

Bjørn Helge Sebusæter

GIS-analyse av vektorisert høyspentnett til rapportering av luftfartshindre til NRL

Utvikling av metode for å analysere høyde på luftfartshindre ved bruk av vektoriserte Lidardata

Bacheloroppgave i Geomatikk
Veileder: Rune Strand Ødegård
Mai 2023

Bjørn Helge Sebusæter

GIS-analyse av vektorisert høyspentnett til rapportering av luftfartshindre til NRL

Utvikling av metode for å analysere høyde på
luftfartshindre ved bruk av vektoriserte Lidardata

Bacheloroppgave i Geomatikk
Veileder: Rune Strand Ødegård
Mai 2023

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk



Kunnskap for en bedre verden



Kunnskap for en bedre verden

GIS-analyse av vektorisert høyspentnett til rapportering av luftfartshindre til NRL

*Utvikling av metode for å analysere høyde på
luftfartshindre ved bruk av vektoriserte
Lidardata*

Bjørn Helge Sebusæter

Gradering: Åpen

Bachelor i ingeniørfag - Geomatikk

Innlevert: mai 2023

Veileder: Rune Strand Ødegård

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk

Oppgavens tittel: GIS-analyse av vektorisert høyspentnett til rapportering av luftfartshindre til NRL	Dato: 21.05.2023		
	Antall sider: 89		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave	x
Navn: Bjørn Helge Sebusæter			
Veileder: Rune Strand Ødegård			
Eksterne faglige kontakter/ veiledere: Marianne Glimsdal v/Elvia			

I januar 2023 trådte revidert luftfartshinderforskrift i kraft, dette innebærer at alle luftledninger og master som Elvia eier blir rapporteringspliktige inn til Nasjonalt register over luftfartshindre (NRL). Forskriften har overgangsbestemmelser for eksisterende høyspent luftledninger og master som må rapporteres innen 2025. Denne oppgaven tar for seg å utvikle metode for innrapportering av eksisterende luftnett, basert på vektoriserte Lidardata til NRL.

Det er utviklet to metoder basert på to ulike vektoriserte datasett fra laserskanning. Disse er knyttet til tidligere konsesjonsområder før fusjon av det som i dag er Elvia. Datasettene er knyttet til Eidsiva Nett fra 2019 hvor analyseområdet er Åmot kommune og Stange Energi Nett fra 2021. I tidligere luftfartshinderforskrift var kravene at alle menneskeskapte objekter over 15 meter skulle rapporteres inn. Det er derfor gjort en sammenligning av Eidsiva Nett datasettet mot de innrapporterte luftfartshindrene som ligger i dagens NRL.

Den første analysemetoden av Eidsiva Nett datasettet gir mange gode resultater, men på grunn av manglende ID eller felles egenskap fra objektene internt i datasettet, gir det usikkerhet knyttet til at alle luftfartshindre blir med i klargjøringen for innrapportering til NRL. Den andre analysemetoden av Stange Energi Nett datasettet viser seg å være uegnet til innrapportering til NRL grunnet datasettets oppbygging og manuelle tilpasninger i metoden. I den siste delen av oppgaven hvor det sammenlignes klargjorte luftfartshindre fra Eidsiva Nett datasettet mot det som ligger i dagens NRL, viser det seg at det er vanskelig å sammenligne av forskjellige grunner. Det anbefales derfor at alle luftfartshindre rapporteres inn på nytt til NRL når datasettet er fullstendig og uten mangler.

Stikkord:

Lidar
Luftfartshindre
NRL
Høyspent-nett

Bjørn Helge Sebusæter

Bjørn Helge Sebusæter

Forord

Dette prosjektet er en avsluttende bacheloroppgave for bachelor i ingeniørfag Geomatikk, studieretning GIS ved NTNU Gjøvik, avdeling institutt for vareproduksjon og byggteknikk. Omfanget på bacheloroppgaven er 20 studiepoeng. Bacheloroppgaven er skrevet på oppdrag fra Elvia AS, avdeling GIS og nettinformasjon ved avdelingsleder Svein Arne Rakstang.

Prosjektet er utført av Bjørn Helge Sebusæter i perioden fra november 2022 til mai 2023. Grunnet fulltidsarbeid og familieliv ble det enighet med studieprogramansvarlig at det var mest praktisk å utføre bacheloroppgaven alene. Først vil jeg takke nærmeste familie for god støtte i bachelorperioden og som har gjort det mulig å disponere så mye tid til oppgaven i en travel hverdag.

Det rekket en stor takk til Elvia AS som ga meg muligheten til å utføre dette prosjektet. Oppgaven har vært spennende og lærerik, samtidig tidsaktuelt og veldig interessant. Det rekket en stor takk til Marianne Glimsdal ved avdelingen GIS og nettinformasjon i Elvia for god veiledning og oppfølging. Jeg vil også takke følgende:

- Svein Arne Rakstang ved Elvia for administrering og forslag til oppgave
- Arne Fjellro Løitegård ved Elvia for innspill og samtaler
- Rune Strand Ødegård ved NTNU Gjøvik med gode innspill under bachelorperioden
- Geir Myhr Øien ved Statens Kartverk for uthenting av rapporterte luftfartshindre i NRL.

Flisa, 21.05.2023

Bjørn Helge Sebusæter

Abstract

In January 2023 the revised regulation on aviation obstacles (“Luftfartshinderforskriften”) came into effect. This demands that all aerial cables and poles must be registered in the National register for aviation obstacles (NRL). The regulation has transitional conditions for existing high-voltage aerial cables and poles which must be reported by 2025. This thesis attempts to develop methods for the reporting of the existing aerial grid to the NRL using vector based lidar data.

Based on two different vectorized datasets from laser scanning there are two methods developed in this thesis. These methods are connected to former licensed areas in the period before the merger of what today is known as Elvia. The datasets are connected to Eidsiva Nett from 2019, where the area of research and analysis is the municipality of Åmot, and Stange Energi Nett from 2021. In the former version of the aviation obstacles regulation all obstacles above the height of 15 metres were required to be registered. For that reason a comparison of the dataset from Eidsiva Nett to the reported aerial obstacles that are currently registered in the NRL has been conducted.

The first method of analysis with the Eidsiva Nett dataset produces several good results. However, due to the absence of an ID or a common property from the objects within the dataset, this leads to reduced confidence on whether all aerial obstacles will be included in the preparation for reporting to the NRL. The second method of analysis, using the Stange Energi dataset, shows that the method is inadequate for reporting to the NRL due to the dataset’s structure and manual adaptations to the method itself.

The last part of the thesis, containing a comparison between already prepared aerial obstacles from the Eidsiva Nett dataset and what is currently found in the NRL, shows that it is difficult to compare due to several factors. It is therefore recommended that all existing aerial obstacles are reported once again when the dataset is complete and without issues.

Innholdsfortegnelse

Forord	iii
Abstract	iv
Innholdsfortegnelse	v
Figurliste.....	viii
Tabelliste	ix
Begreper / forklaringer	x
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn for oppgaven	1
1.1.1 Om Elvia	2
1.2 Mål og problemstilling	3
1.2.1 Delmål	4
1.3 Avgrensninger	5
1.4 Utvikling og bærekraft.....	5
1.5 Oppbygging av rapporten	6
1.6 Mottakergruppe	6
2 Teori	7
2.1 Regelverk og instruksjer	7
2.1.1 Forskrift om rapportering, registrering og merking av luftfartshinder.....	7
2.1.2 Veiledning til BSL E 2-1.....	8
2.1.3 Produktspesifikasjon og registreringsinstruks NRL.....	8
2.2 Laserskanning	11
2.2.1 Virkemåte	12
2.2.2 Nøyaktighet	13
2.2.3 Punktsky og klassifisering.....	14
2.2.4 Vektoriseringsprosess.....	15
2.3 Geografisk analyse	17
2.4 Luftlinjeanlegg.....	19
2.5 Om Geonorge og høydedata	21
3 Metode.....	22
3.1 Datasett og egenskaper	22

3.1.1	Eidsiva Nett	22
3.1.2	Stange Energi Nett	24
3.1.3	Analyseområde og øvrige datasett	26
3.1.4	Tidligere innrapporterte NRL-data.....	26
3.2	Programvare.....	27
3.2.1	FME (Feature Manipulation Engine)	28
3.2.2	ArcGIS Pro	28
3.3	Behandling av vektoriserte datasett	28
3.3.1	Eidsiva Nett	29
3.3.2	Stange Energi Nett	33
3.4	Klargjøring til NRL-skjema.....	36
3.5	Sammenligning mot innrapporterte luftfartshindre	38
4	Resultater.....	40
4.1	Eidsiva Nett	40
4.2	Stange Energi Nett.....	44
4.3	Klargjøring til NRL-skjema.....	48
4.4	Sammenligning mot innrapporterte luftfartshindre	51
5	Diskusjon.....	56
5.1	Eidsiva Nett	56
5.2	Stange Energi Nett.....	58
5.3	Klargjøring til NRL-skjema.....	59
5.4	Sammenligning mot rapporterte luftfartshindre	60
5.5	Andre generelle diskusjonstema	61
5.6	Forbehold.....	63
6	Konklusjon og anbefalinger	64
	Litteraturliste	65
	Vedlegg 1 – FME workspace Eidsiva Nett	68
	1 – Innlesning distribusjonsnett.....	68
	2 – Analyse distribusjonsnett	69
	3 – Innlesning regionalnett	70
	4 – Analyse regionalnett.....	71
	Vedlegg 2 - FME workspace Stange Nett	72
	1 – Analyse del 1	72

2 – Analyse del 2.....	73
Vedlegg 3 - FME workspace klargjøring til NRL-skjema.....	74
Vedlegg 4 - FME workspace sammenligning mot NRL.....	75
Vedlegg 5 – Sammenligning høyde luftspenn	76
Vedlegg 6 – Sammenligning høyde master.....	77

Figurliste

Figur 1: Konesjonsområde Elvia.	2
Figur 2: Skisse av flybåren laserskanning (Kravdal, 2018).	12
Figur 3: Illustrasjon av luftlinje med pilhøyde.	19
Figur 4: Illustrasjon av luftlinje med jordlinje.	20
Figur 5: Illustrasjon av trefase høyspentlinje sett fra oven.	21
Figur 6: Skisse relatert til oppbygging av datasett Eidsiva Nett.	23
Figur 7: Skisse relatert til oppbygging av datasett Stange Energi Nett.	25
Figur 8: Skisse relatert til oppbygging av datasett fra NRL.	27
Figur 9: Analyseområde Åmot kommune.	29
Figur 10: Illustrasjon av metode med spenn og mast med egenskaper.	32
Figur 11: Analyseområde luftlinje i Stange kommune.	33
Figur 12: Prinsipp sammenligning av analysedata og tidligere innrapporterte luftfartshindre.	39
Figur 13: Høyspent regional- og distribusjonsnett i Åmot kommune.	40
Figur 14: 3D-visning av luftspenn, fase- og jordlinjer i høyspent regional- og distribusjonsnett.	41
Figur 15: Høyeste avstand fra faseliner og jordingslinjer ned til terreng i luftspenn fra utvalgt område.	42
Figur 16: Høyeste avstand fra faselinde til terreng i datasettet Eidsiva Nett.	43
Figur 17: Regionalnett luftlinje Stange Energi Nett.	44
Figur 18: Jordinglinje på regionalnett luftledning Stange Energi Nett.	45
Figur 19: Buffersone rundt regionalnett luftledning til bruk mot klipping av punktsky.	45
Figur 20: Terrengpunkter med høyde innenfor buffersone av regionalnett luftlinjen.	46
Figur 21: Luftspenn etablert basert på mastene for rett geometri til NRL.	46
Figur 22: Endelig geometri av luftlinje etter analyse.	47
Figur 23: Høyeste avstand fra luftlinje til terreng fra Stange Energi Nett dataene.	47
Figur 24: Skjermutklipp fra skjema til NrlMast fra Excel.	48
Figur 25: Skjermutklipp fra skjema til NrlLuftspenn fra Excel.	48
Figur 26: Geografisk fremstilling av NrlLuftspenn og NrlMast.	49
Figur 27: 3D-visning av NrlLuftspenn og NrlMast med høyder ned til terreng.	50
Figur 28: Luftfartshindre i NRL med Elvia som eier.	51
Figur 29: Geometri i eksisterende NRL-datasett fra uvalgt geografisk område.	52
Figur 30: Senterpunkt-erstatte av luftlinje med 10 meters buffer.	53
Figur 31: Buffertreff på luftspenn fra NRL-datasettet og Eidsiva Nett datasettet.	53
Figur 32: Maksimal høyde er lagt på tilstøtende spenn grunnet feil naboskap.	57
Figur 33: Pilhøyde fra største vertikalavstand og NRL-geometri.	62

Tabelliste

Tabell 1: Generelle krav til luftspenn i NRL.....	9
Tabell 2: Oversikt over påkrevde egenskaper til luftspenn i NRL.....	10
Tabell 3: Generelle krav til mast i NRL.....	10
Tabell 4: Oversikt over påkrevde egenskaper til mast i NRL.....	11
Tabell 5: Relevante klasser i oppgaven fra ASPRS spesifikasjonen.	15
Tabell 6: Metadata om vektorisert datasett Eidsiva Nett.	22
Tabell 7: Oppbygging av datasett Eidsiva Nett.....	23
Tabell 8: Relevante egenskaper i datasett Eidsiva Nett.	24
Tabell 9: Metadata om vektorisert datasett Stange Energi Nett.	24
Tabell 10: Oppbygging av datasett Stange Energi Nett.	25
Tabell 11: Relevante egenskaper i datasett Stange Energi Nett.	25
Tabell 12: Oppbygging av datasett fra NRL.	26
Tabell 13: Relevante egenskaper i datasett fra NRL.....	27
Tabell 14: Omgjøring til NRL-skjema og egenskaper for luftspenn.	37
Tabell 15: Omgjøring til NRL-skjema og egenskaper for mast.	37
Tabell 16: Differanse luftspenn og master fra datasett til klargjøring NRL-skjema.....	44
Tabell 17: Antall objekter klargjort fra analysen til innrapportering til NRL.....	48
Tabell 18: Sammenligning av luftfartshindre i NRL (ctrl_Nrl) og Eidsiva Nett datasett (gen_NRL).	54
Tabell 19: De to objektene med størst avvik på høyde i antall meter for luftspenn fra Eidsiva Nett data og NRL-data.	54
Tabell 20:De to objektene med størst avvik på høyde i antall meter for master fra Eidsiva Nett data og NRL-data.	55

Begreper / forklaringer

LiDAR

Laserskanning. En optisk fjernmålingsteknikk (Wikipedia, 2023).

Vektorisering

Transformere fra et format til vektorformat.

Høyspenning

Elektrisk spenning høyere enn 1000 volt vekselstrøm eller 1500 volt likestrøm (Rosvold, 2023).

NIS

Nettinformasjonsystem. GIS-basert arkivsystem for forvaltning, dokumentasjon, planlegging og analyse av infrastruktur (Volve, 2023).

SOSI

Samordnet opplegg for stedfestet informasjon, en standard for digitale geodata, SOSI-standarden (Kartverket, 2023a).

Pilhøyde

Ledningens dypeste punkt i ett luftspenn (Svarte og Sebergsen, 2002, s.52).

Objekttype

En klasse av objekter med felles egenskaper, forhold mot andre objekttyper og funksjoner (Kartverket, 2022a).

GNSS

En fellesbetegnelse for satellittbaserte systemer for navigasjon og posisjonering med global dekning (Kjerstad, 2023).

Trefase vekselstrøm

Trefase, vekselstrøm tilført gjennom tre eller fire ledninger hvor spenningen varierer med samme frekvens og amplitude (Høyte, 2019).

Distribusjonsnett

Distribusjonsnett omfatter spenninger fra og med 22 kV ned til 230 V (NVE, 2023).

Regionalnett

Regionalnettet omfatter spenninger fra 132 kV ned til 66 kV (NVE, 2023).

API

Application Programming Interface. Programmeringsgrensesnitt som gir direkte tilgang til data og funksjonalitet (Vihovde, 2022).

Geovekst

Geovekst er et samarbeid om felles etablering, forvaltning, drift, vedlikehold og bruk av geografisk informasjon (Kartverket, 2023d).

1 Innledning

1.1 Bakgrunn for oppgaven

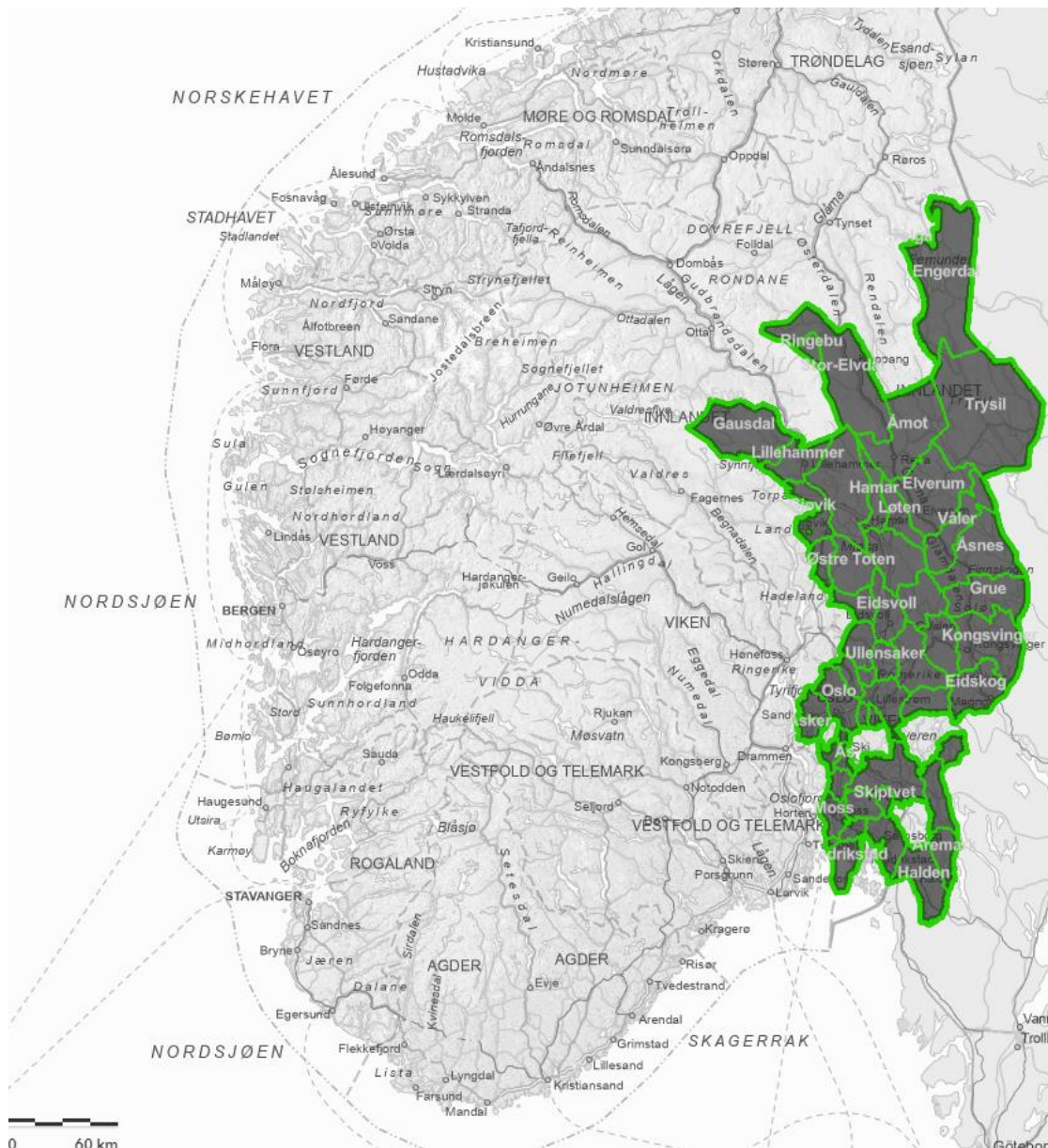
I januar 2023 trådte revidert luftfartshinderforskrift i kraft for å redusere faren ytterligere for luftfarten. Forskriftsendringen gjør at betydelige flere menneskeskapte objekter skal rapporteres inn til Nasjonalt register over luftfartshindre (NRL). Det er eieren av hindre som er ansvarlig for at forskriftens krav er oppfylt. I revidert forskrift er kravet at alle strømførende og signalførende ledninger med tilhørende master i luften blir rapporteringspliktige (Forskrift om rapportering, registrering og merking av luftfartshinder, 2014). Dette vil i praksis bety at alle luftledninger, master og barduner som ett nettselskap som Elvia eier, skal rapporteres inn til NRL. Tidligere har kravet til rapportering av luftfartshindre vært menneskeskapte objekter over 15 meter (Forskrift om luftfartshindre, 2003).

Lidar også kalt laserskanning på norsk, har blitt en utbredt datafangstmetode for nettselskaper til bruk i dokumentasjon, drift og vedlikehold av strømmettet. Elvia har utført laser-skanning i ulike områder og prosjekter for vedlikehold av skog og vegetasjon knyttet til høyspent-nettet. Som et utarbeidet produkt av laserskanningen er alle høyspent-linjer, master og tilhørende komponenter vektorisert. Det er derfor ønskelig fra oppdragsgiver Elvia om å undersøke om vektoriserte laserdata kan benyttes til innrapportering til NRL.

Formålet med denne oppgaven er å utarbeide en metode for å kontrollere høyspent-nettet ved bruk av vektoriserte laserdata og geografisk analyse til å tilfredsstille kravene i revidert forskrift. En vesentlig del av metoden er å avdekke om luftlinjene eller mastene er over 15 meter ettersom disse da må rapporteres med høyde i tillegg. Det skal også gjøres en analyse for å kontrollere og verifisere at tidligere innrapporterte luftfartshindre til NRL er korrekt.

1.1.1 Om Elvia

Elvia er et nettselskap med ca. 970 000 kunder og konsesjonsområde i store deler av fylkene Innlandet, Viken og Oslo. Den primære oppgaven til Elvia er å sørge for stabil og sikker strømforsyning, vedlikehold og drift av nettet. Det geografiske konsesjonsområdet er 50 000 km² og lengden på kabel og luftnettet er 66 000 km. I selskapet jobber det ca. 850 personer. Elvia har to større kontorplasser, Hamar og Skøyen i Oslo. I tillegg er det driftskontorer på Nydal (Hamar), Heradsbygd, Lillehammer, Gjøvik, Kongsvinger og Trysil (Elvia, 2023a). Konsesjonsområdet til Elvia kan ses i figur 1 – Konsesjonsområde Elvia. Kartet er laget i ArcGIS Pro.



Figur 1: Konsesjonsområde Elvia.

Elvia er ett resultat av mange sammenslåinger og fusjoner. Den største fusjonen skjedde i 2020 hvor Hafslund Nett AS og Eidsiva Nett AS gikk sammen, og ble Norges største nettselskapet målt i antall. I 2022 ble Stange Energi Nett AS fusjonert inn i Elvia som siste tilskudd (Elvia, 2023b). Hver av de nevnte selskapene har hver for seg før fusjonen laserskannet høyspentnettet. Mer om dette i kapittel 3.1 Datasett.

1.2 Mål og problemstilling

Elvia har skannet alt av høyspent-nett som er inndelt i tre ulike leveranser basert på tre ulike prosjekter. Datasettene med vektoriserte data er delt inn etter konsesjonsområdene som Hafslund, Eidsiva Nett og Stange hadde før fusjon til det som i dag er Elvia. Innholdet i datasettene varierer noe. Hafslund Nett og Eidsiva Nett har i stor grad bestilt samme vektoriserte produkt. Forskjellen på disse to datasettene er i stor grad kun bruk av egenskapsnavn. Stange Energi Nett sitt vektoriserte produkt har en annen oppbygging. Derfor er det kun fokus på datasettene til Eidsiva Nett og Stange Energi Nett i oppgaven. Produktene som er levert etter laserskanning har hittil blitt unyttet til drift, skog og vegetasjonskontroll i Elvia. Det er lite utnyttet på andre områder og det er derfor ønskelig å se på hvordan disse dataene kan utnyttes videre mot revidert luftfartshinderforskrift og rapportering til NRL.

Målsetningen for oppgaven er å utarbeide en metode for hvordan man kan benytte klassifiserte og vektoriserte datasett ut fra laserskanning, til å kontrollere, vurdere og tilrettelegge for rapportering inn til NRL i henhold til spesifikasjoner i revidert forskrift. Ettersom det også er rapportert inn luftfartshindre til dagens register for luftfartshinder tidligere etter gitte krav, så skal det samtidig sjekkes om disse dataene er korrekte innrapportert. Ettersom det geografiske området i Elvia er stort og datasettene inneholder mye data, er det valgt å velge ut en kommune og ett område innenfor konsesjonsområde. Dette er for å teste metoden fra vektorisert datasett, til datasett med egenskaper og krav i henhold til produktspesifikasjonen for innrapportering til NRL. Ut fra dette er problemstillingen i denne oppgaven følgende:

Kan vektoriserte Lidardata av høyspent-nett bidra til effektiv kontroll, verifisering og innrapportering til NRL i henhold til ny luftfartshinderforskrift?

Fokuset for oppgaven er å utarbeide metode ved bruk av relevant programvare for å gjøre analyse på vektoriserte datasettene innenfor to geografiske områder. Er metoden god og pålitelig kan dette benyttes for flere områder ved innrapportering.

Ut fra problemstillingen er det utarbeidet noen konkrete delmål som er sentrale for å kunne utføre prosjektet og oppgaven. For at oppgaven skal være så konkret som mulig er det også satt noen avgrensninger.

1.2.1 Delmål

Under er det listet opp delmål som er sentrale for fremgangsmåten i oppgaven.

1. Sette seg inn i problemstillingen og knytte aktuell teori til oppgaven. Lese og forstå regelverk som forskrifter og veiledere knyttet til luftfartshinderforskriften. Dette gjelder både før og etter endring av forskriften.
2. Grunnleggende kurs og opplæring i programvaren FME (Feature Manipulation Engine).
3. Innhente informasjon om datasett og metadata. Bli kjent med datasettene som skal brukes i oppgaven. Send forespørsel til Statens Kartverk om å hente ut tidligere rapporterte data til NRL fra Elvia i aktuelle test-områder.
4. Utarbeide metode for å gjøre analyse på datasettene i henhold til kravene for innrapportering til NRL, hvor FME brukes som verktøy for analysen. Utarbeide videre metode for å verifisere tidligere innrapporterte luftfartshindre i NRL.
5. Hente ut og presentere resultater fra analysen på en oversiktlig måte innenfor de to utvalgte analyseområder. Benytte ArcGIS Pro til geografisk presentasjon og bruke tabeller for å få frem resultatene.
6. Refleksjon og erfaring med metoden. Vurdere resultatene og metoden som er benyttet.

1.3 Avgrensninger

Oppgaven tar for seg å finne rapporteringspliktige objekter i høyspentnettet som skal inn i NRL ut fra laserskanning og vektorisering. Rammene, avtaler, bestilling og kontrakter i forbindelse med selve laserskanningen mot leverandør har ikke blitt sett på i oppgaven. I Elvia benyttes det flere nettinformasjonssystemer (NIS) hvor objektene/luftfartshindre finnes. Det vil ikke i denne oppgaven fokuseres på knytningen til objektene i NIS, annet enn det som de vektoriserte datasettene inneholder av egenskaper. Det skal også i oppgaven klargjøres for rapportering av datasett, men det er ikke søkelys på innholdet i og hvordan selve rapporteringsløsningen til NRL fungerer. Det er heller ikke fokusert på om luftfartshinderet er merket eller lyssatt ute, da dette krever informasjon fra NIS.

1.4 Utvikling og bærekraft

Oppgavens tema tar for seg en tidsaktuell problemstilling ettersom revidert luftfartshinderforskrift med ulike overgangsbestemmelser knyttet til innrapportering av eksisterende hindre vil tre i kraft. Selv om studenten kjenner til at laserskanning er benyttet som kartleggingsmetode for posisjonering av elektrisk luftnett, så er det ikke funnet tilsvarende oppgaver. Det antas derfor at denne oppgaven er nytenkende og har fokus på utvikling på området.

Ser man oppgaven i et større perspektiv i verden og mot FNs bærekraftsmål, treffer oppgaven flere av målene. FNs bærekraftsmål har til hensikt å utrydde fattigdom, bekjempe ulikhet og stoppe klimaendringer innen 2030 gjennom 17 mål og 169 delmål (FN-Sambandet, 2020). Hovedmålene som anses relevante og som kan knyttes til oppgaven direkte er nevnt i listen under med kommentar. Det vil også være flere delmål som treffer, men er ikke nevnt her.

Mål 7: Ren energi til alle – transport av elektrisk energi og sikkerhet.

Mål 9: Industri, innovasjon og infrastruktur – utvikling innen infrastrukturen.

Mål 17: Samarbeid for å nå målene – samarbeid for bærekraftig utvikling.

1.5 Oppbygging av rapporten

Denne rapporten starter med en innledning. Deretter er det i kapittel 2 presentert og beskrevet aktuell teori for de elementene som er brukt i oppgaven. I Kapittel 3 er metoden for oppgaven beskrevet. I oppgaven er det lagt størst vekt på metoden og detaljeringen deretter.

Presentasjon av datasett og deres egenskaper, hvilken programvare som er benyttet og oppbygging av analysen. Det er en metodedel for hver av datasettene, skjema for innrapportering og en for å kontrollere mot de dataene som allerede er rapportert inn til NRL tidligere. Kapittel 4 tar for seg resultatene av analysen med presentasjoner. Deretter er det i kapittel 5 drøftet metode og resultatene av analysen som er gjort. Til slutt i kapittel 6 er det konklusjon på oppgaven.

1.6 Mottakergruppe

Denne rapporten er rettet mot oppdragsgiver Elvia med tilhørende veiledere og avdeling. Rapporten kan også være veldig aktuell for tilsvarende selskaper/personer med interesse og engasjement for revidert luftfartshinderforskrift og innrapportering til NRL.

2 Teori

I underkapitler er det presentert aktuell teori for oppgaven. Først er det presentert regelverk med forskrift og veileder for å kunne utdype rapporteringskravene som analysemetoden skal bygges opp mot. Deretter er det presentert fakta og prinsipper ved flybåren laserskanning for å knytte dette opp mot nøyaktighet og leveranse som er veldig relevant for sluttresultatet av analysen. Fra datafangst til datasett er også vektoriseringen viktig for å kunne stole på resultatet, derfor er det forklart kort om vektoriseringsprosessen. Til slutt er det presentert hvilke typer geografiske analyser som er benyttet i oppgaven.

2.1 Regelverk og instruks

Forskrift og veileder som ligger til grunn for denne oppgaven er «Forskrift om rapportering, registrering og merking av luftfartshinder» med tilhørende veileder «veiledning til BSL E 2-1». For selve innrapporteringen til Nasjonalt register over luftfartshindre har Statens Kartverk utarbeidet en SOSI-standardisert produktspesifikasjon med tilhørende registreringsinstruks. I underkapitler vil relevante områder for oppgaven fra forskrift, veileder og produktspesifikasjon med registreringsinstruks beskrives. Rapporteringskravet blir presentert til slutt.

2.1.1 Forskrift om rapportering, registrering og merking av luftfartshinder

Forskriften ble fastsatt av Luftfartstilsynet 15.juli 2014 og trådte i kraft 01.09.2014. For å redusere faren ytterligere for hendelser og ulykker ble forskriften skjerpet inn og endret med ikrafttredelse 01.01.2023. Formålet med forskriften er «Forskriften fastsetter minimumskrav til rapportering og merking av luftfartshinder for å redusere faren for luftfartshendelser og ulykker for ethvert luftfartøy samt mennesker og gods om bord» (Forskrift om rapportering, registrering og merking av luftfartshinder, 2014). I §2 i forskriften blir det beskrevet hva som regnes med luftfartshinder. Ut fra denne paragrafen er alle høyspentlinjer med tilhørende endemaster rapporteringspliktige.

De konkrete kravene for nøyaktighet er beskrevet i §5. Luftfartshindre skal rapporteres inn med en nøyaktighet i horisontalplanet og vertikalplanet bedre enn 5 meter. Ved luftspenn skal det være en nøyaktighet bedre enn 2 meter over terreng eller vann. Kravet for innrapportering av egenhøyde er 15 meter. (Forskrift om rapportering, registrering og merking av luftfartshinder, 2014). Dette gjør at analysen i denne oppgaven må ta høyde for å finne ut om hinderet er over eller under 15 meter, for å sikre at kravet om høyde over terreng blir rapportert korrekt. Mer om dette i kapittel 2.1.3.

I §24 i forskriften er overgangsbestemmelser beskrevet med krav til innrapportering av eksisterende luftfartshinder som ikke har vært rapporteringspliktige tidligere. Fokuset i denne oppgaven er å verifisere og kontrollere høyspent luftnett med tilhørende master som er eksisterende. Med overgangsbestemmelser vil dette gi Elvia 2-4 år før det skal rapporteres inn. I opprinnelig forskrift som nå er opphevet, var kravet til rapportering av luftfartshindre hvis høyden på hinderet var over 15 meter (Forskrift om luftfartshindre, 2003). Dette er relevant for analysen som går på å kontrollere om det er korrekt innrapportert fra før revidert forskrift trådte i kraft.

2.1.2 Veiledning til BSL E 2-1

Veiledningsdokumentet til forskriften skal klargjøre kravene som er stilt ved å utdype og gi informasjon om forskriftsteksten. Dette for å sikre at det bygger på en korrekt forståelse av forskriften (Luftfartstilsynet, 2023). For å supplere med forskriftsteksten er dokumentet brukt som veiledning til regelverket i oppgaven.

2.1.3 Produktspesifikasjon og registreringsinstruks NRL

I denne oppgaven skal metode og analyse føre frem til et datasett/skjema med data fra utvalgte testområder, som kan benyttes til å rapportere inn høyspent-nett etter kravene i forskriften. Statens Kartverk har utarbeidet en produktspesifikasjon som spesifiserer krav og innhold til data som skal rapporteres inn til Nasjonalt register for luftfartshindre tilpasset den endrede forskriften (Kartverket, 2022a). Produktspesifikasjonen bygger på SOSI-metoden og den norske geografiske infrastrukturen. Spesifikasjonen inneholder også i tillegg til kravene og innholdet, selve modellen for spesifikasjonen i form av UML-skjema som beskriver sammenhengene og kodelister i datasettet.

I tillegg har Statens Kartverk utarbeidet en registreringsinstruks som er basert på produktspesifikasjonen for å gi en nærmere spesifikasjon på hvordan de ulike luftfartshindre skal registreres i NRL. Registreringsinstruksen har eksempler og inneholder bilder for å vise praktiske forhold rundt kravene slik at hindereiere har en felles forståelse og at innrapporteringen blir korrekt i henhold til produktspesifikasjonen. (Kartverket, 2022b). I kapittel 3 i registreringsinstruksen er det listet opp objekttyper og egenskaper. I denne oppgaven er det høyspent-nettet i Elvia som er relevant, dermed er det kapittel 3.2 luftspenn og kapittel 3.3 mast i registreringsinstruksen som beskriver obligatoriske krav for innrapporteringen. I aktuelle kapitler kan også kodelistene til egenskapene ses.

Under er opplysninger og påkrevde krav til innrapportering for henholdsvis luftspenn og mast beskrevet. Dette er beskrevet i rapporten da metoden for oppgaven bygger på dette.

Luftspenn

Høyspent luftledning går under definisjonen i registreringsinstruksen som et luftspenn. I tabell 1 under kan generelle krav til luftspenn ses. I tabell 2 kan oversikt over påkrevde egenskaper til et luftspenn ved innrapportering ses. Disse er hentet fra registreringsinstruksen (Kartverket, 2022b).

Tabell 1:

Generelle krav til luftspenn i NRL.

Objekttype	NrlLuftspenn
Geometritype	Kurve.
Registreringsmetode	Enkelt punkt i sekvens.
Grunnrissreferanse	Senterlinje luftspenn mellom luftspennets endepunkter.
Krav til nøyaktighet - grunnriss	Grunnrisskoordinater for luftspenn skal ikke avvike mer enn 5 meter fra luftspennets faktiske endepunkter.
Høydereferanse	Toppen av innfestingspunktene for øverste luftlinje er del av luftspennet.
Krav til nøyaktighet – Høyde og vertikal avstand	- Høydekoordinatene for luftspenn skal ikke avvike mer enn 5 meter fra den faktiske toppen av innfestingspunktene for øverste luftlinje som er del av luftspennet. - Angitt vertikal avstand for luftspenn skal ikke avvike mer enn 2 meter fra faktisk vertikal avstand.

Tabell 2:

Oversikt over påkrevde egenskaper til luftspenn i NRL.

Status	Hvilken status hinderet har. Lovlige verdier fra kodeliste: Eksisterende, Fjernet, Planlagt fjernet eller Planlagt oppført.
verifisertRapporteringsnøyaktighet	Verifikasjon av at objektet som er meldt inn til NRL oppfyller kravene til nøyaktighet i henhold til forskriften. Kodeliste: 0 (ikke verifisert) eller 20230101_5-1 (etter forskriftskravene).
komponentident	Universell Unik Identifikasjon (UUID), skal følge objektet i hele levetiden. Valgfri, men benyttes i oppgaven.
vertikalAvstand	Påkrevd for luftspenn med vertikal avstand lik eller høyere enn 15 meter.
høydereferanse	Påkrevd for luftspenn med vertikal avstand lik eller høyere enn 15 meter. Kodeliste: Fot eller Topp
datafangstdato	Dato for datafangst. Ikke påkrevd, men i oppgaven er det naturlig å ta det med grunnet sammenligning med tidligere innrapporterte hindre.
luftspennType	Type luftfartshinder som er kategoriser som luftspenn. Eksempler fra kodeliste: Ledning, høgspenn eller Bardun.

Tilsvarende for luftspenn er det laget to tabeller med oversikt over generelle krav og egenskaper til master. Tabell 3 viser generelle krav og tabell 4 viser egenskaper. Dette er hentet fra registreringsinstruksen i kapittel 3.3 (Kartverket, 2022b)

Tabell 3:

Generelle krav til mast i NRL.

Objekttype	NrlMast.
Geometritype	Punkt.
Registreringsmetode	Enkelpunkt
Grunnrissreferanse	For master som ikke er endemast: Topp mast For endemast: krysningspunktet mellom mast og luftspenn.

Krav til nøyaktighet - grunnriss	Grunnrisskoordinater for mast skal ikke avvike mer enn 5 meter fra grunnrissreferansen.
Høydereferanse	Topp eller fot mast
Krav til nøyaktighet – Høyde og vertikal avstand	- Høydekoordinat skal ikke avvike mer enn 5 meter fra mastens faktiske fot- eller toppunkt. - Vertikal avstand skal ikke avvike mer enn 1 meter fra faktisk vertikal avstand.

Tabell 4:

Oversikt over påkrevde egenskaper til mast i NRL.

Status	Hvilken status hinderet har. Lovlige verdier fra kodeliste: Eksisterende, Fjernet, Planlagt fjernet eller Planlagt oppført.
verifisertRapporteringsnøyaktighet	Verifikasjon av at objektet som er meldt inn til NRL oppfyller kravene til nøyaktighet i henhold til forskriften. Kodeliste: 0 (ikke verifisert) eller 20230101_5-1 (etter forskriftskravene).
komponentident	Universell Unik Identifikasjon (UUID), skal følge objektet i hele levetiden. Valgfri, men benyttes i oppgaven.
vertikalAvstand	Påkrevd for luftspenn med vertikal avstand lik eller høyere enn 15 meter.
høydereferanse	Påkrevd for luftspenn med vertikal avstand lik eller høyere enn 15 meter. Kodeliste: Fot eller Topp.
datafangstdato	Dato for datafangst. Ikke påkrevd, men i oppgaven er det naturlig å ta det med grunnet sammenligning med tidligere innrapporterte hindre.
mastType	Type luftfartshinder som er kategoriser som mast. Eksempler fra kodeliste: Mast, høgspenn eller Mast, belysning.

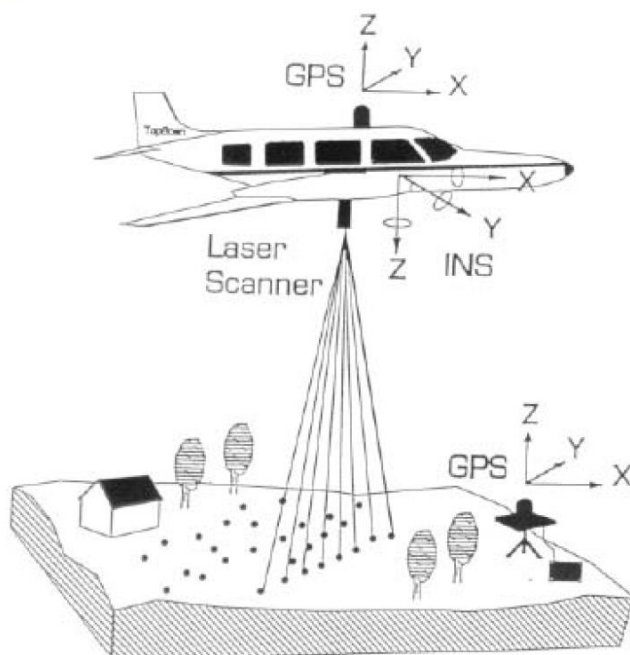
2.2 Laserskanning

Laserskanning er en optisk fjernmålingsteknikk som er mye brukt innen kartlegging for geografisk data. Innenfor laserskanning har man tre etablerte plattformer for laserskanning.

Disse tre er flybåren laserskanning, som brukes i fly eller helikopter, bilbåren laserskanning og terrestrisk/bakkebasert laserskanner. I denne beskrivelsen er det flybåren laserskanning, forkortet FLS som blir omtalt og satt fokus på da det er denne typen datafangst som er anvendt. Flybåren laserskanning er også kjent som «airborne LiDAR», med betydning Light detection and ranging (Kartverket, 2015). Hensikten med å benytte FLS er å kartlegge naturlige eller menneskeskapte objekter som for eksempel terrenget, skog/vegetasjon, luftlinjer og master på en effektiv måte.

2.2.1 Virkemåte

Ved laserskanning utføres det lasermålinger som gir x,y og z koordinater for punktene som blir målt. I tillegg gir det for hvert enkelte punkt egenskaper knyttet til returpuls, disse egenskapene er blant annet intensitet på retursignalet, vinkelen på lasermåling og ekkoinformasjon (Kartverket, 2015). Figur 2 – Skisse av flybåren laserskanning, viser prinsippet ved laserskanning fra fly med komponenter og systemer.



Figur 2: Skisse av flybåren laserskanning (Kravdal, 2018).

Laserskanneren har et eget koordinatsystem som måler avstand og retning ned til bakken. Avstandene blir bestemt ved å måle tiden fra laseren sender ut en puls, til det når terrenget og reflekteres tilbake til skanneren. For at avstanden skal bli korrekt må tiden ganges med

lyshastigheten og deles på to. Hvis laserpulsen treffer objekter som er gjennomtrengelige, for eksempel 50% vil en kunne få flere returpulser, ettersom avstanden blir forskjellig ut fra hva pulsen har truffet. For å sikre at laserskanneren utfører jevne og fordelte avstandsmålinger sitter det en egen skanner i utstyret, dette er ofte et oscillerende speil (Kartverket, 2015).

Laserskanneren har et eget koordinatsystem, men ettersom FLS er en datafangstmetode i bevegelse må flyet også ha posisjon og rotasjonssystem for å få georeferert punktene globalt. Systemet er bygd opp rundt INS (Inertial Navigation System) også kalt treghetsnavigasjonssystemet. Dette består av en IMU (Inertial Measurement Unit) og et eller flere GNSS (Global Navigation Satellite System). På figur 2 er dette kalt GPS, en form for GNSS. Ved å kombinere dette med en datamaskin og programvare kan det beregnes og lagres i sanntid ved datafangst, alle observasjoner av rotasjon og posisjon. Disse dataene kombineres deretter med vinkelmålinger og avstander fra laserskanneren hvor det gir et absolutt bestemt målepunkt på bakken. Disse målepunktene er georeferert i et globalt system som baserer seg på GNSS (WGS84/ITRF). For at sluttbruker/bestiller av dataene skal anvende det i lokalt koordinatsystem må dataene transformeres fra WGS84 til ønsket koordinatsystem (Kartverket, 2015).

Ved laserskanning fra fly eller helikopter kan det være uroligheter i luften ved turbulens. For å motvirke dette og sikre at skannerens pulser sveiper jevnt over terrenget ved skanning, blir det benyttet en såkalt stabilisert plattform. Denne plattformen mottar rotasjonsinformasjon fra GNSS/INS systemet slik at laserens roteres i fartsretning og horisontalplanet (Kartverket, 2015)

2.2.2 Nøyaktighet

Ved laserskanning er det komponenter som påvirker den forventede nøyaktigheten. Dette vil kunne gi påvirkninger av resultater i punktskyen. Punktskyen er resultatet av alle laserpunktene. Derfor kan dette gi utslag på punktfordeling og feil klassifisering av punktene. De komponentene som er avgjørende for nøyaktigheten er GNSS/INS løsningen, avstands- og vinkelmålingen til laserens, kalibrering av systemet, stripe og høydejustering ved flyvning og kvaliteten til geoiden. For å gjøre kontrollmål på punktskyens nøyaktighet kan dette beregnes ved bruk av såkalte kontrollflater på bakken og kontrollprofiler. Forventet nøyaktighet ved laserskanning ligger mellom 0,02 – 0,2 meter i høyde (Kartverket, 2015). Andre elementer

rundt nøyaktighet som er relevante for kraftledninger og høyspent-nett er beskrevet i kapittel 2.4 om vektoriseringsprosessen.

2.2.3 Punktsky og klassifisering

Under laserskanning blir det fanget en rekke enkeltstående punkter som inneholder X, Y og Z koordinater. Alle enkeltpunktene fra skanningen til sammen kalles en punktsky og anses som et primærprodukt. I tillegg til X, Y og Z koordinater kan hvert enkelt punkt inneha egenskaper for å gjøre det mulig å sette relasjoner og sammenheng på punktene. En egenskap som er viktig i denne sammenhengen er klassifisering. Dette gjøres for å dele punktene inn i definerte klasser som for eksempel master, luftledninger, støy, bakkepunkt med mere (Kartverket, 2023b).

Standard klasseinndelingen for punktskyen og deres enkeltpunkt skal følge skjema som er utarbeidet og basert på LAS Specification 1.4 – R15. LAS-formatet er et filformat som er designet for utveksling og arkivering av punktskydata (ASPRS, 2019). Hensikten med å benytte LAS er at det er et åpent format og kan utveksles i et felles format for forskjellige maskinvare og programverktøy. Spesifikasjonen for LAS beskriver hva en LAS-fil skal inneholde av data og egenskaper. Ved bruk av programvare kombineres punktskydata med GNSS, IMU, og laserpulsdata for å produsere punktene med X, Y og Z koordinater (ASPRS, 2019).

Klassene som er relevante for denne oppgaven kan ses i tabell 5. I tillegg er det tatt med noen flere klasser som direkte har betydning for egenskaper relatert til oppgaven (Kartverket, 2023b). Klasser som udefinerte og støy er obligatoriske, men er ikke tatt med her.

Tabell 5:

Relevante klasser i oppgaven fra ASPRS spesifikasjon.

Klasse	ASPRS beskrivelse	Beskrivelse	
2	Ground	Terreng	Punkt på bakke. Hvis ikke klasse 9 benyttes skal alle punkt tildeles til terrengklassen.
9	Watersurface	Vannoverflate	Punker på vannoverflate. Vannflater større enn 100m ² og elver bredere enn 3 m skal registreres.
13	Wire Guard	Ledning - beskyttelse	Jordingslinje.
14	Wire Conductor	Ledning	Luftledning.
15	Transmission Tower	Mast	Mast.

I produktspesifikasjonen Punktsky 3.0 er det beskrevet ulike krav til punkttetthet og nøyaktighet for de tradisjonelle kategoriene som benyttes i kartlegging for FKB A, B og C prosjekter og en egendefinert kategori. FKB står for Felles kartdatabase og er en samling av primærdatasett som samles inn og forvaltes gjennom Geovekst-partene i kommunene i Norge. FKB innehar de mest detaljrike og grunnleggende kartdataene i Norge (Kartverket, 2023c). Laserskanningen som er gjort i forbindelse med ledningskartlegging i denne oppgaven er bestilt av Elvia og havner derfor i kategorien egendefinert. Dette vil si at bestillingen av oppdraget avgjør krav til nøyaktighet, punkttetthet, metadata etc. Som nevnt i kapittel 1.3 avgrensninger tar ikke denne oppgaven for seg selve bestillingen og rammene rundt laserskanningsprosjektene.

2.2.4 Vektoriseringsprosess

Denne oppgaven tar for seg å benytte datasett som er vektoriserte fra to ulike kartleggingsfirmaer. Et av firmaene er Terratec / Field Group som er en av kartleggingsfirmaene i Norge innen laserskanning og bearbeiding. For å få en innføring i hvordan et kartleggingsfirma bearbeider og vektoriserer ledningsdata inviterte studenten fagansvarlig for LiDAR i Terratec, Petter Solli for en prat. Den personlige kommunikasjonen fant sted på Teams 12.04.2023 Kl.12.00. Det refereres med samtykke direkte fra kommunikasjonen rundt vektoriseringsprosessen.

«Vårt inntrykk er at de fleste kartleggingsfirmaer i verden benytter i dag samme software for bearbeidelse og prosessering av laserdata. Software som benyttes er en finsk programvare som heter Terrasolid. Innenfor programmet benyttes det en modul med navn Powerline, som er laget for ledningsdata. En del av vektoriseringsprosessen går automatisk i programvaren, men det er også noe manuelt arbeid. Samtidig er det stadig utvikling på programvaren for å effektivisere prosesser bedre. Det benyttes standard for klassifisering og produkter leveres ut fra bestilling og kundens ønsker.

For ledningsdata med luftlinjer og master er det en metode som praktiseres mye. En viktig del av arbeidet er at kundene sender gode manus som inneholder det de ønsker å kartlegge. Ved gode manus forenkler dette arbeidet med klassifisering og vektorisering. Klassifiseringen kan gjøres på to forskjellige tidspunkt, avhengig av hvor mye skog og vegetasjon det er rundt linjen. Er det lite eller ingen skog kan klassifiseringen gjøres først. Er det mye skog kan det være nødvendig å klassifisere etterpå.

Ved bearbeidelse av ledningsdata blir ofte mastene definert først med senterpunkt, deretter lages det et linjeforløp/hjelpelinje i 2D med start og stopp ved hver mast. Mastene blir konstruert automatisk ved gode manus, hvis ikke må det håndteres manuelt. Deretter finnes det automatikk fra programvaren som finner punktene langs luftlinjen fra skanningen fra 2D-linjen. Ofte benyttes det en buffer for å finne linjen, dette er for at programmet ikke skal måtte lete etter linjer der det ikke eksisterer. Ved stor punkttetthet i laserskanningen vil automatikken i programvaren ha lettere for å klare å detektere mere automatisk enn hvis det er lavt med punkter. Utfordringene ved lav punkttetthet kan være at det ikke er treff på linjen, ved flere faser og jording kan det hoppe mellom disse, slik at man får en linje som egentlig er flere linjer/faser. For å motvirke dette kan det være behov for å trekke flere hjelpelinjer mellom mastene eller definere jordlinjer og faselinjer. God punkttetthet langs faser og jording gir godt resultat. Vektorinndelingen kan måtte gjøres i en egen GIS-analyse for å klassifisere om jordingen henger under eller over faseledningene. Andre utfordringer kan være kryssende linjer og ledninger som ikke har sammenheng med de linjene man vektoriserer. Ettersom ledningsnettets henger sammen kan det være en utfordring at man skanner på to ulike dager, kan posisjonen på ledningene ha forandret seg og at man ikke får linjene til å henge sammen automatisk. Dette skyldes lastforhold og været, med temperaturforandringer og vind.

Andre betydningsfulle påvirkninger på nøyaktigheten kan være følgende. Vektorisering tar utgangspunkt at man ikke har noe vind. Har man vindkomponenter så vil dette forskyve rettlinjen mellom mastepunktene i X og Y retning. Dette påvirker også automatikken i programvaren. Mer vind gir mindre automatikk ved etter prosessering i programvaren. Jordingslinjer kan være vanskelig å detektere hvis den er på toppen ved faseledninger. Eller jordingslinje som henger under faseledningene kan få skyggeeffekter og være vanskelig å detektere fordi jordlinjens leder er tynnere. Belagte ledninger med isolasjon er en utfordring ettersom de er vanskeligere å få treff på. Mørk farge tar energien fra laserpulsen slik at returpuls kommer ikke tilbake.»

Hensikten med denne personlige kommunikasjonen var å få et innblikk og en generell beskrivelse av prosessen. I tillegg gir det en oversikt over utfordringene som kan påvirke kvaliteten ved skanning og bearbeidelse av ledningsdata. Det er benyttet noen begreper rundt ledningsdata i teksten, disse vil bli nærmere forklart i kapittel 2.4 Ledningsdata.

2.3 Geografisk analyse

Denne oppgaven skal benytte geografisk analyse for å løse innrapportering til NRL, ved bruk av datasett som inneholder vektoriserte ledningsdata med ulike egenskaper. De fleste av analysene i metoden går på nærhet- og distanseanalyser til luftlinjene og mastene, men også noen andre relevante analyser. I mange sammenhenger blir analysemetodene kombinert for å kunne gi svaret på det man er ute etter.

Spørring på geografiske data er en av de enkleste formene for analyse. Det å velge ut eller «mappe» data fra objekter som har felles struktur eller egenskaper er eksempel på en geografisk spørring. Geografisk data kan inneholde matematiske verdier som det ønskes å spørre og filtrere på. Dette kalles boolsk algebra, eller logikk (Lloyd, 2010, s.21).

En annen form for geografisk analyse som er mye brukt er avstandsanalyse og vektorbuffer. Hensikten med dette er å lage ett polygon ut fra et objekt, som kan være linje, punkt eller flate med en spesifisert avstand rundt objektet for å «fange» andre interessante valgte objekter. Bufferanalyse kan kombinere flere bufferavstander slik at man kan dele inn ut fra avstandene til interessepunktet, hvis det er nyttig (Lloyd, 2010, s.47).

Ved GIS-analyser har man ofte flere lag med data som man ønsker å kombinere. Det å analysere og se på sammenhengen mellom objekter som overlapper eller har nærhet til hverandre er mye brukt innen GIS. En av analysemetodene er overlaging. Metoden kan benyttes uavhengig om det er punkter, linjer eller flater. Denne formen for analyse kombinerer informasjon fra to eller flere sett med romlig data og ivaretar egenskapene. Det er to hovedgrupperinger for denne analysen, det ene grupperes inn i såkalt inkludering, hvor man ser for seg at et objekt A befinner seg innenfor et annet objekt B, hvor informasjonen og egenskaper blir lagt fra objekt B til A. Det andre er «kryssing», eller overlappende objekter. Teorien her er at man har objekt A og B som overlapper hverandre, for eksempel to flater som overlapper hverandre på et område, hvor resultatet blir A og B med tilhørende egenskaper (Lloyd, 2010, s.65).

I denne oppgaven er det også benyttet en annen form overlaging ved kombinasjon av data. «Cookie Cutter» er en form for overlaging som benyttes når det er ønskelig å enten slette eller klippe romlige data i analysen. Forskjellen her er at egenskaper kun tas med fra det inngående datalaget. Når sletting benyttes blir resultatet at overlappende data fjernes og man får et resultat av inngående data uten overlappingen. Ved klipping er det motsatt, at klippeområdet over overlappende lag blir bevart (Lloyd, 2010, s.69).

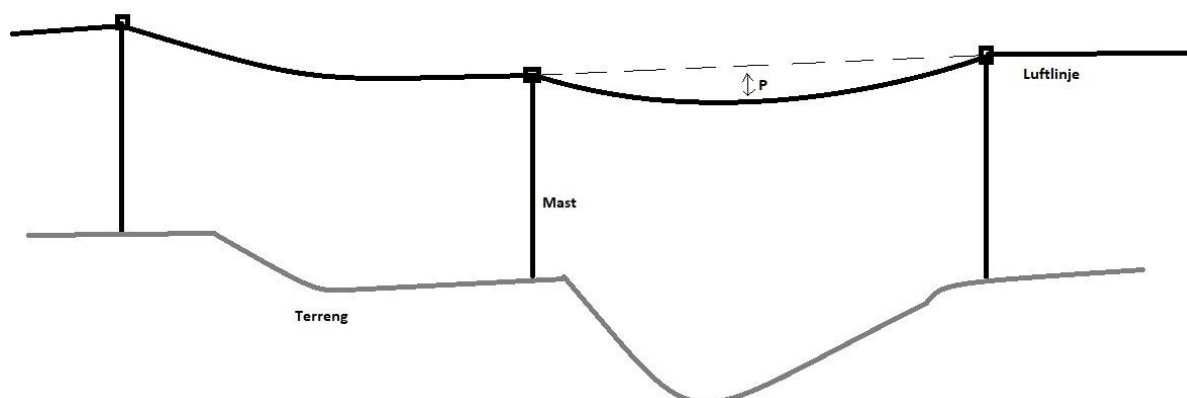
Sammenføring, også kalt «join» på engelsk, av data i GIS-operasjoner og analyser kan være ønskelig. Teorien fra dette tar utgangspunkt i funksjonen i FME. Sammenføring kan både gjøres med geometri og/eller egenskaper ut fra problemstillingen. En sammenføring har to inngangsverdier, disse kalles høyre og venstre. Inngangsverdiene har for eksempel to objekter/egenskaper som skal kobles sammen basert på en felles egenskap eller geometri. Resultatet av en sammenføring, basert på hva som skal styre fra de inngående objektene/egenskapene, gir tre ulike svar. Det er venstre, høyre og det kombinerte fra høyre og venstre. Den kombinerte funksjonen knytter data med felles geometri/egenskap sammen, venstre og høyre resultat er det som ikke ble knyttet sammen, også kalt på engelsk «unjoin» (Safe Software, 2023b).

2.4 Luftlinjeanlegg

I dette kapitlet blir relevante begreper og teori knyttet til høyspent luftlinjer og master beskrevet. Dette er teori som har sammenheng med nøyaktighetsprinsipper fra laserskanningen som nevnt i kapittel 2.2.4.

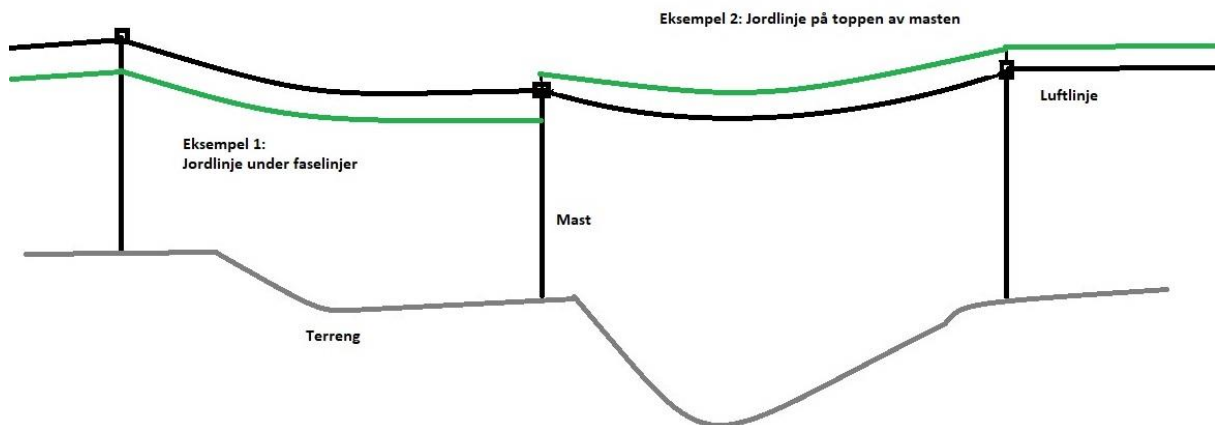
Luftledninger som transporterer strøm, består av metalliske ledere. Det finnes flere ulike type ledere som både kan være isolerte eller uisolerte. De vanligste og viktigste ledermaterialene er kopper og aluminium. Disse to materialene har forskjellige lederegenskaper, såkalt motstand gitt ved forskjellige temperaturer, ulik mekanisk styrke og flatetrykk (Svarte og Sebergsen, 2002, s. 42).

Luftlinjer kan bli utsatt for store mekaniske påvirkninger og krefter, derfor er det en rekke krav til prosjektering og montering av linjer for at luftlinjene skal kunne tåle påkjenninger. Noen utfordringer på dette kan være islast på linjene, hvor strekkraften da endres grunnet tyngden på isen som henger på linjen. Metalliske ledere endrer seg ved ulike temperaturer, slik at når temperaturen blir lavere enn dimensjonert verdi, vil den trekke seg sammen, og vil utvide seg ved varme. En viktig faktor for laserskanningen er nedheng også kalt pilhøyde. Dette forandrer seg ut fra nevnte påvirkninger på luftlinjen. Pilhøyde er skissert på figur 3 – Illustrasjon av luftlinje med pilhøyde, med benevnelsen P. Skissen illustrerer luftledning sett fra siden i 2D. Pilhøyden er størst midt i spennet mellom mastene (Svarte og Sebergsen, 2002, s. 52).



Figur 3: Illustrasjon av luftlinje med pilhøyde.

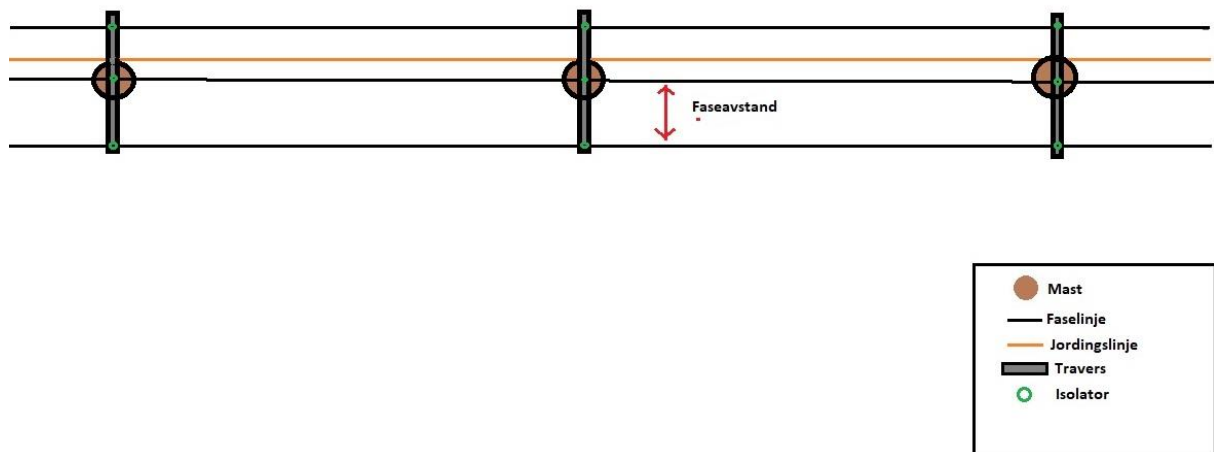
Høyspent luftlinjer har ofte jording for beskyttelsesformål som henger sammen i mastene med luftlinjen. Disse kan henge både under og over luftlinjen avhengig av spenningsnivå og utformingen av mastekonstruksjonen. Det finnes en del ulike mastetyper hvor det skilles på bæremaster, forankringsmaster og endemaster (Svarte og Sebergsen, 2002, s. 57). En skisse av hvordan jordlinjen kan henge i mast kan ses i figur 4 – illustrasjon av luftlinje med jordlinje.



Figur 4: Illustrasjon av luftlinje med jordlinje.

Som figur 4 viser, kan en jordlinje henge på toppen i masten eller være opphengt under luftledningen. Hensikten med å illustrere dette er at det kan ha påvirkning på hvilken linje som er rapporteringspliktig til NRL.

I de foregående figurene er luftlinjen illustrert med visning fra siden i 2D. En luftlinje kan være bygget opp på ulike måter. I Norge er høyspentlinjene bygget for trefase vekselstrøm. Det vil si at luftledningen består av tre ledere som kalles faser. I høyspentanlegg i luft er oftest disse en separat leder for hver fase, slik at høyspentlinjen kan ha tre faseledninger og en jordingslinje. Avhengig av utformingen på linjen og masten er disse hengt opp på en såkalt travers med isolatorer på hver mast. En illustrasjon av dette sett ovenfra kan ses i figur 5. Det finnes også høyspent luftlinjer hvor fasene er bundet sammen, eller ser ut som en hengekabel (Svarte og Sebergsen, 2002, s. 44). I figuren er det også lagt inn begreper som er nyttig senere i oppgaven når metoden for oppgaven blir beskrevet.



Figur 5: Illustrasjon av trefase høyspentlinje sett fra oven.

2.5 Om Geonorge og høydedata

Geonorge er det nasjonale nettstedet for kartdata og annen stedfestet informasjon i Norge. Her kan brukere av kartdata søke etter og få tilgang til det som er tilgjengelig av slik informasjon (Geonorge, 2023, avsnitt 1). Geonorge er en del av den geografiske infrastrukturen i Norge, hvor Kartverket utvikler og drifter portalen. Datasett og tjenester kan benyttes ut fra rettigheter. Elvia som Norge digitalt medlem kan benytte de fleste datasett og tjenester som er tilgjengelig. Norge digitalt er et samarbeid mellom offentlige virksomheter med ansvar for å etablere og forvalte kartdata og annen stedfestet informasjon (Geonorge, 2023, avsnitt 2).

Alle høydedata som er samlet inn i forbindelse med prosjektet «Nasjonal detaljert høydemodell» også kalt NDH, Geovekstprosjekter eller eventuelt av andre Norge digitalt parter er distribuert på nettsiden www.hoydedata.no. Høydedata er en portal hvor brukere kan laste ned data eller bruke høydedata gjennom API gratis. Resultatet av NDH prosjektet er at det finnes data som gir nøyaktige målinger av høyde i hver kvadratmeter i landet (Kartverket, 2022d).

3 Metode

Metoden som blir beskrevet i dette kapitlet tar utgangspunkt i rapporteringskravene til NRL. I teori-kapitlet er lovverket og reglene for innrapportering beskrevet. Metoden skal derfor resultere i et datasett/skjema som kan benyttes for innrapportering. Dette kapitlet er delt inn i 5 underkapitler. Det første beskriver datasettene med egenskaper som er et resultat fra laserskanningen og vektoriseringsprosessen som er gjort fra kartleggingsfirmaene. Datasettene er fra Eidsiva Nett og Stange Energi Nett før fusjonen som i dag er Elvia, og for å benytte metoden er det valgt ut to kommuner for å kjøre analysen på. I delkapittel to er det beskrevet programvare som er benyttet i oppgaven. De tre siste delkapitlene tar for seg den praktiske metoden utviklet i programvaren og for innrapportering til NRL.

3.1 Datasett og egenskaper

Datasettene som er benyttet til analysen er beskrevet i dette kapitlet. I hovedsak er det presentert metadata om datasettene og en forklaring på oppbygging med relevante egenskaper som er benyttet til analysen.

3.1.1 Eidsiva Nett

I tabell 6 er det beskrevet metadata om vektorisert datasett for Eidsiva Nett.

Tabell 6:

Metadata om vektorisert datasett Eidsiva Nett.

Datafangsmetode	Flybåren laserskanning
Kartleggingsfirma	Visimind AB
Produktdato	15.10.2019
Koordinatsystem	EUREF89 UTM SONE 33N
Høydemodell	NN2000, HREF2018B
Nøyaktighet	10 cm*
Punkttetthet skanning	40-50 pkt/m ²
Filformat	GDB (filgeodatabase)
* - Nøyaktighet innenfor 10 cm	

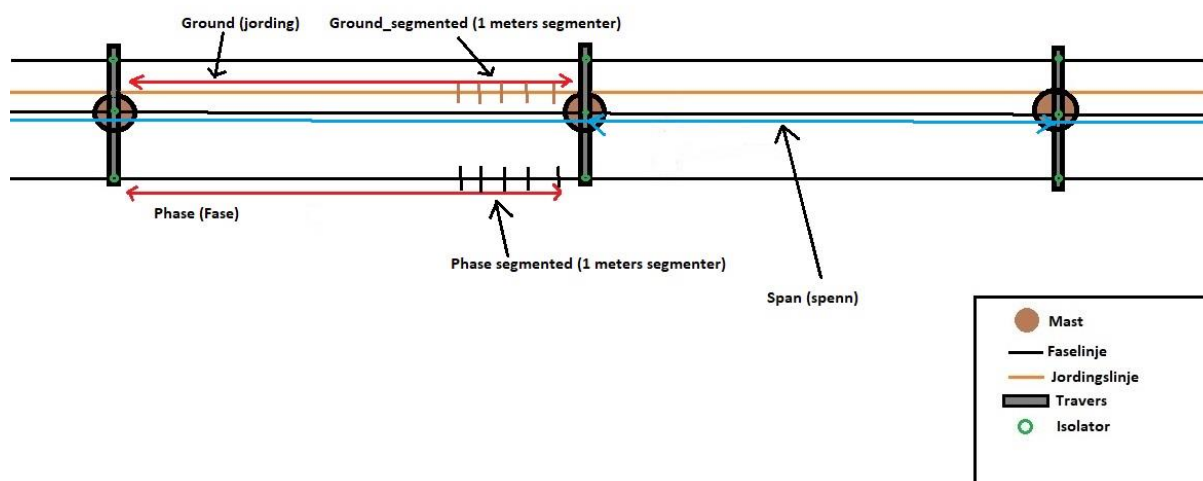
Datsettet er bygd opp med to filgeodatabaser, hvor det ene er for høyspent distribusjonsnett og andre for regionalnett. Oppbyggingen og egenskaper for de ulike objekttypene er like i de respektive filgeodatabasene. I tabell 7 er oppbyggingen av datsettet presentert.

Tabell 7:

Oppbygging av datsett Eidsiva Nett.

Klasse/objekttype	Geometri	Forklaring
Poles	Punkt	Master
Phase	Linje	Faselinjer, en linje per fase. Start/stopp ved hver mast.
Phase_segmented	Linje	Tilsvarende Phase men faselinjer segmentert i ca. 1 meters lengder.
Spans	Linje	Spenn/luftspenn, en senterlinje for luftledningen, start/stopp ved hver mast.
Ground	Linje	Jordingslinje.
Ground_segmented	Linje	Tilsvarende Ground, men segmentert i 1 meters lengder.

En visuell skisse med forklaring på oppbyggingen kan ses i figur 6. Dette prinsippet gjelder for alle luftlinjer og master i datsettet. I skissen er det vist et eksempel av hvert objekt, og noen flere segmenter.



Figur 6: Skisse relatert til oppbygging av datsett Eidsiva Nett.

For hver objekttype er det tilknyttet en rekke egenskaper. I tabell 8 er det presentert relevante egenskaper for analysen som benyttes i oppgaven.

Tabell 8:

Relevante egenskaper i datasett Eidsiva Nett.

Klasse/objekttype	Egenskap	Forklaring
Poles	Geometri	X,Y,Z koordinater. Z = topp mast.
	Height	Høyde på masten fra topp mast til terreng.
Phase	Geometri	X,Y,Z koordinater.
Phase_segmented	Geometri	X,Y,Z koordinater
	H2Ground	Høyde fra hvert enkelt 1 meters segment på fasene til terreng.
Spans	Geometri	X,Y,Z koordinater.
Ground	Geometri	X,Y,Z koordinater.
Ground_segmented	Geometri	X,Y,Z koordinater.
	H2Ground	Høyde fra hvert enkelt 1 meters segment på jordingslinje til terreng.

3.1.2 Stange Energi Nett

I tabell 9 er det beskrevet metadata om vektorisert datasett for Stange Energi Nett.

Tabell 9:

Metadata om vektorisert datasett Stange Energi Nett.

Datafangsmetode	Flybåren laserskanning
Kartleggingsfirma	Terratec AS
Produktdato	20.11.2021
Koordinatsystem	EUREF89 UTM SONE 32N
Høydmodell	NN2000, HREF 2018B
Nøyaktighet	10 cm*
Punkttetthet skanning	300 pkt/m ²
Filformat	ESRI Shape
* - Nøyaktighet innenfor 10 cm.	

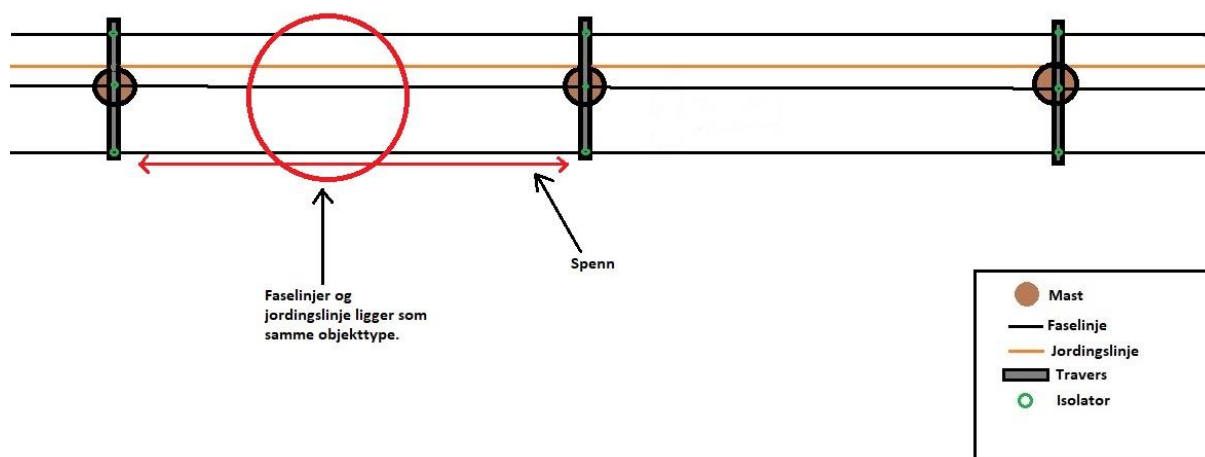
Datasettet er bygd opp i Esri Shape format og er delt på geometri. I tabell 10 er oppbyggingen av datasettet presentert.

Tabell 10:

Oppbygging av datasett Stange Energi Nett.

Klasse/objekttype	Geometri	Forklaring
Mast	Punkt	Master.
Luftledning	Linje	Faselinjer og jordlinjer per spenn. Start/stopp ved hver mast.

Som man ser av tabell 10, er både faselinjer og jordlinjer kategorisert innenfor samme objekttype under luftledning. I figur 7 er det skissert hvordan oppbyggingen henger sammen med inndelingen av objekttype og spenn for hver faselinje og jordlingslinje.



Figur 7: Skisse relatert til oppbygging av datasett Stange Energi Nett.

I tabell 11 er relevante egenskaper for datasettet beskrevet.

Tabell 11:

Relevante egenskaper i datasett Stange Energi Nett.

Klasse/objekttype	Egenskap	Forklaring
Mast	Geometri	X,Y,Z koordinater. Z = topp mast.
	SYNLIG_LEN	Høyde på masten fra topp mast til terreng.
	DRIFTSMERK	Mastens driftsmerking.
Luftledning	Geometri	X,Y,Z koordinater.

3.1.3 Analyseområde og øvrige datasett

Datasettet Eidsiva Nett inneholder store mengder med data som følge av konsesjonsområdet før innfusjoneringen i Elvia. For å teste metoden er det valgt å benytte Åmot kommune som geografisk testområde for datasettet ettersom det er en del høyspent regional- og distribusjonsnett i kommunen. For å begrense analysen til Åmot kommune er det benyttet følgende datasett som er hentet fra GeoNorge:

Administrative enheter kommuner – Åmot kommune

I programvaren FME, omtalt i kapittel 3.2.1, har Elvia laget til en funksjon via et API som henter inn administrative enheter fra GeoNorge. I ArcGIS Pro er det det benyttet vektorisert nedlastet datasett.

For analyse av datasettet tilknyttet Stange Energi Nett er det hentet inn terrengmodell Dtm1_33 fra høydedata. Datasettet inneholder terrengmodell og punktskyer som gir høydeverdi på hver kvadratmeter i terrenget. I FME har Elvia laget til en funksjon som henter punktskydata via API direkte fra høydedata. Hvordan punktskyen er benyttet blir nærmere forklart i kapittel 3.3.2.

3.1.4 Tidligere innrapporterte NRL-data

Statens Kartverk har eksportert ut tidligere innrapporterte luftfartshindre med Elvia som eier for Åmot- og Stange kommune som ligger i NRL, etter forespørsel fra studenten. Datasettene skal benyttes til sammenligning mot analysen som blir gjort i denne oppgaven. Tabell 12 viser oppbyggingen av datasettet.

Tabell 12:

Oppbygging av datasett fra NRL.

Klasse/objekttype	Geometri	Forklaring
NrlMast	Punkt	Master som er rapportert inn til NRL.
NrlLuftspenn	Linje	En senterlinje for luftledningen, start/stopp ved hver mast.

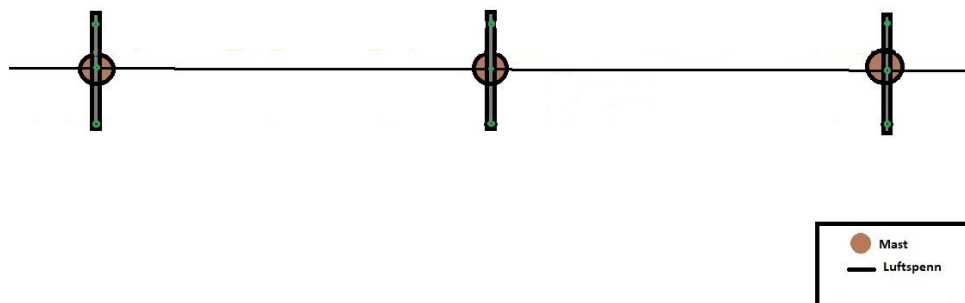
Relevante egenskaper som er benyttet i analysen fra NRL-datasettet kan ses i tabell 13.

Tabell 13:

Relevante egenskaper i datasett fra NRL.

Klasse/objekttype	Egenskap	Forklaring
NrlMast	Geometri	X,Y,Z koordinater. Z = fot mast.
	vertikalAvstand	Høyde på masten fra topp mast til terreng.
NrlLuftspenn	Geometri	X,Y,Z koordinater
	vertikalAvstand	Høyde fra høyeste fase i spennet av luftledning til terreng.

Felles for NrlMast og NrlLuftspenn er at de har kvalitetskoding på hvert enkelt objekt. Ved utforsking av egenskapen ser man at nøyaktigheten varierer fra opp mot 5 meter i grunnriss og høyde. Det er også registrert ulike datafangstmetoder for grunnriss og høyde, om det er fot, digitalisert eller generert. Tilsvarende for datasettene Eidsiva Nett og Stange Energi Nett er det i figur 8 laget en skisse som viser oppbyggingen til datasettet fra NRL.



Figur 8: Skisse relatert til oppbygging av datasett fra NRL.

3.2 Programvare

Programvarene som er benyttet og sentrale i denne oppgaven er FME og ArcGIS Pro. I underkapitler er det beskrevet kort om programvaren og hva de er benyttet til.

3.2.1 FME (Feature Manipulation Engine)

FME er en programvareplattform utviklet av Safe Software. FME er et datakonverteringsverktøy for integrasjon, behandling og manipulering av data. Bruksområdet til FME er i hovedsak å automatisere, øke data og arbeidsflyt ved arbeid med geografiske og romlige data. Plattformen inneholder blant annet FME workbench. Workbench er primærprogramvaren som benyttes for å manipulere, modifisere, transformere og validere data gjennom prinsippet ETL. Dette prinsippet står for Extract, Transform and Load, noe som vil si at man trekker ut data fra kilde, transformerer det ut fra brukerbehov og laste det inn eller lagre det til ønsket plassering. ETL prinsippet i Workbench tilbyr et grafisk grensesnitt som lar brukeren benytte dra- og slippfunksjonalitet. (Safe Software, 2023a). FME workbench benyttes i denne oppgaven til å gjøre den geografiske analysen ved hjelp av manipulasjon, modifisering, transformere og validere datasettene frem til skjema for innrapportering til NRL.

3.2.2 ArcGIS Pro

ArcGIS Pro er en utbredt GIS-programvare for profesjonell bruk utviklet av Esri. I ArcGIS Pro kan brukeren utforske, visualisere og analysere geografiske data, lage 2D kart og 3D scener. Det er også mulighet til å dele data ved bruk av ArcGIS Online eller ArcGIS Enterprise eller andre tjenester (ESRI, 2023). ArcGIS Pro blir i denne oppgaven benyttet til å utforske, presentere og lage kart.

3.3 Behandling av vektoriserte datasett

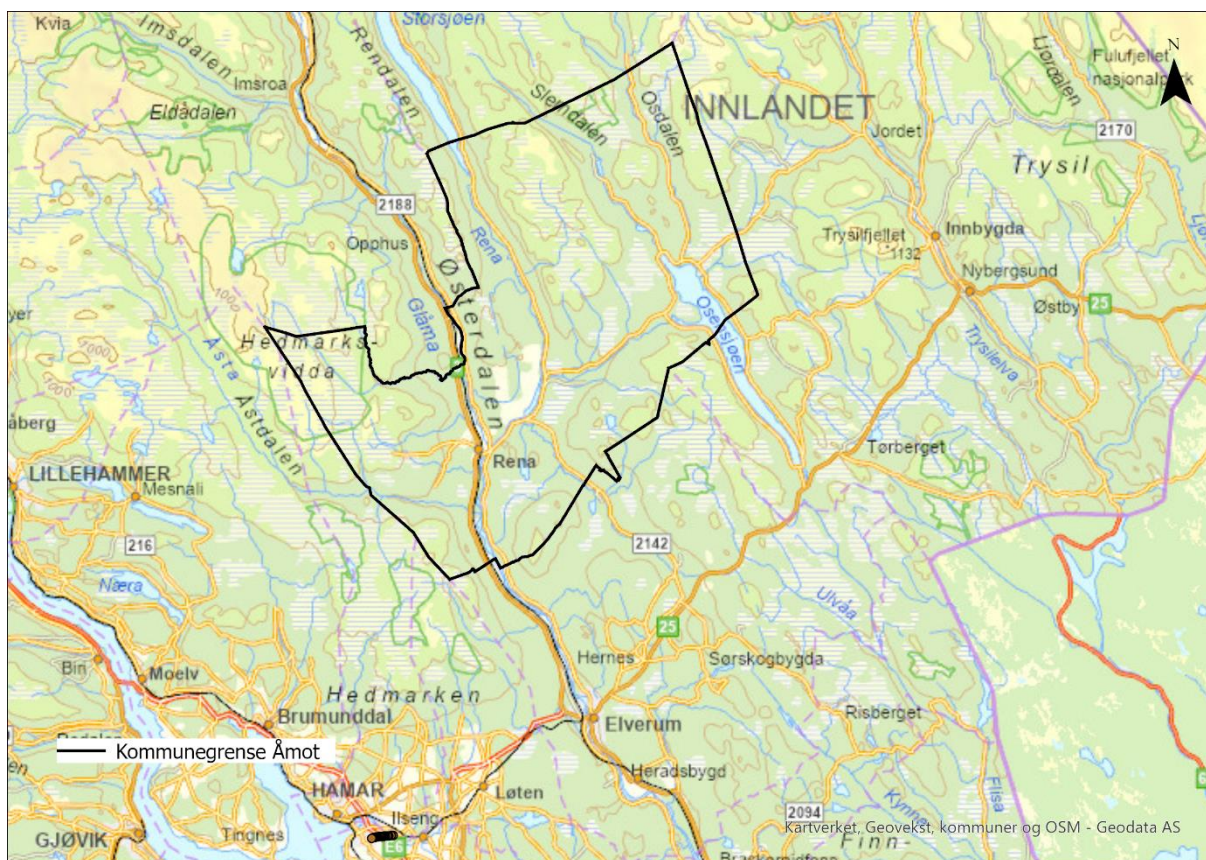
For behandling og analyse på datasettene beskrives det to metoder som er utarbeidet med FME Workbench. I forrige kapittel ble datasettene Eidsiva Nett og Stange Energi Nett presentert, og som det viser seg er disse forskjellige i oppbyggingen, derfor er dette delt i to analyser. Behandlingen og analysen må ses i sammenheng med oppbyggingen av datasettene. Analysen baserer seg på å finne høyeste punkt på hvert enkelt luftspenn og analysere høyden på mastene i henhold til forskriftskravene og registreringsinstruksen. Andre påkrevde egenskaper som er rapporteringspliktige i henhold til kravene, er verdier som kan legges til datasettet/skjemaet for innrapportering. Dette blir gått gjennom og kommentert i kapittel 3.4 Klargjøring til NRL skjema.

3.3.1 Eidsiva Nett

Forklaringen for metoden henger sammen med kapittel 3.1.1 Eidsiva Nett datasett. Filgeodatabasen inneholder to datasett, et for regionalnett og et for distribusjonsnett. Analysemetoden er bygd opp på samme måte, men i to ulike løyper med felles geografisk avgrensning. I denne beskrivelsen benyttes det en felles for regionalnett og distribusjonsnett tilsvarende som oppbygging av datasettet. Analyse og løype i FME workbench er lagt med som vedlegg 1 til rapporten.

Analyseområde

Geografisk område for analysen er Åmot kommune. Analyseområdet kan ses i figur 9 – Analyseområde Åmot kommune. Det sørges for at polygon for område konverteres til Euref89 UTM-sone 32, for at det skal plasseres for at det skal samsvare med plassering av vektordataene.



Figur 9: Analyseområde Åmot kommune.

Lese inn data

Datsett for regionalnett og distribusjonsnett leses inn i arbeidsområdet. Videre deles dataene inn i to analyser per nettnivå. En for å finne høyeste punkt på luftspenn og en for å hente høyde på master.

Største vertikalavstand spenn

Det man ønsker å gjøre i denne analysen er å få analysert hvert enkelt segment innenfor hvert enkelt spenn, for å ta ut den høyeste verdien og knytte det som en egenskap tilbake på spennet. I de to objekttypene fase segmentert, og jordingslinje segmentert ligger det en egenskap H2Ground. Dette er vertikalavstanden for hvert segment på hver enkelt fase og jordlinje, ned til terrenget. Segmentene er ca. 1 meter lange og innenfor denne meteren er det den høyeste vertikalavstanden som er verdien på egenskapen. Kravet til innrapporteringen i NRL er at største vertikalavstand på hvert enkelt spenn skal rapporteres inn. Som tidligere forklart kan da jordingslinjen ha den største verdien hvis linjen henger på toppen av mastene.

Klargjøringsdel

For å få knyttet høyeste vertikalavstand til spennet må det klargjøres for analysen. Det første som er gjort for at hvert spenn skal få en unik ID, er å opprette en ID-generator som tildeler hvert spenn unik ID etter innlesingen av objekttypen. Hvert spenn får tildelt en unik ID for å koble geometrien tilbake til spenn-geometrien på slutten av analysen. Videre er det benyttet nærmeste nabo-analyse basert på geometri. Analysen skal gi alle unike faselinjer og jordlingslinjer en ID fra spennet mellom hver mast slik at linjene vet hvilket spenn de «tilhører» for senere bruk. Dette gjøres i hver sin naboskapsanalyse fordelt på jordingslinje og faselinje.

Deretter benyttes utgangresultatene av de to naboskapsanalysene, til to nye naboskapsanalyser basert på geometrien, dette for å knytte hvert enkelt segment i de segmenterte objekttypene til jordlinjene og faselinjene. Denne analysen resulterer i at egenskapene fra segmentene lagres inn til resultatet av den første naboskapsanalysen, som inneholder hver enkelt jordlinje og faselinje med egenskaper fra spennet. Det er valgt å ta vare på alle egenskaper fra objektene i naboskapsanalysene for å kunne kontrollere fremgangsmåte

underveis i prosessen. Det man står igjen med er faselinjer og jordingslinjer med geometri fra spennet, med ulike egenskaper knyttet til om det er jordlinje eller faselinje med segmenter. Jordingslinjer og faselinjer blir nå behandlet videre separat.

I den neste delen av klargjøringen opprettes det en egenskap som avrunder vertikalavstanden H2Ground til heltall og gjør om navnet til ANLH (for anleggshøyde) for både faselinjer og jordingslinjer. For å skille egenskapene knyttet til jordingslinje og faselinje, legges det på et prefiks GROUND_ og PHASE_ på alle egenskaper.

Kalkulasjonsdel

I neste fase som er kalkulasjonsdelen skal det hentes ut den maksimale vertikale avstanden for faselinjene og jordingslinje under hvert enkelt spenn. Ettersom man nå har en rekke høyder fra hvert enkelt segment knyttet til spennene som egenskap, kan det gjøres en numerisk spørring. Dette gjøres ved å hente ut maks-verdien for henholdsvis jordingslinje og faselinje ved hjelp av egenskapen ANLH som ble laget i siste steg i klargjøringsdelen. Her blir også geometrien ivaretatt hvis det er ønskelig å presentere segmentet som har størst vertikalavstand i spennet. For at man enkelt skal kunne plukke ut de aktuelle segmentene med størst avstand er det benyttet en sortering på ID for alle segmenter i hvert spenn, og sortering på høyeste høyde. Når disse er sortert kan man hente ut alle de høyeste segmentene ved å tilordne de med en teller og en test hvor man skal ta vare på kun de høyeste.

Kobling av geometri og egenskaper

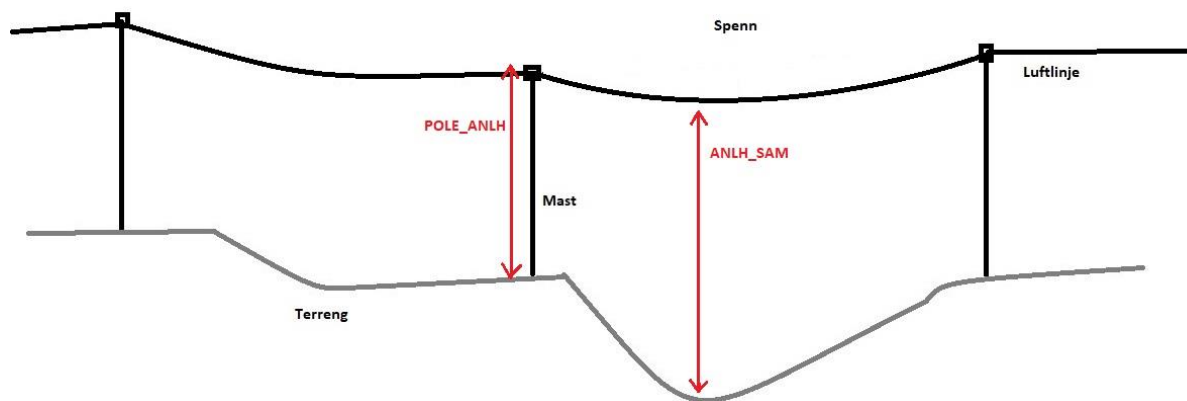
Kalkulasjonsdelen har nå knyttet egenskapene fra segment til spenn, men geometrien må knyttes til egenskapene på nytt da man har analysert på segmentene. For å knytte geometrien for spennene med egenskaper fra jordlinje og faselinje benyttes det en join, hvor ID er koblingsnøkkelen. ID ble som nevnt tidligere lagt på hvert enkelt spenn for at det kunne benyttes igjen senere. Resultatet av dette er at man står igjen med «dobbel» geometri for spennene med høyeste faselinje og jordingslinje hver for seg. For å knytte dette sammen benyttes det ytterligere en join, hvor man tar vare på kun en geometri og velger ID fra spennene som koblingsnøkkel. Her er utgående verdier at det har treff, eller at det ikke er treff fra ID på henholdsvis jording- eller faselinjer.

Høyeste vertikalavstand

For at man nå skal kun ha igjen spennet med den høyeste vertikale avstanden fra jording og faselinje blir det benyttet en spørring IF/ELSE fra de tre utgående verdiene som legger resultatet til en egenskap som heter ANLH_SAM for den høyeste vertikale avstanden. Det man står igjen med er en geometri som er hvert enkelt spenn, og ved hjelp av analysen inneholder spennet en egenskap som er høyeste vertikale avstand i spennet fra segmentene. En oppsummering på metoden for luftlinje over hva man skal stå igjen med er illustrert i figur 9 – Illustrasjon av metode med spenn og mast med egenskaper.

Største vertikalavstand mast

I datasettet er mast en objekttype hvor egenskapslisten er presentert i tabell 8. Geometrien for masten har Z-verdi som er toppen av masten og egenskapen Height som er mastens egenhøyde. Analysen eller behandlingen av mastene blir derfor minimal. Det første som gjøres er å opprette en egenskap som avrunder Height til heltall og gjør om navnet til ANLH (for anleggshøyde) tilsvarende som ble gjort for faselinjer og jordingslinjer. Deretter legges det på en prefiks-verdi POLE_ for mast. Resultatet av dette blir at man har en egenskap som heter POLE_ANLH som tilsvarer den vertikale avstanden for masten. Oppsummeringen av metoden for mast kan ses i figur 10 – Illustrasjon av metode med spenn og mast med egenskaper.

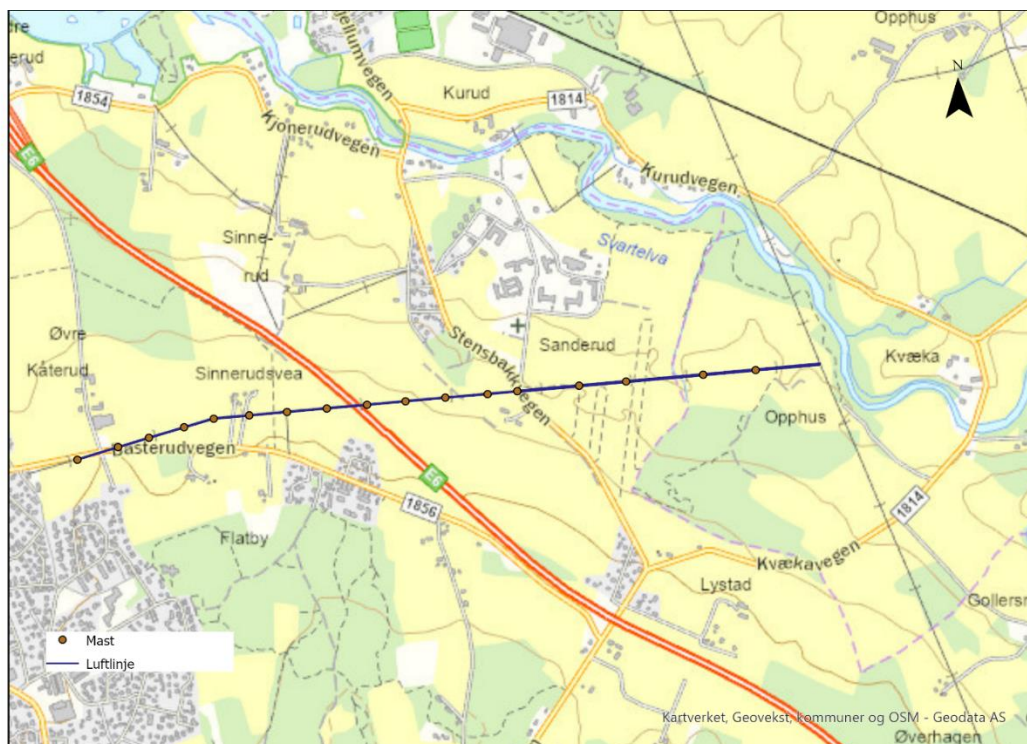


Figur 10: Illustrasjon av metode med spenn og mast med egenskaper.

Figur 10 viser en oppsummering av metoden med egenskapene som er knyttet til maksimal vertikalavstand med henholdsvis egenskapen POLE_ANLH for masten og ANLH_SAM for det enkelte spenn. For spennet skal det illustrere at dette er den høyeste avstanden i spennet. Analysen skal gi dette for hver enkel mast og for hvert spenn på alle luftledninger i datasettet. Videre arbeid og prosess med Eidsiva Nett data, er forklart i kapittel 3.4 – Klargjøring til NRL-skjema.

3.3.2 Stange Energi Nett

Forklaringen for metoden henger sammen med kapittel 3.1.2 Stange Energi Nett hvor datasettet er presentert. Ut fra tabell 10 – Oppbygging av datasett Stange Energi Nett og tabell 11 – Relevante egenskaper i datasett Stange Energi Nett, ser man at objekttype luftledning inneholder faselinjer og jordlinjer. Det er ingen relevante egenskaper knyttet til linjene i datasettet annet en geometri. På bakgrunn av dette er det forsøkt å lage en metode og analyse for datasettet begrenset til kun en luftlinje ettersom det kreves forberedelser og manuelt arbeid. Analyse og løype i FME er lagt ved som vedlegg 2 til rapporten. Analyseområde kan ses i figur 11 – Analyseområde luftlinje i Stange kommune. Interesseområdet er knyttet til luftlinjen.



Figur 11: Analyseområde luftlinje i Stange kommune.

Analyseområde og innlesing av data

Geografisk område for analysen er begrenset til en høyspent regionalnett linje i Stange Kommune. Datasettet leses inn for henholdsvis luftlinje og mast. Koordinatsystem for datasettet er UTM sone 32. Etter at data er validert deles luftlinje og mast foreløpig opp i to løyper. Ut fra luftlinjen er det laget en buffer på to meter på faselinjer og jordlinjer. Ettersom datasettet ikke inneholder egenskaper med høyde til terreng, benyttes terrengmodell Dtm1 i analysen som forklart i kapittel 3.1.3 – Analyseområder og øvrige datasett. Ved hjelp av bufferen rundt linjene, klippes terrengmodellen mot bufferområde slik at man har en punktsky under og på siden av luftlinjen. For å gjøre analysen enklere og mindre punktdata kjøres dette gjennom en funksjon for å «tvinge» punktskyen til å klippes. Den siste klargjøringen som gjøres i forbindelse med analyseområdet er å opprette en funksjon for å få høydekoordinat for hvert terrengpunkt fra punktskyen til bruk senere når vertikal avstand skal analyseres.

Største vertikalavstand spenn

Den valgte luftlinjen som det skal analyseres på har jordingslinje på toppen av luftlinjen og under faseledningene. Det er benyttet bilder fra Google maps for å undersøke dette.

Manuell tilpasning av datasett

Datasettet er hentet inn i ArcGIS pro og modifisert slik at det kun inneholder jordingslinjer der hvor disse henger på toppen av mastene i luftlinjen, og faselinjer der hvor jordingen henger under faselinjene. Dette er også utgangspunktet for bufferen som beskrevet over i analyseområde og innlesing av data.

Klargjøringsdel

For at analysen skal være tilnærmet lik som ble gjort med Eidsiva Nett må det klargjøres og tilpasses på datasettet. Jordlingslinjer og faselinjer blir gitt en unik ID. Deretter kjøres disse gjennom en funksjon som klipper opp linjene til ca. 1 meters segmenter. Ut fra lengdene til spennene blir de best mulig tilpasset 1 meter. For at det skal være mulig å kalkulere vertikal

avstand senere blir det lagt til en høydekoordinat per segment tilsvarende som terrengpunkt. Ved å benytte naboskapsanalyse knyttes segmentene til nærmeste terrengpunkt som ble klargjort tidligere. Egenskapene fra terrengpunktene legges deretter til i egenskapene for segmentene. Geometrien fra segmentene tas vare på slik at de kan benyttes senere.

Kalkulasjonsdel

Hvert segment i jordingslinjene og faselinjene er nå knyttet til nærmeste terrengpunkt. Vertikalavstanden beregnes ved å benytte geometrien ved z-verdien ved å trekke fra terrenghøyden fra z-verdien på linjesegmentene. Resultatet av dette lagres i ny egenskap vertikalAvstand. Denne benyttes til å foreta en numerisk beregning hvor man ønsker maks-verdien fra segmentene. Resultatet fra maksverdien testes mot egenskapen vertikalAvstand for å finne de segmentene som faktisk er maks-verdien og tar vare på geometrien for segmentene.

Generering av spenn

Datasettet inneholder ingen spenn eller lignende geometri som man ønsker ved innrapportering til NRL. Ved hjelp av mastene og egenskapene er det forsøkt å lage spenn som kan benyttes. Mastene leses ut og ved hjelp av egenskapen DRIFTSMERK er disse sortert i rekkefølge fra første til siste mast i luftlinjen som det analyseres på. Ved hjelp av denne egenskapen bygges det en linje fra første til siste mast med knekkpunktet og arv av geometri fra mastene. For å dele opp linjen til spenn benyttes det en punkt-på-linje-overlagring som sørger for at linjen blir klippet opp ved hver mast. Spennene blir deretter tildelt en spenn-ID for senere bruk, da geometrien til spennene nå innehar rett geometri for innrapportering til NRL.

Kobling av geometri, egenskaper og høyeste vertikalavstand

I den neste delen benyttes det nærmeste nabo analyse slik at de oppdelte segmentene arver egenskapen fra spenn-ID for å knytte de til hvert enkelt spenn. Dermed kan man nå finne gitt spenn hvor vertikalavstanden er høyest og teste dette ved å finne segmentet innenfor luftspennet med størst vertikalavstand. Dette lagres til egenskapen vertikalAvstand.

For å knytte geometrien fra spennene til segmentene som inneholder største vertikalavstand benyttes det en sammenføyingsfunksjon hvor koblingsnøkkelen er spenn-ID. Utgangsverdien fra denne analysen gir spenn/luftspenn med høyeste vertikalavstand hentet fra høyeste vertikale segment innenfor hvert spenn.

Største vertikalavstand mast

I datasettet har objekttypen mast en egenskap SYNLIG_LEN som vist i tabell 11 – relevante egenskaper i datasett Stange Energi Nett. Dette er mastens egenhøyde og kan benyttes til å hente ut egenskapen for høyeste vertikalavstand. Z-verdien for mastepunktene er referert topp mast. Det første som gjøres er å opprette en egenskap som avrunder SYNLIG_LEN til heltall og gjør om navnet til ANLH (for anleggshøyde). Deretter legges det på en prefiks-verdi POLE_ for mast. Resultatet av dette blir en egenskap som heter POLE_ANLH som inneholder den vertikale avstanden for masten.

3.4 Klargjøring til NRL-skjema

I de forrige delkapitlene er det utarbeidet analysemetode for datasettene Eidsiva Nett og Stange Energi Nett for å finne høyeste vertikalavstand for luftlinjer og master. På bakgrunn av at analyseområdet for Stange Energi Nett er lite, og baserer seg på en rekke manuelle operasjoner fokuseres det på kun Eidsiva Nett data videre i klargjøringen for NRL-skjema. Utarbeidelse av skjema for klargjøring til innrapportering tar utgangspunkt i kravene og egenskapene som er beskrevet for henholdsvis luftlinjer og mast i kapittel 2.1.3 – Produktspesifikasjon og registreringsinstruks. Denne metoden bygger videre på analyseområdet og arbeidsområdet fra Eidsiva Nett dataene i FME. I vedlegg 3 kan utklipp av FME-løype ses.

Ettersom dette er to objekttyper for innrapportering til NRL, knyttes resultatene fra analysedelen mot hver sin løype. Løypene er bygd opp på samme måte, men må ta høyde for hver av objekttypene. Etter analysen som skal gi høyeste vertikalavstand fra master og luftspenn, er det tatt vare på en rekke egenskaper som nå ikke er interessante. Det eneste som er relevant er egenskapen ANLH_SAM for luftspenn og POLE_ANLH for mastene. Dette kjøres gjennom en funksjon som kun tar vare på disse to egenskapene. Deretter legges det på en ny egenskap som heter _dato hvor tidsstempling hentes fra når analysen ble kjørt. Til slutt

opprettes det en egenskapsbehandler for å tilpasse resterende egenskaper som er påkrevd. I tabell 14 og tabell 15, er det presentert hvilke egenskaper som opprettes, skifter egenskapsnavn og verdier som legges til egenskapene for luftspenn og master.

Tabell 14:

Omgjøring til NRL-skjema og egenskaper for luftspenn.

Inngående egenskap	Utgående egenskap	Egenskapsverdi	Handling
ANLH_SAM	vertikalAvstand	Fra analyse	Bytte egenskapsnavn
_dato	datafangstdato	Fra tid og dato	Bytte egenskapsnavn
	featureType	NrlLuftspenn	Sette verdi
	Status	eksisterende	Sette verdi
	verfisertRapporteringsnøyaktighet	20230101_5-1	Sette verdi
	høydereferanse	Topp	Sette verdi
	luftspennType	høgspent	Sette verdi
	komponentident	@UUID()*	Sette verdi
* - Genereres for å få unik ID på hvert enkelt luftspenn.			

Tabell 15:

Omgjøring til NRL-skjema og egenskaper for mast.

Inngående egenskap	Utgående egenskap	Egenskapsverdi	Handling
ANLH_SAM	vertikalAvstand	Fra analyse	Bytte egenskapsnavn
_dato	datafangstdato	Fra tid og dato	Bytte egenskapsnavn
	featureType	NrlMast	Sette verdi
	Status	eksisterende	Sette verdi
	verfisertRapporteringsnøyaktighet	20230101_5-1	Sette verdi
	høydereferanse	Topp	Sette verdi
	mastType	høgspentmast	Sette verdi
	komponentident	@UUID()*	Sette verdi
* - Genereres for å få unik ID på hver enkel mast.			

Innrapporteringen baserer seg på å ta med egenskapen høydereferanse og vertikalAvstand uavhengig om luftspenn eller masten er over eller under 15 meter. Når dette er gjort kan man lage datasett i form av en fil for innrapporteringen.

3.5 Sammenligning mot innrapporterte luftfartshindre

I forrige delkapittel ble fremgangsmåten for innrapporteringen med analysedata forklart. Denne metoden har til hensikt å sammenligne analysedata mot tidligere innrapporterte luftfartshindre hvor det er ønskelig å se om luftfartshindre er korrekt innrapportert tidligere.

Tilrettelegge og lese inn NRL data inn i arbeidsområde

Datasettet som er hentet fra NRL er beskrevet i kapittel 3.1.4 – Tidligere innrapporterte data. Løype for innlesningen er tilsvarende som ble gjort ved innlesing av Eidsiva Nett datasettet. Analyseområde er Åmot kommune og koordinatsystem UTM sone 32. Datasettet fra NRL med luftspenn og master leses inn og klippes mot analyseområdet for å utelukke eventuelle data utenfor kommunen. For å skille datasettet blir det lagt et prefiks på alle egenskaper med CTRL_ og relevante egenskaper i datasettet blir tatt vare på videre. Ved hjelp av featureType (objekttypene) blir NrlMast og NrlLuftspenn delt opp ved hjelp av egenskapen. Deretter tilordnes korrekt geometri fra henholdsvis NrlLuftspenn og NrlMast med valgt prefiks ved hjelp av egenskapen høydereferanse. Dette gjøres for at geometrien skal være lik som Eidsiva Nett dataene ved hjelp av egenhøyde og høydereferanse.

Tilrettelegging av Eidsiva Nett datasett

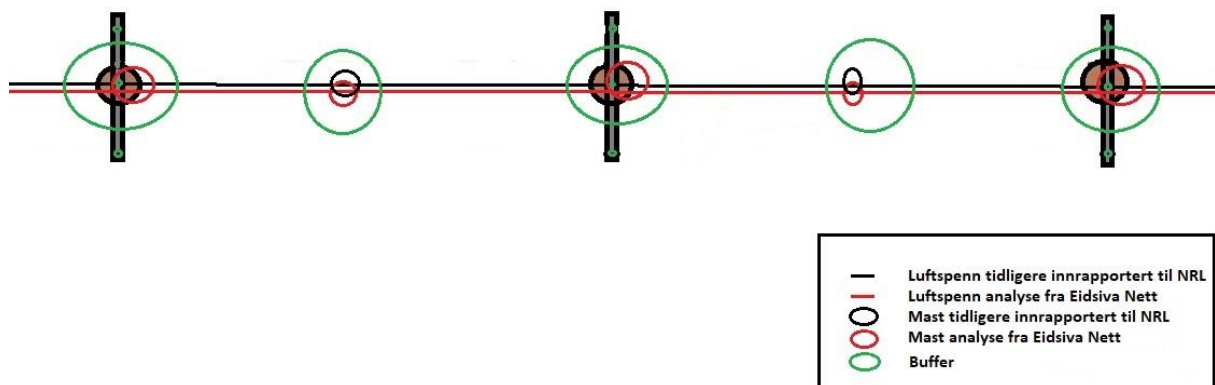
Datasettet som er klargjort for innrapportering til NRL må tilrettelegges for sammenligning. For å ha kontroll på at dette er analysedataene fra Eidsiva Nett datasettet, legges det på et prefiks GEN_ på både master og luftspenn. Høydekoordinater for objekttypene legges til rette for å kunne analyseres på videre.

Sammenligning av analysedata og tidligere innrapporterte data til NRL

For å gjøre sammenligning på luftspenn er det benyttet en nærmeste nabo analyse. Dette er gjort ved at alle luftspenn i henholdsvis kontroll dataene fra NRL og analysedata fra Eidsiva Nett, deles opp med et senterpunkt i alle spennene. Denne funksjonen heter senterpunkt-erstatte og er til hjelp for å kunne avgjøre om det er naboskap mellom senterpunktene i

datasettene. I tillegg legges det på en bufferavstand på 10 meter ut fra senterpunktet for naboskapsanalysen hvor man søker etter treff på kontroll-datasettet fra NRL. Det vil si at man her har analyseresultatet fra Eidsiva Nett datasettet som «fasit».

For mastene gjøres det tilsvarende med naboskapsanalyse ved hjelp av geometrien. Det legges også til en bufferavstand på 10 meter. En illustrasjon av hvordan metoden er tenkt kan ses i figur 12 – Prinsipp sammenligning av analysedata og tidligere innrapporterte luftfartshindre.



Figur 12: Prinsipp sammenligning av analysedata og tidligere innrapporterte luftfartshindre.

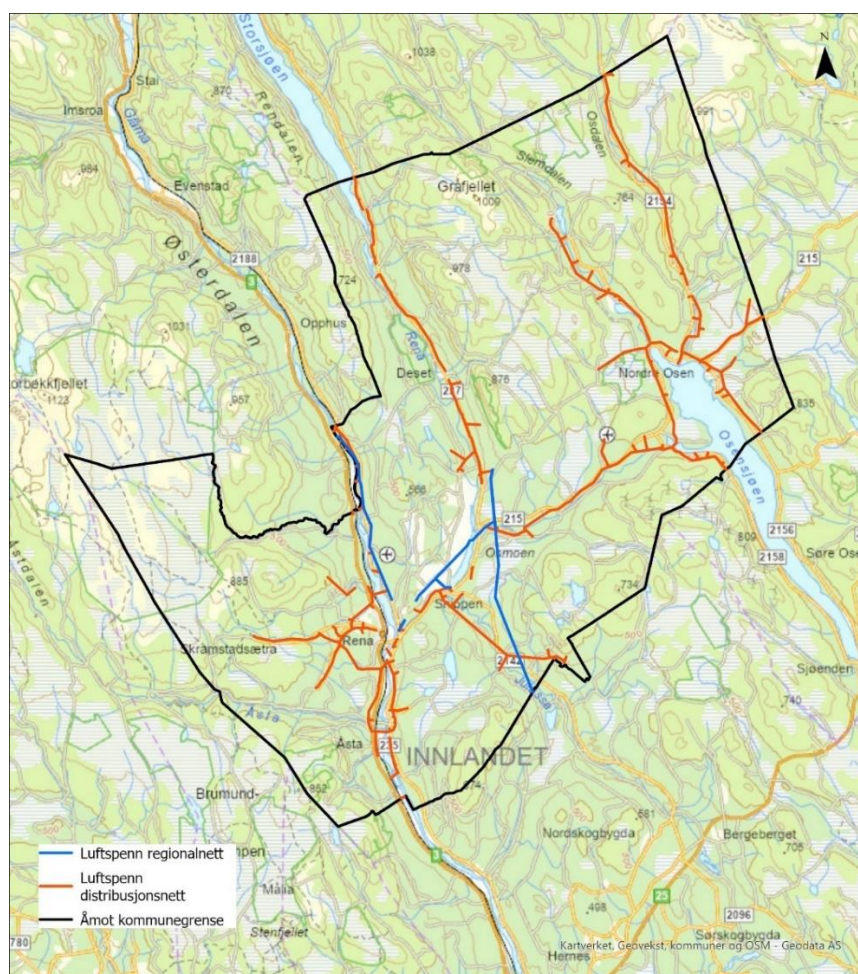
Analyse og løype som omhandler sammenligning mot innrapporterte luftfartshindre i FME ligger vedlagt som vedlegg 4.

4 Resultater

Resultatene er presentert med figurer, tabeller og beskrivelse. Inndelingen av resultatene følger analysemetodene i metodekapittelet med henholdsvis Eidsiva Nett, Stange Energi Nett, klargjøring til NRL-skjema og sammenligning mot innrapporterte luftfartshindre. For alle figurer med kart fra ArcGIS pro er det benyttet farget eller gråtone Geocache bakgrunns-kart fra Kartverket i både 2D- og 3D-visning. I FME er det benyttet grunnkart med data fra OpenStreetMap og Stamen.

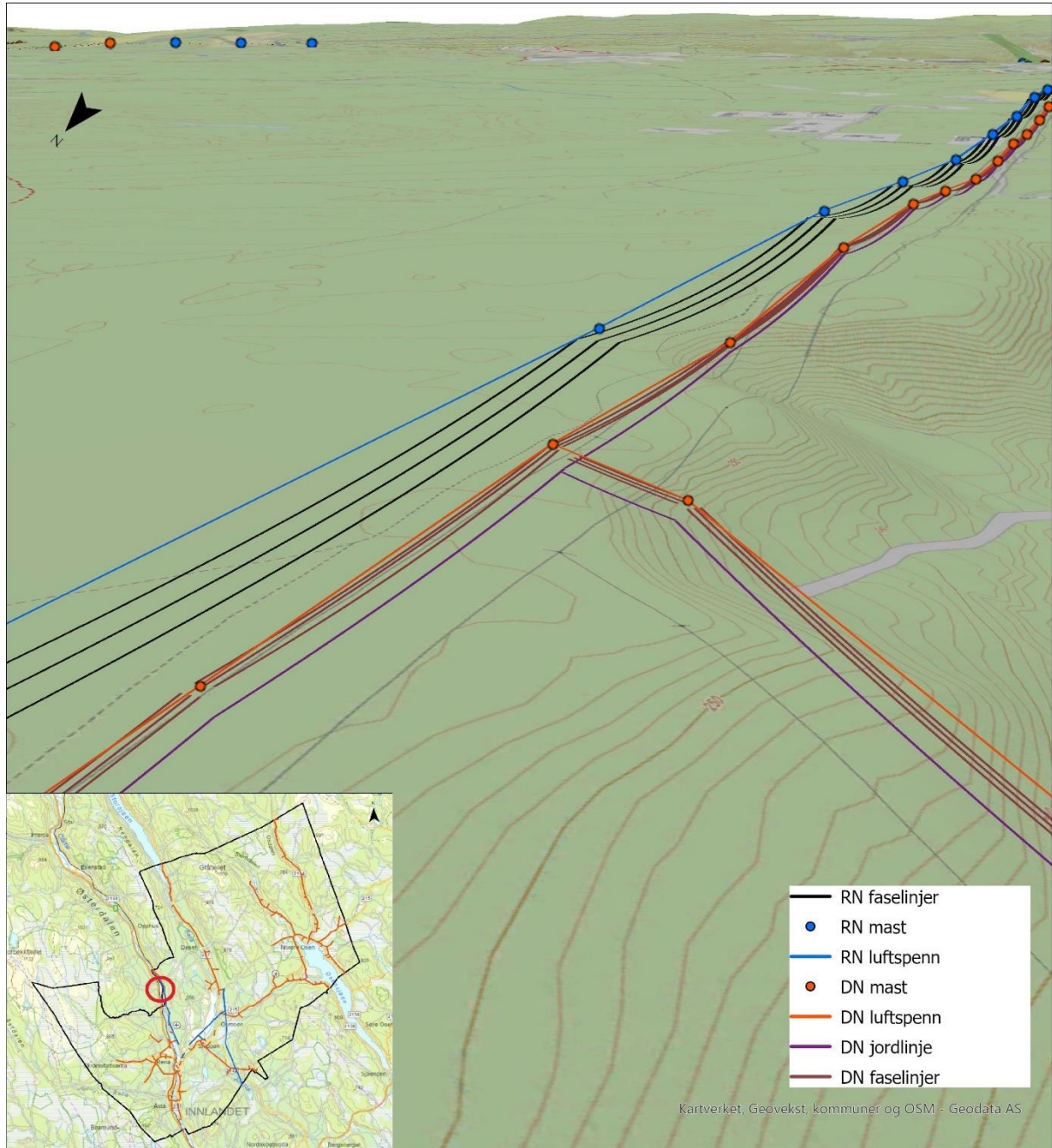
4.1 Eidsiva Nett

Figur 13 viser høyspent regional- og distribusjonsnett innenfor analyseområdet i Åmot kommune.



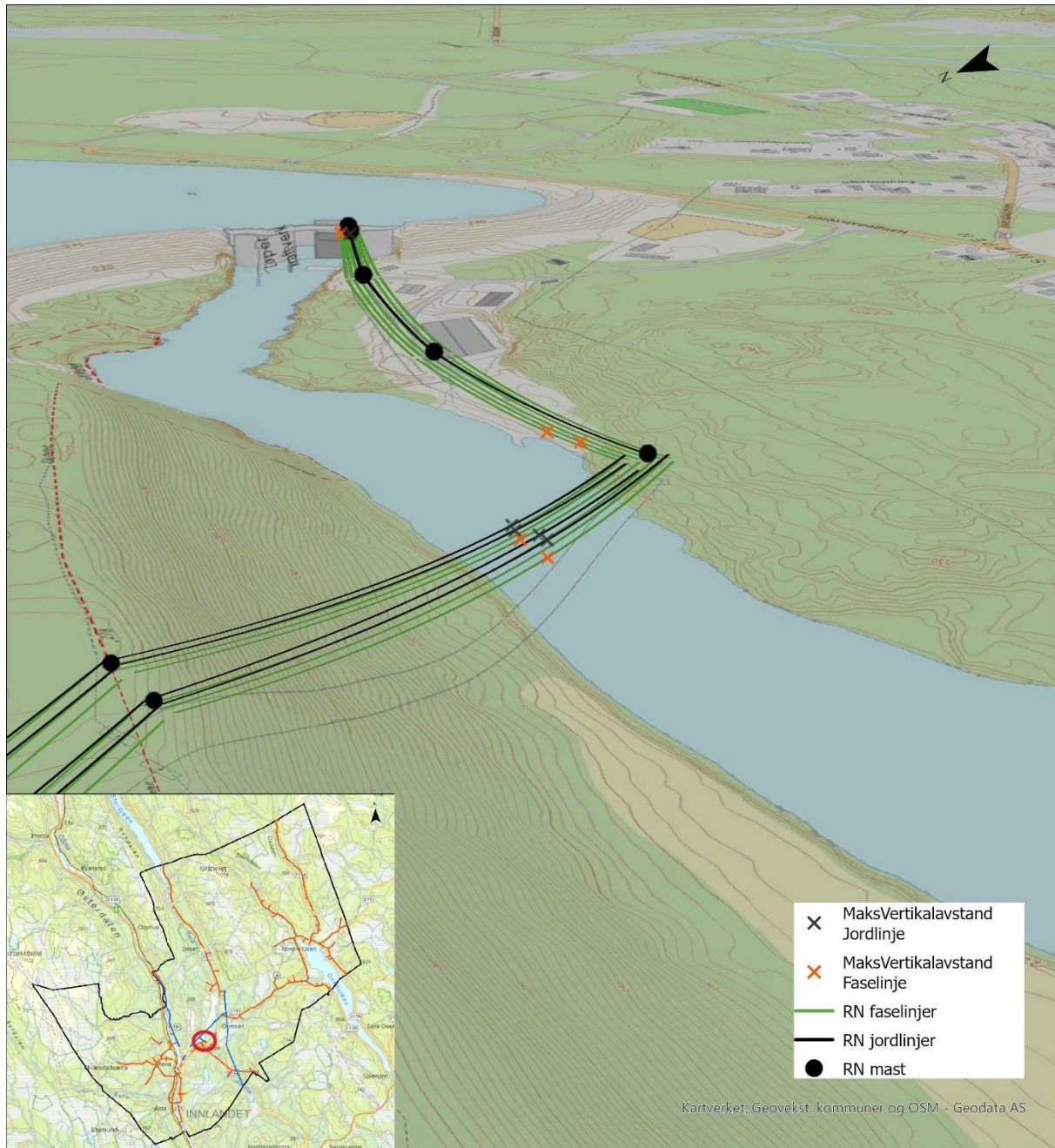
Figur 13: Høyspent regional- og distribusjonsnett i Åmot kommune.

3D-visningen i figur 14 viser et utvalgt geografisk område for å illustrere geometrien og sammenhengen mellom faselinjer, jordlinjer, luftspenn og master. Rød sirkel i 2D-kart viser geografisk område. Regionalnettlinje og distribusjonsnettlinje går i dette området parallelt.



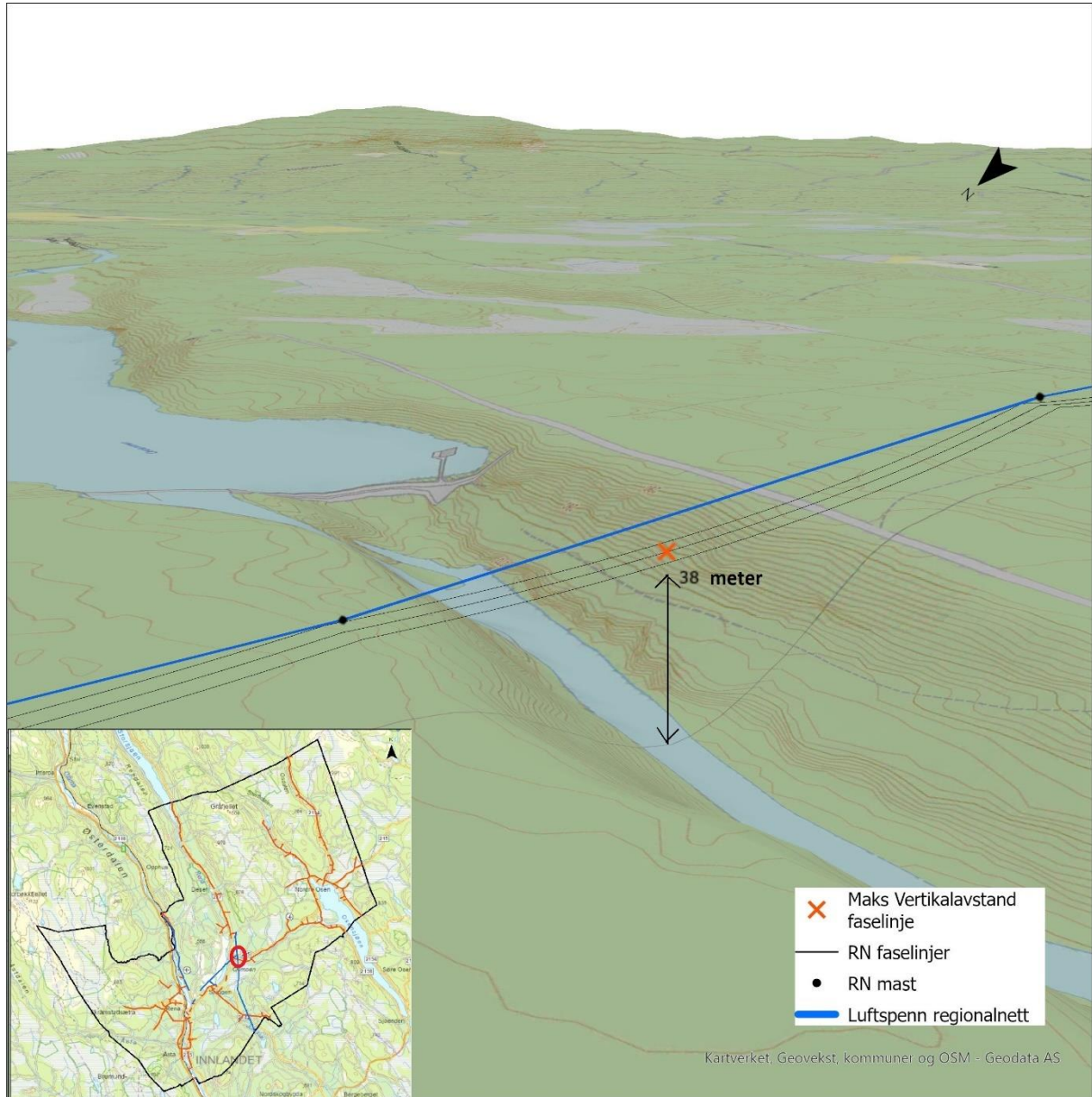
Figur 14: 3D-visning av luftspenn, fase- og jordlinjer i høyspent regional- og distribusjonsnett.

3D-visningen i figur 15 viser utvalgt regionalnettlinje, hvor høyeste avstand fra jordlinje og faselinje ned til terrenget i hvert luftspenn, er hentet ut fra analysen og presentert. Rød sirkel i 2D-kart viser det geografiske området.



Figur 15: Høyeste avstand fra faselinjer og jordingslinjer ned til terreng i luftspenn fra utvalgt område.

3D-visninger i figur 16 viser den høyeste avstanden fra en faselinje og ned til terrenget i datasettet. Rød sirkel i 2D-kart viser det geografiske området. I samme figur vises også geometrien for luftspennet for å illustrere pilhøyden.



Figur 16: Høyeste avstand fra faselinje til terreng i datasettet Eidsiva Nett.

I tabell 16 er det presentert hvor mange objekter i form av spenn/luftspenn og master fra datasettet Eidsiva Nett, og til antall objekter som er klare for rapportering og klargjøring til NRL-skjema, etter å ha kjørt FME-analysen. Tabellen viser inndeling med antall objekter for regionalnett (RN) og distribusjonsnett (DN).

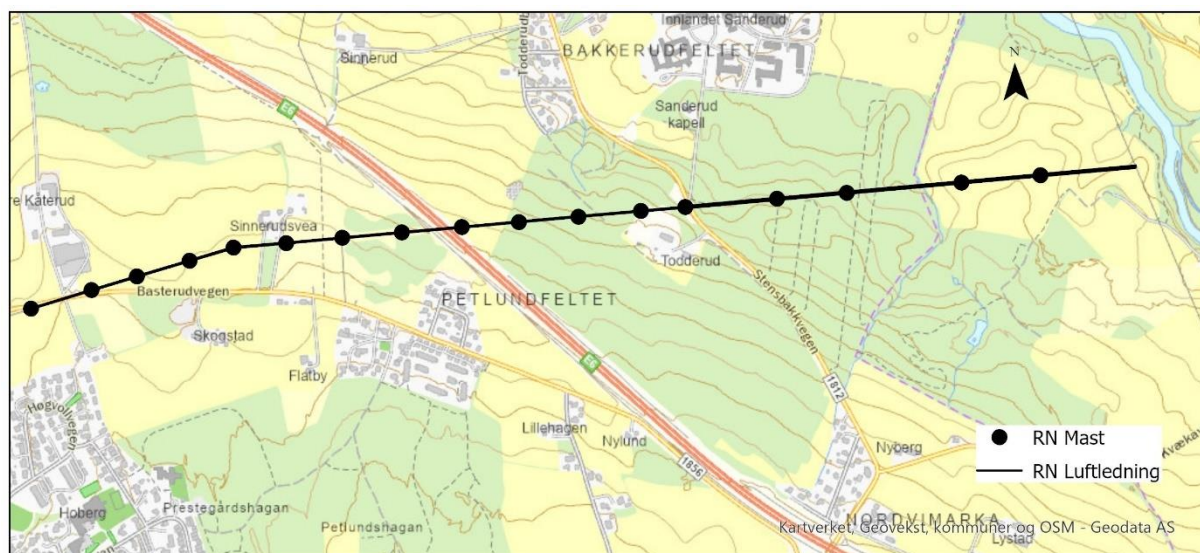
Tabell 16:

Differanse luftspenn og master fra datasett til klargjøring NRL-skjema.

Objekt	Fra datasett	Klargjøring til NRL-skjema	Differanse
Luftspenn RN	302	288	14
Luftspenn DN	2370	2253	117
Mast RN	308	308	0
Mast DN	2400	2400	0

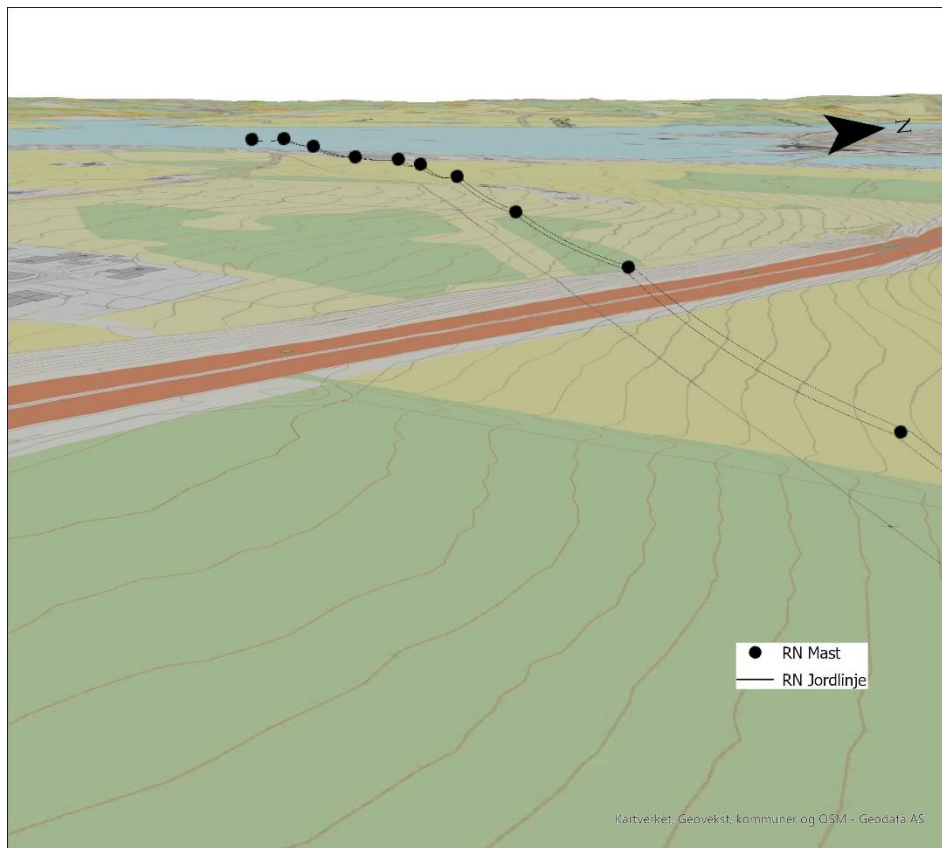
4.2 Stange Energi Nett

Figur 17 viser kart med høyspent regional luftledning i analyseområdet for Stange.



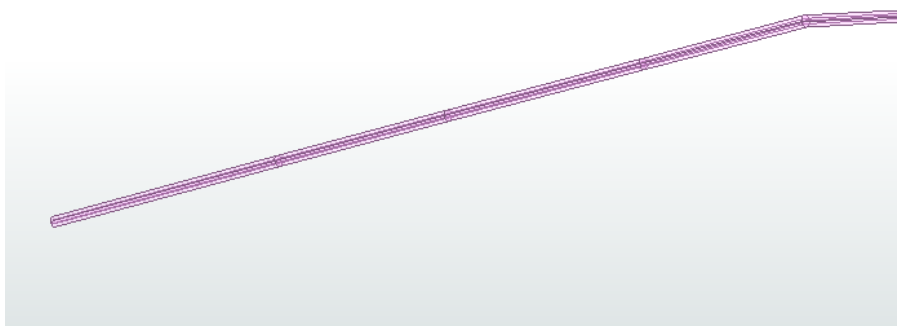
Figur 17: Regionalnett luftlinje Stange Energi Nett.

3D-visningen i figur 18 viser regionalnett luftlinje med jordlingslinje etter manuell tilpasning av dataene.



Figur 18: Jordinglinje på regionalnett luftledning Stange Energi Nett.

Figur 19 viser buffersone fra deler av luftlinjen som er benyttet som klippeområde for punktskyen. Dette brukes til å hente ut punkter på terrenget med høydeverdi.



Figur 19: Buffersone rundt regionalnett luftledning til bruk mot klipping av punktsky.

Figur 20 viser terrengpunkter fra punktskyen med terrenghøyde fra samme område.



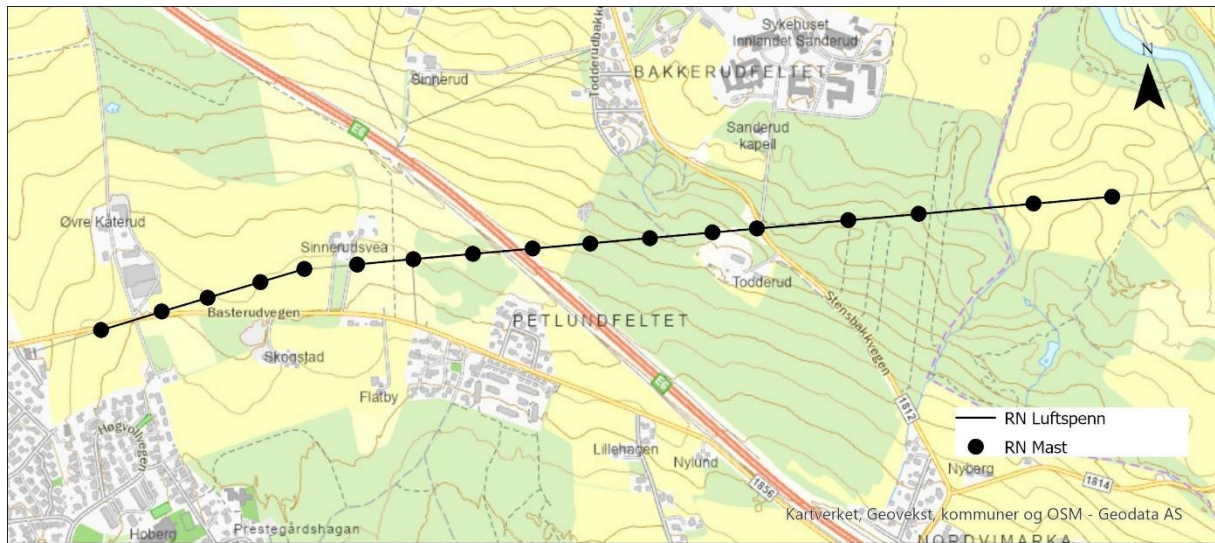
Figur 20: Terrengpunkter med høyde innenfor buffersone av regionalnett luftlinjen.

Figur 21 viser resultatet etter etablering av «luftspenn» basert på mastene for å få rett geometri for innrapportering til NRL. Markert linje viser ett spenn i linjen.



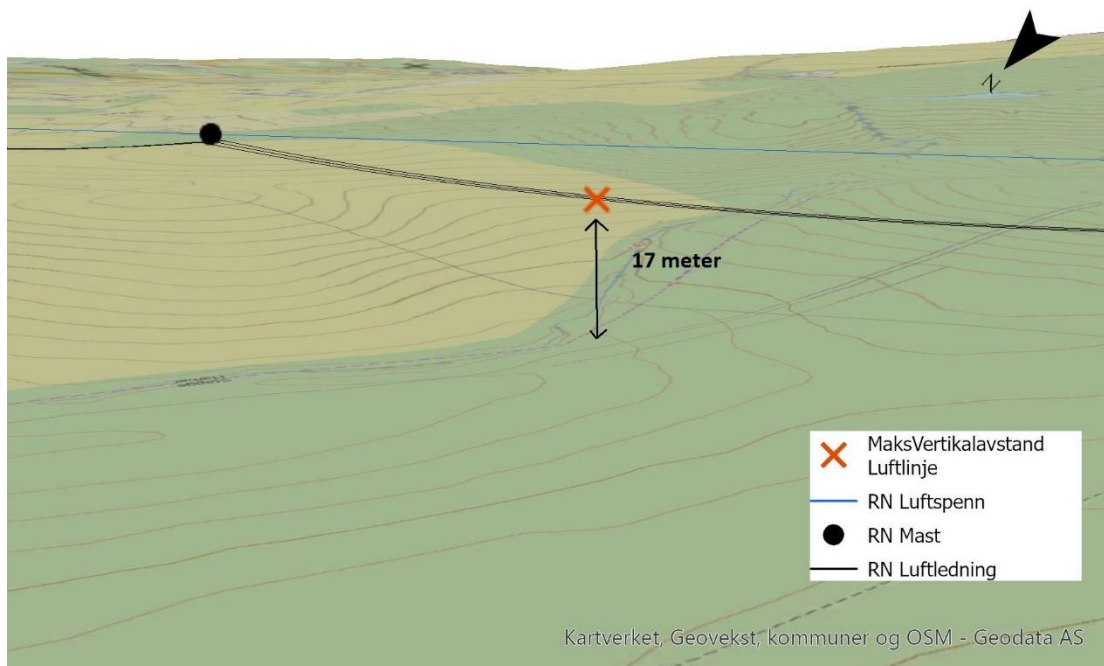
Figur 21: Luftspenn etablert basert på mastene for rett geometri til NRL.

I figur 22 vises den endelige geometrien for luftlinjen i 2D etter løype og analyse i FME.



Figur 22: Endelig geometri av luftlinje etter analyse.

3D-visningen i figur 23 viser den høyeste avstanden av spennene fra luftlinjen og ned til terrenget.



Figur 23: Høyeste avstand fra luftlinje til terreng fra Stange Energi Nett dataene.

4.3 Klargjøring til NRL-skjema

I tabell 17 er antall objekter som er klargjort for rapportering presentert. Dette er kun fra Eidsiva Nett datasettet og analyseområdet Åmot kommune.

Tabell 17:

Antall objekter klargjort fra analysen til innrapportering til NRL.

Objekttype	Antall objekter klar for innrapportering
NrlLuftspenn	2541
NrlMast	2708

For å vise resultater fra skjemaet/tabellen med egenskaper og verdier er det eksportert ut fra ArcGIS pro til Excel. Utklippene viser de 10 første objektene for henholdsvis NrlLuftspenn og NrlMast. Figur 24 viser skjema med egenskaper for NrlMast og figur 25 viser skjema med egenskaper for NrlLuftspenn.

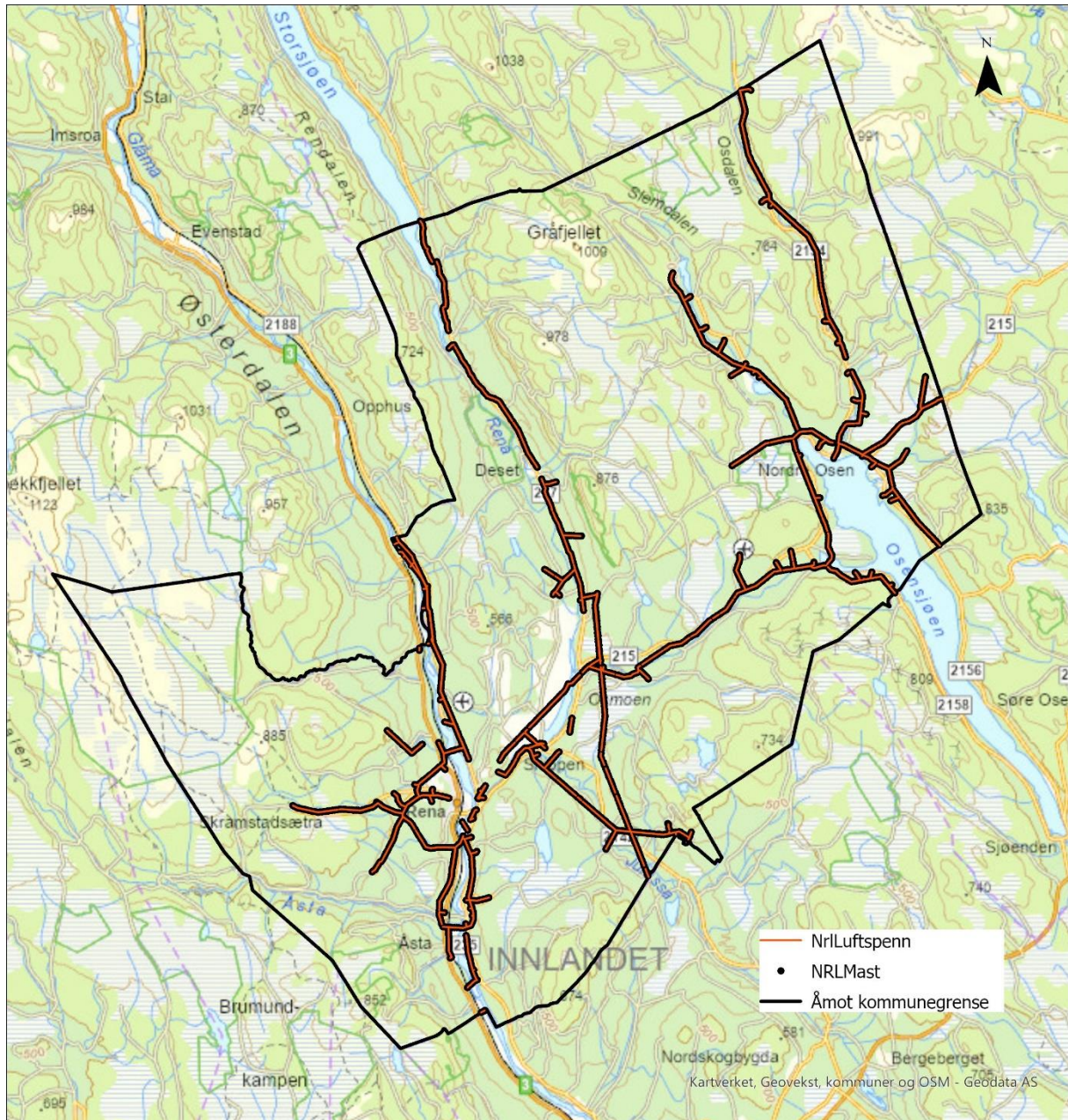
featureType	status	verifisertRapporteringsnøyaktighet	komponentident	vertikalAvstand	høydereferanse	mastType	datafangstdato
NrlMast	eksisterende	20230101_5-1	5617f2d6-5049-4d96-879f-12fdc6cbdad	9	topp	høgspenmast	2023-05-18
NrlMast	eksisterende	20230101_5-1	27028c57-4a35-4433-a9ab-e85651b5dd9f	9	topp	høgspenmast	2023-05-18
NrlMast	eksisterende	20230101_5-1	f418b21d-44a5-4e9e-bc90-42aa7cb70826	9	topp	høgspenmast	2023-05-18
NrlMast	eksisterende	20230101_5-1	56a03fc9-82d5-4972-a293-9d81580ac7cb	9	topp	høgspenmast	2023-05-18
NrlMast	eksisterende	20230101_5-1	68c17471-7fc4-4a63-a0e7-70f8c8bfcc3e	9	topp	høgspenmast	2023-05-18
NrlMast	eksisterende	20230101_5-1	3d3e4789-8740-44f3-832e-18a5d4899a21	9	topp	høgspenmast	2023-05-18
NrlMast	eksisterende	20230101_5-1	eecea549-90ba-4879-89f2-a0cde7161d7e	9	topp	høgspenmast	2023-05-18
NrlMast	eksisterende	20230101_5-1	64825d44-4506-4ad7-9489-976c4a940a8b	9	topp	høgspenmast	2023-05-18
NrlMast	eksisterende	20230101_5-1	98c1acfd-6edf-4218-846a-4c235f3b34cb	9	topp	høgspenmast	2023-05-18
NrlMast	eksisterende	20230101_5-1	b7f48c2b-4778-413f-a075-4d682209ab53	9	topp	høgspenmast	2023-05-18

Figur 24: Skjermutklipp fra skjema til NrlMast fra Excel.

featureType	status	verifisertRapporteringsnøyaktighet	komponentident	vertikalAvstand	høydereferanse	luftspennType	datafangstdato
NrlLuftspenn	eksisterende	20230101_5-1	bdc0915-363f-4fba-a236-b4c0eb51255d	10	topp	høgspenn	2023-05-18
NrlLuftspenn	eksisterende	20230101_5-1	bdef06e0-2290-46eb-bb24-1f3dd0fa7f2c	12	topp	høgspenn	2023-05-18
NrlLuftspenn	eksisterende	20230101_5-1	f36ca676-7c4a-422f-b189-fd9088d3789f	11	topp	høgspenn	2023-05-18
NrlLuftspenn	eksisterende	20230101_5-1	1e820867-de1b-4d35-8fda-e58d13523f29	11	topp	høgspenn	2023-05-18
NrlLuftspenn	eksisterende	20230101_5-1	e37d989c-de3f-487e-b605-226062194234	13	topp	høgspenn	2023-05-18
NrlLuftspenn	eksisterende	20230101_5-1	65b2a14b-6b96-44db-bd79-8dd2a609bf2b	9	topp	høgspenn	2023-05-18
NrlLuftspenn	eksisterende	20230101_5-1	8df7a161-f9d7-4d6f-88c4-c986561e3f81	10	topp	høgspenn	2023-05-18
NrlLuftspenn	eksisterende	20230101_5-1	ce372f82-1000-4c55-953a-bd378e1f9119	13	topp	høgspenn	2023-05-18
NrlLuftspenn	eksisterende	20230101_5-1	ae8c0882-0dfa-411b-b5e7-5cf22a860dd1	13	topp	høgspenn	2023-05-18
NrlLuftspenn	eksisterende	20230101_5-1	52a2df9a-f3de-4b4d-a377-70815a17d5f1	11	topp	høgspenn	2023-05-18

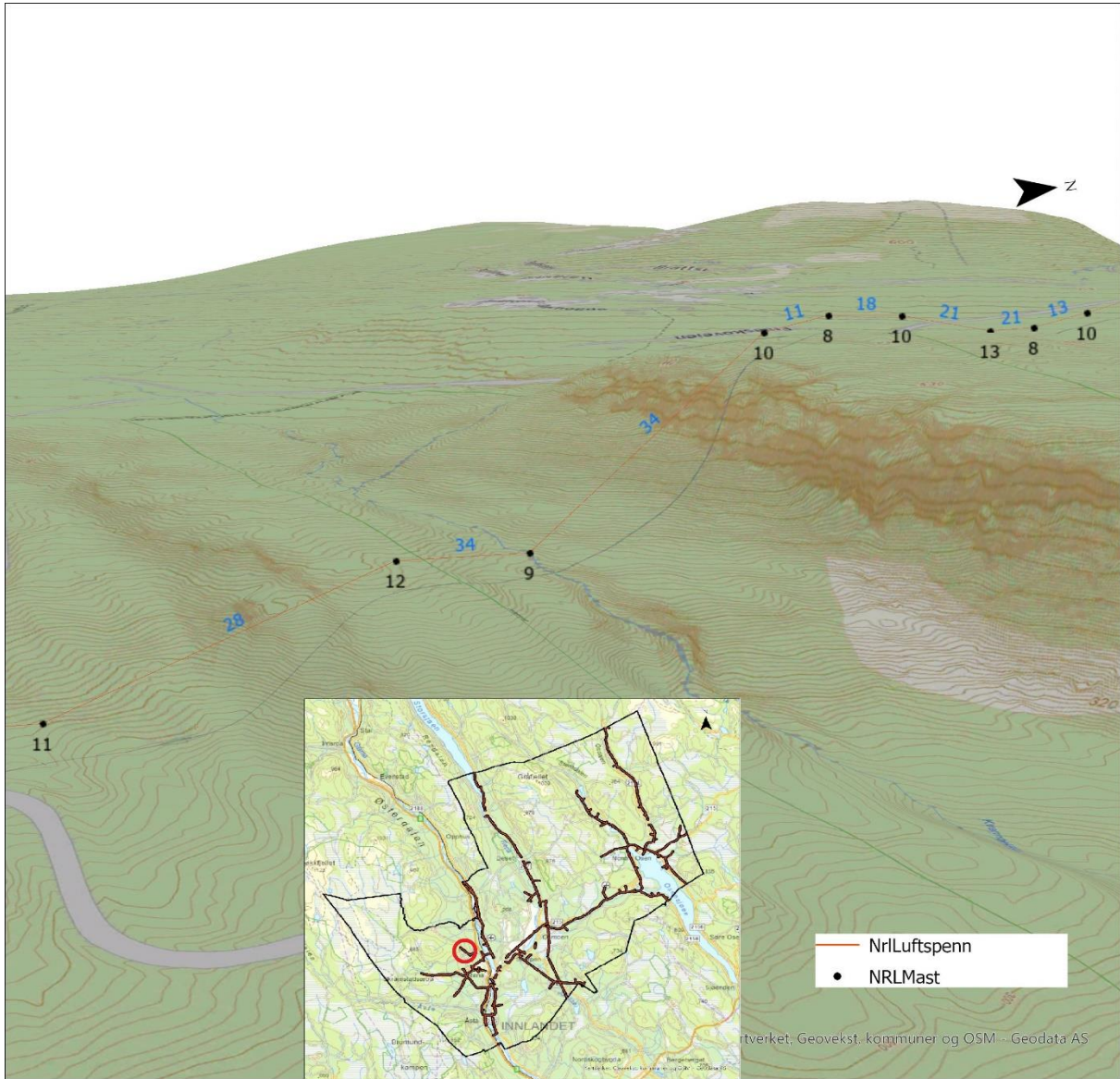
Figur 25: Skjermutklipp fra skjema til NrlLuftspenn fra Excel.

I figur 26 er alle objektene i datasettet for NRL-skjema vist i 2D. Objekttypene er NrlLuftspenn og NrlMast, disse er nå klargjort for rapportering og inneholder som nevnt egenskapene vist i figur 24 og 25 på forrige side.



Figur 26: Geografisk fremstilling av NrlLuftspenn og NrlMast.

I figur 27 er det illustrert et utvalgt geografisk område som viser geometrien for NrlMast og NrlLuftspenn i 3D, samtidig er det presentert høyeste avstand på spennet og høyde på masten, i antall meter ned til terrenget. Rød sirkel i 2D-kart viser det geografiske området.



Figur 27: 3D-visning av NrlLuftspenn og NrlMast med høyder ned til terrenget.

4.4 Sammenligning mot innrapporterte luftfartshindre

I dette resultatkapittelet vil figurer og tabeller inneholde objekter med tilnærmet samme navn. Som nevnt i metod delen er det lagt på et prefiks for å skille Eidsiva Nett analysedata som er klargjort for rapportering til NRL, og datasettet som er hentet fra NRL som det skal kontrolleres mot. Prefiksene vil vises som beskrevet under:

Eidsiva Nett analysedata

NrIMast → gen_NrIMast

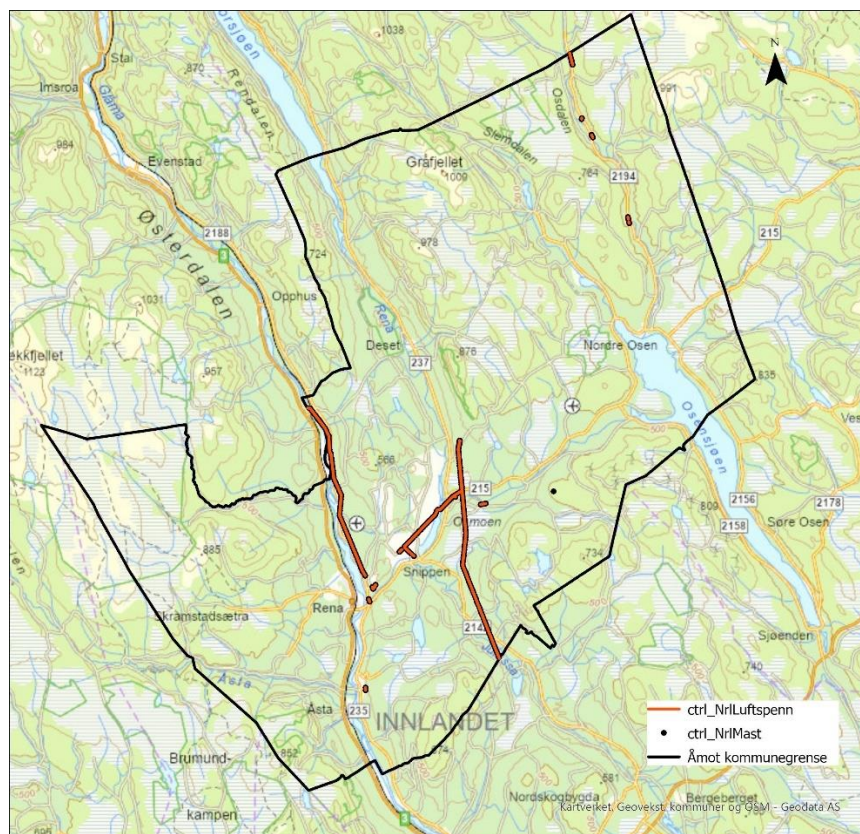
NrILuftspenn → gen_NrILuftspenn

Eksisterende NRL-data

NrIMast → ctrl_NrIMast

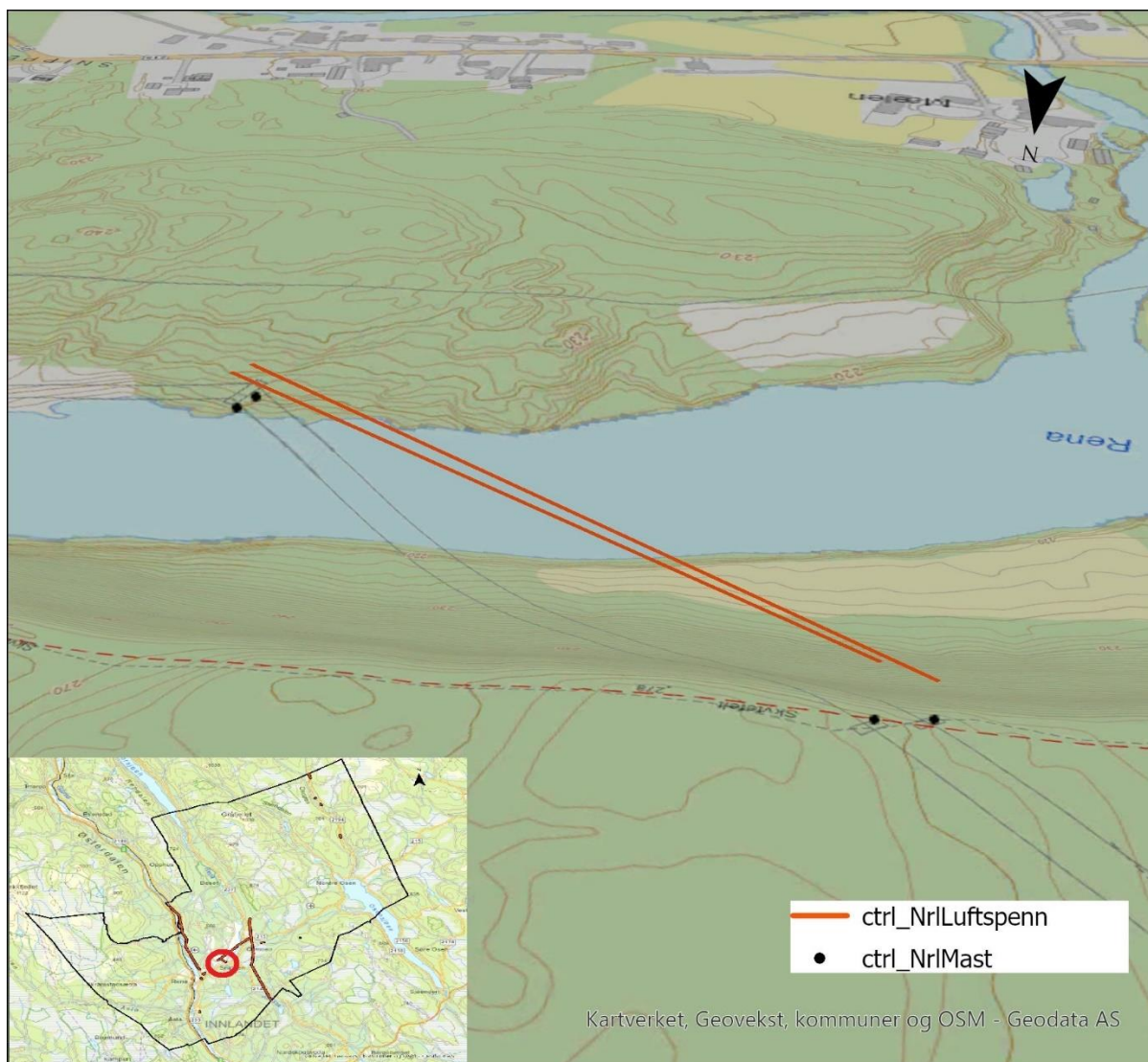
NrILuftspenn → ctrl_NrILuftspenn

I figur 28 er det presentert 2D-kart med alle objekter som ligger i NRL med Elvia som eier i Åmot kommune.



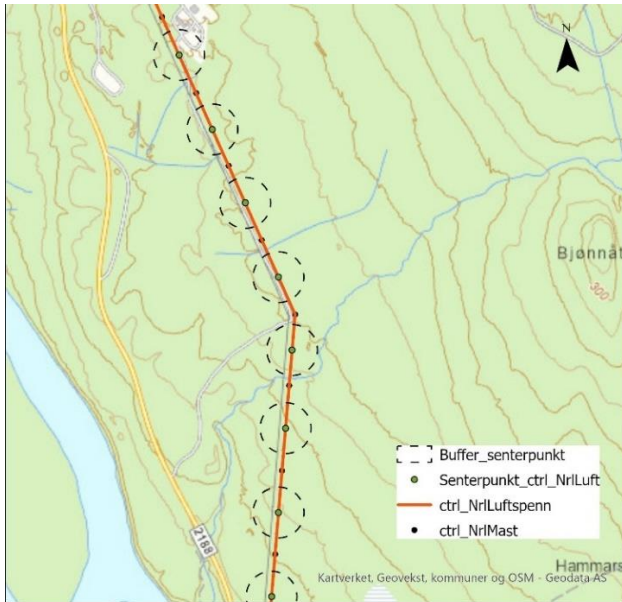
Figur 28: Luftfartshindre i NRL med Elvia som eier.

3D-visningen i figur 29 viser geometrien for utvalgt geografisk område. Her vises det som nevnt i beskrivelsen av datasettet i kapittel 3.1.4 at det er ulik kvalitetskoding og høydereferansen som det må tas hensyn til ved sammenligningen mot Eidsiva Nett dataene for at det skal være lik geometri. Figuren viser at luftspennet har geometri på toppen, mens mastene er referert terrenget, altså fot. For øvrig er dette samme luftlinje og spenn som er vist i figur 15 fra analysen av Eidsiva Nett dataene.

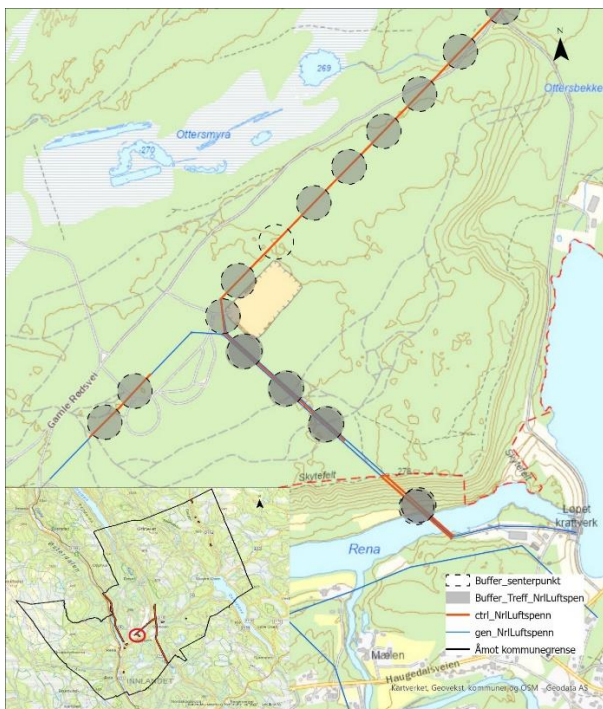


Figur 29: Geometri i eksisterende NRL-datasett fra uvalgt geografisk område.

For å illustrere bruk av senterpunkt-erstatte er det i figur 30 vist NrILuftspenn fra NRL-dataene med et senterpunkt og 10-meters buffer. Buffer er benyttet til naboskapsanalyse for å sammenligne mot luftspenn fra Eidsiva Nett datasettet. I figur 31 er det videre vist treff på luftlinjene ved naboskapsanalyse.



Figur 30: Senterpunkt-erstatte av luftlinje med 10 meters buffer.



Figur 31: Buffertreff på luftspenn fra NRL-datasettet og Eidsiva Nett datasettet.

Tabell 18 viser antall treff fra sammenligningen av Eidsiva Nett-dataene mot innrapporterte luftfartshindre i NRL. Her er det kontrollert og sammenlignet gen_NrlLuftspenn og gen_NrlMast, mot ctrl_NrlLuftspenn og ctrl_NrlMast

Tabell 18:

Sammenligning av luftfartshindre i NRL (ctrl_Nrl) og Eidsiva Nett datasett (gen_NRL).

Objekttype	Antall i NRL (ctrl_Nrl.)	Antall treff mot Eidsiva Nett analyse data (gen_Nrl.)	Differanse
ctrl_NrlLuftspenn	292	251	41
ctrl_NrlMast	314	302	12

I tabell 19 er det presentert de to største avviksforskjellene i høyde for luftspenn, hvor det er treff på objektene fra Eidsiva Nett datasettet og datasettet i NRL etter nærmeste nabo-analysen. Komplette liste med høydeforskjeller fra sammenligningsgrunnlaget ligger med som vedlegg 5 i egen Excel-fil. Aktuelle verdier er markert i dokumentet.

Tabell 19:

De to objektene med størst avvik på høyde i antall meter for luftspenn fra Eidsiva Nett data og NRL-data.

Objekt ID	Høyde-differanse	Høyde gen_NrlLuftspenn (m)	Høyde ctrl_NrlLuftspenn (m)
114	19	34	15
2	16	31	15

I tabell 20 er det presentert de to høyeste avviksforskjellene i høyde for master, hvor det er treff på objektene fra Eidsiva Nett datasettet og datasettet i NRL etter nærmeste nabo-analysen. Komplette liste med høydeforskjeller fra sammenligningsgrunnlaget ligger med som vedlegg 6 i egen Excel-fil. Aktuelle verdier er markert i dokumentet.

Tabell 20:

De to objektene med størst avvik på høyde i antall meter for master fra Eidsiva Nett data og NRL-data.

Objekt ID	Høyde-differanse	Høyde gen_NrlMast (m)	Høyde ctrl_NrlMast (m)
32	10	9	19
39	8	9	19

Ut fra de 251 luftspennene og 302 master i tabell 18, er resultatet varierende ved sammenligning av høyder. En del av objektene i datasettet fra NRL innehar ingen egenhøyde på objektene. Der hvor objektene har egenhøyde viser høydeforskjellen at det varierer fra under 1 meter og helt opp til differansen som tabellene over viser. Dette diskuteres i neste kapittel under diskusjonen.

5 Diskusjon

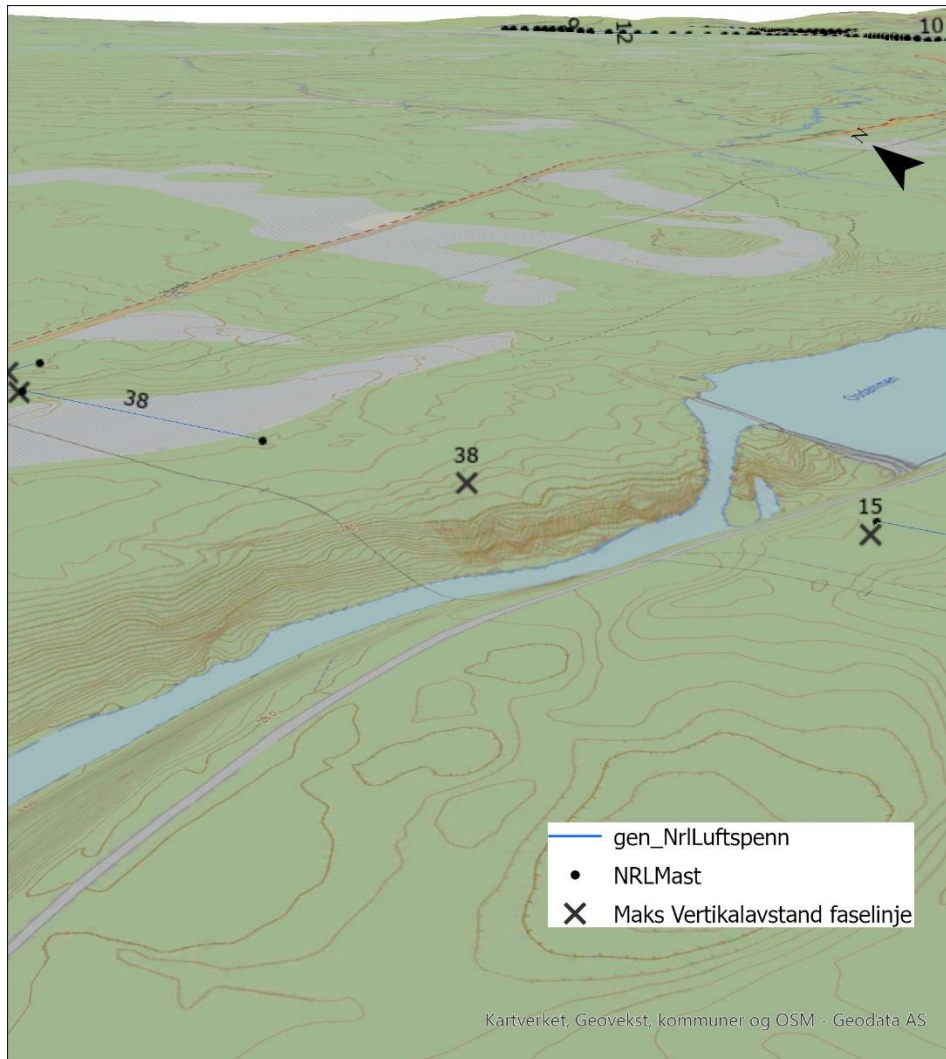
I forrige kapittel ble det lagt frem resultater fra analysene som er beskrevet i metodekapittelet. Resultatene er presentert ved 2D- og 3D kart, og tabeller. Diskusjonen i dette kapittelet vil drøfte de fire metodene og resultatene med samme inndeling som resultatkapittelet. Deretter vil det være et eget underkapittel som tar for seg noen generelle deler av oppgaven, og til slutt et lite underkapittel om forbehold.

5.1 Eidsiva Nett

Diskusjonen tar for seg både analyse for regional-nett og distribusjonsnett da FME-løypene er like. Hensikten med analysen som er gjort for datasettet Eidsiva Nett (heretter kalt EN-datasett i diskusjonen), er å få analysert det høyeste segmentet innenfor et spenn og ned til terrenget. Det høyeste segmentet kan være segment fra jordlinje eller faselinjer avhengig om jordlinje er over eller under faselinjer, men må også ta høyde for at luftlinjen ikke har jordtråd (indirekte blir da faselinjene det høyeste i luftlinjen). Etter at dette er analysert skal høyeste segment knyttes tilbake som en egenskap til luftspenn, ettersom luftspenn har geometrien som skal rapporteres inn til NRL. Ettersom mastene har egenhøyde som egenskap var det kun mindre tilpasninger for å klargjøre disse til innrapportering. For å teste metoden og begrense datamengde ble Åmot kommune valgt til geografisk område.

Antall luftspenn har blitt mindre i analysen

I tabell 16 er det vist differanse av antall luftspenn fra innlesning av datasettet og antall luftspenn som har fått høyde fra segment som er klargjort for NRL-skjema. Her virker det til å være en svakhet med naboskapsanalysen basert på geometri hvor det ikke er treff mellom luftspenn og segmentene fra jordlinje eller faselinje. Naboskapsanalysen er satt opp til å finne en nabo. Det ser ut som at nærmeste nabo på noen plasser heller finner segmentene fra tilstøtende spenn hvis de er nærmere. For å illustrere dette kan man i figur 32, se et eksempel hvor luftspennet til NRL mangler. Høyden på punktet er 38 meter som har blitt lagt på neste/tilstøtende spenn. Spennet som har fått 38 meter som høyeste avstand har egentlig en maksimal høyde i spennet på 13 meter.



Figur 32: Maksimal høyde er lagt på tilstøtende spenn grunnet feil naboskap.

Figuren viser at det er knyttet høyeste vertikalavstand til tilstøtende spenn. Senere i analysen kobles dette tilbake mot geometrien og derfor blir hele spennet manglende for innrapporteringen. Det finnes noen tilfeller i EN-datasettet hvor man har såkalte dobbeltlinjer innenfor regionalnettet eller distribusjonsnettet. Dette er luftlinjer hvor det er to linjer i høyden som har felles fremføringsvei. Det kan være at naboskapsanalysen fungerer dårlig når man får så mange naboer i form av faselinjer og jordingslinjer. Som det er vist i flere figurer med kart, ser man at det er parallelle luftlinjer som er både regionalnett og distribusjonsnett. Ettersom disse analysene er separate er det ingen grunn til å mistenke at det er utfordringer ved at det knyttes om hverandre med naboskap.

Som nevnt i metoden er det tildelt en unik ID til alle luftspenn, men denne egenskapen blir først tildelt til jordingslinjene og faselinjene (både hel geometri og segmentert) i naboskapsanalysen. Når man da skal koble geometrien og egenskaper sammen senere i analysen vil dette være en følgefeil og gi feil resultat.

En mulig løsning på dette og et antageligvis sikrere resultat gjennom naboskapsanalysen er at alle objekter for faselinjer, jordlinjer, segmentert faselinje og segmentert jordlinje, hadde hatt en felles ID som egenskap knyttet mot luftspennet fra vektoriseringen. Dermed kunne man ha analysert basert på ID som egenskap, og ikke geometri for å motvirke at man finner tilstøtende jordlinjer og faselinjer fra andre spenn. Bortsett fra dette virker det som om metoden har fungert godt i sin helhet.

5.2 Stange Energi Nett

Metoden og analysen som er benyttet for datasettet Stange Energi Nett (heretter kalt SEN-datasett i diskusjonen) er som nevnt i metoddelen basert på noen manuelle operasjoner og tilrettelegginger av data. Det var opprinnelig tenkt at datasettet skulle tilrettelegges og benytte litt av samme løype som for EN-datasettet. Grunnet datasettets oppbygging ble det vanskelig å gjøre dette da alle faselinjer og jordingslinjer var under samme objekttype, samtidig ingen relevante egenskaper knyttet til seg annet en selve geometrien på hver linje. Selv om datasettets oppbygging gjør det vanskelig å analysere på hele datasettet / større områder uten manuelle tilpasninger, var det ønskelig å gjennomføre analyse på en linje.

Manuelle tilpasninger

For å klargjøre linjen som ble analysert, måtte datasettet tilpasses ved å fjerne faselinjer og jordingslinjer manuelt avhengig av hva som var høyeste linje på luftledningen. Dette ble som nevnt i metoden gjort ved å bruke google maps for å se på linjens oppbygging. En slik måte å få tak i informasjonen på er tidskrevende og ikke særlig egnet.

Geometrien fra jordingslinje og faselinje ble brukt til å hente ut terrengpunkter ved hjelp av buffer mot punktsky med terrenghøyder. Linjene ble segmentert og det ble analysert mot terrenget for å finne høyeste avstand. Dette er også en tidskrevende prosess for et lite utvalg av datasettet. Punktskyen som ble benyttet (dtm1) anses dog som nøyaktig nok for denne analysen.

For å få en geometri tilpasset innrapporteringen og luftspenn måtte det lages til en senterlinje/luftspenn basert på mastene i datasettet. Dette ble bygd opp ved en egenskap driftsmerking som tilfeldigvis hadde stigende rekkefølge fra første til siste masten. Hadde ikke denne egenskapen vært stigende, ville man ikke kunne laget geometri for luftspennet.

Resultat av metoden

Antall objekter som er klargjort for innrapportering viser at et av luftspennene i analysen uteble. I Figur 22 kan man se at spennet lengst vest mot knekkpunktet i linjen ikke er opprettet. Dette luftspennet har ingen treff mot høyeste segment fra analysen, ved at geometrien fra luftspennet skal kobles tilbake med egenskapen høyeste vertikalavstand i spennet. Dette ser ut til å skyldes nærmestenabo-analysen hvor segmentet ikke får treff mot luftspennet.

Bruk av data til rapportering

I kapittel 3.4 er det nevnt at man har utelatt SEN-datasettet for klargjøring til NRL-skjema. På bakgrunn av punktene som er drøftet og beskrevet i denne diskusjonsdelen og at luftlinjen er en liten del av hele høyspentnettet i SEN-datasettet, er dette argumentene for å ikke klargjøre mot NRL-rapportering. Metoden er usikker, baserer seg på manuelle prosesser og gir svært lite selv om maksimal høyde ble knyttet mot luftspennene med unntak av ett.

5.3 Klargjøring til NRL-skjema

I denne fasen av oppgaven er det klargjort fra EN-datasettet etter analyse, ved å fjerne alle unødvendige egenskaper og lagt til påkrevde egenskaper for innrapportering til NRL. I kravene for innrapportering som er beskrevet i tabell 2 og tabell 3 i kapittel 2.1.3, er det påkrevd å rapportere vertikalAvstand og høydereferanse, for luftspenn eller master med høyde lik eller over 15 meter.

Datasettet som er klargjort for rapportering i denne fasen inneholder vertikalAvstand og høydereferanse på alle objekter. Grunnen til dette er at dataene har disse egenskapene fra analysen, og det anses som verdifullt å rapportere det. I den siste delen av oppgaven skal dataene sammenlignes med tidligere innrapporterte luftfartshindre til NRL, derfor kan det være gunstig å ta med alt av data i sammenligningen. Hvis man ikke skulle rapportert det,

kunne man ha benyttet en filtrering på alle objekter under 15 meter, for å fjerne vertikalAvstand og høydereferanse på disse. Ved å rapportere disse egenskapene viser det også at datasettet har kvalitet og bevis på at det er gjort en analyse på om objektene faktisk er over, lik eller under 15 meter. I Kapittel 5.1 er det drøftet feil og mangler i EN-datasettet, og vil følgelig være en del av datasettet som er klargjort til rapportering.

5.4 Sammenligning mot rapporterte luftfartshindre

I den siste delen av oppgaven er det sammenlignet EN-datasettet med luftfartshindre som tidligere har blitt rapportert inn til NRL (heretter kalt NRL-datasett).

Tilrettelegging av NRL-datasett

Som nevnt i kapittel 3.1.4 om datasettet og egenskaper, har objektene NrlLuftspenn og NrlMast ulike kvalitetskodinger når det gjelder høydereferanse og nøyaktighet. I analysen er det forsøkt å tilrettelegge dette ved at de objektene som har høydereferanse fot, som vil si at høydereferansen er på terrenget, så må analysen ta høyde for dette ved å legge til egenhøyde på terrenghøyde for å ha likt sammenligningsgrunnlag som EN-datasettet. Hvis den er topp, skal det ordinære z-verdien benyttes som høydeverdi. Dette skaper en usikkerhet hvis det er registrert feil i datasettet og sammenligningsgrunnlaget blir feil.

Antall treff på sammenligning av geometri

Metoden for å sammenligne EN-datasett og NRL-datasett baserer seg på at man har laget et senterpunkt for alle linjene, og NRL-datasettet får en 10 meters buffer som skal finne objekter fra EN-datasettet. Resultatet av antall treff er vist i tabell 18. Differansen er 41 luftspenn og 18 master. En av utfordringene med dette kan være hvis kvaliteten på NRL-dataene er dårlige, så vil man ikke finne nærmeste nabo innenfor 10 meter. Kanskje det kunne ha hjulpet ved å øke bufferavstanden noe, men da må det samtidig være sikkert at man ikke finne tilstøtende spenn som er forklart og drøftet i kapittel 5.1. Et annet eksempel på hvorfor det ikke er treff, er at EN-datasettet er fra 2019, og i 2021 ble det bygd om en høyspentlinje, hvor deler av den nye linjen er rapportert inn til NRL, men eksisterer ikke i EN-datasettet. Dette virker til å være grunnen for at det er noe avvik på mastene i antall også.

Disse faktorene gjør at metoden ved bruk av nærmeste nabo analyse ikke er konsistent på å få treff. Dette kan løses i fremtidig NRL-rapportering ved at alle luftfartshindre rapporteres inn på nytt og at man har en felles ID som koblingsnøkkel for fremtiden. Egenskapen komponentident (beskrevet i egenskapslisten i kapittel 3.1.4) er tiltenkt ved at den følger luftfartshindret i hele levetiden, denne ID må derfor knyttes til nettinformasjonsystemet til Elvia, slik at for fremtidige endringer så eksisterer det ett felles sammenligningsgrunnlag og at man ikke trenger å basere analysene på geometri.

Sammenligning av høyde

Etter å ha sammenlignet høyder ser man også at det avviker på høydene fra EN-datasettet og NRL-datasettet. Noen hindre er rapportert inn med høyde over 15 meter i NRL-datasettet, mens i EN-datasettet er disse under 15 meter, og i andre tilfeller motsatt. Som tabell 19 og 20 viser er det betydelig høydeforskjell på de objektene med størst høydeforskjell. Noe av grunnen til dette kan være som nevnt innledningsvis at det ikke er konsistens bruk av høydereferanse og at høyden blir feil i analysen. For en del av objektene som lå i NRL var det heller ikke angitt en verdi for høyden. Ettersom dette også er usikre analyser med en betydelig stor mengde objekter, kan det være vanskelig å generalisere alle avvikene og kategorisere. Som nevnt kan det være en fordel at man rapporterer inn alt på nytt slik at man har en kilde og starter «på nytt» med rapporteringen.

5.5 Andre generelle diskusjonstema

I de forrige underkapitlene er det drøftet metode og resultater for EN-datasett, SEN-datasett, klargjøring til NRL-skjema og sammenligning mot rapporterte luftfartshindre. Dette underkapittelet drøfter noen generelle og felles tema i oppgaven.

Nøyaktighet

De vektoriserte datasettene EN-datasett og SEN-datasett som er benyttet i oppgaven er beskrevet i kapittel 3.1.1 og 3.1.2. Her er det nevnt at nøyaktigheten er innenfor 10 cm fra leveransen av datasettene. Med en så god nøyaktighet anser man derfor disse datasettene som en fasit i oppgaven, og mot for eksempel det som ligger i NRL-datasettet hvor nøyaktighet varierer fra 1 til 5 meter.

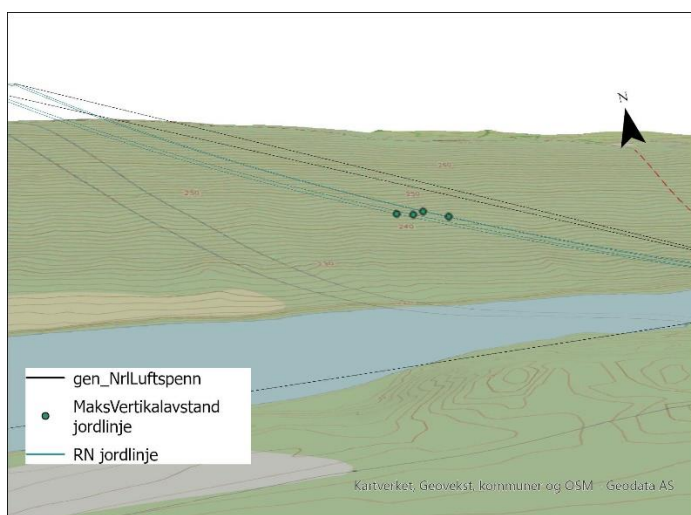
I den personlige kommunikasjonen med representant fra Terratec / Field Group som er beskrevet i kapittel 2.2.4 er det beskrevet en del utfordringer som kan gå utover kvaliteten og nøyaktigheten. Ettersom datasettet innehar en nøyaktighet på 10 cm, antas det at kartleggingsfirmaene har god kontroll på utfordringene ved laserskanning.

Pilhøyde luftspenn og tidspunkt for laserskanning

I de generelle kravene for luftspenn som skal rapporteres til NRL stilles det krav om nøyaktighet høyde og vertikal avstand. Dette er beskrevet i tabell 1 i denne rapporten som er hentet fra registreringsinstruksen:

- Høydekoordinaten for luftspenn skal ikke avvike mer enn 5 meter fra den faktiske toppen av innfestningspunktene for øverste luftlinje som er del av luftspennet.
- Angitt vertikal avstand for luftspenn skal ikke avvike mer enn 2 meter fra faktisk vertikal avstand.

Det er derfor viktig at ved luftlinjer med lange spenn hvor pilhøyden kan bli veldig stor, så må dette vurderes. I figur 33 er det forsøkt å vise at maksimale vertikalavstand representert ved punktene, er høyeste del av luftlinjen. Gen_NrLuftspenn har etter analysen fått egenskapen vertikalAvstand med høydeverdien fra det høyeste punktet. Ettersom NRL-geometrien baserer seg på rettlinje mellom mastepunktene så ser man at pilhøyden vil spille inn.



Figur 33: Pilhøyde fra største vertikalavstand og NRL-geometri.

Pilhøyden vil variere med temperatur og andre værforhold som for eksempel is-last. Tidspunktet for laserskanningen vil også være en faktor. Pilhøyden vil derfor kunne variere mye ut fra årstiden og vær-situasjon, mot det som de vektoriserte datasettene viser.

EN-datasettet og SEN-datasettet

I denne oppgaven er det fokusert mye på metoden for å analysere datasettene. Åmot kommune er valgt ut som testområde for EN-datasettet. Det er god grunn ut fra denne oppgaven med resultater at dette er representativt for øvrige områder som datasettet dekker hvis samme analyse blir gjort. For SEN-datasettet ble det bygget opp en analyse med manuelle operasjoner, slik at man må være heldig å finne tilsvarende linjer eller måter for å gjøre samme analyse på. For å benytte SEN-datasettet for innrapportering til NRL må det andre metoder til.

5.6 Forbehold

I denne oppgaven er FME og ArcGIS pro benyttet til analyse og presentasjon av datasettene. Med så mye databehandling og bruk av transformere (transformers) i FME, samt tabeller og presentasjoner i ArcGIS pro, kan det forekomme feil eller avlesningsfeil ved bruk av programvarene.

6 Konklusjon og anbefalinger

I denne oppgaven er det utviklet metoder for å vurdere om vektoriserte høyspent luftlinjer og master fra laserskanning kan benyttes til kontroll og innrapportering av luftfartshindre til NRL. Konklusjonen og anbefalingen baserer seg på problemstillingen i oppgaven og resultater som er drøftet i diskusjonsdelen.

Det er mangler og noe usikkerhet knyttet til Eidsiva Nett datasettet, dette kan løses ved hjelp av ID-knytning mellom luftspenn, faselinjer og jordlinjer innenfor samme spennet. Dette bør være en del av bestillingen til kartleggingsfirma neste gang det skal skannes og produktet skal leveres. Innrapporteringen til NRL bør skje så fort som mulig etter laserskanning og produktleveranse. Det må være full kontroll på om det er noen luftlinjer som føres opp, skal rives eller er under ombygging i denne perioden. Et manus til kartleggingsfirma må være så godt og oppdatert som mulig slik at alle luftfartshindre som skal skannes blir med i manuset.

Metoden som er brukt for Stange Energi Nett datasettet i denne oppgaven egner seg ikke for å rapportere luftfartshindre til NRL. Det er knyttet manuelle operasjoner og usikkerhet rundt analysen slik at det vil være alt for tidskrevende å utføre. Ved neste laserskanning bør datasettet for Elvia også inkludere Stange Energi Nett sitt tidligere konsesjonsområde.

Det er også knyttet usikkerhet til sammenligningen som er gjort med Eidsiva Nett datasettet mot tidligere rapporterte luftfartshindre i NRL. Derfor anbefales det å rapportere inn alt på nytt når det er fullstendighet i datasettet og usikkerhetene rundt metoden som er benyttet mot innrapportering til NRL er borte.

For øvrig vurderes det at laserskanning egner seg godt som datafangstmetode for vektorisering av høyspent-nett og til å identifisere høyder til bruk i rapportering til NRL med god kvalitet og nøyaktighet.

Litteraturliste

ASPRS (2019) *LAS Specification 1.4 – R15*. Tilgjengelig fra: https://www.asprs.org/wp-content/uploads/2019/07/LAS_1_4_r15.pdf (Hentet: 06.04.2023).

Elvia (2023a) *Vårt strømnett*. Tilgjengelig fra: <https://www.elvia.no/hva-er-elvia/vart-stromnett/> (Hentet: 04.03.2023).

Elvia (2023b) *Historien*. Tilgjengelig fra: <https://www.elvia.no/hva-er-elvia/om-oss/historien/> (Hentet: 04.03.2023).

ESRI (2023) *Introduction to ArcGIS Pro*. Tilgjengelig fra: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/get-started/get-started.htm> (Hentet: 15.04.2023).

FN-SAMBANDET (2020) *FNs bærekraftsmål*. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal> (Hentet: 04.03.2023).

Forskrift om luftfartshindre (2003) *Forskrift om rapportering og registrering av luftfartshindre (BSL E 2-1)* Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SFO/forskrift/2003-04-14-514> Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SFO/forskrift/2003-04-14-514> (Hentet: 04.03.2023).

Forskrift om rapportering, registrering og merking av luftfartshinder (2014) *Forskrift om rapportering, registrering og merking av luftfartshinder*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2014-07-15-980> (Hentet: 04.03.2023).

Geonorge (2023) *Om Geonorge*. Tilgjengelig fra: <https://www.geonorge.no/aktuelt/om-geonorge/> (Hentet 02.05.2023).

Høyte, F (2019) Trefase (Vekselstrøm), *Store Norske Leksikon*. Tilgjengelig fra: https://snl.no/trefase_-_vekselstr%C3%B8m (Hentet: 04.03.2023).

Kartverket (2022a) *SOSI-standardisert produktspesifikasjon: Nasjonalt register over luftfartshindre rapportering 1.0.1*. Tilgjengelig fra: <https://sosi.geonorge.no/produktspesifikasjoner/Nrl-rapportering/> (Hentet: 04.03.2023).

Kartverket (2022b) *Registreringsinstruks: Nasjonalt register iver luftfartshindre rapportering*. Tilgjengelig fra: <https://sosi.geonorge.no/registreringsinstrukser/NRL-rapportering/2022-07-01/> (Hentet 03.04.2023).

Kartverket (2022d) *Høgdedata og djupnedata*. Tilgjengelig fra: <https://www.kartverket.no/api-og-data/terrengdata> (Hentet: 09.05.2023).

Kartverket (2023a) *SOSI-Standarder*. Tilgjengelig fra: <https://www.kartverket.no/geodataarbeid/standardisering/sosi-standarder2> (Hentet: 04.03.2023).

Kartverket (2023b) *Produktspesifikasjon: Punktsky 1.0.3*. Tilgjengelig fra: <https://dokument.geonorge.no/produktspesifikasjoner/punktsky/1.0.3/index.html> (Hentet: 06.04.2023).

Kartverket (2023c) *FKB produktspesifikasjoner*. Tilgjengelig fra: <https://www.kartverket.no/geodataarbeid/geovekst/fkb-produktspesifikasjoner> (Hentet: 06.04.2023).

Kartverket (2023d) *Geovekst*. Tilgjengelig fra: <https://www.kartverket.no/geodataarbeid/geovekst> (Hentet 02.05.2023).

Kjerstad, N (2023) GNSS, *Store Norske Leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/GNSS> (Hentet: 02.05.2023).

Kravdal, T. 2018. Flybåren laserskanning. GEO1271 Geografisk Datafangst 1. Tilgjengelig fra: <https://ntnu.blackboard.com> (Hentet: 04.03.2023).

Lloyd, C. D. (2010) *Spatial data analysis: an introduction for GIS users*, Oxford: New York, Oxford University Press.

Luftfartstilsynet (2023) *Veiledning til BSL E 2-1 forskrift om rapportering, registrering og merking av luftfartshinder v2.0*. Tilgjengelig fra: <https://luftfartstilsynet.no/globalassets/dokumenter/veiledninger/veiledning-til-bsl-e-2-1-om-rapportering-registrering-og-merking-av-luftfartshinder-v2.0.pdf> (Hentet: 04.03.2023).

NVE (2022) *Nett*. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/energi/energisystem/nett/> (Hentet: 02.05.2023).

Rosvold A K. (2023) Høyspenning. *Store Norske Leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/h%C3%B8yspenning> (Hentet: 04.03.2023).

Safe Software INC (2023a) *About FME*. Tilgjengelig fra: https://docs.safe.com/fme/html/FME_Desktop_Documentation/FME_Desktop/Workbench/What_is_FME.htm (Hentet: 15.04.2023).

Safe Software INC (2023b) *FeatureJoiner*. Tilgjengelig fra: http://docs.safe.com/fme/html/FME_Desktop_Documentation/FME_Transformers/Transformers/featurejoiner.htm (Hentet: 15.05.2023).

Svarte, S. og Sebergesen J. H. (2002) *Energiproduksjon og energidistribusjon: Jordfeil, anlegg og sikkerhet*. Utgave 4. Oslo: Gyldendal Norsk Forlag AS.

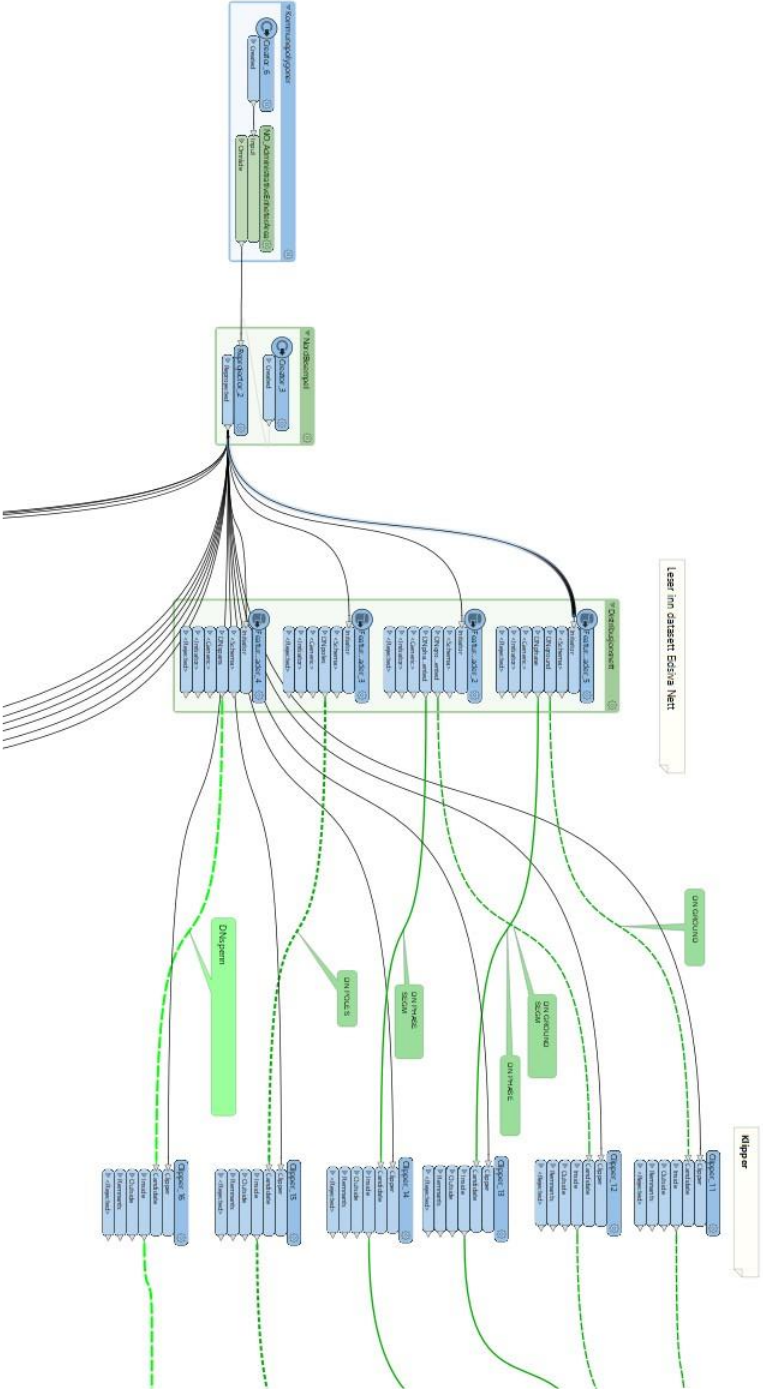
Vihovde H E. (2022) API. *Store Norske Leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/API> (Hentet:02.05.2023).

Value (2023) *Power Grid*. Tilgjengelig fra: <https://www.value.com/power-grid> (Hentet: 02.05.2023).

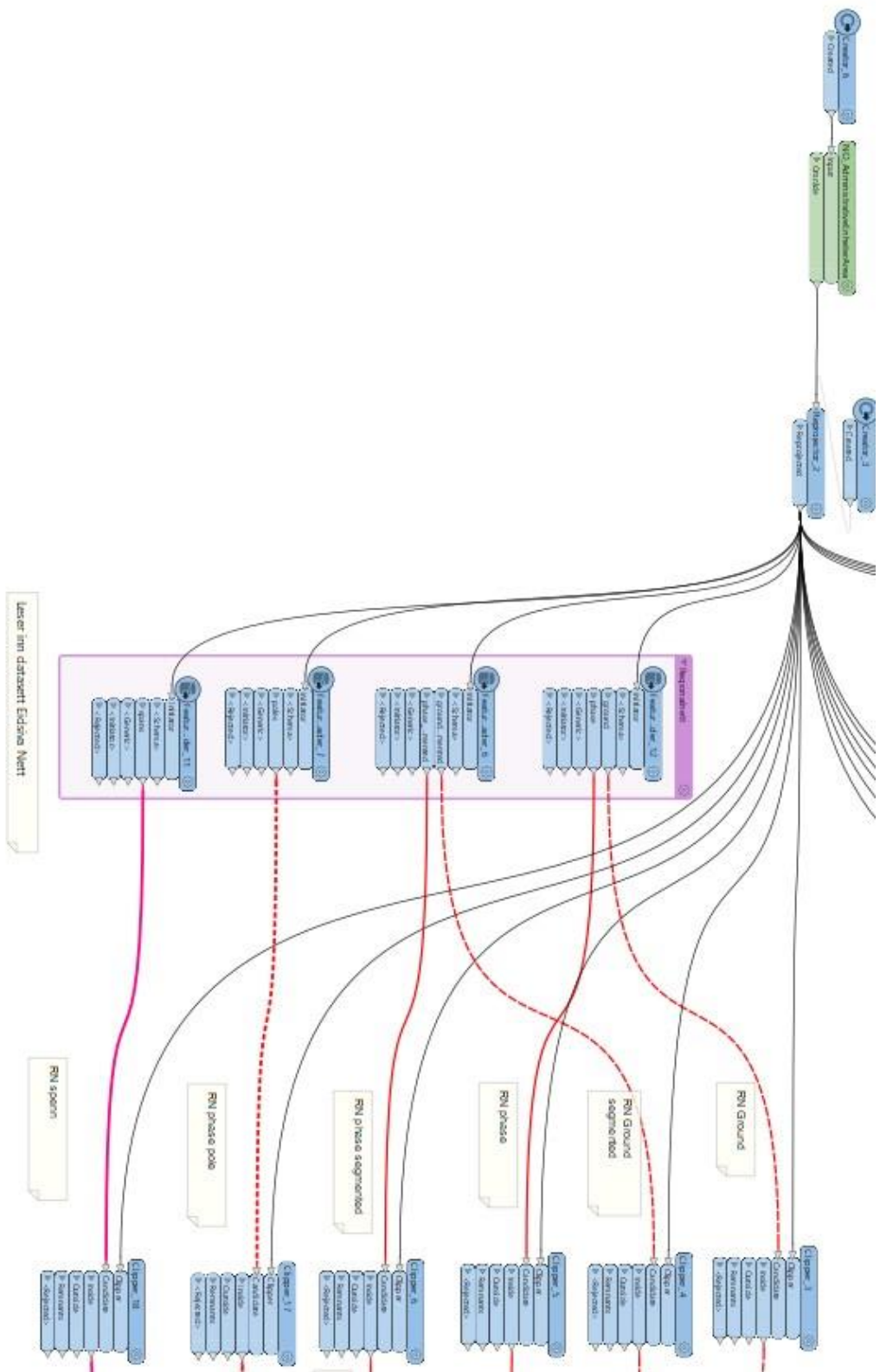
Wikipedia (2023) *LIDAR*. Tilgjengelig fra: <https://no.wikipedia.org/wiki/LIDAR> (Hentet:04.03.2023).

Vedlegg 1 – FME workspace Eidsiva Nett

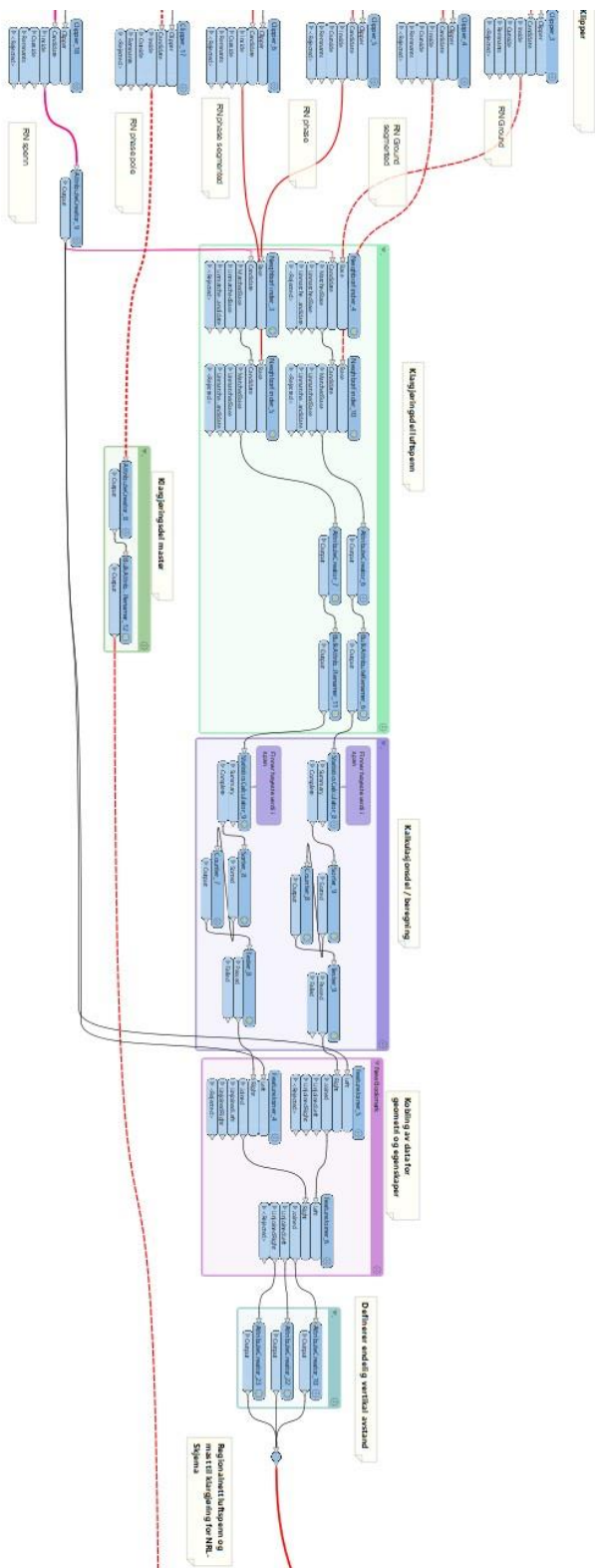
1 – Innlesning distribusjonsnett



3 – Innlesning regionalnett

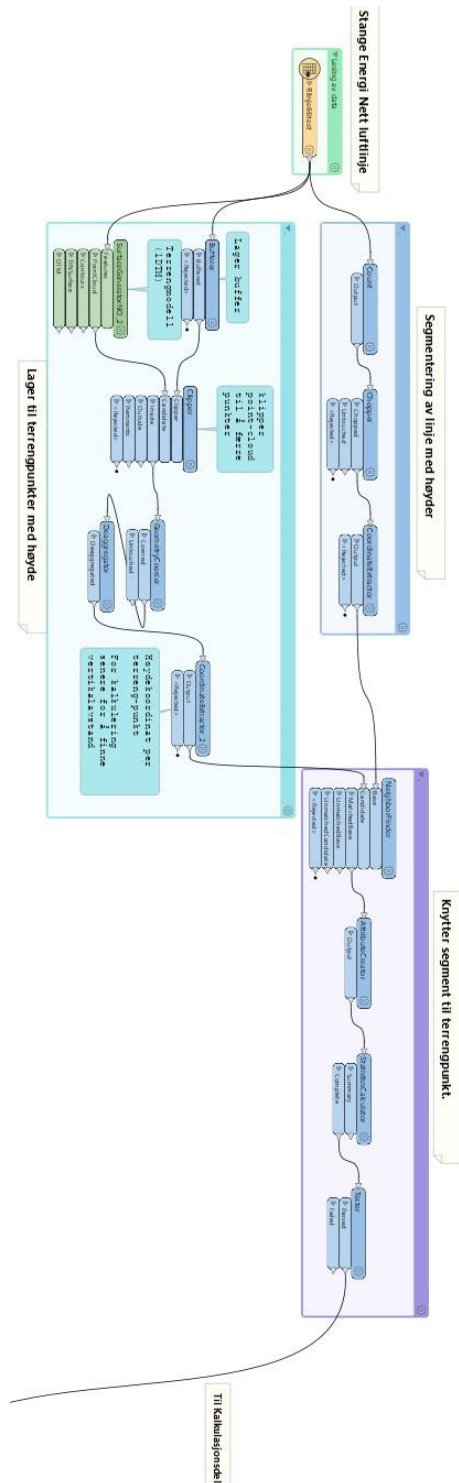


4 – Analyse regionalnett

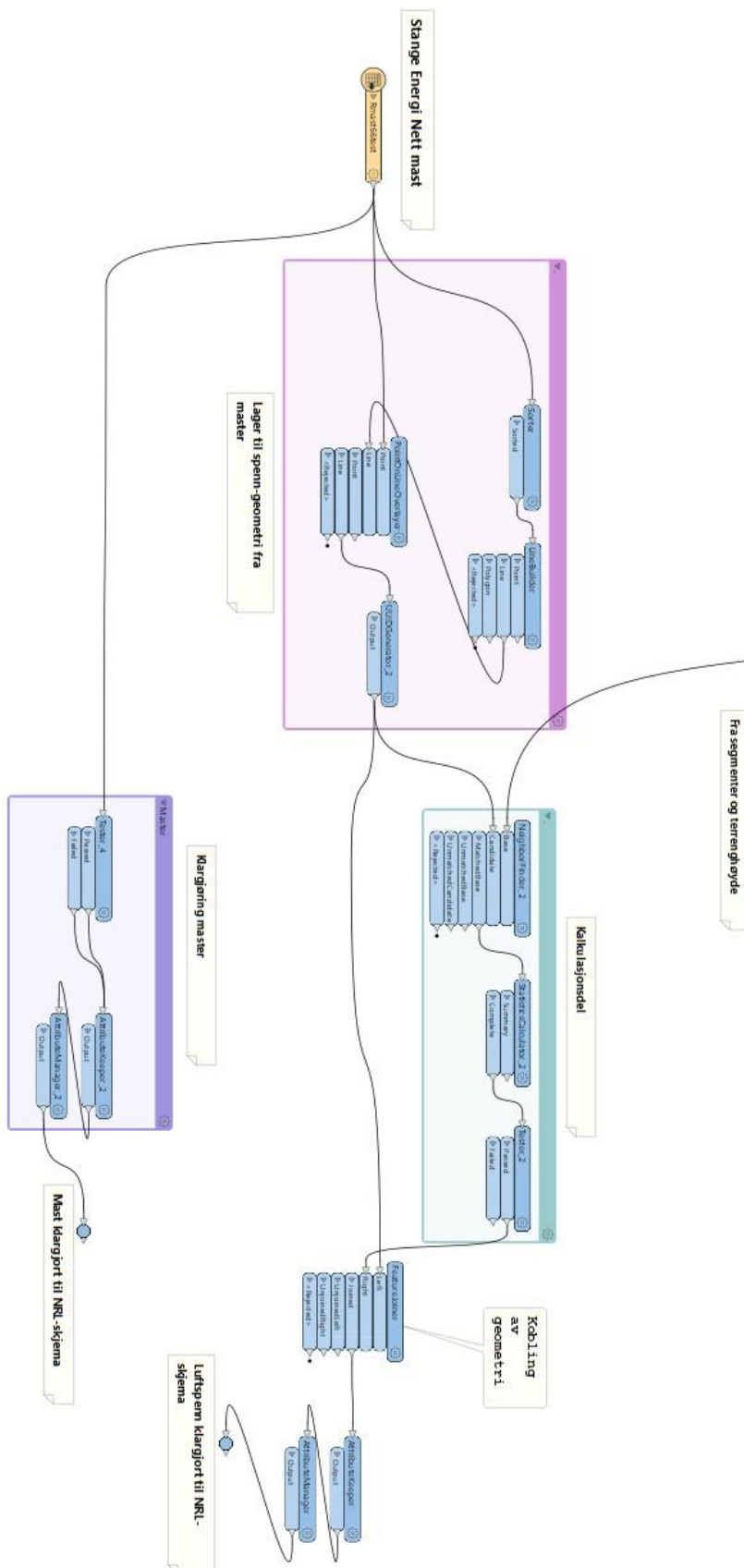


Vedlegg 2 - FME workspace Stange Nett

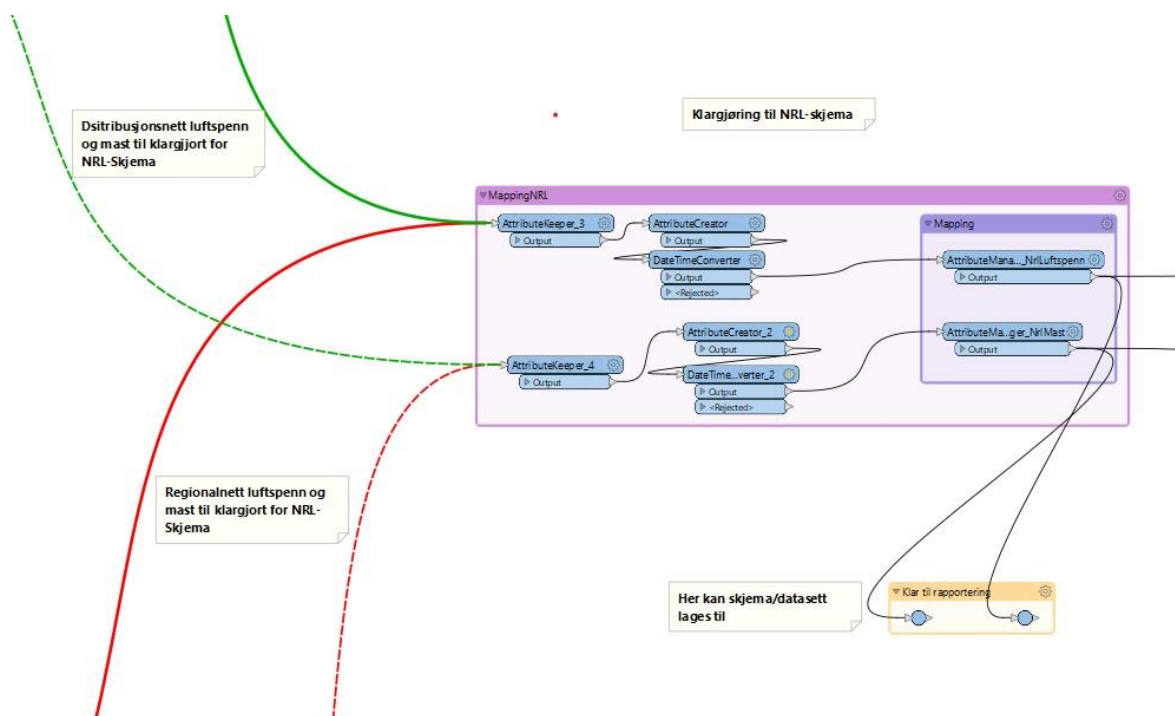
1 – Analyse del 1



2 – Analyse del 2



Vedlegg 3 - FME workspace klargjøring til NRL-skjema



Vedlegg 5 – Sammenligning høyde

luftspenn

Ligger vedlagt som eget vedlegg med navn:

Vedlegg-5_sammenligning_høyder_NrILuftspenn

Vedlegg 6 – Sammenligning høyde master

Ligger vedlagt som eget vedlegg med navn:

Vedlegg-6_sammenligning_høyder_NrlMast

