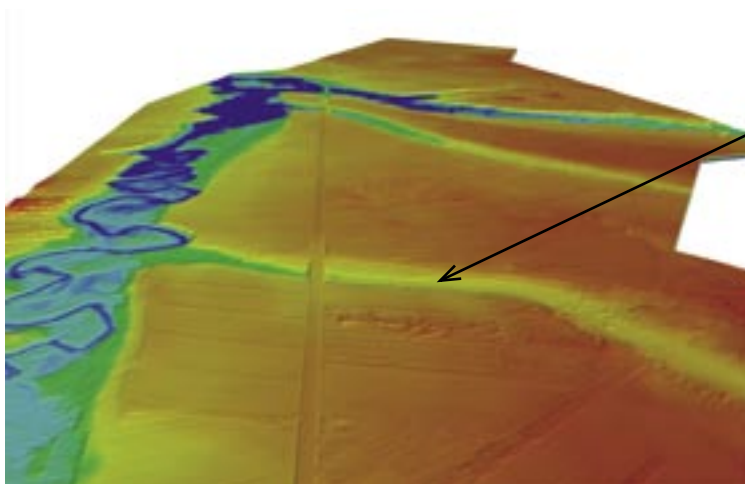


Højdemodeller og laserskanning

Johnny Koust Rasmussen, Geoinformation, Scandinavia, COWI A/S

Kortlægning af et landskabs højdeforhold har meget længe været en del af den generelle kortlægning. I slutningen af forrige århundrede fik Danmark således den første landsdækkende højdemodel i forbindelse med udfærdigelsen af det første landsdækkende topografiske kort. [Geodætisk institut, 1978]. I forbindelse med den generelle udbredelse af GIS er der opstået bedre mulighed for at benytte terrænmodeller, hvorfor bedre modeller, både mht. nøjagtighed og pris, har fået øget aktualitet. Inden for de seneste år er der da også opstået flere nye opmålingsmetoder, der kan anvendes til opsamling af data til dannelse af højdemodeller. Der kan her nævnes GPS, der ved RTK-måling effektivt kan opmåle let tilgængelige områder (veje, marker, enge mm.), radarskanning (SAR/IFSAR) og ikke mindst laserskanning.



Figur 1: Laserskannet højdemodel (DTM) fra en vejstrækning (COWI A/S)

Hvad er en højdemodel?

En højdemodel kan betragtes som en mængde af indmålte punkter, der sammen med en interpolationsmetode giver en beskrivelse af et landskab. Ved anvendelse af en højdemodel er det vigtigt at være opmærksom på, at der altid vil være tale om en tilnærmet gengivelse af landskabet uanset kvaliteten af data.

Det er endvidere vigtigt at forholde sig til, med hvilken nøjagtighed det aktuelle landskab kan defineres. En asfalteret vej vil kunne define-

res meget nøjagtigt, mens en mudret pløjemark er meget mere diffus. Når der tales om *nøjagtigheden* af en højdemodel (ofte anført som midelfejlen) er det derfor oftest målte punkters gennemsnitlige afvigelse fra veldefinerede arealer, der henvises til. Ligeledes er nøjagtigheden, der gengives, oftest et udtryk for de målte punkters nøjagtighed og ikke nøjagtigheden af selve modellen.

Et landskab forandres over tid. Dels ved opførelse af veje, jernbaner mv. og dels ved dyrkning.

På billedet er hovedparten af området opdyrket, men der er også, som vist med pilen, skov i området - og i skovområdet er strukturen i terrænet helt anderledes end i de dyrkede arealer.

Nøjagtigheden af en højdemodel har også indflydelse på holdbarheden af modellen, dvs. hvor længe højdemodellen kan betragtes som havende den angivne nøjagtighed. Hvis en højdemodel således har en nøjagtighed på 5 meter vil den have en lang holdbarhed, idet det er sjældent at landskabet forandres så meget. Hvis højdemodellen derimod har en nøjagtighed på 5 centimeter vil den have en kortere holdbarhed, idet f.eks. pløjningen af en mark vil være en betydelig ændring af højdemodellen.

Laserskanning

Princippet i luftbåren laserskanning er, at en laser monteres i et fly eller helikopter. Under flyvningen udsendes der laserstråler, der reflekteres af det underliggende terræn og returneres til laserskanneren. Ved at måle tidsrummet fra udsendelse til modtagelse kan afstanden

til terrænet bestemmes med stor nøjagtighed. Når denne afstand sammenholdes med laserskannerens position og orientering, opnås en bestemmelse af terrænoverfladen. Position og orientering skaffes ved hjælp af INS (Inertial Navigation System) og GPS (Global Positioning System).

I dag har laserskannere udviklet sig i to retninger:

- I) Tracéskannere
- II) Områdeskannere

Tracéskannere

Denne type skanning udføres typisk fra lav højde med helikopter. Områderne er højspændings-, vej- og banetracéer. Der skannes et bælte på 2-400 m med typisk 2 - 5 punkter pr. m². Samtidigt optages billeder, så der kan kortlægges og der kan laves ortofoto. Den lave flyvehøjde gør, at der kan flyves under de fleste vejforhold. Ved fotografering kræves der dog gode lysforhold. [<http://www.flimap.com>]

Områdeskannere

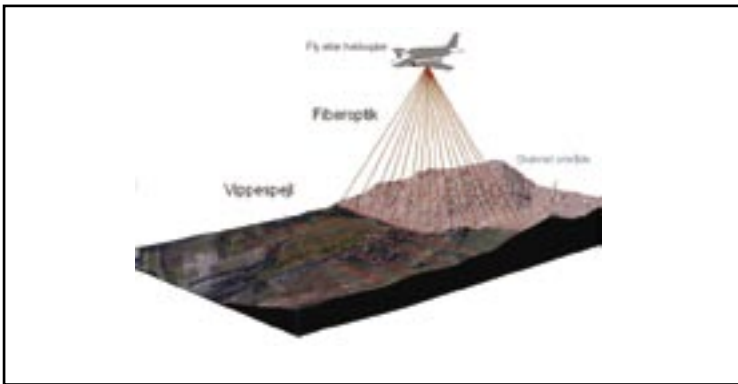
Denne type skannere opereres typisk fra fly og er velegnet til store områder. Når et område skal dækkes er flyvehøjden og åbningsvinklen afgørende for hvor stort et område der dækkes. Med denne type skannere har man derfor en række begrænsninger, der minder om dem der kendes fra fotoflyvning:

- der skal flyves under skydækket
- der må ikke være for meget vind
- der må ikke være sne
- der må ikke være tætte blade på træer, massive marker (korn, raps m.m.) og tuegræs

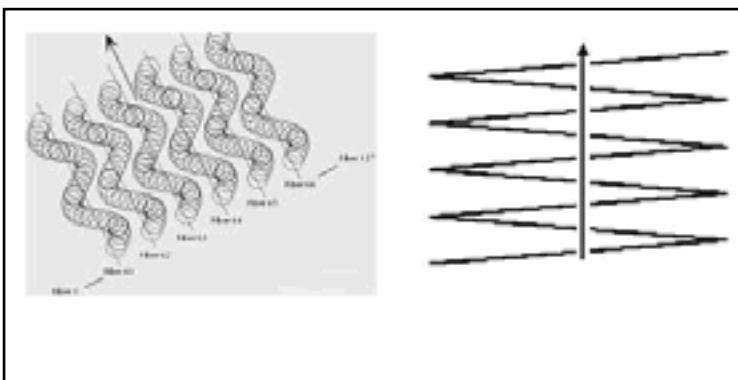
For at give en passende dækning af terrænet spredes laserstrålerne i et mønster. Denne spredning kan opnås på en række forskellige måder, f.eks. "vippende" spejl eller fiberoptisk. Skanningsmetoden har betydning for udseendet af det punktnetværk, der skannes og dermed hvordan terrænet gengives. Det vil ofte være optimalt med en jævn fordeling af punkterne.

Hvor bredt der kan skannes afhænger naturligvis af flyvehøjden, men også af hvilken vinkel hvorved laserstrålerne udsendes med. At skanne bredt sparer flyvetid - specielt ved store, åbne arealer.

Det er imidlertid ikke en ubetinget fordel at kunne skanne bredt, da der ved en øget skanningsvinkel kan opstå



Figur 2: Laserskanning af område med illustration af to forskellige skanningsteknikker.



Figur 3: Illustration af to forskellige skanningsmønstre. Pilene på figurene angiver flyveretningen. [<http://www.optech.on.ca> og <http://www.toposys.com>].

skyggeproblemer, hvor f.eks. en bygning kan forårsage, at der ikke måles punkter på terrænet bagved. Det er således et spørgsmål om at vurdere pris i forhold til kvalitet.

Skanningsfrekvensen er et af de områder, hvor der er sket den kraftigste tekniske udvikling de seneste år. For få år siden var den typiske skanningsfrekvens 5.000-10.000 Hz [Baltsavias, 1998], mens de nyeste systemer kan operere med 80.000 - 100.000 Hz [<http://www.optech.on.ca> og <http://www.toposys.com>].

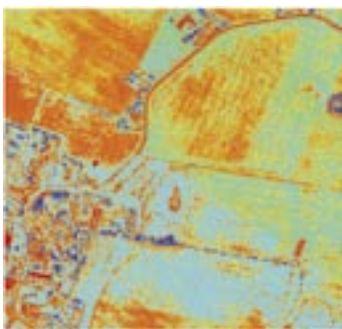
Den øgede frekvens øger punktmængden drastisk og gør det muligt at få en mere detaljeret beskrivelse af terrænet - op til flere punkter pr. kvadratmeter. Den øgede skanningsfrekvens giver alternativt mulighed for at øge flyvehøjden og derved skanningsbredden, samtidigt med at der stadig opnås en fornuftig punkttæthed.

Når laserstrålen når jordoverfladen har den en diameter - et "footprint" - typisk 30-100 cm (afhængigt af flyvehøjden og laserstype). Herved er det muligt at måle top og bund af vegetation ved at registrere det første eller det sidste modtagne signal, hvilket hovedparten af de operationelle systemer er i stand til. [Baltsavias, 1998].

Mange systemer har endvidere mulighed for at lagre intensiteten af de enkelte retursignaler dvs. et udtryk for hvor reflekterende den ramte fla-



Figur 4: En laserstråle rammer et træ. Dele af strålen reflekteres fra de forskellige niveauer i træet og fra terrænet.



Figur 5: Intensiteten i et område udtrykt som farveskala. Det kan netop anes at der er 2 flyvestribes i området, da der er en lille systematisk forskel i intensiteten.

de er. Da denne værdi afhænger af det materiale fladerne består af, er det således muligt at identificere overgangene mellem forskellige objekttyper på jorden. Endnu er der dog ikke set mange konkrete eksempler på anvendelse af intensiteten.

Et problem med intensiteten er, at den er svær at opstille modeller for. Den vil således f.eks. afhænge af fugtigheden af det græs der måles,

den konkrete type asfalt i vejen, typen af teglsten på taget osv.

Databearbejdning

Efter flyvningen beregnes en overflademodel - en DSM (Digital Surface Model) ud fra observationerne fra laseren, GPS og INS. I de fleste tilfælde vil det endvidere være nødvendigt at anvende terrestrisk opmålte paspunkter for at modvirke systematiske fejl i laserskanningsystemet. Herudover bør der foretages en grundig kvalitetskontrol, der sikrer, at der er intern overensstemmelse i data f.eks. imellem de enkelte flyvelinier, samt at der ikke er grove fejl i data. Grove fejl er typisk forårsaget af vand (kan give fejlagtige refleksioner) eller ovenlysvinduer (laserstrålerne vil trænge igennem vinduet og registrere gulvet i stedet for taget).

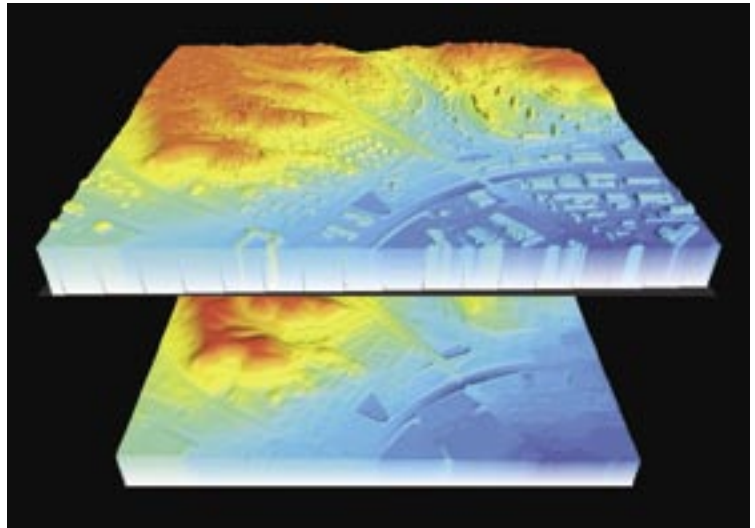
En DSM indeholder højdeinformation om terrænet, vegetation, bygninger, biler mm. - kort sagt alle objekter på og nær terrænet. I mange situationer er det specielt terrænet, der er interessant f.eks. til vejprojektering eller vandstrømsberegninger. Der findes flere algoritmer til at foretage en automatisk klassificering af laserskanningsdata [Hoss, 1996], [Vosselmann, 2000], ligesom der er kommercielle programmer, der har nogle af disse algoritmer indbygget [<http://www.terrasolid.fi> og <http://www.inpho.de>]. Algoritmerne tager f.eks. udgangspunkt i hædnings- eller nabopunkts-

betragtninger eller bruger en sammensætning af filtre (kendt fra remote sensing) som f.eks. "edge detection", "maximum likelihood". Desværre er ingen af algoritmerne problemfri - dertil er virkeligheden for kompleks. Derfor vil der efter den automatiske klassifikation være fejl i data; punkter der enten *skulle* have været klassificeret som terræn, men ikke er blevet det eller omvendt. For at opnå den højeste kvalitet, skal der derfor efterfølgende laves en manuel kontrol af data. Denne kontrol vil typisk fokusere på kendte problemområder som f.eks. skråninger og tæt bevoksede områder.

En anden problemstilling, der er forsket en del i indenfor de seneste år, er konstruktion af 3D bygninger ud fra laserskanningsdata.

Som udgangspunkt er laserskanning i denne henseende hæmmet af, at det er en uintelligent opmålingsmetode. Dette skal forstås således, at der måles en enorm mængde punkter, men disse er tilfældigt fordelt og uden kodning.

Herudover bevirker føromtaltte footprint, at der i praksis måles flader (til forskel fra et punkt, der ikke har et areal), hvorfor det er vanskeligt at definere f.eks. et hushjørne præcist. For at få et troværdigt bygningsobjekt er det derfor nødvendigt med en meget stor punkttæthed og helst også de eksisterende 2D bygningstema. For komplekse bygninger er det fort-



Figur 6: DSM (øverst) og DTM (nederst) fra en laserskanning (COWI A/S)

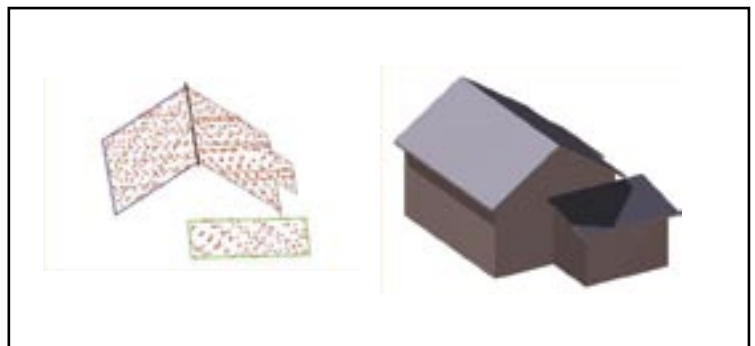
sat nødvendigt med manuel efterbehandling. [Vosselmann, 2002].

Eksempel på anvendelse: Naturgenopretning i Lille Vildmose

Lille Vildmose er udpeget som mulig nationalpark. Cowi har som et led i forundersøgelserne til en naturgenopretning udarbejdet forslag til, hvordan naturen kan "genind-

vandre" i områder af mosen, der er dyrket eller hvor der er gravet tørv. En vigtig faktor ved naturgenopretningen er at vandspejlet skal hæves og for at planlægge en sådan hævnings er en god højdemodel af stor betydning.

Denne højdemodel etableredes ved en laserskanning, Ved hjælp af ortofotos og højdemodellen er der kort-



Figur 7: Til venstre to bygninger med en stor mængde laserpunkter. Til højre de to bygninger konstrueret ud fra punkterne. [<http://www.terrasolid.fi>]

lagt åbne vandløb, grøfter og kanaler i og omkring undersøgelsesområdet. Sammen med en række andre data er det herved muligt dels at lave en model for den nuværende situation, og dels opstille og visualisere modeller for genopretningen.
[Riis et. al, 2004]

Eksempel på anvendelse: Vurdering af signaludbredelse

Ved planlægningen af placeringen af telemaster er det vigtigt at disse giver den optimale dækning af det omkringliggende område og ved visse master er det endvidere vigtigt, at der er frit sigte mellem to master (fri "Line Of Sight" (LOS)). Til denne analyse er det vigtigt at have en god overflademodel (DSM) eller en DTM sammenstillet med 3D bygninger.

Perspektivering

Laserskanning er ved at være en etableret opmålingsmetode til produktion af højdemodeler. Den tekniske udvikling af selve laserskannersystemet går imod en øget punkt-



Figur 8: LOS analyse foretaget i MapInfo Vertical Mapper på baggrund af en laserskannet højdemodel (COWI A/S). Programmet oplyser om der er LOS mellem de angivne punkter og på hvilke dele af strækninger, der er LOS

tæthed, men der er i højere grad ved at blive sat fokus på efterbehandlingen og anvendelsen af data.

Laserskanning har som metode svagheder og vil derfor ikke automatisk udfase den traditionelle fotogrammetrisk fremstillede højdemodel. I mange sammenhænge er det f.eks. ønskeligt med brudlinier hvilket er vanskeligt at konstruere ud fra laserskanningen og til visse projekter er der ikke behov for den store nøjagtighed/punkttæthed som laserskanning kan tilbyde.

Litteratur

"Geodætisk Institut 1928-1978", Geodætisk Institut, ISBN 87-7450-036-8

Baltsavias, Emmanuel P. "Airborne laser scanning: Existing systems and firms and other resources", ISPRS Journal of photogrammetry & remote sensing, nr. 54, 1998

Hoss, H. *DTM Derivation with Laser Scanner Data*; Geomatics Information Magazine, oktober 1996.

Vosselmann, G., *Slope based filtering of laser altimetry data*. IAPRS, 33(B3), 2000

Vosselmann, G., *Automatic 3D Building Reconstruction*, Photonics West 2002: Electronic Imaging

Riis, Niels et. al., *Muligheder for naturgenopretning i og omkring Lille Vildmose - Tekniske undersøgelser og scenarier*. Dokument nr. 90096B-NSR303 Revision nr. B, 2004

Om forfatterne

Johnny Koust Rasmussen, Landinspektør, Geoinformation, Scandinavia, COWI A/S, Nygade 25, 8600 Silkeborg, jyr@cowi.dk, www.cowi.dk