



Noregs miljø- og
biovitenskaplege
universitet

Masteroppgåve 2019 30 stp

Fakultet for Realfag og Teknologi

Forvaltning av dronedata basert på nasjonale og internasjonale standardar og fri og open programvare

Management of drone data based on national and international standards and free and open source software

Gunnar Størseth Haarr

Geomatikk

Samandrag

Datafangst med drone representerer ein ny måte å samle inn geografisk data på. Per i dag finnes det ingen nasjonale spesifikasjonar eller standardar for innsamling eller forvaltning av desse datasetta, men bruken av dronar vert meir og meir utbreia. Datafangst med dronar er ei sær effektiv metode for å hente inn geografisk data, og er eit nyttig verktøy både for forskning og for å skaffe seg oppdaterte modeller over til dømes ein anleggsplass.

Denne oppgåva ser på nasjonale standardar og fri og open programvare for forvaltning av dronedata.

Eit forslag til metadatastruktur for dronedatasett vert formulert basert på nasjonale standardar i Noreg. Utfordringar knytt til forvaltning av data det ikkje enno finnes definisjonar for vert diskutert.

Forvaltningssystemet baserer seg på opne standardar og tek omsyn til nasjonale standardar for geodata.

Abstract

Data collection with UAVs represent a new method for gathering geographical data. Today there are no national specifications or standards for collecting or managing these datasets in Norway, but the use of UAVs is becoming more and more common. Data collection with UAVs is a very efficient method for gathering geographical data, and it is a useful tool for both researchers and for getting updated models of, for instance, a construction site.

This study reviews national standards and free and open source software for management of UAV data.

A proposal for a metadata structure for the UAV datasets is formulated based on national standards in Norway. Challenges related to the management of data which does not have clear definitions are discussed.

The management system is based on open standards and considers national standards for geospatial data.

Forord

Fem år som student på Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet har gitt meg langt meir enn eit vitnemål. Eg vil takke rettleiaren min, Håvard Tveite, for hjelp til å stake ut kursen i oppgåva. Eg vil og takke bi-rettleiar Misganu Debella-Gilo hjå NIBIO for hjelpa med arbeidet undervegs.

Ein stor takk vert og retta til studievener for samhald og stønad undervegs, samt morosame pausar og diskusjonar.

Sist men absolutt ikkje minst vil eg takke kjærasten min, María Andrea Zárata Benoit, for samhaldet og sambuarskapet i den siste tida vår som studentar.

INNHALD

1	Innleiing	1
1.1	Bakgrunn	1
1.2	Motivasjon og problemstilling	2
1.2.1	Hovudmål	2
1.2.2	Delmål	2
2	Teori.....	3
2.1	Droneoptak	3
2.2	Bruk av innsamla data.....	3
2.3	Fri og open kjeldekode.....	3
2.4	Filformat.....	4
2.4.1	Raster	4
2.4.2	Vektor.....	4
2.4.3	Punktsky	4
2.5	Verktøy.....	5
2.5.1	DBMS og GIS.....	5
2.5.2	GDAL og PDAL	6
2.5.3	WMS og WFS.....	7
2.5.4	XML	8
2.5.5	Mapserver	8
2.5.6	Metadata og katalogtenester	8
2.6	SOSI	10
2.7	OGC	10
2.8	ISO/TC 211	10
2.9	OSGeo	11
2.10	Ortofoto/photoscan.....	11
2.11	Geodatalova og geodataforskrifta	11
2.12	Geonorge	11
2.13	Ontologi.....	12
3	Standardisering	13
3.1	Geodataleveranse	13
3.2	Metadatastruktur.....	16
4	Forvaltningsmodell	19

4.1	Datainnsamling	26
4.2	Pre-prosessering	26
4.3	Lagring av rådata.....	26
4.4	Produksjon	26
4.5	Datasett.....	27
4.6	Metadata.....	27
4.7	Visualisering og bruk.....	28
5	Resultat	32
6	Diskusjon	33
6.1	Standardar og dronedata.....	33
6.2	Visualisering av data	34
6.3	Fri og open geoprogramvare	34
7	Konklusjonar og vidare arbeid.....	36
7.1	Konklusjonar	36
7.2	Vidare arbeid.....	36
8	Bibliografi.....	37

Figurliste

Figur 1: Nasjonal norsk geoportal - geonorge (skjermdump frå www.geonorge.no)	9
Figur 2: hovudelement i leveransar i Noreg Digitalt (Norge Digitalt, 2014).....	14
Figur 3: publisering av datasett (Norge Digitalt, 2014)	15
Figur 4: forslag til metadatahierarki for dronedata.	17
Figur 5: forenkla oversikt over dataflyt i arbeidet	20
Figur 6: QGIS-verktøyet DB-håndterer	29
Figur 7: Raster henta frå PostGIS-tabell og visualisert med ruteinndeling i QGIS med bakgrunnskart frå Norge i bilder WMS.	30
Figur 8: kilden.nibio.no (NIBIO, 2019).....	31

Tabelliste

Tabell 1: metadataprofil for datasettserie.....	17
Tabell 2: Filformata i datasetta og stønad for formata i databasesystemet. Naudsynte utvidingar i parentes.	20
Tabell 3: val og moglegheiter med funksjonen raster2pgsql (Postgis, 2019)	24

1 INNLEIING

1.1 Bakgrunn

Bruken av dronar for fjernmåling og overvaking har auka dei siste tiåra, og vert nytta til stadig fleire sivile bruksområde. Låge kostnader, fleksibilitet og høgoppløyslege fjernmålingsmoglegheiter gjer dei attraktive som eit supplement til tradisjonell flyfotografering. Eit av områda som ser meir bruk av dronar er forskning på skog (Giannetti et al., 2018; Tang & Shao, 2015; Wallace et al., 2016)

NIBIO har dei siste åra samla stadig fleire datasett frå dronar. Datasetta består av mosaikk generert av ortofoto, digitale høgdemodellar og terrengmodellar, punktskyer, flybanar, oversikt over datafangstområde m.m.

Det finnes i dag ingen standardar eller produktspesifikasjonar som famnar data innsamla med dronar direkte, og dei standardane som finnes for liknande data tek utgangspunkt i innsamling over langt større områder og med lågare hyppigheit. På eit nasjonalt nivå er det naudsynt med ein prosess for å formulere standardar, produktspesifikasjonar og krav, men enn så lenge er det opp til kvar enkelt leverandør.

Eit utgangspunkt for denne oppgåva er å sjå på moglegheitene for fri og open programvare for forvaltning av desse datasetta. Internasjonalt har det i fleire år vore arbeida for auka deling av og samspel mellom romlege data. I EU har INSPIRE-direktivet lagt til rette for auka tilgjengelegheit av geografiske data, og statlege organisasjonar i fleire land har opna arkiva sine og lagt til rette for at vanlege brukarar kan nytte seg av informasjonen dei har.

Undervegs i denne prosessen har fleire organisasjonar jobba for opne standardar og tenester for deling av romleg data. Dette arbeidet har vore så vellukka at fleire nasjonale geoportalar i Europa bygger på desse standardane, og fleire har vorte adoptert som ISO-standardar.

1.2 Motivasjon og problemstilling

Denne oppgåva har som mål å vurdere om fri og open kjeldekode kan tilby funksjonaliteten som trengs for forvaltning av dronedata. Det finnes mange alternativ som kan tilby interessante løysningar for denne problemstillinga, men denne oppgåva fokuserer på programvare og verktøy som allereie er i bruk og etablert hjå NIBIO samt nasjonale standardar for metadata, produktspesifikasjonar og forvaltning.

Dei siste tiåra har det vore mykje arbeid både nasjonalt og internasjonalt med standardisering av stadfesta informasjon. I Noreg har Norge Digital fått godt fotfeste som følgje av geodatalova, og i Europa har INSPIRE-direktivet lagt føringar for standardisering på tvers av landegrenser.

Internasjonalt er aktørar som OGC sentrale i arbeidet med å utarbeide opne standardar som legg til rette for at alle skal kunne skaffe, nytte og manipulere geografisk informasjon utan spesialverktøy eller -programvare.

I OGC er talet europeiske medlemsorganisasjonar no høgare enn nokon anna region i verda.

Kartverket er teknisk medlem, og utviklinga i Noreg har i lengre tid vore mot opne, internasjonalt etablerte standardar.

Målsetningane for denne oppgåva er oppgitt under. Hovudmålet er og delt opp i mindre, meir konkrete delmål som er interessante å undersøke.

1.2.1 HOVUDMÅL

- Formulere eit forvaltningssystem for dronedata basert på fri og open programvare som tek omsyn til nasjonale og internasjonale standardar.

1.2.2 DELMÅL

- Skaffe oversikt over relevante standardar for fagområdet.
- Adressere utfordringar knytt til forvaltning av dronedata.
- Undersøke kva verktøy som kan bidra til oppfyljing av standardane i forbindelse med forvaltninga.

2 TEORI

2.1 Droneopptak

Skogtakseringsavdelinga på NIBIO har i ei tid nytta droneopptak i arbeidet sitt, og det er venta at intensiteten vil auke i tida framover. I arbeidet med å samle inn informasjon om skogen som grunnlag for å seie noko om vekstforhold, tilstand og utvikling er dronar eit nyttig verktøy. I nær framtid er det planlagt at det vert gjennomført fleire opptak per område.

Dronebileta er JPG-format, men her er det og naudsynt å ha TIFF-formatet i tankane då det føreligg planer for innkjøp av ny drone med ein sensor som kan gjere multispektrale opptak. JPG-filene frå denne modulen er vanlege RGB-bilete, medan TIFF-filene inneheld eit spektralband per fil og metadata i filhovudet for kvar fil.

Når det i oppgåva er snakk om rådata er det sikta til dei ubehandla bileta frå dronen.

Ordet *dronedata* har fått fotfeste i Noreg og vert brukt for å referere til romleg data produsert frå opptak med drone.

2.2 Bruk av innsamla data

Informasjonen som vert samla inn vert nytta til å lage digitale overflate- og terrengmodellar samt ortofotomodellar og punktshyar. Alle datasetta som vert produserte er tilgjengelege i format som er definert i standardane for SOSI samt OGC-standardar. Desse datasetta vert igjen nytta i prøveprosjekt for skogtaksering internt i NIBIO .

2.3 Fri og open kjeldekode

NIBIO nyttar seg i dag i stor grad av eigenutvikla tenester bygga på fri og open kjeldekode, av mange referert til som FOSS/FLOSS – *free/libre and open source software*. Begrepet i seg sjølv er samansett av *fri kjeldekode* og *open kjeldekode*, og i miljøa knytt til dei er det ein del politikk knytt til desse definisjonane. Dei politiske aspekta av definisjonane og dei forskjellige programvarelisensane vert ikkje greidd ut her. For ordens skyld held me oss til begrepet *fri og open kjeldekode*. I dette høvet er det altså programvare NIBIO står fritt til å nytte og tilpasse som dei sjølv vil. Programvare som vert nytta i denne oppgåva er distribuert primært med *GNU General Public License- (GPL)*, *X11/Massachusetts Institute of Technology- (X/MIT)* og *Berkeley Software Distribution-lisensar*.

2.4 Filformat

2.4.1 RASTER

I stortingsmelding nr. 30 «Norge Digitalt – et felles fundament for verdiskapning» er rasterdata definert som «digitale data i bildeform ... for eksempel digitale foto eller digitale (foto)kopier». Det finns fleire forskjellige filtypar for rasterdata, der dei mest brukte er TIFF og JPEG.

TIFF-formatet er opent og fritt, og det er brei støtte for formatet på tvers av applikasjonar og standardar innanfor fleire fagfelt. TIFF-formatet er i utgangspunktet tapsfritt men har støtte for komprimering.

JPEG er eit velkjent og mykje brukt format som ikkje er tapsfritt. Ein av fordelane med JPEG er komprimering, men dette inneber og tap av data.

GeoTIFF er ei vidareutvikling av TIFF-formatet der geografisk informasjon er koda inn i filhovudet på fila. Filendinga er den same, og geoTIFF-filer kan visast av program som ikkje kan tolke den geografiske informasjonen og. Formatet er mykje brukt for utveksling av rasterbasert geodata, og «... bør være det obligatoriske formatet for nye datasett.» (Kartverket, 2015a)

2.4.2 VEKTOR

Vektordata representerer geografisk data med punkt, linje og flater. Det finns fleire formater for denne type data. I Noreg har SOSI-filer lenge vore standarden for geografisk vektordata, men det er eit mål at GML skal vere hovudformat for leveransar i Noreg på sida av SOSI-formatet (Kartverket, 2015b). GML-formatet er utvikla av OGC og er ein ISO-standard (International Organization for Standardization, 2018; Open Geospatial Consortium, 2012).

2.4.3 PUNKTSKY

Ei punktsky er ei rekke punkt med koordinatar som til saman utgjer ein tre-dimensjonal modell. I dette høvet er det snakk om ein modell over geografiske områder. Detaljerte punktskyer kan genererast frå ortofoto ved hjelp av *structure-from-motion*-algoritmar (Wallace et al., 2016). I Noreg vert normalt LAS-formatet brukt, anten direkte eller det komprimerte LAZ-formatet. Det finnes og datasett tilgjengelege i ESRI sitt proprietærformat *zlas*. OGC oppfordrar til bruk av LAS- og LAZ-formata og erkjenner LAS-formatet som ein OGC-standard (Open Geospatial Consortium, 2018).

ASCII-formatet XYZ er og eit opent alternativ, men dette formatet er ikkje standardisert og manglar dokumentasjon.

LAS-formatet vert vedlikehalda av ASPRS – the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS: The Imaging and Geospatial Information Society, 2019). LAZ-formatet er bygga på LAS-standarden og er ein metode for å komprimere LAS-filer.

2.5 Verktøy

2.5.1 DBMS OG GIS

Eit databasehandteringssystem (*Database management system - DBMS*) er programvara som vert nytta for å handtere digitale databasar. Det finnes fleire forskjellige system som tilbyr forskjellige tenester og moglegheiter. I denne oppgåva held me oss til PostgreSQL, som er eit opent og fritt system. PostgreSQL, ofte referert til som Postgres eller PSQL, vert nytta over heile verda og er eit veletablert DBMS på lik linje med kommersielle alternativ. Ein av styrkane til PSQL er utvidingane som er tilgjengelege for det. For geografisk informasjon er det særleg PostGIS som er relevant.

PostGIS er ei utviding for PSQL som gjer det mogleg å handtere romlege objekt i databasesystemet. I ei undersøking av tilstanden av fri og open programvare for GIS skriv (Ramsey, 2007) at «styrken til PostGIS er at det har blitt standarddatabasen for romlege tenester for alle andre opne GIS-tenester», noko som vert støtta opp av (Bocher & Neteler, 2010).

PostGIS gjer stønad for [romlege operasjonar, funksjonar, datatypar og forbetra indeksering] (Obe & Hsu, 2011). I PostGIS 2.0 vart støtte for raster-data implementert (Postgis, 2019), noko som gjer det mogleg å handtere alle data direkte i databasesystemet.

For import av data på raster-format i ein PostGIS-database kan funksjonen *raster2pgsql* nyttast.

Denne funksjonen vert levert saman med PostGIS. Når funksjonen vert kalla på kan brukaren definere fleire val ved import, mellom anna

- om raster-filene skal leggest i ein ny, eller knyttast til ein eksisterande, tabell
- definere romleg referansesystem og pikselstorleik
- definere rastersettet som out-db og i staden laste inn metadata og filplassering
- lage oversiktsfaktor, altså generere mindre versjonar av raster-settet for betre yting

Med mindre brukaren har kompilert eige bibliotek vil funksjonen nytte ein GDAL¹-drivar som vert levert saman med dei fleste distribusjonar av PostGIS, som inneber stønad for mellom anna JPEG, TIFF og GeoTIFF (Postgis, 2019). Dette vil reelt ikkje vere eit stort problem.

2.5.2 GDAL OG PDAL

Geospatial data abstraction library er eit bibliotek for handtering, konvertering og prosessering av filformat for geodata på vektor- og rasterformat (Open Source Geospatial Foundation, 2019a). GDAL har stønad for ei lang rekke filtypar og vert nytta av eit stort antal program for å lese, transformere og skrive filer.

GDAL vert i dag utvikla under OSGeo-fanen og er eit sentralt verktøy innanfor kategorien fri og open geoprogramvare.

Point data abstraction library er for punkttskyer det GDAL er for raster-data. PDAL kan altså nyttast til å lese, manipulere og konvertere punkttskyer. (Point cloud Data Abstraction Library, 2019)

```
>gdalwarp -t_srs EPSG:32633 DSM.tif DSM_33.tif
Creating output file that is 5705P x 6219L.
Processing DSM.tif [1/1] : 0Using internal nodata values (e.g. -32767) for
image DSM.tif.
Copying nodata values from source DSM.tif to destination DSM_33.tif.
...10...20...30...40...50...60...70...80...90...100 - done.
```

Eksempel på bruken av GDAL: transformere geoTIFF-filer til nye koordinatsystem. Merk at *nodata*²-verdiane vert med i transformasjonen.

GDAL er også eit verktøy som fungerer som bindeledd mellom fleire program innan fri geoprogramvare. GDAL vert brukt som utgangspunkt i rasterstønad i PostGIS³ og Mapserver⁴. Det er og eit frittstående verktøy og kan nyttast for å sjekke metadata frå mellom anna GeoTIFF-filer.

Eit eksempel er vist under, der *gdalinfo* er nytta for å hente informasjon om raster lagra i ein PostGIS-tabell.

```
gdalinfo "PG:host=localhost port=5432 user=postgres password=19115
dbname=dronedata schema=public table=ortho column=orto mode=2"
```

¹ Geospatial Data Abstraction Library – omsetjingsbibliotek for raster- og vektordata-format (Open Source Geospatial Foundation, 2019b)

² *Nodata* er ein verdi for å representere fråvær av informasjon. Alle pikslar med denne verdien vil varte lest som tomme.

³ https://www.gdal.org/frmt_postgisraster.html

⁴ <https://mapserver.org/el/input/raster.html>

```

Driver: PostGISRaster/PostGIS Raster driver
Files: none associated
Size is 17000, 18200
Coordinate System is:
PROJCS["WGS 84 / UTM zone 32N",
  GEOGCS["WGS 84",
    DATUM["WGS_1984",
      SPHEROID["WGS 84",6378137,298.257223563,
        AUTHORITY["EPSG","7030"]],
      AUTHORITY["EPSG","6326"]],
    PRIMEM["Greenwich",0,
      AUTHORITY["EPSG","8901"]],
    UNIT["degree",0.0174532925199433,
      AUTHORITY["EPSG","9122"]],
    AUTHORITY["EPSG","4326"]],
  PROJECTION["Transverse_Mercator"],
  PARAMETER["latitude_of_origin",0],
  PARAMETER["central_meridian",9],
  PARAMETER["scale_factor",0.9996],
  PARAMETER["false_easting",500000],
  PARAMETER["false_northing",0],
  UNIT["metre",1,
    AUTHORITY["EPSG","9001"]],
  AXIS["Easting",EAST],
  AXIS["Northing",NORTH],
  AUTHORITY["EPSG","32632"]]
Origin = (301859.747406027978286,6598604.563778310082853)
Pixel Size = (0.028880670927096,-0.028880670927115)
Corner Coordinates:
Upper Left  ( 301859.747, 6598604.564) ( 5d30' 5.29"E, 59d28'44.40"N)
Lower Left  ( 301859.747, 6598078.936) ( 5d30' 7.05"E, 59d28'27.44"N)
Upper Right ( 302350.719, 6598604.564) ( 5d30'36.44"E, 59d28'45.23"N)
Lower Right ( 302350.719, 6598078.936) ( 5d30'38.19"E, 59d28'28.27"N)
Center      ( 302105.233, 6598341.750) ( 5d30'21.74"E, 59d28'36.34"N)
Band 1 Block=2048x2048 Type=Byte, ColorInterp=Red
  NoData Value=255
  Overviews: 4250x4550
Band 2 Block=2048x2048 Type=Byte, ColorInterp=Green
  NoData Value=255
  Overviews: 4250x4550
Band 3 Block=2048x2048 Type=Byte, ColorInterp=Blue
  NoData Value=255
  Overviews: 4250x4550

```

GDAL har og funksjonar for samanslåing av TIFF-filer med *gdal_merge*, som kan slå saman individuelle raster-band til ei fil.

2.5.3 WMS OG WFS

WMS står for *Web Map Service*, og er ein standard utvikla av OGC for å syne kart på internett gjennom ei HTTP-spørjing. I spørjinga vert det definert kva for lag og utstrekking som skal synast. Deretter vil geodatabasen som svarer på spørjinga levere informasjonen som vert etterlyst. Det er mogleg å kople fleire geodatabasar til ei WMS-teneste for å levere fleire kartblad som kan synast samstundes.

Spørjinga som vart sendt til tenaren er fyrst ei *GepCapabilities*-spørjing, der tenaren svarar med metadata for å spesifisere kva tenesta kan levere. Begge beskjedane er levert som XML-kodar. Ut frå dette kan klienten etterlyse kartblad frå tenaren og informasjon om eigenskapar og trekk som tenaren kan levere (Open Geospatial Consortium, 2006).

WFS, *Web Feature Service*, er og ein OGC-standard og beskriv korleis geografisk data på eigenskapsnivå skal delast. I staden for å verte presentert med statiske kart kan brukaren velje kva for informasjon som skal synast, til dømes vegnett, bygningar, eigedomsgrenser osv. (Open Geospatial Consortium, 2014).

2.5.4 XML

Extensible Markup Language er markeringsspråket GML er bygga på. Det vart utvikla som eit verktøy for deling av digital informasjon, med særleg tanke på internett. XML er utvikla for å vere enkelt å modifisere til bruk for andre formål.

XML vert mykje brukt i overføring av metadata i GIS-infrastrukturar, særleg katalogtenester og kartapplikasjonar på nett.

2.5.5 MAPSERVER

Mapserver er eit verktøy for publisering av romleg data på nettet. Det fungerer som eit mellomledd mellom ein web-server, romlege data og web-tenester, til dømes WMS- eller WFS-tenester.

Programmet tek imot spørjingar frå web-tenaren og, med hjelp av ei konfigurasjonsfil, returnerer eit bilete (WMS) eller geometriar (WFS) av/i kartet/området som vart etterlyst. Konfigurasjonen vert lagra i ei *map*-fil som mellom anna inneheld informasjon om kvar geografisk informasjon er lagra, koordinatsystem, omfang og formattypar for inn- og utdata.

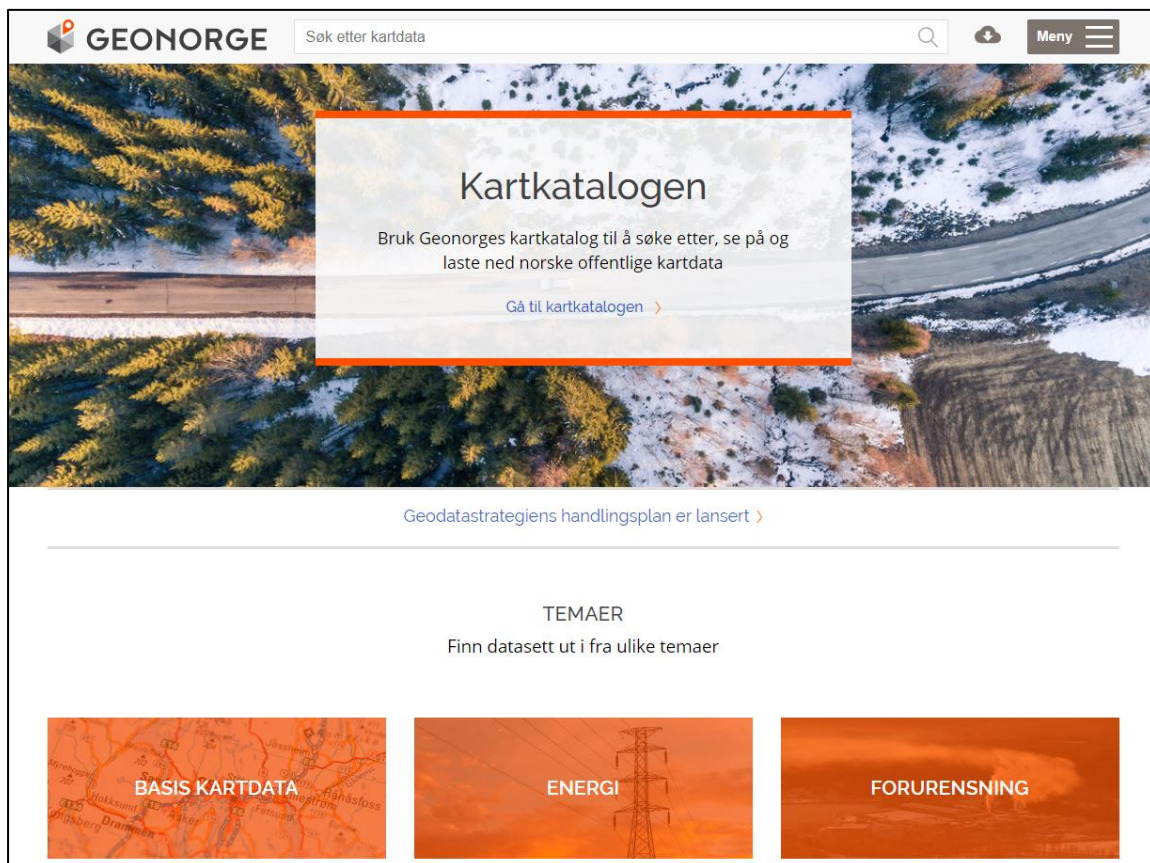
2.5.6 METADATA OG KATALOGTENESTER

Eit av dei sentrale aspekta ved forvaltning av romlege data er metadata, altså data om data.

(McCarthy, 1982) beskriv metadata som «... systematisk beskrivande informasjon om datainnhald og organisering som kan verte henta, manipulert og syna på forskjellige vis.» For romlege data kan dette vere informasjon om kvar og når opptaket vart gjennomført, sensor- og romleg oppløysning i bileta, filstorleik, geografisk referansesystem og filformat, mellom anna.

Formålet med metadata er å beskrive data på ein måte som legg til rette for korrekt og effektiv bruk. Metadata-ane vert nytta for sortering og søking og er med på å informere brukarar om kva data-ane kan brukast til.

Katalogtenester har til formål å gjere geodata mogleg å finne ved å implementere protokollar som leverer informasjon om kva tenester og data som er tilgjengeleg når det kjem ein førespurnad frå ein brukar via ei søketeneste. OGC sin standard *Catalog Service for the Web* (CSW) definerer operasjonar som kan utførast for å returnere informasjon om tilgjengelege data og tenester (Open Geospatial Consortium, 2007a). Desse tenestene fungerer som eit bindeledd mellom ein nettlesar og ein metadata-katalog ved hjelp av http-protokollen. Standarden definerer eit grensesnitt for søking og spørjing etter metadata om mellom anna datasett og tenester (Norge Digitalt, 2017)



Figur 1: Nasjonal norsk geoportar - geonorge (skjermdump frå www.geonorge.no)

Utan metadata er det ikkje berre vanskeleg å finne informasjonen, men og å bruke informasjonen til noko nyttig, då det vil mangle informasjon om nøyaktigheit, tiltenkt bruksområde og i verste fall koordinatar. Det bør vere eit mål at datasetta og tilhøyrande metadata skal tilfredsstillе krava definert av INSPIRE og Noreg Digitalt slik at datasetta kan distribuerast på enklast mogleg vis.

I dokumentet «veileder for Geography Markup Language (GML)» står det «Det er eit mål at GML vert utvikla til å verte eit hovudformat for leveransar i Noreg ved sida av SOSI-formatet.» (Norge Digitalt, 2015). Tekniske metadatakrav vert beskrive i dokumentet «Norsk profil av ISO 19115 Metadata» (Statens Kartverk, 2006b). Denne oppgåva kjem ikkje til å gå i detalj om dette, då desse dokumenta er klare i kva spesifikasjonar og krav som må tilfredsstillast for å møte standarden.

2.6 SOSI

SOSI er både den nasjonale standarden *samordna opplegg for stadfesta informasjon* og eit filformat for norske kartdata. Standarden har vorte utvikla med særleg tanke på internasjonale standardar som ISO/TC211 19115. Målet med SOSI-standarden er «... å etablere og vedlikeholde et strukturert sett av standarder for informasjon vedrørende objekter eller fenomener som er direkte eller indirekte stedfestet.» I det vidare arbeidet med standarden er det eit mål at han skal konvergera mot internasjonale standardar, som blant anna at *Geography Markup Language*, GML, skal vere standardformatet for overføringar (Statens Kartverk, 2006a).

2.7 OGC

Open Geospatial Consortium er ein samanslutning av, så langt, 529 partar. Statens Kartverk er medlem i konsortiet, i lag med fleire andre offentlege og private institusjonar frå heile verda. OGC arbeidar for å utvikle standardar og tenester for deling av romleg informasjon på tvers av grenser, einingar og teknologiar. OGC står mellom anna bak spesifikasjonane for WMS- og WFS-tenester og GML-formatet. OGC er ein frivillig organisasjon som fokuserer på opne standardar.

2.8 ISO/TC 211

Teknisk komité 211 arbeidar med standardar innanfor geografisk informasjon. Dei har ansvar for fleire standardar innanfor feltet, som spesifikasjonar for datakvalitet, metadata, XML, GML og mange fleire. Dei har og ansvar for standardar for metodar, verktøy og tenester for dataforvaltning og anskaffing, prosessering, analyse, tilgang, presentasjon og overføring av geografisk informasjon på digital form (ISO, 2019).

Teknisk komité 211 og OGC samarbeider om utforming av standardar for geografisk informasjon og har mellom anna publisert ISO-standarden 19136 *Geography Markup Language* i samarbeid med kvarandre (International Organization for Standardization, 2018).

2.9 OSGeo

Ein ideell organisasjon som arbeidar for utvikling av open programvare og engasjement av brukarsamfunnet i utviklinga. *OSGeo* og *OGC* har, gjennom eit felles memorandum, eit samarbeid for å syte for god integrasjon av *OGC* sine standardar i programvare utvikla «av» *OSGeo*.

2.10 Ortofoto/photoscan

For generering av ortofoto-, overflatemodellar og punkttskyer hjå NIBIO vert programvara *Photoscan* nytta. Programmet kan generere modellane automatisk frå ortofoto teke anten med drone eller fly. Bileta må ha korrekt metadata og innehalde posisjon for opptak. *Photoscan* er korkje open kjeldekode eller fri programvare, men vert berre nytta i produksjon av modellar.

2.11 Geodatalova og geodataforskrifta

Som eit forvaltningsorgan eigd av Landbruks- og matdepartementet og ein av aktørane i Noreg Digitalt-samarbeidet er NIBIO plikta til å tilby spesifiserte geodata til offentlegheita gjennom gratis tilgjengelege søketenester, dele geodata med andre deltakarar i samarbeidet samt syte for at data-ane vert tilgjengeleggjort i tråd med nasjonale standardar slik at deling og bruk av informasjonen er enklast mogleg (Geodataloven, 2010). Lov om infrastruktur for geografisk informasjon (geodatalova) skal syte for «[t]rygg og effektiv bruk av [geografisk informasjon] ... på lokalt, nasjonalt, regionalt og globalt nivå» og er gjennomføringa av INSPIRE-direktivet (*infrastructure for spatial information in Europe*) i Det europeiske fellesskapet.

I forskrift om infrastruktur for geografisk informasjon (geodataforskrifta) er det gitt ytterlegare informasjon om tekniske krav til deltakande partar og sjølve gjennomføringa av geodatalova. I forskrifta vert og Statens Kartverk utnemnt som nasjonal geodatakoordinator.

2.12 Geonorge

Geonorge er ein nasjonal portal for geodata etablert og drifta av Kartverket. Tenesta er etablert for å gjere det enkelt for deltakande partar å registrere kartdata og for brukarar å finne kva for data som er tilgjengeleg og kvar dei finns. Geonorge er «kjernen i den nasjonale geografiske infrastrukturen» (Norge Digitalt, 2019).

2.13 Ontologi

Ontologi er læra og vitskapen om å klassifisere ting. Ontologiar er relevante for fleire nivå innan GIS-området. Etablerte og standardiserte ontologiar er nyttige for god kommunikasjon mellom både personar og system (Uschold & Gruninger, 1996). Ein ontologi kan modellerast med fleire nivå, noko som er representert i den norske metadataprofilen og andre standardar for metadata. I ISO 19115-standarden er det unike identifikatorar som fortel om objektet ein ser på er ein del av eit større datasett, som igjen kan verte lenka til ein serie av datasett (Statens Kartverk, 2006b).

Standardiserte ontologiar er nyttige for å knytte informasjon saman, samt syte for at det finnes kjente ord og beskrivingar for ting som kan nyttast for å oppdage, evaluere og nytte informasjon.

3 STANDARDISERING

3.1 Geodataleveranse

I samarbeidet *Noreg Digitalt* er det definert krav og spesifikasjonar for korleis geodata skal gjerast tilgjengelege for allmente. Geografiske data skal presenterast anten gjennom søketenester, visningstenester eller nedlastingstenester. Dei fleste datasetta NIBIO forvaltar i dag er tilgjengelege i katalogen på geonorge.no, kan synast på kilden.nibio.no, og nokre av dei kan lastas ned direkte frå NIBIO. Ikkje alle datasetta er moglege å laste ned for allmente, nokre av dei krev autentisering.

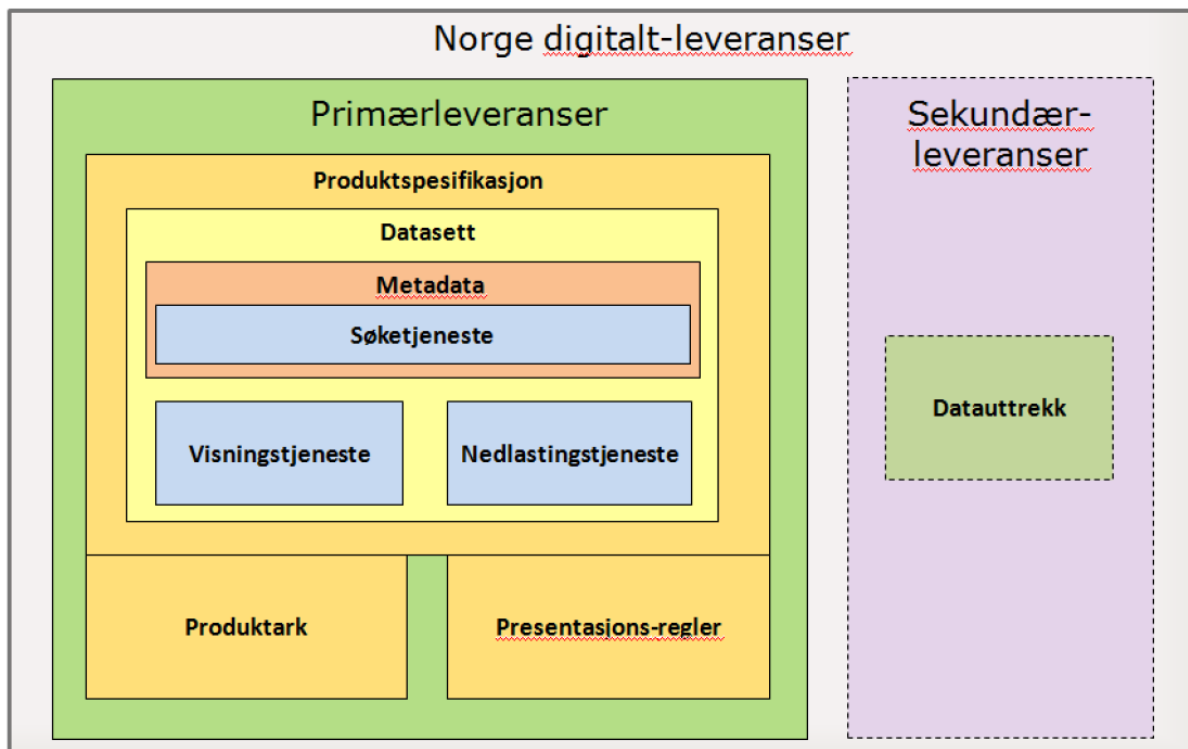
Det finnes fleire standardar ein må ta omsyn til i forvaltning av geografiske data dersom informasjonen skal gjerast tilgjengeleg i etablerte geodataportalar som Geonorge eller INSPIRE sin geodataportal. Objektregisteret i Geonorge⁵ inneheld sentrale objektkatalogar frå SOSI, INSPIRE og partar i Noreg Digitalt. Det finnes og hjelpedokument for implementering av standardar og rettleiingsdokument for forvaltning og geodataleveransar.

Modellane som vert produsert av *Photoscan* er på geoTIFF-format når det gjeld ortofoto- og digitalt terreng- samt overflatemodell. Punktskyta kan eksporterast til LAZ-format, så produkta i modellen er konforme med etablerte standardar, både frå OGC og under Noreg Digitalt.

I rammeverket for Noreg Digitalt er det definert at ein leveranse «... skal innehalde eit datasett som vert eksponert via ei søketeneste, ei visningsteneste, ei nedlastingsteneste, samt tilhøyrande dokumentasjon i form av produktspesifikasjon, metadata, produktark og presentasjonsreglar.» (Norge Digitalt, 2014).

For leveransar er det naudsynt med ein produktspesifikasjon, for å «...konkretisere kva brukarar/produsentar skal kunne produsere, bestille og nytte av dataeigarens data, og i kva form.» (Norge Digitalt, 2014). Ein produktspesifikasjon skal primært ta utgangspunkt i SOSI objektkatalog. Objektkatalogen inneheld definisjonar for fleire fagområde og produkt, og det finnes hjelpedokument for UML-modellering av produktspesifikasjonar. Dette ligg utanfor siktet til denne oppgåva, men meir informasjon kan hentast frå Kartverket på dette området.

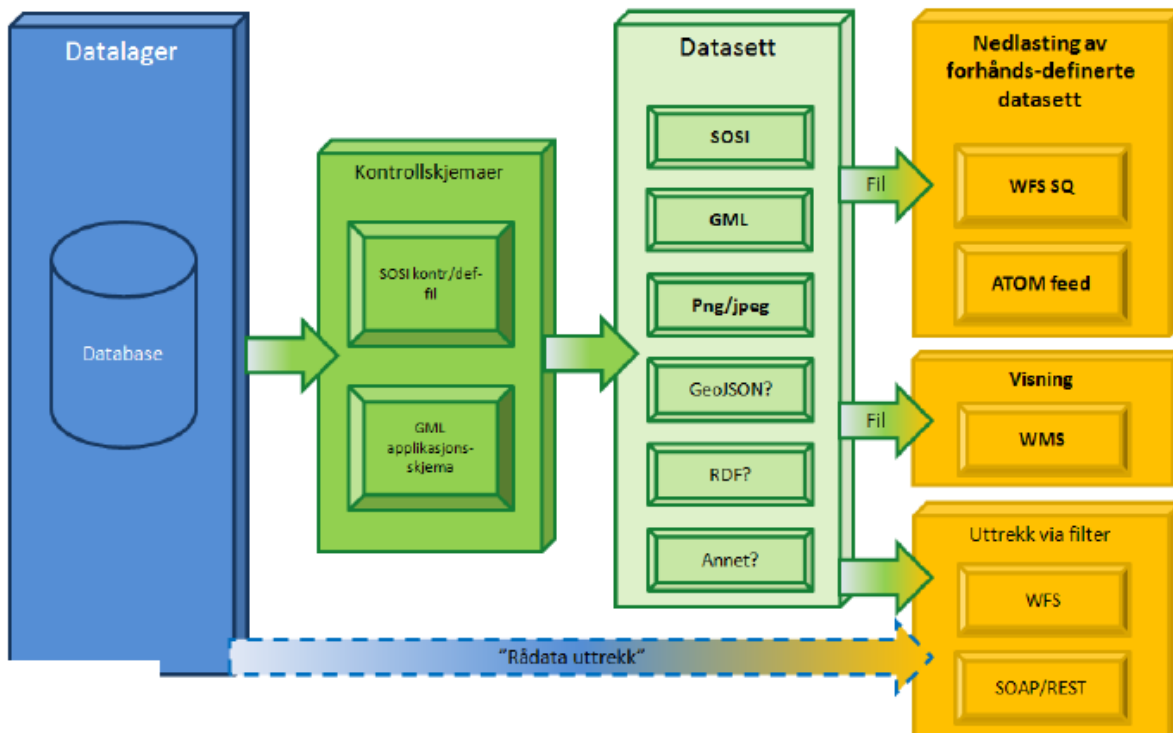
⁵ <https://objektkatalog.geonorge.no>



Figur 2: hovudelement i leveransar i Noreg Digitalt (Norge Digitalt, 2014)

Neste steg er publiseringfasen, der dokumentasjon frå designprosessen skal publiserast. Dette er naudsynt av di brukarar skal finne og nytte datasetta som har vorte definert i designprosessen. Her skal mellom anna metadata og produktark leverast til den nasjonale geoportalen, geonorge. Det er valfritt om dei same dokumenta skal gjerast tilgjengelege i dataeigar sin geoportal.

Trinn 2 i publiseringfasen inneber å sette opp den naudsynte infrastrukturen for at brukarar skal kunne sjå og laste ned datasetta.



Figur 3: publisering av datasett (Norge Digitalt, 2014)

Dei dokumenta som inngår i ein leveranse skal sendast i ei komprimert (zip) fil til post@norgedigitalt.no. Det skal og informerast om kvar leveransefiler for nedlasting kan finnast.

For levering av metadata finnes det forskjellige måtar å gjere det på innanfor rammeverket til Noreg Digitalt. Den teknisk enklaste metoden vil for mange vere geonorge.no sin innebygde *metadataeditor*, men dette kan vere tidkrevjande for aktørar som forvaltar fleire geodatasett.

Eit alternativ som vert nytta av enkelte aktørar er å ha egne metadatakatalogar som leverer metadata til geonorge.no. Dette vert gjort ved hjelp av standardar som CSW, OAI-PMH⁶ eller andre, proprietære standardar (Norge Digitalt, 2017)

CSW-standarden vert nytta for oppdaging av metadata innanfor INSPIRE sitt rammeverk.

⁶ *Open Archives Initiative Protocol for Metadata Harvesting* er eit rammeverk for tilbud og hausting av metadata. Spørringa vert gjort over http, og svaret kjem i form at eit XML-ark.

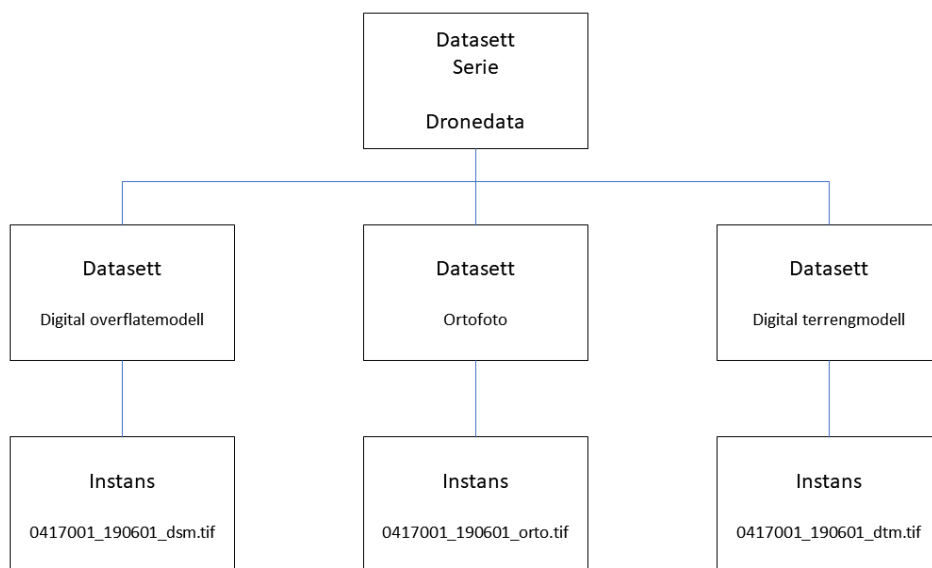
Med andre ord vil ei lokal katalogteneste bygga etter CSW-standarden kunne kommunisere med geonorge og INSPIRE-verktøy.

3.2 Metadadatastruktur

For å formulere ein mogleg metadadatastruktur for dronedata som er konform med dei etablerte metadatakatalogane og definisjonane i desse er det nyttig med klassifisering av ulike typar metadadata. (McCarthy, 1982) påpeiker at primærbruken for metadadata, både når det gjeld maskinar og personar, er å *finne*, *definere* og *kontrollere* data-ane dei beskriv. Den kanskje viktigaste funksjonen for metadadata er altså at data-ane dei beskriv er moglege å finne.

I den norske metadataprofilen finnes det element som ikkje er strengt definerte som kan nyttast for å klassifisere dronedata, som *nøkkelord* under seksjonen *MD-IdentifikasjonsInfo* (*Statens Kartverk, 2006b*). Dette feltet er definert som *fri tekst*, og det er mogleg å nytte så mange nøkkelord som vanleg. Fram til det kjem på plass ein meir etablert praksis eller standard for dronedata kan dette vere eit godt alternativ for å skilje ut dronedata frå andre liknande datasett.

Tabell 2 lister opp modellane denne oppgåva ser på. Datainnsamling med drone inneber hyppigare datainnsamling over mindre områder enn tradisjonell flyfotografering. Dronefotografering inneber ofte innsamling over eit lite område for spesielle interesser (d'Oleire-Oltmanns et al., 2012; Giannetti et al., 2018; Lucieer et al., 2014; Mancini et al., 2013; Wallace et al., 2016; Zarco-Tejada et al., 2014). I dag finnes det 3 leverandørar for datafangst med fly, og over 4000 godkjente operatørar som driv datainnsamling med dronar (Dåsnes, 2018).



Figur 4: forslag til metadatahierarki for dronedata.

Figur 4 syner eit forslag til metadatahierarki for datasett frå dronefotografering. Tanken bak denne strukturen er at alle datasett og instansar har metadata-identifikatorar som markerer at dei er genererte frå data samla inn med drone. Ortofototet i denne modellen er altså ein instans av datasettet Ortofoto, som igjen tilhøyrar serien Dronedata.

På øvste nivå kan informasjon om dronen vere naudsynt for å gjere vurderingar om nøyaktigheita av datasettet. Tabell 1 syner ei liste over nokre metadata som kan vere relevante å definere på datasettserie-nivået, og om dei skal inkluderast i XML-fila knytt til serien eller kan verte plassert i andre dokument. Referansar til andre dokument som prosjektrapport kan inkluderast som ein metadata-kode med boolske verdiar for å indikere at dokumenta finnes.

Tabell 1: metadataprofil for datasettserie

Metadata	Plassering
Drone	XML + produkt/kalibreringsrapport (metadata som identifiserer at opptaket er gjort med drone)
Produsent	Produkt/kalibreringsrapport
Modell	Produktrapport

Kamera	Produkt/kalibreringsrapport
Produsent	Kalibreringsrapport
Modell	Kalibreringsrapport
Sensorstorleik	Kalibreringsrapport
Pikselstorleik	Kalibreringsrapport
Opptaksband	XML + kalibreringsrapport
Føremål med datasettserien	Produktspesifikasjon og XML

I forvaltninga av desse datasetta kan det vere sentralt å få fram tidsserie-aspektet. For fleire område kan det vere relevant å gjennomføre opptak fleire gonger i løpet av eit år, og føremålet med opptaka er å samanlikne opptak gjort på forskjellige tidspunkt mot kvarandre. Metadata knytt til opptaksperiode bør vere lagt til instansnivå, då det kan tenkast at enkelte område kan vere relevant å observera og samanlikna over lengre tid.

Frå *Photoscan* vert det generert ein rapport for kvar modell som vert generert. I rapportane frå *Photoscan* finns informasjon om prosesseringa av ortofotomodellane og informasjon om den genererte digitale høgdemodellen. Desse rapportane inneheld viktig informasjon om nøyaktigheita til modellane og bør gjerast tilgjengelege for nedlasting dersom modellane skal vere tilgjengelege for publikum.

4 FORVALTNINGSMODELL

I forvaltninga er det viktig å tenke på bruken av data-ane. Det er ikkje realistisk å forvente at brukarar av datasetta skal lese og tolke GML-filer. Det er naudsynt med beskrivingar av datasetta som er presise og forståelege. Her kan det vere relevant å skilje dei to bruksområda for metadata-ane i kategoriane *produktspesifikasjon* og *databeskriving*, der produktspesifikasjon er ein «... detaljert beskriving av eit datasett eller ein serie med datasett med tilleggsinformasjon som gjer det mogleg å produsera, distribuera og nytte datasettet av andre.» (Kartverket, 2017).

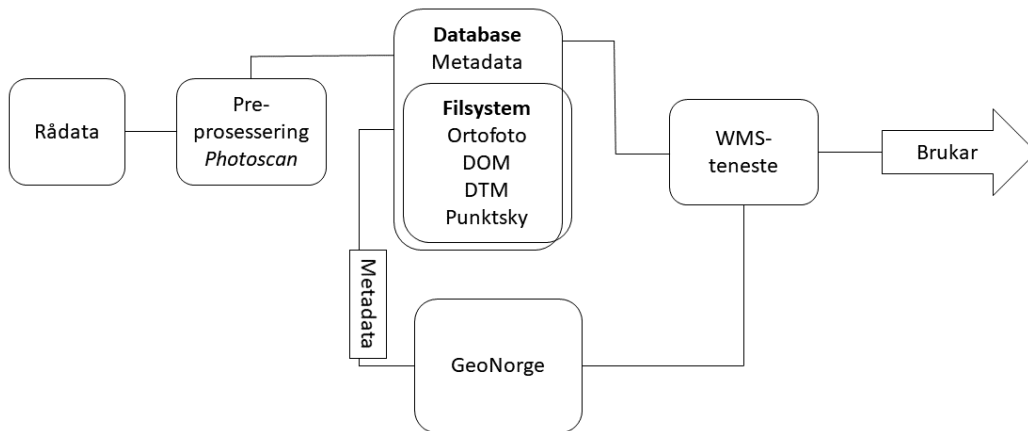
For oppbevaring av dei metadata-ane vil PSQL vere eit relevant alternativ.

Databasehandteringssystemet er allereie implementert og flittig brukt av NIBIO, og sida PSQL og PostGIS både er bygga på fri og open kjeldekode kan funksjonar som er naudsynte eller nyttige skrivast lokalt og spesialtilpassast datasetta samt nasjonale standardar.

Når det kjem til tilgjengeleggjering for (primært lokale) brukarar finns det utfordringar med tanke på brukarvennlegheit, men og teknisk. Lagring av datasetta *in-db* kan synes enklare, men gjer informasjonen vanskelegare tilgjengeleg for intern bruk for brukarar utan vidare kompetanse på området. Lagring på filserver der data-ane er tilgjengeleg frå datamaskinen i ein kjent mappestruktur kan vere meir fornuftig og enklare for mange av brukarane.

Ei utfordring med forvaltning av dei datasetta oppgåva ser på er at det ikkje finnes produktspesifikasjonar eller standardar for ortofoto samla inn med drone eller modellane baserte på dei innsamla data-ane. Produktspesifikasjon for ortofoto i Noreg baserer seg på innhausting med fly over større geografiske område, og med langt mindre hyppigheit.

I eit foredrag på *Geomatikkdagene* i 2018 konkluderte Dåsnes med at leverandørane må bidra til standardisering, tilpassing av produktspesifikasjonar, forvaltningsløysningar og testing av metodikk og produkt (Dåsnes, 2018). Det er med andre ord få dokument som direkte gjeld krav og standardar kring modellane denne oppgåva ser på.



Figur 5: forenkla oversikt over dataflyt i arbeidet

Data-ane som finnes i prosjekta per i dag er vist i tabellen under.

Data	Filformat	Mogleg å handtere i DB?
Digital overflatemodell	GeoTIFF (.tif)	Ja (PostGIS/GDAL)
Digital terrengmodell	GeoTIFF (.tif)	Ja (PostGIS/GDAL)
Ortofotomodell	GeoTIFF (.tif)	Ja (PostGIS/GDAL)
Punktsky	Fleire moglege	Ja (pgpointcloud/PDAL)
Områdeavgrensing	Shapefile (.shp)	Ja (PostGIS)
Rådata	JPEG og TIFF (.jpg og .tif)	Ja (PostGIS/GDAL)

Tabell 2: Filformata i datasetta og stønad for formata i databasesystemet. Naudsynte utvidingar i parentes.

Det er mogleg å oppbevare alle data-ane i ein PSQL-database med dei korrekte utvidingane. Merk at PostGIS per i dag ikkje har ein innebygd funksjon for eksport av raster-filer frå ein tabell, men det kan likevel gjerast. Ein mogleg måte er ved hjelp av PostgreSQL sin *large object*-funksjon og GDAL-drivaren.

Datasetta kan hentast i QGIS via ei tilkopling til databasen, og ved import til databasesystemet kan det lagast overblikk av datasetta i mindre oppløysning for betre yting. Dette kan gjerast ved å nytte dei korrekte alternativa ved bruk av funksjonen *raster2pgsql* ved import av datasetta.

Funksjonen har følgande alternativ (legg merke til at vala er versalsensitive):

Dei 4 vala c, a, d, og p er eksklusive og kan ikkje nyttast saman.	
-c	Opprett ein ny tabell og sett inn raster (standardval).
-a	Legg til raster i ein eksisterande tabell
-d	Slett gamal tabell, opprett ny og sett inn raster
-p	Førebu tabell, men ikkje sett inn data
Rasterprosessering, avgrensingar for korrekt registrering i rasterkatalogar.	
-C	Legg på raster-avgrensingar ⁷ .
-x	Skrur av maksimalt omfang-avgrensinga. Gjeld berre dersom -C vert nytta.
-r	Skrur på jamleg oppdeling ⁸ . Gjeld berre dersom -C vert nytta.

⁷ Avgrensingar vert nytta for å definere tabellen som ein raster-tabell, og vert nytta av andre funksjonar som kan liste opp alle raster-tabellar i ein database.

⁸ For store filer gjer det betre yting å dele opp filene i mindre deler. Brikkene originalfila vert delt opp i vert lagra ei per kolonne i tabellen. Vanlegvis kvadratisk oppdeling, men det er ikkje eit krav.

Rasterprosessering, valfrie parameter for manipulering av inndata-sett.	
-s [RRS]	Definerer romleg referansesystem for datasettet ved hjelp av <i>EPSG</i> -kodar.
-b BAND	Val for å trekke ut spesifiserte band frå raster-filene. Må vere eit heiltal. Fleire band vert spesifisert med komma. Viss -b ikkje vert nytta vert alle band importert.
-t BRIKKESTORLEIK	Deler opp raster i brikker som vert sett inn, ei per tabellrad. Storleiken vert spesifisert som BREIDDExHØGDE.
-R / --register	Registrerer datasettet som <i>out-of-database</i> . Berre metadata frå fila og filstien vert lagra i databasen.
-l OVERBLIKK_FAKTOR	Lager overblikk ⁹ av raster-settet. Fleire faktorar vert spesifisert med komma. Uavhengig av -R. Merk at dette er ein liten «L», ikkje ein stor «l».
-N NODATA	NODATA ¹⁰ -verdi for å definere på band som ikkje har det frå før.
Valfrie parameter for å manipulere objekt i databasen.	

⁹ Overblikk, frå engelsk *overview*, er i dette høvet komprimerte førehandsvisningar i lågare oppløysning enn originaldatasettet. Overblikk er med på å betre ytinga ved syning av data, av di dei mindre overblikk-filene kan lastast inn fortare enn originalfilene. Dersom fleire overblikk-faktorar er definert kan det lastast inn mindre område per faktor, då desse kan hentast inn dynamisk basert på utstrekningen som vert syna.

¹⁰ NODATA er ein verdi som vert nytta for å representere tomrom, eller fråvær av data. I eit kart vil geometrien sjeldan vere rektangulær, men på ein datamaskin vert bilete lagra rektangulært. For å definere at punkta i eit bilete som hamnar utanfor geometrien ikkje har verdiar kan NODATA nyttast. Valet -N vert nytta for å definere kva verdi som representerer tomme celler, som regel den minimale eller maksimale verdien (0 eller 255 for 8-bit-bilete).

-q	Bruk sitatteikn på PostgreSQL-identifikatorar.
-f KOLONNE	Spesifiser namn på kolonna raster-settet skal inn i. Viss ikkje spesifisert er standardnamnet 'rast'.
-F	Legg til kolonne med filnamnet til raster-fila.
-I	Opprettar GiST ¹¹ -indeksar på raster-kollonene. Merk at dette er ein stor «i», ikkje ein liten «L».
-M	VACUUM ¹² -analyserer tabellen.
-T tabellrom	Spesifiserer tabellrommet for den nye tabellen. Indeksar vil framleis nytte standardrommet med mindre -X vert nytta.
-X tabellrom	Spesifiserer tabellrommet for nye indeksar i tabellen. Dersom -I (stor «i») vert nytta gjeld det primærnøkkel og romleg indeks.
-Y	Bruker <i>copy</i> -kommando i staden for <i>insert</i> -kommando.
-e	Køyrer kvar kommando individuelt i staden for ein transaksjon ¹³ .

¹¹ GiST – *Generalized Search Tree* – er ein balansert indekseringsmetode for databasar. Metoden har stønad for forskjellige typar tre-strukturar (Kornacker, 2000).

¹² VACUUM er ein funksjon for optimalisering av yting i databasar. Ein VACUUM-analyse samlar statistikk om innhaldet for å optimalisere utføringa av spørjingar (PostgreSQL, 2016).

¹³ Ein transaksjon vil resultera anten i at alle kommandoane lukkast, eller at ingen gjorde. Med -e kan ein køyre kommandoane individuelt, til dømes for feilsøking.

-E ENDIAN	Kontrollerer endian ¹⁴ -formatet som vert nytta. 0 for stor endian og 1 for liten endian.
-V versjon	Spesifiserer WKB ¹⁵ -versjonen av utdata.

Tabell 3: val og moglegheiter med funksjonen raster2pgsql (Postgis, 2019)

Dersom ein til dømes skal importere ei gruppe med filer direkte til ein database, bygge overblikk, registrere alt i ein ny tabell med raster-avgrensingar og jamleg oppdeling til brikker á 200x200 og vil registrere filnamnet i databaseskjemaet *public* og databasen *dronereg* vil kallet bli:

```
raster2pgsql -s 32362 -C -Y -r -F -t 200x200 -I 2,4 *.tif public.dronereg | psql -U postgres -d postgis
```

Raster2pgsql kan importere filer stykkevis eller i grupper til ein PostGIS-tabell. Denne funksjonen nyttar GDAL-drivarar til å tolke rasterfilene som vert importert.

Av omsyn til yting er det anbefalt å dele opp raster-filer i brikker på mellom 50 og 500 pikslar, både i breidde og høgde (Obe & Hsu, 2011)

Med bakgrunn i at datasetta som vert samla inn dekker, relativt sett, veldig små geografiske områder og at det kan bli tatt fleire opptak innanfor ein kommune trengs det ein unik identifikator for kvart opptaksområde og kvar opptakssituasjon. Dette vert særleg relevant når det skal gjerast opptak i same område fleire gonger. Ein del av prosjektnamna bør innehalde dato for opptak, til dømes ÅÅMMDD. For lagring i databasen kan dette løysast med å inkludere datostempling i tabellane informasjonen vert lagra i, og oppbevare raster-filene i separate tabellar. PostgreSQL har innebygd stønad for partisjonering av tabellar. Det fungerer ved at databasen har ein mal-tabell som andre kan arve eigenskapar av og som representerer heile datasettet (PostgreSQL, 2010).

Raster-stønad i PostGIS vart introdusert med PostGIS 2.0 i 2012 og er framleis i utvikling, men det er enkelte utfordringar knytt til handtering av raster i tabellar, som eksport av raster og visualisering via WMS-tenester. Det kan og vere nyttig å ta vare på dei originale raster-filene, til dømes for deling og nedlasting. Det bør difor vere framgangsmåtar for oppbevaring av desse filene på filserver.

¹⁴ Endian beskriv kva rekkefølge byte er arrangert i. Stor endian har den viktigaste bit-en fysts, små endian har den viktigaste bit-en sist.

¹⁵ WKB – *Well-Known-Binary* – er eit binær-format for overføring og lagring av romleg informasjon i databaser.

Sida dette er datasett som kan ende opp med fleire opptak i same område kan dato vere ein naturleg variabel å sortere informasjon på. For kvart opptak finnes det eit namngitt polygon som omfattar opptaksområdet. Ei kopling mellom polygon, opptaksdata-ane og tilhøyrande modellar er ikkje unaturleg. Ein mogleg struktur for filnamn er polygonnummer, opptaksdato og datatype, til dømes PPPPPPP_ÅÅMMDD_DATA. Nummera nytta for å identifisere polygona kan vere basert på kommunenummer. Kommunenummera i Noreg er firesifra, der dei to fyrste siffera er fylkesnummeret og dei to siste kommunenummeret.

Ein digital terrengmodell frå det fyrste opptaket gjort i Stange Kommune (0417) 01.06.2019 vil då ha filnamnet 0417001_190601_DTM.tif. Ei tenkeleg utfordring er dersom opptak vert gjort på kommune- eller fylkesgrensa. I dei tilfella kan ei spørjing mot opptakspolygon og kommunepolygon utførast for å finne kor opptaket overlappar mest. Denne informasjonen kan og koplast i databasen, for å tillate brukarar å søke etter dronedata innanfor spesifikke kommunar.

For eksterne brukarar kan ein legge til rette for at datasetta er å finne på kilden.nibio.no ved hjelp av ei WMS-teneste som hentar data frå PostGIS-tabellane eller ein fil-tener. I tråd med metadatahierarkiet som vart diskutert i førre kapittel kan dronedata vere eit separat lag i kartet, der ein kan velje om ein vil syne ortofoto, digital terreng eller overflatemodell samt eldre opptak for dei områda der det er relevant.

Dersom det seinare vert tatt i bruk ei drone som gjer opptak i fleire band har både Photoscan og GDAL stønad for multispektrale raster. Sida PostGIS nyttar GDAL for raster-handtering vil det seie at PostGIS og har stønad for desse filene.

4.1 Datainnsamling

Her vert det definert ein *region of interest*, eller bestand, der det skal samlast inn data. Utvalet av fangstområde vert laga i QGIS, der kvart område er definert med eit namngitt polygon. Ei flyrute vert planlagt og lasta over på dronen. Ute i felt vert dronen sendt ut og samlar automatisk inn bilete med overlapp over bestanden som er definert. Foreløpig vart det produsert ei JPEG-fil for kvart utsnitt, men det er planer om anskaffing av ei større drone som produserer ei JPEG-fil og 4 TIFF-filer for kvart utsnitt.

4.2 Pre-prosessering

Før filene vert importert i *Photoscan* og generering av modellar tek til er det nyttig å sjekke integriteten av datasettet. Moglege feil som kan undersøkast er om alle filene er til stades og at alle filene har den geografiske stadfestinga dei skal. Dette er mogleg å automatisere ved hjelp av eit skript. Nær alle kamera lager kronologiske filnamn. Dette kan me nytte som kontrollfaktor.

Det kan hende at det i nær framtid vert nytta eit kamera som produserer fleire bilete per område vert nytta (ei TIFF-fil for kvart fargeband og ei JPEG-fil med RGB-verdiar). Det kan og formulerast ein test av integriteten på bakgrunn av dette. Kameraet tek 4 TIFF-filer og ei JPEG-fil, altså skal nummeret av filer frå kameraet delt på 5 vere eit heiltal.

4.3 Lagring av rådata

Import og oppbevaring av filene kan gjennomførast med eit skript som les metadata frå opptaket og opprettar ei ny mappe på filserveren og kopierer filene dit. På denne måten kan ein handheve ein filstruktur og konvensjon for arkivering av datasetta. Basert på mappestrukturen kan ein og ta i mot informasjon frå brukaren for å bestemme endeleg filbane – til dømes dersom prosjekta er sortert etter fylke.

4.4 Produksjon

Ved generering av modellar vert programvara *Agisoft Photoscan Professional* nytta. Dette programmet har stønad for *python*. Funksjonar frå programmet kan importerast til eit *python*-skript, og ein kan legge inn *chunks*, altså ei samling arealfoto med overlapp som skal settast saman, kontrolldata, velje geografiske projeksjonar og referansesystem. Ein kan også prosessere modellar, eksportere dei samt eksportere prosesseringsrapport på PDF-format.

Python-implementeringa i *Photoscan* er gjort på to måtar, anten ved at ein kan køyre python-kommandoar og -skript frå *Photoscan*, eller ved å kalle på *Photoscan*-funksjonar frå python-skript ved å importere ein *Photoscan*-modul.

Photoscan-modulen har og stønad for generering av multispektrale modellar via python-API-et. Modellane kan eksporterast til fleire format. GeoTIFF er eit mykje nytta format for ortofoto- og digitale høgdemodellar. GeoTIFF er ein *de facto* standard som er anerkjent og støtta av *OSGeo* og mykje nytta i Noreg, mellom anna av kartverket. GeoTIFF er difor eit naturleg val for filformatet til desse modellane.

For punkttskyene som vert generert av *Photoscan* er det og stønad for fleire filformat. LAS/LAZ- og ASCII XYZ-format, mellom anna. Det finnes per dags dato ikkje god dokumentasjon for levering av punktskyer i Noreg, men LAZ-formatet er opent, mykje brukt og det finnes fri programvare tilgjengeleg for å nytte formatet.

4.5 Datasett

Etter at modellane er generert må metadata frå kvar fil sorterast og oppbevarast. Python-modulen *Photoscan* kan hente ut metadata frå modellane samt generere ein rapport på PDF-format for kvar modell som vert generert. Det kan vere av interesse å inkludere modellane direkte i databasen for å teste raster-funksjonaliteten og ytinga i PostGIS.

Ein av moglegheitene med lagring av modellane i databasen er at dei kan gjerast tilgjengelege i ei WMS-teneste. NIBIO nyttar i dag *Mapserver* for sine web-GIS, til dømes kilden.nibio.no. *Mapserver* har stønad for syning av romlege tabellar frå PostGIS, og det er mogleg å syne raster-data direkte frå PostGIS via *Mapserver*. Dette kan vere eit interessant alternativ for å tilby datasett til brukarar, men det finnes per i dag særst få undersøkingar på ytinga av oppsettet. Dette er likevel interessant å undersøke nærmare, sida ein kan samle datasett og metadata samt gjere informasjonen tilgjengeleg i og frå same database. For dette føremålet vil det og vere interessant å sjå på moglege ytingsforbetringar, men det ligg utanfor siktet til denne oppgåva.

4.6 Metadata

Nokre av metadata-ane kan hentast ut automatisk frå modellane etter at dei har blitt produsert, medan fleire felt må førast manuelt. Det kan vere nyttig og skilje mellom tekniske metadata og semantiske metadata.

Det finnes fleire tenester og moglegheiter for levering av metadata frå tabellar via ei CSW-teneste. I rapporten «Kartlegging av portalløsningar og teknologi» (Kartverket, 2013) peiker arbeidsgruppa på følgjande produkt som relevante for nærare evaluering:

- Geonetwork
- Esri Geoportal Server
- Erdas Apollo Server Catalog/RedSpider
- Deegree CSW Web Catalog Service
- Pycsw

Alle desse tenestene er kompatible med dei relevante standardane frå OGC, men deegree og pycsw er referanseimplementasjonar (Open Geospatial Consortium, 2019). Det vil seie at dei har full funksjonalitet, har vorte testa mot spesifikasjonane i implementasjonsdokumenta og er gratis og offentleg tilgjengeleg for testing via ei web-teneste eller nedlasting (Open Geospatial Consortium, 2007b).

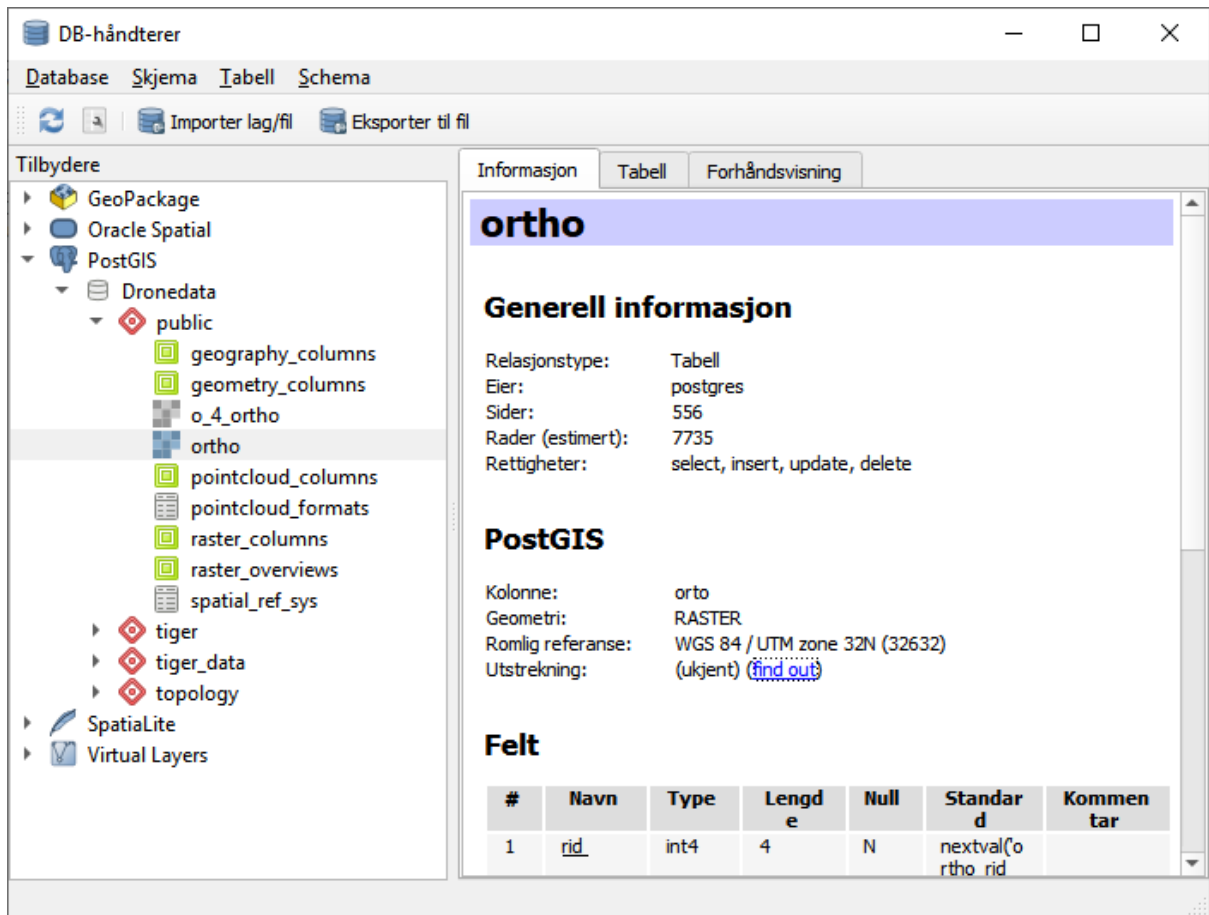
Det er verdt å merke seg at Erdas Apollo for tida ikkje er inkludert i katalogen over nyttige implementasjonsverktøy for INSPIRE (INSPIRE, 2007). Det er heller ikkje korkje fritt eller opent.

Alle verktøya lista over kan hente metadata og informasjon frå PostgreSQL/PostGIS, og gjere dei tilgjengelege over nett.

For forvaltning av metadata vil altså PostgreSQL vere eit godt alternativ. Med partisjonering av metadata vil tabellar kunne arve informasjon frå kvarandre for metadata-objekt som gjeld alle datasetta, som informasjon om eigar, prosjektbeskriving, tiltenkt nytteområde m.m.

4.7 Visualisering og bruk

For bruk av data-ane er det mogleg å importere raster-filer til PostGIS-tabellar ved hjelp av raster2pgsql-funksjonen. På denne måten kan det utførast operasjonar på datasetta ved hjelp av SQL-spørjingar eller meir tradisjonelle skrivebords-GIS, som QGIS. Data kan hentast til QGIS med verktøyet *DB-håndterer*, som også har moglegheit for SQL-spørjingar.

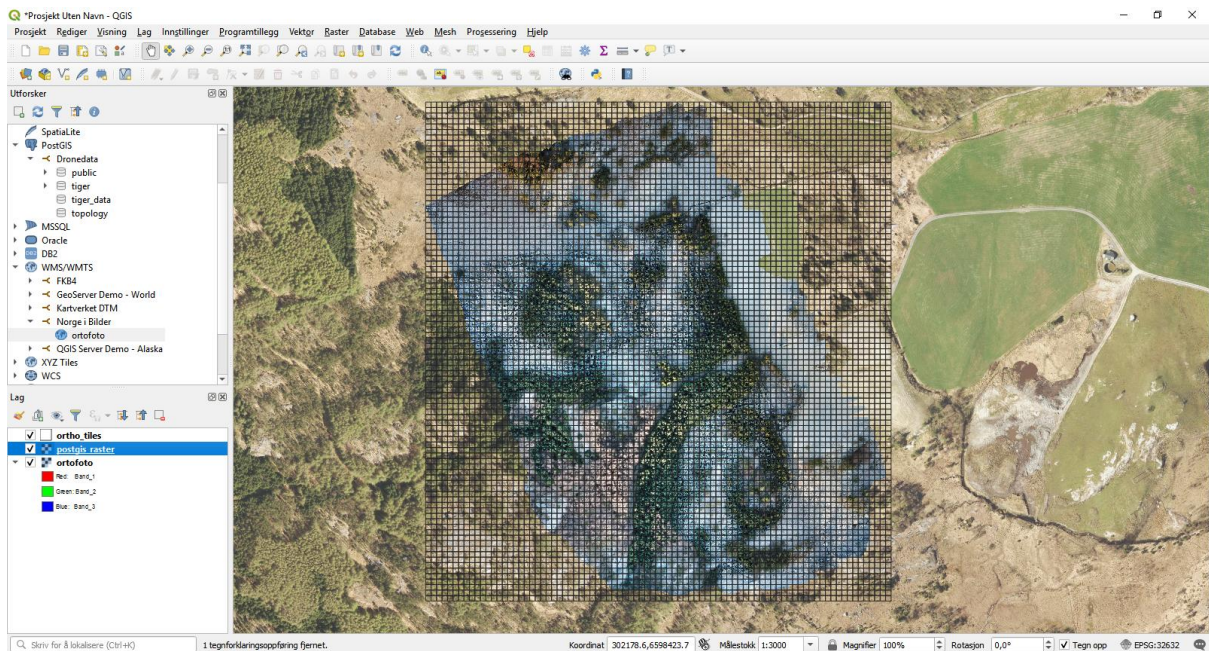


Figur 6: QGIS-verktøyet DB-håndterer

Det er og mogleg å utføre SQL-spørjingar frå QGIS. For å sjekke at rasteren er rett registrert med *nodata*-verdiar og oppdelt i kvadratiske ruter vert rasteren lagt til i lag-oversikta, og ei SQL-spørjing som hentar rutene vert utført i *DB-håndterer*.

```
SELECT rid,orto::geometry FROM ortho
```

WMS-tenesta frå *Norge i bilder* vert nytta for å hente eit bakgrunnskart for å kontrollere at rasteren vert korrekt plassert i kartet.

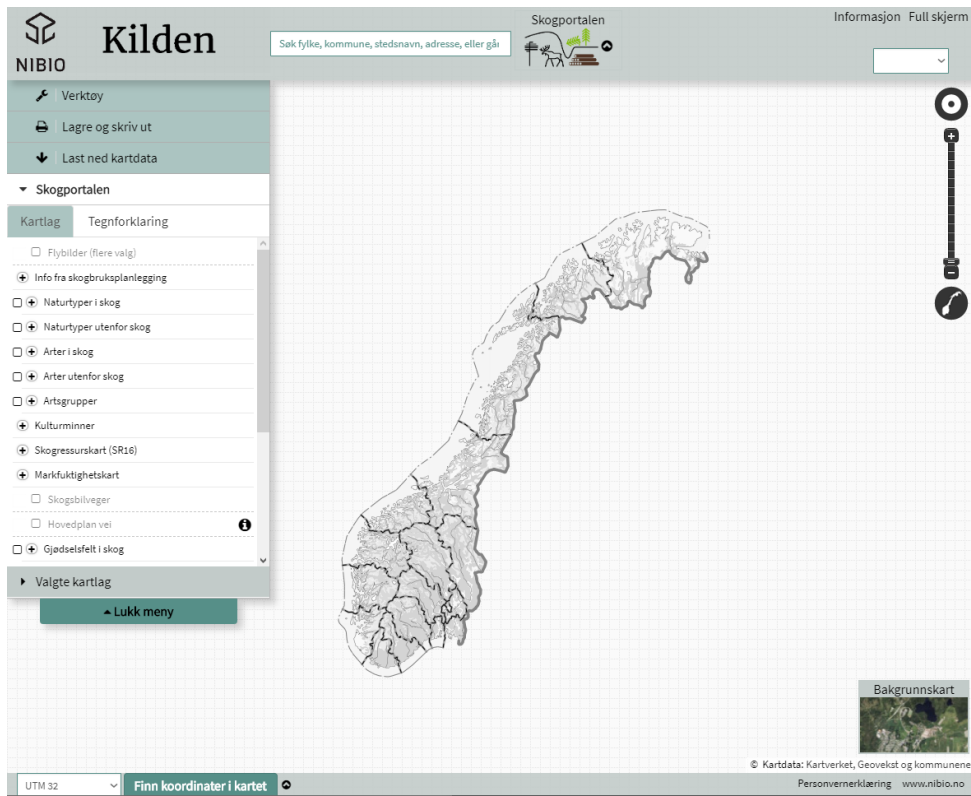


Figur 7: Raster henta frå PostGIS-tabell og visualisert med ruteinndeling i QGIS med bakgrunnskart frå Norge i bilder WMS.

I forvaltninga av desse datasetta kan det vere av interesse å sjå på moglegheitene med å levere raster frå tabellar til WMS-tenester, sjølv om det ligg utanfor siktet til denne oppgåva.

Visualisering for eksterne brukarar vil vere naturleg å gjere via den etablerte tenesta kilden.nibio.no. Tenesta har eit enkelt brukargrensesnitt og det er mogleg å kategorisera datasetta i menyen over kartlag. For datasett generert frå opptak med drone kan det vere nyttig å sortere dei under ein eigen kategori, til dømes dronedata. Sida det vert produsert andre modellar enn berre ortofoto-mosaikk av opptaka vil ei beskriving som ikkje ekskluderer desse kunne vere nyttig.

Sjølv om punktsky kan importerast og oppbevarast i databasen med hjelp av pgpointcloud og PDAL er det per i dag ikkje noko god måte å visualisere desse data-ane på i ein nettlesar. Dersom desse datasetta skal gjerast tilgjengelege for nedlasting kan ei nedlastingssteneste der ein plukkar ut dekningsområdet i eit kart og kan velje mellom modellane som finnes for området vere ei mogleg løysning.



Figur 8: kilden.nibio.no (NIBIO, 2019).

5 RESULTAT

Denne oppgåva har sett på moglegheiter for eit forvaltningssystem bygga på fri og open programvare for eit utvald datasett frå NIBIO og sett på utfordringar i forbindelse med nasjonale og internasjonale standardar.

I oppgåva har det vorte satt opp eit rammeverk for forvaltning av dronedata og ein metadatastruktur for desse. Metadatastrukturen er bygga for å gjere det enklast mogleg å finne datasett generert frå droneopptak, og legg til rette for beskrivingar som inneheld informasjon om kva føremål opptaka er gjort i.

Det er og presentert eit forslag til korleis desse datasetta kan gjerast tilgjengelege for brukarar på ein måte som gjer det lett for publikum å finne informasjon frå område dei er interessert i.

Verktøya som er føreslått for dette systemet tilfredsstillar krava for fri og open programvare, og gjer det mogleg å distribuere datasett og metadata innanfor ramane av nasjonale og internasjonale standardar for geodata.

Relevante standardar har vorte undersøkt og teke omsyn til i forvaltningsmodellen, og områder som manglar standardisering har vorte belyst.

6 DISKUSJON

6.1 Standardar og dronedata

I arbeidet med oppgåva har standardar vore eit sentralt tema. Per i dag finnes det ikkje spesifikke standardar for forvaltning av dronedata, men det finnes fleire dokument å basere resten av forvaltningssystemet på. Samanlikna med tidlegare metodar for generering av ortofoto er det mogleg å fange data langt hyppigare, noko som må tas i betraktning i utarbeiding av forvaltningsstandardar. Å legge til rette for ein metadatastruktur som er enkel å oppdatere når nye opptak vert gjennomført vil vere viktig. Produktspesifikasjonane for datasett generert frå dronar må og reflektere dette.

Opptak med drone og fly er teknisk ganske like, men vesensforskjellen i hyppigheit og omfang gjer det foreløpig naudsynt med eit tydeleg skilje mellom dei to metodane. Det er ikkje utenkeleg at dette skiljet vil kunne verte viska ut i nær framtid, med utviklinga av meir avanserte dronar, batteri og kamera, men per i dag konkurrerer ikkje desse fangstmetodane med kvarandre. Uavhengig av dette vil det truleg framleis vere eit skilje mellom opptak av små, utvalde område for forskning, prosjektering og utvikling og større område med formål om tradisjonell kartlegging.

I metadatakatalogen for ISO 19115-standarden er *flyfoto* kanskje den mest nærliggande beskrivinga dersom ein skal finne ein fellesnemnar for denne typen dronedata, men den tematiske hovudkategorien *basisdata* kan nok ikkje seiast å vere dekkande. Eit betre alternativ enn så lenge kan vere å nytte kategorien *miljøData* for å beskrive nett dette datasettet, og heller sortere datasetta i eigen kartteneste og nytte nøkkelord for å gjere informasjonen mogleg å finne med søkeord som *drone* eller *ortofoto*. Dette er rett nok ikkje i tråd med eksempel gitt i standarden, der orto- og skråfoto er klassifisert som *basisData*, men fram til det vert etablert standardar for forvaltning av dronedata er dette vurderingar som må gjerast i kvart enkelt tilfelle.

Katalog-nivået av metadata vil normalt vere det første ein kjem i kontakt med om ein leiter etter geodata. På dette nivået kan det vere naudsynt å implementere metadata som identifiserer eit datasett som generert av opptak med drone. I kodelista over nasjonal temainndeling på geonorge¹⁶ finnes det for tida ingen indikatorar for eit datasett samla med drone, så desse må klassifiserast anten som flyfoto eller med eigenskapar som til dømes natur, landskap eller geologi.

¹⁶ <https://register.geonorge.no/metadata-kodelister/nasjonal-temainndeling>

6.2 Visualisering av data

For visning av datasetta i ei WMS-teneste kan det og vere fleire omsyn som må tas. Sida datasetta som vert samla inn ofte er for spesifikke formål og dekker små, usamanhengande områder kan det tenkast at datasetta best kan presenterast med eit dekningskart lagt over eit bakgrunnskart. Dette vil vere ein kjapp indikator på kvar det finnes informasjon og ikkje, og dersom det er overlappende datasett kan det kanskje visast tydelegare med polygonal representasjon av områda enn overlappende ortofoto. Det vil ikkje vere realistisk å forvente at forskjellige datasett kan koplant saman på same saumlause måte som ortofoto frå flyfotografering vert gjort i dag, ut frå kor forskjellig eit opptak kan vere frå eit anna, med tanke på opptakssituasjon, tid, vêr og andre faktorar som spelar inn. Polygona i ei slik teneste kan vere interaktive, og presentere ei liste over modeller som finnes for det aktuelle området, delt inn etter datatype og dato, til dømes.

For forvaltningsarbeidet finnes det mange verktøy som kan levere funksjonane som trengs, på formata som trengs. PostGIS var utgangspunkt i denne oppgåva av di det allereie er eit sentralt og mykje brukt verktøy på NIBIO og nærast ein *de facto*-standard innan databasesystem med geografiske moglegheiter. Moglegheitene med databasesystemet vert stadig utvida, og kan vere eit interessant verktøy å sjå på i denne samanhengen.

I dokumentasjonen for PostGIS¹⁷ og Mapserver¹⁸ er det beskrive korleis ein kan levere raster-data direkte frå ein tabell til Mapserver, men det har ikkje latt seg gjere å få dette til i arbeidet med denne oppgåva. Ei av utfordringane her er mangel på samanhengande dokumentasjon om korleis raster-data vert henta ut av PostGIS, utover at GDAL-drivaren er involvert.

Moglegheitene med PostGIS raster kan likevel vere interessant, både for analyser og forvaltning av datasetta, då det kan fungere som eit singulært punkt for bruk og forvaltning av fleire typar romleg data.

6.3 Fri og open geoprogramvare

For oppdaging, bruk og forvaltning av geografisk informasjon finnes det mange verktøy bygga på fri og open kjeldekode. For alt frå skrivebordsapplikasjonar til databasesystem, katalogtenester og nett-kart finnes det etablerte og godt dokumenterte frie og opne alternativ. PostGIS og QGIS har vorte

¹⁷ <https://postgis.net/documentation/>

¹⁸ <https://mapserver.org/documentation.html>

godt etablerte namn innan denne kategorien. Som (Ramsey, 2007) og (Bocher & Neteler, 2010) påpeiker har PostGIS vorte standarden for fri og opne databasesystem for romlege data.

Det finnes fleire utvidingar for både PostGIS og QGIS, og det vert stadig utvikla fleire. Med utvidingar for katalogtenester som pyesw som har spesifikk fokus på etablerte ISO- og OGC-standardar for modellering og overføring av metadata og drivarar som GDAL og PDAL som gjer stønad for fleire filtypar for raster- og punktdata er det mange moglegheiter med fri og open geoprogramvare.

Nasjonale og internasjonale initiativ for deling av geografisk informasjon bidreg til å utvikle desse tenestene i lag med det politiske ynskje om opne geodata, og for utvikling av infrastrukturen som trengs for deling av geodata på denne skalaen og på tvers av landegrenser spelar organisasjonar som ISO, OGC og W3C sentrale roller.

Desse standardane er med på å gjere data-ane enkle å finne og navigere i for brukarar, og med data som er tilgjengelege på opne format er det mange moglegheiter med data-ane som er tilgjengelege.

For ein produsent av geografiske data kan fri og open programvare representere ei utfordring, då ein infrastruktur for å tilby geografisk informasjon krev oppsett av fleire ulike tenester, og sjølv om dokumentasjonen i mange tilfelle er god er mykje av det skrive med utgangspunkt i at lesaren har god kjennskap til feltet. Dette er ikkje nødvendigvis i motsetnad til proprietære løysningar, men dokumentasjon og guidar må gjerne hentast frå fleire kjelder, og i nokre tilfelle er enkelte funksjonar og moglegheiter beskrive på forskjellige måtar i dei ulike dokumentasjonane.

7 KONKLUSJONAR OG VIDARE ARBEID

7.1 Konklusjonar

Det finnes per i dag ikkje klare retningslinjer for forvaltning av dronedata spesifikt, men det er mogleg å gjere datasetta tilgjengelege utan å vere i konflikt med nasjonale standardar for metadata.

Det er mogleg å bygge forvaltninga kring fri og open programvare, og det er mogleg å levere metadata til geonorge automatisk med ei katalogteneste som den nasjonale geodatakatalogen kan hauste metadata frå så lenge det vert satt opp korrekt mellom begge partar.

Fri og open programvare tilbyr funksjonaliteten som trengs for forvaltning av desse datasetta.

7.2 Vidare arbeid

Når det gjeld datasetta denne oppgåva har sett på kan det vere av interesse å sjå på moglegheitene for automatisering av nokre av stega. Fleire av verktøya kjem med innebygd stønad for python i form av eit API eller modular, og for andre verktøy finnes det utvidingar som gjer det mogleg å nytte funksjonar frå eit python-skript. Moglegheita for automatisering av produksjon, oppbevaring og forvaltning av datasetta kan vere verdt å undersøke nærare.

På eit nasjonalt nivå trengs det spesifikasjonar og standardar når det kjem til datafangst med drone. Det finnes fleire etablerte standardar forvaltninga bør byggast på, men dei unike aspekta med dronedata bør kome fram, og forskjellige metodar for å klassifisere og tilby datasett på bør undersøkast.

Dersom fleire aktørar gjer sine dronedata tilgjengelege har ein eit betre grunnlag å basere standardiseringsarbeidet på, og løysningar og metodar kan evaluerast mot kvarandre for å finne styrker og svakheiter.

8 BIBLIOGRAFI

- ASPRS: The Imaging and Geospatial Information Society. (2019). *LASER (LAS) FILE FORMAT EXCHANGE ACTIVITIES*. Tilgjengelig fra: <https://www.asprs.org/divisions-committees/lidar-division/laser-las-file-format-exchange-activities>.
- Bocher, E. & Neteler, M. (2010). *Geospatial free and open source software in the 21st century*: Springer.
- d'Oleire-Oltmanns, S., Marzloff, I., Peter, K. & Ries, J. (2012). Unmanned aerial vehicle (UAV) for monitoring soil erosion in Morocco. *Remote Sensing*, 4 (11): 3390-3416.
- Dåsnes, H. (2018). *Forvaltning av dronedata*.
- Geodataloven. (2010). *Lov om infrastruktur for geografisk informasjon (geodataloven)*.
- Giannetti, F., Chirici, G., Gobakken, T., Næsset, E., Travaglini, D. & Puliti, S. (2018). A new approach with DTM-independent metrics for forest growing stock prediction using UAV photogrammetric data. *Remote Sensing of Environment*, 213: 195-205. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.05.016>.
- INSPIRE, D. E. (2007). *INSPIRE in practice - tools*. Tilgjengelig fra: <https://inspire-reference.jrc.ec.europa.eu/tools>.
- International Organization for Standardization. (2018). ISO 19136:2007.
- ISO. (2019). *ISO/TC 211 - Geographic information/Geomatics*. Tilgjengelig fra: <https://www.iso.org/committee/54904.html>.
- Kartverket. (2013). *Rapport fra arbeidsgruppe: Kartlegging av portalløsninger og teknologi*: Kartverket.
- Kartverket. (2015a). Retningslinjer for dataformater ved formidling av stedsdata. 12.
- Kartverket. (2015b). Veileder for Geography Markup Language (GML). 119.
- Kartverket. (2017). Retningslinjer for forholdet mellom fagområdestandarder og produktspesifikasjoner, og deres objektkataloger. 7.
- Kornacker, M. (2000). *Access Methods for Next-Generation Database Systems*.
- Lucieer, A., Jong, S. M. d. & Turner, D. (2014). Mapping landslide displacements using Structure from Motion (SfM) and image correlation of multi-temporal UAV photography. *Progress in Physical Geography*, 38 (1): 97-116.
- Mancini, F., Dubbini, M., Gattelli, M., Stecchi, F., Fabbri, S. & Gabbianelli, G. (2013). Using unmanned aerial vehicles (UAV) for high-resolution reconstruction of topography: The structure from motion approach on coastal environments. *Remote Sensing*, 5 (12): 6880-6898.
- McCarthy, J. L. (1982). Metadata management for large statistical databases.
- NIBIO. (2019). *Kilden*. Tilgjengelig fra: <https://kilden.nibio.no>.
- Norge Digitalt. (2014). Veileder for leveranser. 52.
- Norge Digitalt. (2015). Veileder for Geography Markup Language (GML). 119.
- Norge Digitalt. (2017). Metadataveileder. 48.
- Norge Digitalt. (2019). Geografisk infrastruktur.
- Obe, R. & Hsu, L. (2011). PostGIS in action. *Geoinformatics*, 14 (8): 30.
- Open Geospatial Consortium. (2006). *OpenGIS Web Map Server Implementation Specification*. www.opengeospatial.org: Open Geospatial Consortium.
- Open Geospatial Consortium. (2007a). *OpenGIS Catalogue Services Specification*.

- Open Geospatial Consortium. (2007b). *Reference implementations*. Tilgjengelig fra: <https://cite.opengeospatial.org/reference> (lest 07.05.2019).
- Open Geospatial Consortium. (2012). *Geography Markup Language*. Tilgjengelig fra: <http://www.opengeospatial.org/standards/gml>.
- Open Geospatial Consortium. (2014). *OGC Web Feature Service 2.0*: Open Geospatial Consortium.
- Open Geospatial Consortium. (2018). *LAS Specification*. Tilgjengelig fra: <https://www.opengeospatial.org/standards/LAS>.
- Open Geospatial Consortium. (2019). Compliance navigation.
- Open Source Geospatial Foundation. (2019a). *GDAL - Geospatial Data Abstraction Library*. Tilgjengelig fra: <https://gdal.org>.
- Open Source Geospatial Foundation. (2019b). *Geospatial Data Abstraction Library: version 2.4.0*. Tilgjengelig fra: <http://gdal.org>.
- Point cloud Data Abstraction Library. (2019). PDAL: Point cloud Data Abstraction Library.
- Postgis. (2019). Postgis. Tilgjengelig fra: <https://postgis.net/> (lest 03.2019).
- PostgreSQL. (2010). *5.9 Partitioning*. Tilgjengelig fra: <https://www.postgresql.org/docs/9.0/ddl-partitioning.html>.
- PostgreSQL. (2016). *Vacuum*. Tilgjengelig fra: <https://www.postgresql.org/docs/9.5/sql-vacuum.html>.
- Ramsey, P. (2007). The state of Open Source GIS.
- Statens Kartverk. (2006a). *Del 1: Introduksjon*.
- Statens Kartverk. (2006b). *Metadata Norsk profil av ISO 19115 Metadata*.
- Tang, L. & Shao, G. J. J. o. F. R. (2015). Drone remote sensing for forestry research and practices. 26 (4): 791-797. doi: 10.1007/s11676-015-0088-y.
- Uschold, M. & Gruninger, M. (1996). Ontologies: Principles, methods and applications. *The knowledge engineering review*, 11 (2): 93-136.
- Wallace, L., Lucieer, A., Malenovský, Z., Turner, D. & Vopěnka, P. (2016). Assessment of Forest Structure Using Two UAV Techniques: A Comparison of Airborne Laser Scanning and Structure from Motion (SfM) Point Clouds. *Forests*, 7 (3): 62.
- Zarco-Tejada, P. J., Diaz-Varela, R., Angileri, V. & Loudjani, P. (2014). Tree height quantification using very high resolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods. *European journal of agronomy*, 55: 89-99.



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway