område som fig. 8 og 9. Kortet er fremstillet ved tolkning af de 2 flyfotos efterfulgt af kartering i felten med henblik på kontrol af sedimenterne og grænsedragningen. Måleforholdet er ca. 1:6.000.

Geologiske overfladedannelser nord for Lejre 1 : 25 000



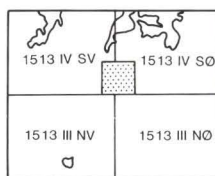
En multispektral fotogeologisk kortlægning

Kortlægning Ib Marcussen 1986

DGU

Danmarks Geologiske Undersøgelse
Miljøministeriet

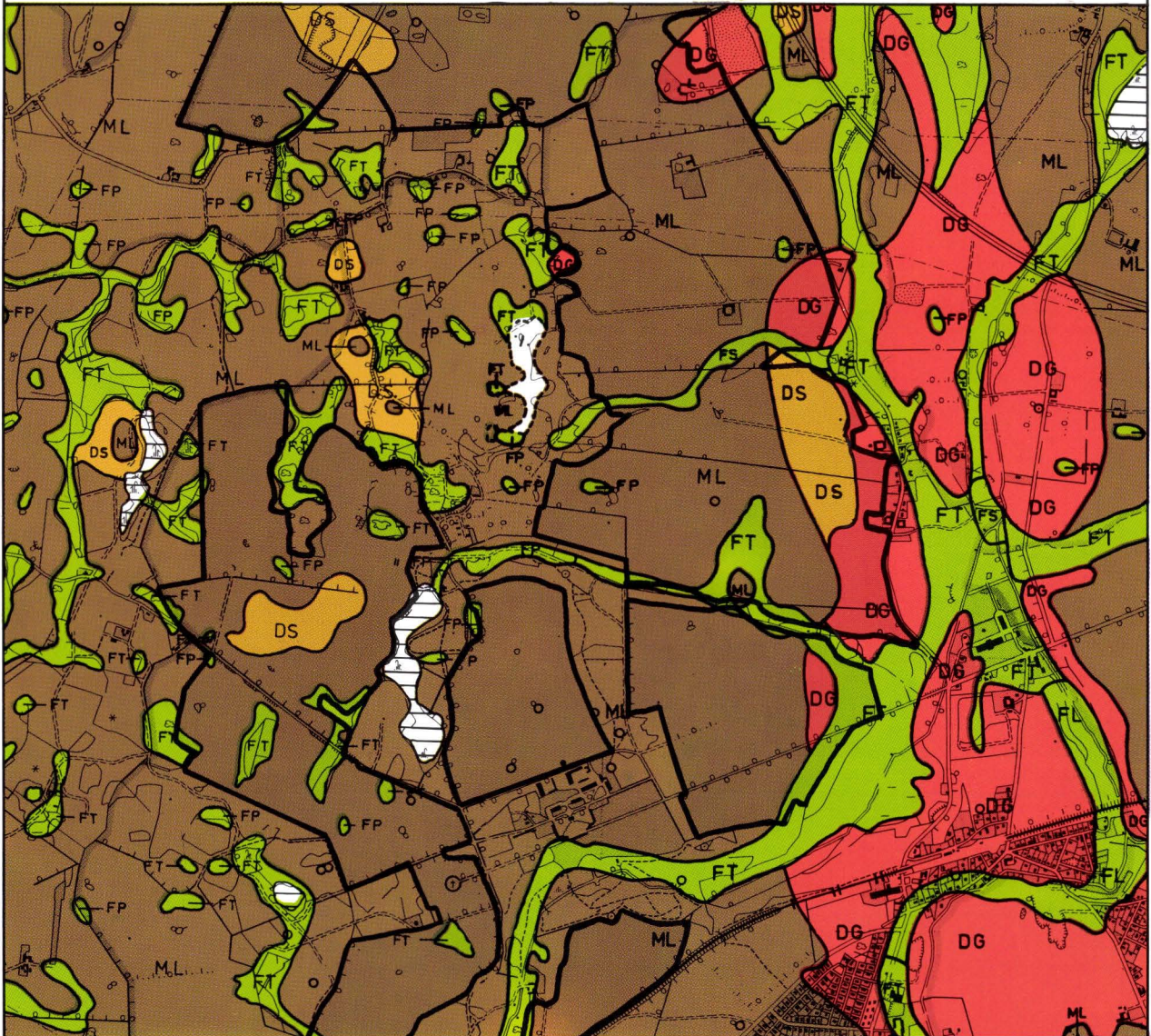
-  Moræner
-  Smeltevandssand ,groft
-  Smeltevandssand ,fint
-  Tørv



Grundmaterialet er
Geodætisk Instituts
4 cm kort 1513 IV SØ og
1513 IV SV. Reproduceret
med tilladelse A83
af Geodætisk Institut

Fig. 11. Kort over sedimenterne i overfladen som de er kortlagt ved hjælp af de spektrale luftfotos suppleret med feltkontrol.

Geologiske overfladedannelser nord for Lejre 1 : 25 000

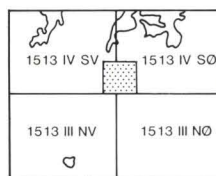


Kortlagt af K. Rørdam 1890 - 98

DGU

Danmarks Geologiske Undersøgelse
Miljøministeriet

- ML Moræner
- DG Smeltevandssand
- DS Smeltevandssand
- FT/FP Ferskvandstøv og -gytje



Grundmaterialet er
Geodætisk Instituts
4 cm kort 1513 IV SØ og
1513 IV SV. Reproduceret
med tilladelse A83
af Geodætisk Institut.

Fig. 12. Det litologiske kort karteret i perioden 1890-98.

Råstofgeologiske forhold

I det kortlagte område er 3 råstoffer blevet gravet. Det er grus/sand, moræneler (mergel) og Kertemindemergel. Som angivet ovenfor kan de tre sedimenttyper karteres fotogeologisk. Det har imidlertid ikke været muligt på de forhåndenværende billeder at adskille grusområder fra områder med sand. De hollandske erfaringer tyder dog på, at det skulle være muligt. Derimod har området med finsand/silt kunnet fastlægges. Kertemindemergel ses meget tydeligt i overfladen.

Det kortlagte områdes geologiske opbygning

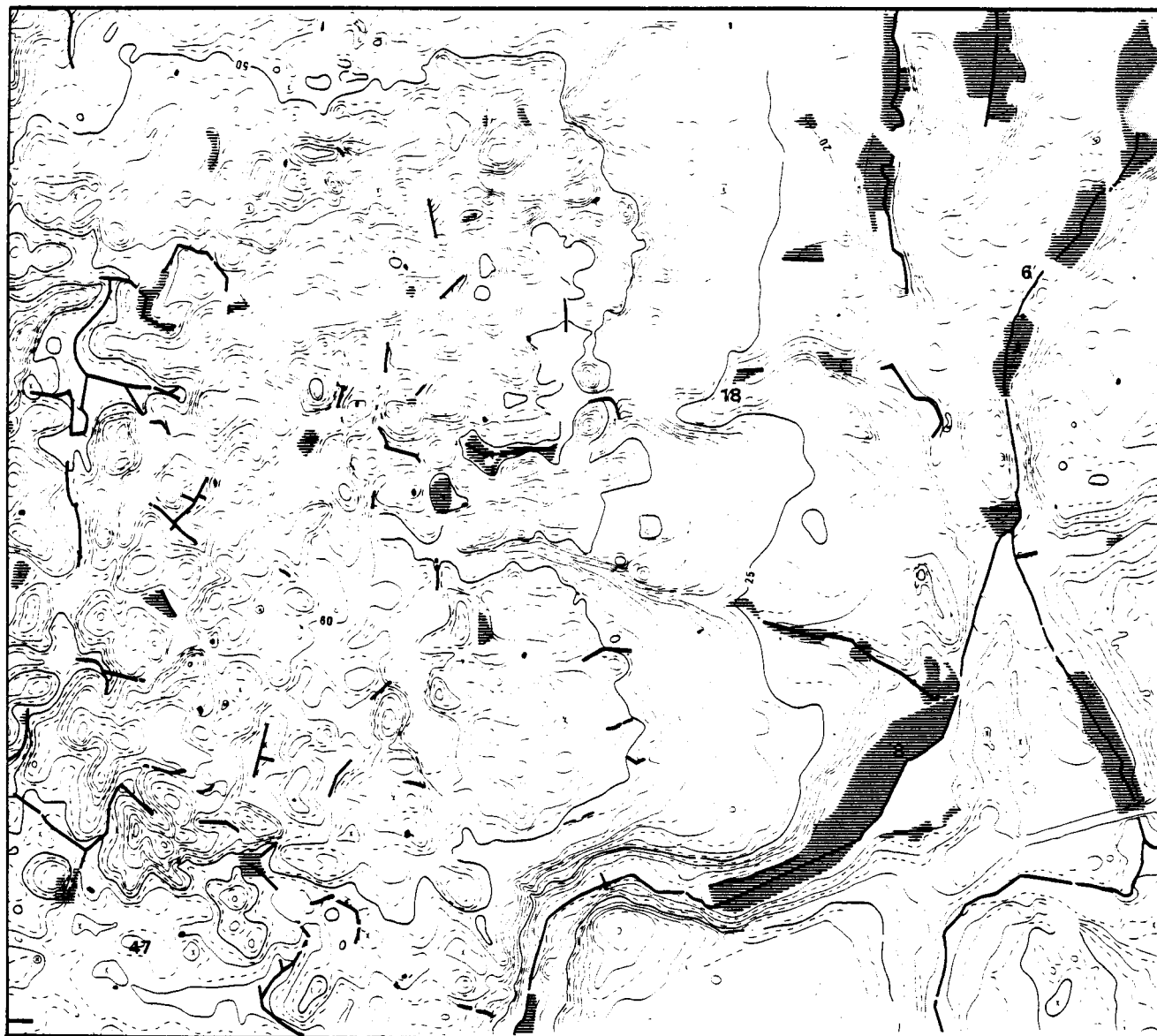
Undersøgelsesområdet består dels af et småbakket højtliggende landskab, dels nogle jævne flader ud mod dalsystemet øst for området.

Overfladen af prækvartæraflejringerne ligger under højlandet i kote + 15 - + 20 m, og under dalsystemet varierer koten meget og er nogle steder + 40 m. De prækvartære aflejringer består af tertiært kalksandsten. Over kalksandstenen er der i flere boringer fundet 10 - 15 meter moræneler og derover smeltevandssand. I nogle boringer er der 10 - 25 meter moræneler øverst. Det antages, at det er de to sidstnævnte aflejringer, der er fundet ved den her beskrevne kortlægning.

Der er flere steder i bakkelandet fundet flager af tertiær mergel, Kertemindemergel. Hansen (1930), Gry (1935) og Milthers (1935) har beskrevet mergelforekomsterne. Der er sket en ikke ubetydelig råstofindvinding i nogle af forekomsterne.

Fladerne (se fig. 13) ud mod Lejreådalen er jævne og består af smeltevandssand og tolkes som terrasser.

OROHyDROGRAfISK KORT OVER FORSØGSOMRÅDET
 NORD FOR LEJRE
 1 : 25.000



Kurveplaner fra Geodætisk Instituts
 4 cm kort 1513 IV SØ og SV
 Reproduceret med tilladelse A83 af
 Geodætisk Institut.

0 1 km
 —————
 Ækvidistancen er 2.5 m

Fig. 13. Kurveplan over det kortlagte område gengivet i figur 11 og 12.

Bakkelandet har en stærkt varieret topografi med små uregelmæssige bakker og afløbsløse lavninger. Aflejringerne består fortrinsvis af smeltevandssand. Moræneler forekommer i små områder, der ikke har en konsekvent placering i landskabet, som for eksempel på bakketoppe. Der er tillige fundet en forekomst af finkornet sand med spredte småsten. Det kan ikke afgøres på det indsamlede materiale, hvorvidt dette sand er en søaflejring eller en ablationstill af typen "stenet sand".

Det er karakteristisk at alle de højeste bakketoppe når en kote på omkring 75 m. Der synes således, som det tidligere er beskrevet (Marcussen 1977), at have været en tærskel, der har styret topniveauet på bakkerne. Når bakkernes indhold af smeltevandssedimenter tages i betragtning, synes det rimeligt at tolke topfladen som en glaciofluviatil flade, hvis højde blev kontrolleret af en tærskel i isen. Aflejringen må delvis have hvilet på dødis, og efterhånden som den smeltede, dannedes det urolige terræn, vi ser i dag.

SAMMENFATNING

Anvendelsen af luftfotos, der gengiver reflektionen i de spektrale områderne rødt og nært-infrarødt, giver mulighed for at skelne forskellige sedimenttyper på jordoverfladen.

På grundlag af fotografierne kan der udtegnes kort. Ved et begrænset feltarbejde justeres og kontrolleres kortene. Kortlægningen er meget fleksibel med hensyn til måleforhold. I

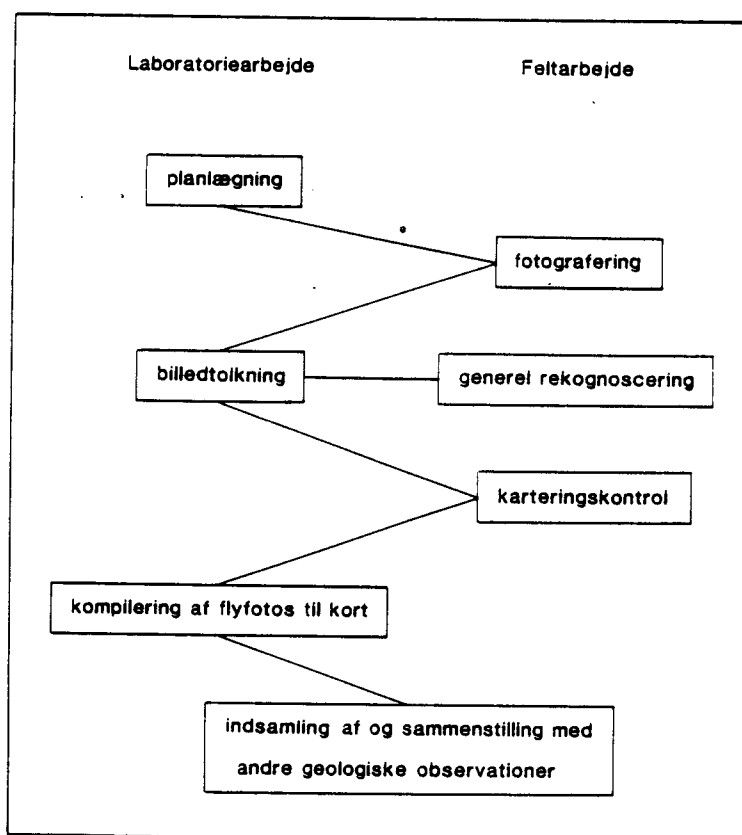


Fig. 14. Skemaet viser arbejdsgangen ved en fotogeologisk kortlægning.

store måleforhold kan der udtegnes kort med mange detaljer. Med hensyn til tidsforbrug ved feltarbejde synes metoden at være fordelagtig i sammenligning med stikborkartering, men til gengæld skal der optages relativt bekostelige luftfotos. Metoden stiller endvidere krav til geologens træning og erfaring.

De kort, der kan udtegnes på grundlag af disse specielle luftfotos, giver udbredelsen af de litologiske enheder i overfladen. Kortene skal derfor suppleres med studier af litteratur, rapporter, boringer m.v. samt undersøgelser af åbne profiler og boringer for at indgå i en geologisk model og et geologisk kort.

Den fotogeologiske kortlægning er et supplement til sædvanlig arealkartering, og den kan benyttes når en særlig stor detaljeringsgrad ønskes.

Forløbet af en fotokortlægning med anvendelse af specifikke bølgelængder er givet i skemaet fig. 14.

TAKSIGELSE

Under et ophold på ITC i Holland demonstrerede dr. A. Sesören, hvorledes spektralt filtrede luftfotos kunne anvendes til litologisk kortlægning. Jeg vil benytte lejligheden til at takke dr. Sesören for inspirerende samtaler.

Fotograferingen blev foretaget af firmaet Geoplan A/S, og der skal her rettes en tak for samarbejdet. En tak der ikke mindst gælder Georg Hemmershøj Nielsen.

Professor Erling Bondesen og geolog Bjørn Hermansen har gennem konstruktive diskussioner bidraget til udformningen af manuskriptet. Tegnerne Henrik Klinge Petersen, Torben Jensen og Eva Melskens har bistået med tegnearbejdet, Birgit Jørgensen og Kirsten Sloth har renskrevet manuskriptet. Til dem vil jeg rette en tak for samarbejdet.

LITTERATURLISTE

- Berthelsen, A. 1970: Fotogeologiske og feltgeologiske undersøgelser i NV-Sjælland. Dansk geol. Foren., Årsskrift 1970, pp. 64-69.
- Christensen, L. 1973: Fossile polygonmønstre i Jyske Landbrugsjorder. Ugeskrift for agronomer og hortonomer 2, pp. 102-107.
- Christensen, L. 1973: Planteavl og geologi: Geologisk tolkning af afgrødemønstre i landbrugsjorder. Det Nye Danske Landbrug 4:6, pp. 13-18.
- Christensen, L. 1974: Crop-marks revealing large-scale patterned ground structures in cultivated areas, southwestern Jutland, Denmark. Boreas 3, pp. 153-180.
- Christensen, L. 1974: Sporing af fossile permafroststrukturer i danske kornmarker. Geografisk Orientering 6, pp. 423-429.
- Fobian, A. 1977: Flyvebilleders anvendelse ved jordbundskortlægning. Dansk geol. Foren., Årsskrift 1976, pp. 7-21.
- Gry, H. 1935: Petrology of the paleocene sedimentary rocks of Denmark. Danm. geol. Unders. II. række, 61, 172 p.
- Hansen, S. 1930: Om Forekomster af Glacialflager af paleocæn Mergel paa Sjælland. Danm. geol. Unders. IV række, 2,7, 22 p.
- Houmark-Nielsen, M. 1975: En glacialstratigrafisk oversigt fra Nordsamsø og Tunø. Dansk geol. Foren., Årsskrift 1975, pp. 11-13.
- Marcussen, I. 1977: Deglaciation landscapes formed during the wasting of the late Middle Weichselian ice sheet in Denmark. Danm. geol. Unders. II. række, 110, 72 p.
- Milthers, V. 1935: Nordøstsjællands geologi. Danm. geol. Unders. V. række, 3, 192 p.
- Oele, E., W. Apon, M.M. Fischer, R. Hoogendoorn, C.S. Mesdag, E.F.J. de Mulder, B. Overzee, A. Sesören & W.E. Westerhoff 1983: Surveying The Netherlands: Sampling techniques, maps and their application. In: M.W. van den Berg & R. Felix (eds.): Special issue in the honour of J.D. de Jong. Geol.

- Mijnbouw 62, pp. 355-372.
- Rørðam, K. 1899: Kortbladene Kjøbenhavn og Roskilde. Danm. geol. Unders. I. række, 6, 108 p.
- Sesören, A. 1977: Geological mapping in a Pleistocene area, which is cultivated and covered by vegetation, with the use of multispectral aerial photography. Geological Survey of the Netherlands, Haarlem.
- Sesören, A. 1981: Multispectral imagery and its potential application to geological studies, in the Netherlands. Geological Survey of the Netherlands, Internal Report.
- Sjørring, S. 1974: Some problems in the till stratigraphy of the northeastern part of Sjaelland. Bull. Geol. Inst. Univ. Uppsala 5, pp. 31-35.
- Svensson, H. 1963: Some observations in West Jutland of a polygonal pattern in the ground. Geogr. Tidsskr. 62, pp. 122-124.
- Svensson, H. 1964: Aerial photographs for tracing and investigating fossil tundra ground in Scandinavia. Biul. peryglac. 14, pp. 321-325.
- Svensson, H. 1972: The use of stress situations in vegetation for detecting ground conditions on aerial photographs. Photogrammetria 28, pp. 75-87.

Sediment kortlægning ved anvendelse af luftfotos har hidtil været resultatløst i Danmark.

Imidlertid er der i Holland udviklet en ny metode, som også kan bruges på dansk område.

Metoden gør brug af optagelser i det røde og nærinfrarøde spekter, denne rapport omhandler resultatet af dette forsøg.

Miljøministeriet

Danmarks Geologiske Undersøgelse

Thoravej 8

DK 2400 København NV

Danmark

Telefon 01 10 66 00

ISBN 87-88640-12-4

ISSN 0900-6257