

Ådne Himle Matland

Quantm som erstatning for tradisjonelle linjevalgsmetoder

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Albert Lau

Juni 2021

Ådne Himle Matland

Quantm som erstatning for tradisjonelle linjevalgsmetoder

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk
Veileder: Albert Lau
Juni 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet av Ådne Himle Matland ved Institutt for bygg- og miljøteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskaplige universitet, NTNU. Oppgaven leveres som avsluttende arbeid i faget TBA4955 - Jernbane, Masteroppgave, utgjør 30 studiepoeng og er skrevet gjennom vårsemesteret 2021.

Tema og problemstilling for denne masteroppgaven er bygget på en bakenforliggende motivasjon om økt kunnskap til prosjektet E16 og Vossebanen, samt et ønske om arbeid som kan brukes i jobbsammenheng etter innlevert masteroppgave. Forskningsspørsmål, deler av litteraturstudiet, og hovedtrekkene i metoden ble utarbeidet i et forstudium, prosjektoppgave, med samme tittel og ble skrevet høsten 2020. Dette arbeidet refereres indirekte i denne oppgaven da arbeidet står i direkte sammenheng med arbeidet gjort våren 2021. Et tidligere arbeid, Belyakova (2020), er ikke referert i referanselisten, men henvises til flere ganger i denne oppgaven. Grunnen til at den ikke er lagt til i referanselisten er fordi denne erfaringsbaserte masteroppgaven enda ikke er sensurert eller offentliggjort av NTNU, og ble innhentet internt i systemet.

Oppgaven er skrevet for å opplyse næringslivet om programmet Quantm og dets funksjoner. Dette kan være personer som allerede har brukt programmet og ønsker å forstå mer om funksjonene, eller personer som har interesse av å sette seg inn i hvordan programmet kan brukes i et prosjekt.

Det rettes en takk til hovedveileder Albert Lau ved NTNU for hjelp og råd under arbeidet med oppgaven, bistand i anskaffelse av utstyr og midler til nødvendige programvarer, og for tilbakemeldinger før levering. Økonomiske midler ble anskaffet gjennom programmet Konnekt. Det rettes også en takk til Magnus Hedly, salgskonsulent i Trimble, for kontinuerlig assistanse med programvare og tildeling av lisens til relevante programvarer som er vurdert i denne oppgaven.

Videre vil jeg takke min medstudent Britt Karin Moe for engasjerende faglige diskusjoner og innspill, samt prosjektgruppen i E16 og Vossebanen for engasjerende møter og utlevering av relevant data.

Trondheim, juni 2021

A handwritten signature in black ink on a light-colored background. The signature reads "Ådne Himle Matland" in a cursive script. There is a small mark above the first letter "Å".

Ådne Himle Matland

Sammendrag

Quantm er et digitalt prosjekteringsverktøy fra teknologiselskapet Trimble som i de siste årene har fått mer og mer oppmerksomhet. Programmet skal angivelig gjøre valg og vurderinger av linjeføringer mer effektivt og kostnadssparende i infrastrukturprosjekter. Ved hjelp automatiske søkefunksjoner og en optimaliseringsalgoritme skal den kunne produsere et stort antall linjer mellom et start- og sluttspunkt som igjen brukeren kan ta kvantitative og kvalitative valg ut fra. Hensikten med denne oppgaven er å gjennomføre en evaluering av programmet og dets funksjoner, samt å sammenligne Quantm sin metode med tradisjonelle linjevalgsmetoder. På denne måten vil det komme frem ulike fordeler og ulemper som oppstår ved bruk av programmet som prosjekteringsverktøy.

I henhold til denne problemstillingen er det i denne oppgaven gjennomført en case-studie av programmet i et ekte prosjekt, samt en spørreundersøkelse hvor erfarne brukere av Quantm fikk mulighet til å evaluere programmet. I case-studiet ble det tatt utgangspunkt i å prosjektere ny linjeføring for jernbane mellom tettstedene Trengereid og Vaksdal. Dette er en delstrekning i prosjektet E16 og Vossebanen som allerede har gjennomført planlegging av ny veg og bane mellom tettstedene Arna og Stanghelle. I kombinasjon med antatt relevant litteratur om de automatiske søkefunksjonene og optimaliseringsalgoritmen, og resultater fra arbeidet, er det så gjort en helhetsvurdering av programmet.

Resultatene er 13 besvarte spørreskjema fra erfarne brukere av Quantm, samt en grundig evaluering av resultater og fremgangsmåte brukt i case-studiet. I disse kommer det frem at Quantm har et stort potensiale til å brukes som prosjekteringsverktøy i infrastrukturprosjekter, men at programmet har visse begrensinger. Konklusjonen fra oppgaven er dermed at Quantm idag ikke kan erstatte alle prosessene som inngår i tradisjonelle linjevalgsmetoder, men er svært effektivt i en utredningsfase hvor korridorvalg gjøres i prosjektet.

Summary

Quantm is a digital design tool from the technology company Trimble, which in recent years has received more and more attention. The program is supposed to make choices and assessments of alignments more efficient and cost-saving in infrastructure projects. Using automatic search functions and an optimization algorithm, it should be able to produce a large number of lines between a start and end point from which the user can make quantitative and qualitative choices. The purpose of this thesis is to carry out an evaluation of the program and its functions, as well as to compare Quantm's method with traditional line selection methods. In this way study the various advantages and disadvantages that arise when using the program as a design tool.

In accordance with this problem, an in-depth study of the program in a real project has been carried out in this thesis, as well as a survey in which experienced users of Quantm were given the opportunity to evaluate the program. The case study was based on designing a new route for the railway between the settlements Trengereid and Vaksdal. This is a section in the project E16 and Vossebanen which has already carried out planning of a new road and railway between the settlements Arna and Stanghelle. A combination of presumed relevant literature on the automatic search functions and the optimization algorithm, and the results from the work, was used to make an overall assessment of the program.

The results are 13 answered questionnaires from experienced users of Quantm, as well as a thorough evaluation of the results and procedures used in the case study. It emerges that Quantm has a great potential to be used as a design tool in infrastructure projects, but that the program has certain limitations. The conclusion from the thesis is thus that Quantm today can not replace all the processes that are part of traditional line selection methods, but is very effective for the investigation phase where corridor choices are to be made for a new project.

Oppgavens oppbygging

Denne masteroppgaven omhandler evaluering av Quantm som erstatning for tradisjonelle linjevalgsmetoder. Oppgaven er delt inn i fem forskjellige deler. En innledning hvor bakgrunn, forskningsspørsmål, og begrensinger og valg av omfang for oppgaven vil komme frem. En teoridel hvor antatt relevant teori om tradisjonelle linjevalgsmetoder, samt Quantms automatiske søkefunksjoner og optimaliseringsalgoritme vil bli presentert. En metodedel hvor metodene brukt i case-studiet og spørreundersøkelsen for å svare på forskningsspørsmålene er forklart. En resultat og diskusjonsdel hvor resultatene fra spørreundersøkelsen og case-studiet blir diskutert med hensyn på forskningsspørsmålene. Og til slutt en konklusjon og videre arbeid del hvor konklusjoner fra resultatene, samt anbefalt videre arbeid innenfor problemstillingen vil bli presentert. Resultatene fra spørreundersøkelsen i sin helhet er vedlagt som appendiks i slutten av denne oppgaven.

Innhold

Forord	v
Sammendrag	vii
Summary	viii
Oppgavens oppbygging	ix
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.1.1 Tidligere arbeid	3
1.1.2 E16 og Vossebanen	4
1.2 Forskningsspørsmål	5
1.3 Begrensinger og valg av omfang	5
2 Teori	7
2.1 Tradisjonelle verktøy og metoder	7
2.2 Quantm	8
2.2.1 Quantms optimaliseringsalgoritme	8
2.2.2 Global optimalisering	9
2.2.3 Nettverksoptimalisering	11
3 Metode	19
3.1 Datainnsamling fra E16 og Vossebanen	20
3.2 Kartlegging av valgt delstrekning	21
3.2.1 Eksisterende infrastruktur	22
3.2.2 Skredfare	23
3.2.3 Naturmangfold	24
3.2.4 Bebyggelse	25
3.2.5 Spesielle lokaliteter	26
3.3 Quantm	27

3.3.1	Modelletablering i Quantm	27
3.3.2	Linjesøk og optimalisering	28
3.4	Spørreundersøkelse	29
3.4.1	Utforming	29
3.4.2	Distribusjon	30
3.4.3	Analyse	30
4	Resultater & Diskusjon	31
4.1	Spørreundersøkelse	31
4.1.1	Evaluering av Quantm	31
4.1.2	Kunnskap om optimaliseringsalgoritmen	34
4.1.3	Sammenligning av Quantm og tradisjonelle metoder	35
4.2	Quantm - E16 og Vossebanen	38
4.2.1	Modelletablering	38
4.2.2	Linjesøk og optimalisering	45
4.2.3	Sammenligning av Quantm og prosjekterte linjer	57
5	Konklusjoner og videre arbeid	61
5.1	Konklusjon	61
5.2	Videre arbeid	62
	Bibliografi	63

Appendiks 1: Spørreskjema

Figurer

1	Trimble BIM - Programsyklus.	3
2	Konveks og ikke-konveks kurve.	9
3	Euklidsk korteste sti - Valg av geometriske korteste sti i et nettverk.	12
4	Dijkstra - Skjematisk fremstilling.	13
5	Korteste sti problemet - Vektor- og rasterbasert tilnærming.	14
6	Konturering - ST algoritmen.	15
7	Minst kostbare sti og <i>ST algoritmen</i> .	16
8	Minst kostbare sti og cellebredde.	17

9	Metodeforklaring - Skjematisk fremstilling av brukt metode.	19
10	Kartlegging - Prosjektområde.	21
11	Kartlegging - Eksisterende infrastruktur.	22
12	Kartlegging - Skredfare.	23
13	Kartlegging - Naturmangfold.	24
14	Kartlegging - Bebyggelse.	25
15	Kartlegging - Spesielle lokaliteter.	26
16	Spørreundersøkelse - Evaluering av Quantm	32
17	Spørreundersøkelse - Sammenligning av Quantm og tradisjonell metode.	35
18	Modelletablering - Skjematisk fremstilling.	38
19	Databehandling - Skjematisk fremstilling.	41
20	Databehandling - Problemer med Quantm kobling.	42
21	Quantm resultater - Etablert modell.	45
22	Linjesøk i Quantm - Skjematisk fremstilling.	46
23	Quantm resultater - FR søk i korridoridentifisering.	47
24	Quantm resultater - Opprettet korridor i korridoridentifisering.	49
25	Quantm resultater - FR søk i optimaliseringen.	50
26	Quantm resultater - Manuelt redigert linje i profil.	51
27	Quantm resultater - EX søk i optimaliseringen.	53
28	Quantm resultater - RF søk i optimaliseringen.	55
29	Quantm resultater - RFv søk i optimaliseringen.	56
30	Quantm resultater - Vertikalprofil til vurdering.	57
31	Sammenlignende resultater - Linje fra Quantm satt opp mot linje fra E16 og Vossebanen i B1 scenarioet.	58
32	Sammenlignende resultater - Linje fra Quantm satt opp mot linje fra E16 og Vossebanen i B2 scenarioet.	59

Tabeller

1	Datainnsamling - Data fra E16 og Vossebanen	20
2	Spørreundersøkelse - Positive og negative tilbakemeldinger om Quantm.	34
3	Spørreundersøkelse - Fordeler og ulemper med Quantm i forhold til tradisjonell prosjektering.	37

4 GIS lag i Quantm modellen. 43

1 Innledning

I innledningen vil bakgrunnen til oppgaven redegjøres, og det vil også komme frem hvorfor prosjekteringsverktøyet Quantm er valgt som utgangspunktet for denne masteroppgaven. I tillegg vil begrensingen av arbeidet fremlegges, med fokus på hvordan dette har påvirket den overordnede metoden brukt for å besvare valgte forskningsspørsmål.

1.1 Bakgrunn

I Nasjonal Transportplan (NTP) for 2018-2029 blir et ønske om mer effektive planprosesser, og redusert planleggingstid fremmet. Her kommer det frem at tiltak som kan redusere planleggingstiden, og som samtidig kan føre til valg av riktig alternativ og kostnadsramme må vurderes for store statlige prosjekter ([Meld St. 33 \(2016-2017\)](#)). NTP for 2022-2033 trekker gevinstpotensialet i utrednings- og tidlig planfase videre frem som et av de store områdene i prosjekter hvor man kan optimalisere tidsbruk, og kostnadsstyring av prosjektene ([Meld St. 20 \(2020-2021\)](#)).

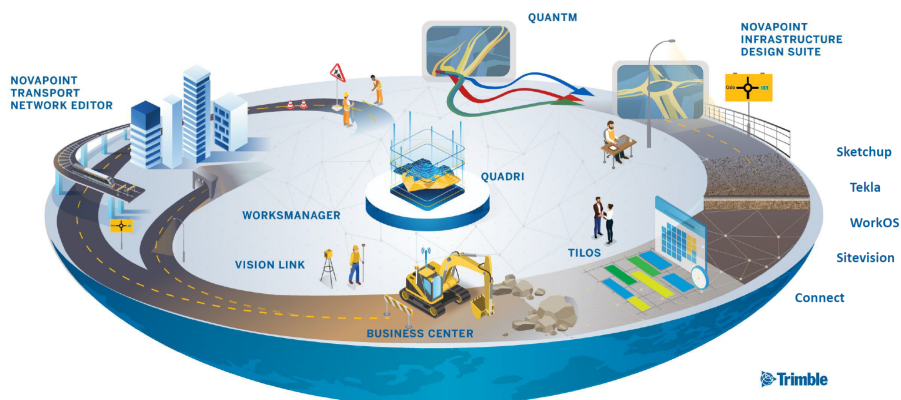
Tradisjonell prosjektering av infrastrukturprosjekt i utrednings- og tidlig planfase består av flere ulike verktøy og teknikker som alle bidrar til valg av antatt beste linjeføring, og tilhørende kostnadsramme. Hovedsaklig kan disse karakteriseres til programmer og prosesser som ved manuelle operasjoner og vurderinger har ført til et beslutningsgrunnlag for valget. Ofte har enkle tegninger og kalkulasjoner vært utgangspunktet for prosessen der valget tas. Dette er en omfattende prosess hvor prosjektmedlemmer må hente inn, og vurdere en stor mengde informasjon. Som følge av omfanget til denne prosessen blir ofte resultatet betinget av tidsbegrensninger og økonomiske vilkår i prosjektet.

Det har derimot i løpet av de siste årene gjennomgått en *revolusjon* når det kommer til bruk av digitale verktøy, og andre hjelpemidler i prosjektering av norske infrastrukturprosjekt. Introduksjonen av BIM (Bygningsinformasjonsmodellering) i bygg- og anleggsbransjen har ført til en helt ny metode, og strategi, for hvordan man prosjekterer og følger opp disse prosjektene. Ved å samle alle fagfelt, og involverte parter, på en og samme digitale plattform deles informasjon på en mer sømløs og effektiv måte. Bane NOR vedtok i 2017 en strategi som stiller krav til bruk av BIM i sine prosjekter, som i seg selv skal gi føringer for et konsept der:

”...modeller skal gjelde foran tradisjonelle tegninger og tabeller” (Bane NOR 2021, avsnitt 2). Denne *revolusjonen* har ført til en aktiv utvikling av både eksisterende, og nye programvarer.

Prosjektering av infrastruktur er derfor idag i startfasen av en omveltning i bruken av, og samhandlingen mellom, prosjekteringsverktøy som kan tilfredstille kravene stilt av både Bane NOR og andre aktører. I tråd med ønsker og observasjoner gjort i [Meld St. 33 \(2016-2017\)](#) og [Meld St. 20 \(2020-2021\)](#), samt kravene fra Bane NOR, har programmet Quantm fått sin grobunn i Norge. Quantm er ifølge utvikleren, Trimble, et prosjekteringsverktøy som ikke bare kan gjøre prosjektering av ny bane og veg raskere, men også billigere ([Trimble Quantm 2020](#)). Ved å ta hensyn til definerte begrensinger, og importerte datasett fra prosjektet påstår Trimble at deres programvare kan automatisk produsere et utvalg linjeføringer som vil gjøre valg av trasé og korridor mer optimalisert. Modellen som blir opprettet i Quantm kan ta hensyn til både miljømessige- og sosiale påvirkninger, samt kostnads spesifikk data for de alternative linjeføringene som blir produsert ([Trimble 2017b](#)).

Quantm er også en integrert del av Trimbles BIM-løsning. I denne utvekles filer, og informasjon på tvers av programmer som Trimble har utviklet eller har samarbeidsavtaler med. Kjernen til datamodellen i denne BIM-løsningen er programmet Quadri. I dette programmet kan arbeid og informasjon fra de andre programmene deles, og sys sammen til en helhetlig modell av aktuelt prosjekt ([Trimble Quadri 2020](#)). I figur 1 er syklusen av de integrerte programmene vist, og det kan i denne ses at Quantm er presentert som det programmet hvor hele prosessen starter. Programmet er altså designet for bruk i tidlige faser av prosjekter.



Figur 1: Programsyklusen brukt i Trimbles BIM-løsning fra start til slutt i et infrastrukturprosjekt (Trimble 2021, s.10).

1.1.1 Tidligere arbeid

I et forprosjekt til denne oppgaven, prosjektoppgave, ble det identifisert tre tidligere studier som alle undersøkte Quantm som verktøy i planlegging av ny vei eller bane. Disse er kortfattet under med mål om å belyse arbeid som er gjort tidligere rundt lignende problemstilling som for denne oppgaven.

Quantm-Fra visjon til bærekraftig samferdselsplanlegging - Ervesvåg & Hedly 2017

Ervesvåg & Hedly (2017) gjennomførte i 2017 en casestudie av Quantm hvor det i hovedsak forekom en kvalitativ vurdering av programmet. Utgangspunktet var en casestudie av Ringeriksbanen, og programmet ble brukt til å søke etter mulige linjeføringer på en delstrekning i prosjektet. Resultatet fra programmet ble satt opp mot ferdig prosjekterte linjeføringer fra prosjektet, og vurdert ut fra dens overensstemmelse til disse. Konklusjonen fra denne studien var at produsert linjeføring fra Quantm ble ansett som en optimal linje for studert delstrekning, og at dette videre gav en indikator på at programmet tjener godt til sitt formål som verktøy i tidligfaseprosjektering av vei og jernbane.

Quantm-Et verktøy for tidligfaseprosjektering - Slinning & Kvamme 2020

Slinning & Kvamme (2020) utførte i 2020 en markedsundersøkelse og casestudie av programmet for å undersøke muligheten til å optimalisere trasévalget av en delstrekning i veiprojektet Fergefri E39, samt å kartlegge markedets innstilling til Quantm. Konklusjonen var at programmet gav gode resultater med en optimalisert linjeføring, både raskere og billigere, i forhold til den som var valgt av prosjektet.

I tillegg gav markedsundersøkelsen indikasjoner på at flere aktører har begynt å bruke programmet, og at inntrykket av det er stort sett positivt. Studien trekker derimot også frem flere funksjoner og metoder som kan forbedres i programmet.

Bruk av parametrisk design i tidlig fase - Anastasia Belyakova 2020

I denne kvalitative studien er søkelyset mer rettet mot en direkte sammenligning mellom tradisjonelle prosjekteringsmetoder, og Quantm i tidlig fase av prosjekter. Det ble gjennomført prosjektering av et fiktivt veiprojekt med bruk av både tradisjonelle verktøy og metoder, samt Quantm på samme strekning. I et forsøk på å definere metoden som programmet bruker blir konseptet *parametrisk design* undersøkt, og forklart. Studien konkluderte med at programmet bidrar til en effektivisering av prosesser knyttet til linje- og korridorsøk i tidlig fase av samferdselsprosjekter. Helt konkret blir det fastslått at programmet kan føre til en tidsbesparelse på nesten 50% i utarbeidelsen av kommunedelplaner i forhold til tradisjonelle metoder.

1.1.2 E16 og Vossebanen

Som følge av programmets art, og tidligere arbeid, ble det også i forprosjektet identifisert et reelt infrastrukturprosjekt som skulle undersøkes i denne oppgaven.

Fellesprosjektet E16 og Vossebanen hadde originalt som overordnet mål å prosjektere, og bygge, ny vei og bane mellom tettstedene Voss og Arna. Denne strekningen er en viktig del av transportåren mellom Oslo og Bergen, og er idag karakterisert av rasfarlige- og fartreduerte delstrekninger. [Bane NOR & Statens vegvesen \(2014\)](#) kom i sin konseptvalgutredning (KVU) med en anbefaling til konseptvalg, K5, for prosjektet. I denne tilrådingen ble det fastslått at det ville være fortrinnsmessig at vei og bane prosjekteres parallelt, og i en adskilt trasé fra eksisterende infrastruktur. Dette ble begrunnet med at prosjektet ville få økonomiske fordeler i henhold til tunnelsikkerhet på strekningen, samt redusert nedetid på transportåren som følge av mindre reguleringer under byggearbeidet. I kvalitetssikringen (KS1) fra [Terramar & Oslo Economics \(2014\)](#) ble derimot hele prosjektet frarådet da den samfunnsøkonomiske nytten av alle de vurderte konseptene var negativ. Som følge av konflikten mellom disse anbefalingene, og den rasutsatte topografien på strekningen ble det bestilt en supplerende utredning fra regjeringen. [Bane NOR \(2015\)](#) konkluderte med det samme som i KVU, og regjeringen bestemte dermed at prosjektet skulle videreføres for bare deler av strekningen. Strekningen Stanghelle-Arna ble derfor videre undersøkt i et forprosjekt ved siling av [Jernbanedirektoratet & Statens vegvesen \(2017\)](#).

1.2 Forskningsspørsmål

Denne oppgaven har som formål å bygge videre på tidligere arbeid, samt å belyse nye områder av Quantm som kan gi prosjekterende ingeniører, og bransjen, mer inngående kunnskap om programvaren. I lys av dette er denne oppgaven utformet som både en case-studie av programmet, i tillegg til en utforskning av relevant litteratur og informasjon som kan utdype forståelsen av programmet. I tråd med dette formålet, og valgt metode er det identifisert to forskningsspørsmål (FS) som gir grunnlag for arbeidet i denne oppgaven.

FS1 Hvordan sidestiller Quantm seg i forhold til tradisjonell prosjektering av linjeføringer?

FS2 Hvilke fordeler og ulemper oppstår når Quantm brukes for å prosjektere linjeføringer?

I disse overordnede forskningsspørsmålene ligger det også flere generiske delspørsmål som må besvares underveis for å underbygge konklusjonen. Helt spesifikt for denne oppgaven er spørsmål som; ”Kan man ved bruk av Quantm identifisere en optimal linje på strekningen Trengereid-Vaksdal?” og ”hvordan sammenlignes denne med den tradisjonelt prosjekterte linjeføringen fra prosjektet?”. Det må også gjøres vurderinger av brukt metode og eventuelle feilkilder i resultatene.

1.3 Begrensinger og valg av omfang

Da strekningene Voss-Arna og Stanghelle-Arna begge er lengre enn gitt begrensinger i tildelt lisens for Quantm, 20km, er det i denne oppgaven tatt utgangspunkt i en delstrekning som tilfredstiller lengdebegrensingen. På delstrekningen Trengereid-Vaksdal skal derfor programmet brukes for å søke etter en optimal jernbanelinje, og vurderes opp mot de prosjekterte linjene fra prosjektet. Det tas utgangspunkt i start- og sluttspunkt som sammenfaller med prosjekterte linjer før og etter valgt delstrekning. I tillegg er det definert to mulige stasjonsplasseringer ved Vaksdal, og det blir dermed gjennomført søk med begge disse som sluttspunkt i hver sine respektive scenario.

For å belyse nye områder av programmet er det i denne oppgaven gjennomført et begrenset litteratursøk. I dette litteratursøket er hensikten å trekke fram rele-

vant teori som kan brukes til å forklare de automatiserte prosessene i programmet. Hovedvekten av denne teorien er fokusert på programmets optimaliseringsalgoritme. Denne er idag en *black box*, som vil si at den er skjult for offentligheten. Denne delen av programmet er heller ikke utforsket i tidligere arbeid. I tillegg defineres tradisjonelle linjevalgsmetoder for å kunne sette disse opp mot Quantm, og definere hvilke prosesser programmet angivelig kan erstatte.

Med mål om å også kartlegge bruken og erfaringer fra Quantm er det i denne oppgaven produsert, og distribuert, et spørreskjema som skal gi en indikasjon på hvordan programmet sidestiller seg i forhold til tradisjonell prosjektering. I denne ble det også stilt spørsmål om relevansen til denne oppgaven, og i hvilken grad resultatene er nyttige. Respondentene er derfor begrenset til relevante aktører som har brukt Quantm i reelle prosjekter.

Som følge av metoden, og dens begrensinger, skal denne oppgaven fungere som en tredjeparts kvalitativ- og kvantitativ vurdering av Quantm. Både av programmets *usynlige* funksjoner, og dets framtid i planlegging av infrastrukturprosjekter i Norge.

2 Teori

2.1 Tradisjonelle verktøy og metoder

I Belyakova (2020) sin studie av et fiktivt veiprojekt kommer det frem en detaljert beskrivelse av hvordan tradisjonelle metoder og verktøy har blitt brukt for å søke etter, og identifisere den beste linjeføring.

Den tradisjonelle linjevalgsmetoden starter ifølge Belyakova med en innsamling av grunnlagsdata om prosjektet. Dette kan være ulike tekniske fagkart, prosjektmål, og andre definerende faktorer for prosjektet. Denne informasjonen gir da grunnlag for et linjesøk mellom designert start- og sluttspunkt. Dette linjesøket blir i studien til Belyakova nevnt som en idédugnad for å kartlegge mulige traséalternativer. Denne idédugnad blir utført av erfarne fagfolk med en bred kompetanse fra forskjellige fag, og bakgrunner. Disse tar utgangspunkt i grunnlagsdataen, og på basis av dette produserer gruppen så mange mulige traséer som kan tenkes å være et alternativ for prosjektet. Traséalternativene tegnes ofte først som enkle skisser på enten digitaliserte, eller fysiske kart over området. I slutten av prosessen diskuteres de ulike alternativene, og settes opp mot hverandre. Her blir fordeler og ulemper med de ulike traséene identifisert, og gir grunnlag for en seleksjon av de beste alternativene. Denne prosessen beskrives av Belyakova til å ta rundt en til to dager.

Videre blir de beste alternativene prosjektert i programmet Novapoint av ingeniører i henhold til håndbøker og prosjektdefinisjonen. Med utgangspunkt i importerte tekniske fagkart, og annen geografisk informasjonsbehandlet data, bygges det opp en grunnlagsmodell av eksisterende situasjon i prosjektområdet. Ut fra kravene i håndbøkene og de tekniske regelverkene kan da ingeniørene manuelt bygge opp hvert alternativ dersom de er gjennomførbare. På denne måten kan urealistiske alternativ lukes ut før ytterligere linjeevalueringer gjøres. Neste steg er å vurdere linjene opp mot prissatte og ikke-prissatte tema, og optimalisere linjeføringene videre ut fra disse. Denne optimaliseringen gjennomføres ved en manuell modifikasjon av linjeføringene i programmet Autocad. Her gjøres det altså en mer detaljert vurdering av hver trasé hvor horisontal- og vertikalkurvaturen til linjeføringene blir endret slik at de er mest optimale ut fra områder den krysser. Kostnad- og CO₂ estimat blir så henholdsvis beregnet i programmene Anslag 4.0 og Excel-regnearket VegLCA for hver linje. På denne måten måten kan prosjektmedlemmene, og ingeniørene, ta en kvantitativ stilling til hver linje og sammenligne de.

2.2 Quantm

Som nevnt i innledningen av denne oppgaven inneholder Quantm en optimaliseringsalgoritme som gjennomfører automatiske søk i henhold til modellen, og dens begrensinger, som er etablert i programmet. Av forretningsmessige årsaker er denne funksjonen til programmet en såkalt *black box*, og er ikke offentliggjort i detalj. Selv om teorien bak algoritmen ikke er oppgitt i programvaredokumentasjonen, finnes det noe informasjon om algoritmens funksjoner i disse.

I de følgende avsnittene vil det derfor bli presentert ulik teori som antas å kunne hjelpe med forståelsen av optimaliseringsalgoritmen, og de automatiserte prosessene i sammenheng med denne. Først en gjennomgang av programvaredokumentasjonen, så en introduksjon til antatt relevant optimaliseringsteori.

2.2.1 Quantms optimaliseringsalgoritme

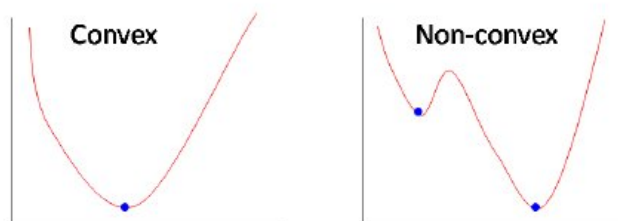
I programmets kurs- og programvareguider fra [Trimble \(2017b,a\)](#) blir optimaliseringsprosessen til Quantm kort forklart. Den beskrives som en todelt prosess. En *unseeded*- og en *seeded* optimalisering. Unseeded optimalisering vil si at programmet søker i hele prosjektområdet, uten å ta utgangspunkt i en linjeføring for å søke etter mulige linjeføringer. Seeded optimalisering er det motsatte, og programmet gjennomfører da søk ut fra en bestemt linjeføring for å oppdage optimaliseringer av denne spesielt. Videre kategoriseres de to delprosessene til henholdsvis en og to søkefunksjoner. Free to Roam (FR) som unseeded, og Exploration (EX)- og Refinement (RF)-optimalisering som seeded.

FR forklares som en søkefunksjon hvor hele studieområdet blir undersøkt, og som med hensyn på terreng, geometri, kostnader og objektdata produserer et utvalg linjer mellom start- og sluttpunktet. Videre defineres EX og RF som en optimaliseringsprosess hvor henholdsvis antall knekkpunkter, og plassering av disse blir prosessert og optimalisert. Utdata fra EX- optimaliseringen er et utvalg linjeføringer, med utgangspunkt i en linje, som har ulikt antall horisontale- og vertikale knekkpunkter. RF-optimaliseringen kan enten produsere et bestemt antall linjer som har både prosessert horisontale- og vertikale knekkpunkter, eller bare de vertikale knekkpunktene. Den sistnevnte metoden å gjøre en RF-optimalisering på blir denotert som en vertikal RF (RFv).

2.2.2 Global optimalisering

Den generelle definisjonen av global optimalisering er hvordan man kan optimalisere et sluttresultat gitt en bestemt situasjon, med bestemte begrensninger. I teorien omhandler dette hvordan man kan bruke forskjellige matematiske definisjoner, og metoder, for å oppnå et optimalisert resultat innenfor et gitt studieområde. [Liberti \(2006, s.211\)](#) beskriver objektivet for en global optimalisering til å være "...å finne en løsningen til et gitt ikke-konvekst matematisk programmeringsproblem", der løsningen skal være gyldig for hele det undersøkte området.

I artikkelen skrevet av [Liberti \(2008\)](#) blir global optimalisering beskrevet som løsningen for modellering av den virkelige verden hvor det i mange tilfeller er flere lokale minimum i det undersøkte området. Artikkelen introduserer flere teknikker av global optimalisering innenfor ikke-konvekse programmering som alle løser definert problemstilling. Forskjellen mellom optimalisering av konvekse og ikke-konvekse problemstillinger kan kort forklares ved den matematiske definisjonen av konvekse og ikke-konvekse funksjoner. Konvekse funksjoner har bare en minimumsverdi, og man vil følgende kunne lett lokalisere det globale optimale punktet, mens lokaliseringen av det globale minimumet for ikke-konvekse funksjoner er mer avansert, se figur 2. I den forstand må de lokale minimumsverdiene sammenlignes for å fastsette den globale minimumsverdien i ikke-konvekse funksjoner. Slik kan det forklares at modellering av den virkelige verden ofte har flere løsninger, men for å finne den globale optimaliserte løsningen må alle ekstremaler sjekkes opp mot hverandre.



Figur 2: Fremstilling av konvekse og ikke-konvekse funksjoner hvor lokale, og globale minimum er representert ved blå prikker ([He et al. 2010, s.7](#)).

Som følge av de komplekse problemstillingene man står ovenfor ved modellering av den virkelige verden, som i seg selv kan ofte fremstilles ved mange ikke-konvekse funksjoner, er behovet for metoder som kan håndtere store datamengder nødvendig. Bruk av algoritmer innenfor global optimalisering kan derfor ses på

som uerstattelig for å kunne håndtere all data på en effektiv, og hensiktsmessig måte. Introduksjonen av datamaskiner for vitenskapelige formål sent på 1950 tallet ble derfor en grobunn for de første metodene brukt i globale optimaliseringer (Liberti 2008).

Det finnes idag en mengde algoritmer som anvender ulike prosesser, og metoder innenfor global optimalisering. I klassifiseringen av disse skiller man ofte mellom deterministiske, og stokastiske prosesser for algoritmene. En deterministisk prosess vil tilsi at utdata fra algoritmen blir fullt og helt bestemt av parameterverdiene, og initialbetingelsene gitt til algoritmen. I håndbok for deterministisk global optimalisering skrevet av Horst & Tuy (1990) blir problemstillingen en standard global optimalisering står ovenfor beskrevet i pseudokoden:

Gitt et ikke-tomt, lukket sett $D \subset R^n$ og en kontinuerlig funksjon $f: A \rightarrow R$, hvor $A \subset R^n$ er et gjennomførbart sett som inneholder D , finn minst et punkt $x^* \in D$ som tilfredstiller $f(x^*) \leq f(x)$ for alle $x \in D$ eller viser at et slikt punkt ikke eksisterer (Horst & Tuy 1990, s. 3).

Med andre ord vil global optimalisering ifølge denne definisjonen finne den verdien i datasettet man undersøker som tilfredstiller de gitte betingelsene, og som samtidig gir den optimale verdien. Man vil minimere undersøkt problemstilling, $f(x)$, slik at punktet, x , er å finne i datasettet D , og er den optimale verdien. Dette kan da ses på som en iterativ prosedyre hvor undersøkt område blir mindre og mindre til man finner den verdien som er best i henhold til betingelsene, og er følgende den mest optimale løsningen.

Utdata fra de stokastiske prosessene i algoritmene tilsvarer da en mer vilkårlig samling data fra de gitte parameterverdiene, og initialbetingelsene. For hvert søk av det undersøkte datasettet, med de samme parameterverdiene og initialbetingelsene, vil man kunne få forskjellige resultat. I kapitlet skrevet av Spall (2012, s.174) om stokastisk optimalisering blir metoden beskrevet som "...en løsning for å håndtere iboende systemstøy og håndtering av modeller eller systemer som er svært ikke-lineære, flerdimensjonale, eller andre forhold som er upassende for klassisk deterministiske optimaliseringsmetoder".

I kapitlet skrevet av Schoen (2002) blir global optimalisering presentert som en to-faset operasjon. Her blir det presentert en teori om at så og si alle globale optimaliseringsalgoritmer består av en global, og en lokal fase. Disse fasene, eller stegene, i optimaliseringen denoteres som en Exploration (EX), og en Refinement (RF) av datasettet. Dette kan henholdsvis forklares som en utforskning-, og en forbedringsfase. I den globale fasen blir det gjennomført et stokastisk søk av definert

data, og utdata blir valgt på grunnlag av en vilkårlig samling av disse. Fra valgte punkt i samlingen kan deterministiske teknikker bli brukt for å lokalt optimalisere datasettet. Med utgangspunkt i at algoritmen ønsker å finne den laveste verdien i det undersøkte datasettet, kan den logiske fremgangsmåten til disse forklares på følgende måte.

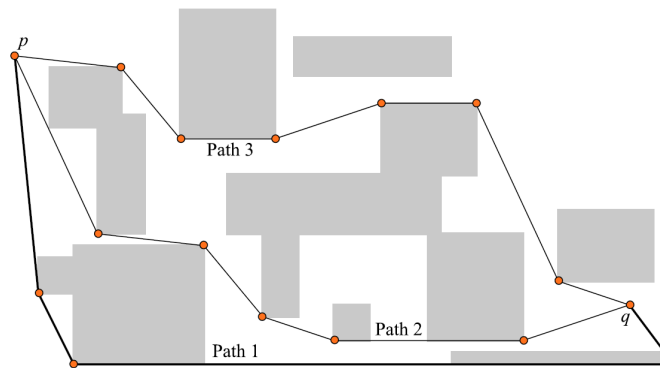
I den globale fasen blir N antall vilkårlige punkter valgt ut fra hele området som blir utforsket. Disse punktene blir lagret, men påvirker ikke seleksjonen av påfølgende punkt i den globale fasen. På denne måten genereres et utvalg av punkter som gir føringer for hvilket datasett den lokale fasen tar utgangspunkt i. Disse punktene gjennomgås så en evaluering i den lokale fasen, hvor algoritmen hele tiden oppdaterer det optimale punktet etterhvert som den oppdager lavere verdier enn de som allerede er gjennomgått. Når hele datasettet er gjennomgått, og det optimale punktet er oppdatert og forbedret undervegs i sekvensen til den lokale fasen, sitter man da igjen med det mest optimale punktet i datasettet. Pseudokode for denne fremgangsmåten er beskrevet av både [Schoen \(2002, s.152-153\)](#) og i artikkelen skrevet av [Gimbutiene & Zilinskas \(2015, s.219\)](#).

2.2.3 Nettverksoptimalisering

Et velkjent problem, som er studert mye opp gjennom tidene, er problemet relatert til beregning av den geometrisk korteste stien mellom to punkt i nettverksoptimalisering. [Mitchell et al. \(2016\)](#) introduserer forskjellige innfallsvinkler til hvordan denne problemstillingen kan løses. I denne artikkelen kommer det frem at resultatet er svært avhengig av hvordan definisjonen av problemstillingen er utformet, og hvilke forutsetninger algoritmene har som skal løse problemet. En del av problemstillingen kan for eksempel være om algoritmene skal løse et 2D, 3D eller multi-dimensjonalt problem, om stien må unngå visse hindringer på veien, eller hvilken usikkerhetsgrad man tolerer i resultatet. Her finnes det mange forutsetninger man må bestemme for å kunne komme frem til optimalt resultat.

”En sti mellom to punkt som er den korteste avstanden er kalt en *Euklidsk korteste sti* (EKS)”[Li & Klette \(2011, s.11,\)](#). Dette blir betegnet som den mest grunnlegende beskrivelsen av overnevnt problemstilling, og er den direkte avstanden mellom koordinatene til punktene. Denne teorien ser derimot bare på hvordan man finner den korteste avstanden mellom to punkter, gitt at det ikke finnes noen kriterier for stien. Metoden kan derimot brukes direkte på et nettverk av punkter for å finne den korteste stien mellom et start- og sluttspunkt. I figur 3 kan man se hvordan tre forskjellige stier er produsert, hvor teori om EKS er brukt mellom punktene på

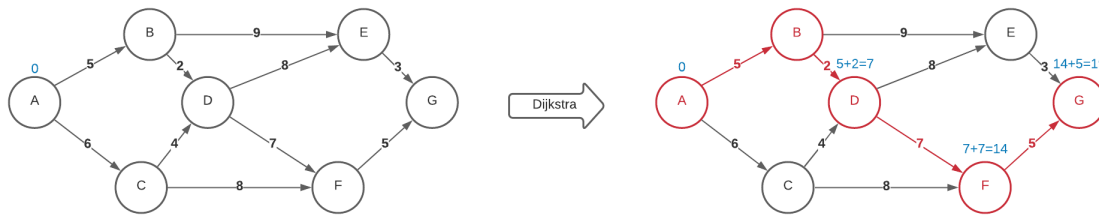
alternativene og gir ut geometrisk korteste sti(er). På grunn av at man i nettverks-optimalisering ofte har flere kriterier forbundet med valg av stien, i tillegg til den korteste geometriske avstanden mellom de to punktene, vil denne grunnleggende teorien ikke løse problemet alene.



Figur 3: Tre stier fra p til q som ikke må gå gjennom de skraverte objektene. Sti 2 og 3 er av lik og minst lengde. (Li & Klette 2011, s.11)

Gen & Cheng (1999) og Madkour et al. (2017) er noen av de som nevner at innen nettverks-optimalisering er problemet med å finne den stien som gir kortest geometrisk avstand, og/eller lavest kostnad er en av de mest vanlige problemstillingene. Derfor har algoritmer som både finner den korteste stien, og billigste stien blitt utviklet og studert mye. Dette problemet har utartet seg til en egen problemstilling i litteraturen og blir denotert til *korteste-sti problemet* (KSP).

Dijkstra's algoritme er en av de første algoritmene som prøvde å løse denne problemstillingen. Denne algoritmen er også et godt utgangspunkt for å forklare teorien bak KSP. I figur 4 kan man se både hvordan et nettverkeksempel ser ut før, og etter at Dijkstra's algoritme har identifisert den korteste stien. Først velges start- og sluttnode. I figuren er disse node A, startnode, og node G, sluttnode. Måten algoritmen identifiserer den korteste stien på er ved å hele tiden sammenligne vekten som er tilegnet stiene mellom *nabonodene*, og den noden søket befinner seg i. Den velger så den stien hvor vekten er minst, og legger til denne verdien i en *vektsum* som kontinuerlig oppdateres under søket. Eksempelvis vil algoritmen velge stien A-B ved første søk da denne har en lavere vekt enn A-C. *Vektsummen* oppdateres da fra sin initielle verdi, 0, til 5 da dette er vekten A-B har. Dette gjøres da helt til søket ender opp i sluttnode.



Figur 4: Skjematisert fremstilling av fremgangsmåten til Dijkstra's algoritme. Punkter, eller noder, i nettverket er representert ved sirkler med bokstaver i midten. Vekten av stien mellom to noder er representert ved tallverdier plassert midt mellom nodene. Pilene er rettet i den retningen søket blir gjennomført. Til venstre er nettverket av punkter i sin *originale* tilstand, mens i høyre del har Dijkstra's algoritme identifisert *korteste sti* representert med de røde nodene og pilene. Summen av vektene på den *korteste stien* er representert fortløpende ovenfor de aktuelle nodene.

For planlegging av infrastruktur, og flere andre fagområder, kommer det derimot inn flere avgjørende kriterier som påvirker valget av den optimale stien. [Gen & Cheng \(1999\)](#) hevder at et samlet sett med tilstøtende stier som er "Pareto optimale" kan løse dette. Problemstillingen er gjennomgått i flere arbeid, og [Henig \(1986, s.281\)](#) sier at: "En vanlig tilnærming er å generere sett med ikke-dominerende (Pareto) stier, slik at beslutningstakeren kan anvende sin bruksfunksjon for å finne den optimale stien blant dem". Kompleksiteten av algoritmen øker altså jo flere kriterier den, og det predefinerte nettverket, inneholder. I den forstand må algoritmen gjøre avveininger av nettverket ut fra inndata, og prioriteringer av de forskjellige kriteriene.

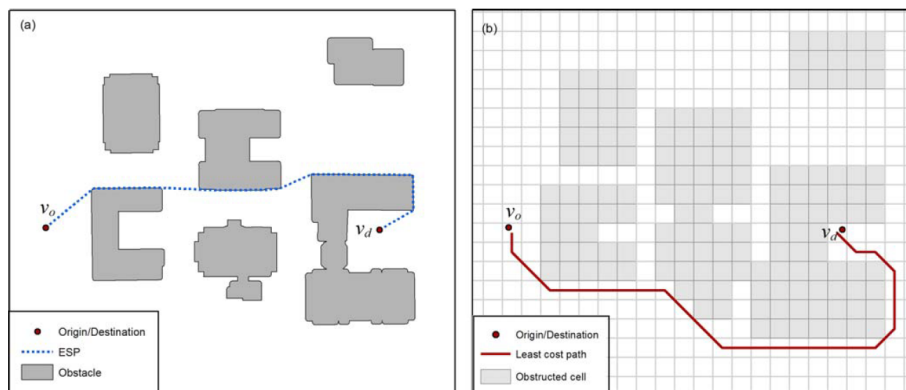
Til nå har teoridelen om nettverksoptimalisering tatt for seg vektorbaserte teknikker, og metoder, for å løse KSP. [Hong & Murray \(2016\)](#) hevder at dette todelt problemet kan splittes i to når det kommer til bruk av GIS (geografiske informasjonssystemer) som inndata for nettverket. For å finne den geometrisk korteste stien som unngår bestemte objekter mellom start- og slutt punkt brukes vektorbaserte metoder. For å bestemme hvilken sti som koster minst brukes rasterbaserte metoder.

Vektor: Effektiviteten av stien blir målt i distanse. Jo kortere, jo mer effektivt.

Raster: Effektiviteten av stien blir målt i kostnad. Jo mindre kostbar, jo mer effektivt.

GIS som er basert på rasterteknologi er splittet opp i et bestemt antall celler, hvor alle cellene innehar geografisk informasjon som er relevant for kartleggingen av det bestemte nettverket. På denne måten kan cellene, i tillegg til den geografiske informasjonen, bli tilegnet data som for eksempel kostnad for at en sti skal krysse bestemte celler. I figur 5 blir de to innfallsvinklene satt opp mot hverandre.

I planlegging av linjeføringer for infrastruktur blir denne muligheten til å tilegne celler, eller områder, kostnader av ulik grad svært viktig. I stedet for å bare kunne innføre områder linjen må unngå, som er tilfelle for vektorbasert metode, kan det legges inn *motstand* av ulik grad for linjeføringen i området. Dermed vil man kunne opprette et sammenligningsgrunnlag mellom forskjellige linjer mellom start- og sluttpunkt.



Figur 5: Utledning av korteste sti: (a) vektorbasert tilnærming; og (b) rasterbasert tilnærming. (Hong & Murray 2016, s.571)

Yu et al. (2003) presenterer en algoritme, *Smart Terreng (ST) algoritmen*, som er designet med det spesifikke målet om å finne den minst kostbare linjeføringen i vei-planlegging ved bruk av rasterdata. I algoritmen tas det hensyn til både avstander, anisotrope kostnader og implementering av broer og tunneler på linjeføringene. Med grunnlag i en digital elevasjonsmodell (DEM) i rasterformat over et geografisk område, klarer algoritmen å hente ut informasjon fra de forskjellige cellene for å opprette den minst kostbare linjeføringen. For å akkumulere kostnadene langs

linjeføringen tas det utgangspunkt i metoden beskrevet i Dijkstra's algoritme.

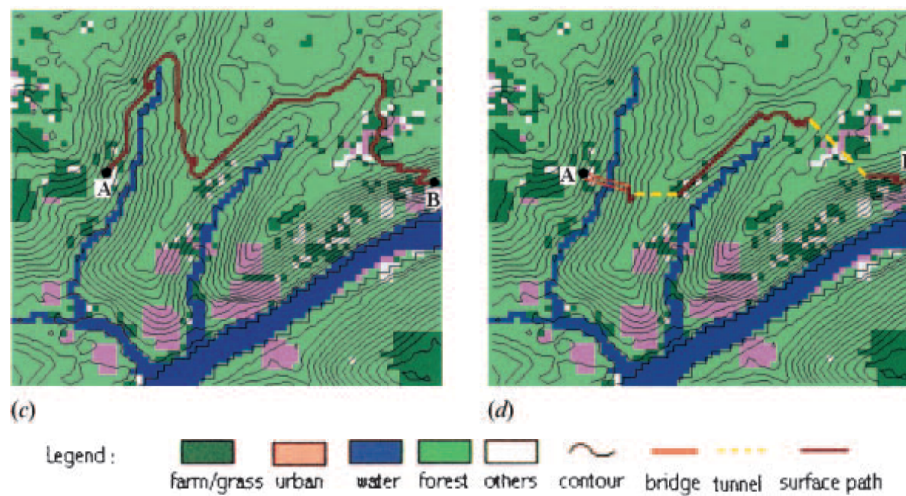
Med anisotrope kostnader menes det at siden helning, og lengde mellom naboceller ikke er det samme i alle retninger i den virkelige verden, så må kostnadene beregnes ut fra *ekte* lengde og helning i rommet mellom cellene. Dette kan enkelt forklares med at overflatecellene i en DEM representerer topografien til et gitt geografisk område. I de fleste tilfeller vil ikke topografien representeres av en 2D flate, der alle celler er på samme høyde, men heller en 3D flate hvor høyde på cellene varierer. Ved å da innføre høyere kostnader for relasjonen mellom celler med mye helning, vil en da også skape mer friksjon ved valg av disse stivalgene, og man kan sette begrensinger for hvor mye stigning veien kan ha.

Siden de relasjonene i Dijkstra's metode som blir undersøkt bare er mellom naboceller, innfører også Yu et al. en metode kalt *konturering* for å bestemme hvor det må legges broer eller tunneler. I denne metoden tar algoritmen utgangspunkt i at broer og tunneler er så og si horisontale, altså samme elevasjon langs hele lengden, og plasserer de mellom en start- og sluttcelle med samme elevasjon. I figur 6 er det vist skjematisk hvordan algoritmen identifiserer celler med samme elevasjon som startcellen, og klarer å skille disse fra celler med stort avvik fra denne elevasjonen. Ved å da opprette en konturlinje langs disse cellene, og kartlegge hvor denne krysser en referanselinje med gitt retning, kan algoritmen plassere bro eller tunnel mellom to *ikke-naboceller* som har samme elevasjon. I tillegg sjekker den om helningen mellom nabocellene, og start- og sluttcellene tilsier at det skal legges en bro, eller tunnel mellom cellene. I figuren blir *AC* tilegnet en tunnel, helning større enn 0, og *CD* en bro, helning mindre enn 0.

991	998	999	1000	993	990	989	1002
990	1000	1010	1008	998	992	986	1001
997	1003	1009	1011	1000	992	987	1003
A		B		C			D
1000	1006	1022	1015	1003	996	985	1000
999	1007	1025	1017	1005	998	990	1002
998	1005	1030	1020	1010	1001	1002	1005

Figur 6: En konturlinje for å bestemme broer og tunneler. (Yu et al. 2003, s.367)

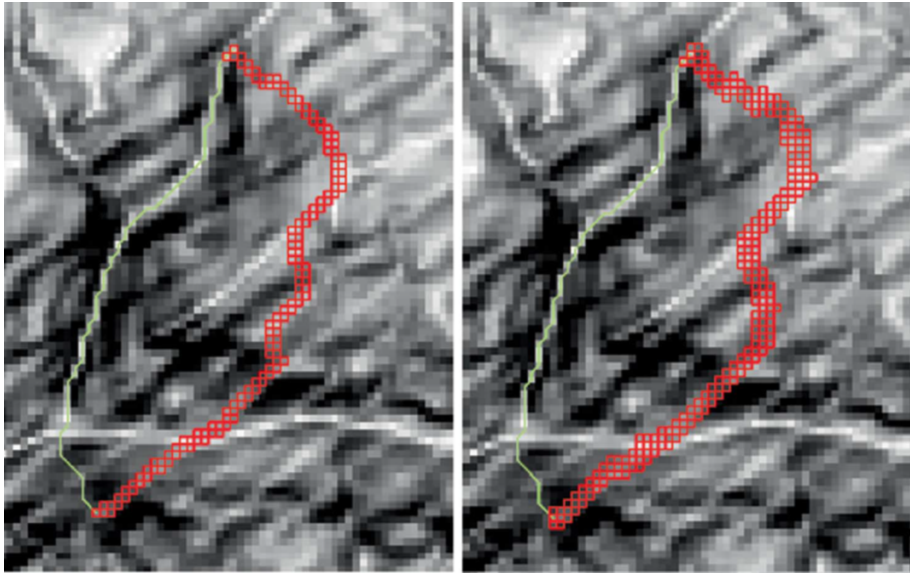
I oppbyggingen av algoritmen defineres det også forskjellige alternativ for hvilke celler som anses som naboceller. De tre alternativene som nevnes baseres på tidligere definisjoner gjort av blant andre [Goodchild \(1977\)](#). Disse er *Tårnets mønster* (4-celler), *Dronningens mønster* (8-celler) og *Ridderens mønster* (16-celler). Alle disse mønstrene er basert på sjakkbrikker, og deres trekkmuligheter. Grunnen til at disse defineres er at når omfanget av søkområdet til algoritmen økes vil den kunne oppdage andre muligheter som ikke ble oppdaget ved et mindre søkeområde. I figur 7 kan man se hvordan resultatene endrer seg når *nabocellemønster*, anisotropi, helningsintervall, samt bruk av broer og tunneler varierer.



Figur 7: De minst kostbare linjene gitt forskjellige betingelser til ST algoritmen: (c) *Dronningens* anisotrope sti uten bro/tunnel; og (d) *Dronningens*-og *Ridderens* anisotrope sti med bro/tunnel. ([Yu et al. 2003](#), s.371)

[Gonçalves \(2010\)](#) identifiserer en utvidelse av ST algoritmen, og lignende algoritmer, som kan mer presist gjengi den akkumulerte kostnaden av en linjeføring. Siden algoritmen kun produserer en sti av enkeltceller gjennom det rasterbaserte terrenget, er det nødvendig å utvide denne til å håndtere bredden på konstruksjonen. Måten dette blir gjort på er ved å tilegne hver celle en verdi, som for eksempel elevasjon, og utvide algoritmen slik at den søker etter de områdene som gir minst motstand. Altså i stedet for å søke etter den nabocellen som gir minst motstand, så defineres et sett celler med bestemt bredde som søker i landskapet etter den stien i landskapet som gir minst akkumulert motstand fra grupper av celler. Dette fører til at den minst kostbare linjeføringen mellom et start- og slutt punkt kan variere etter

hvilken bredde som blir definert for konstruksjonen. I figur 8 kan man se hvordan Gonçalves' utvidelse i praksis fører til en endring av minst kostbare linjeføring.



Figur 8: Sammenligning av en 1-celle bred sti (grønn) med 2-celle og 3-celle-brede stier (rød) med samme start- og sluttspunkt. Mørkere toner representerer høyere verdi i kostnadsoverflaten. (Gonçalves 2010, s.994)

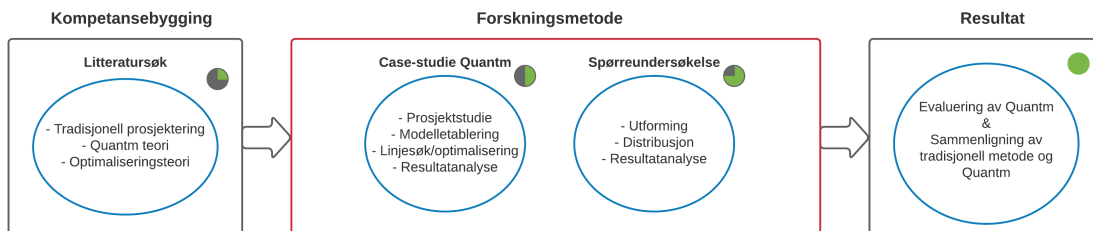
Skjæring og fylling er viktige faktorer når en ny vei eller jernbane skal planlegges. Gitt ulike begrensninger og krav til konstruksjonen, må ofte terrenget modifieres slik at disse kan bli møtt. Dette gjøres da ofte enten ved å fylle igjen, eller lage skjæringer i terrenget. Baek & Choi (2017) presenterer i tråd med dette en algoritme som med hensyn på skjæring og fylling skal finne den minst kostbare linjeføringen ved bruk av rasterdata. Der algoritmene ovenfor bare beregner akkumulert kostnad ved å krysse modellen, gitt ulike kostnader for cellene, vurderer denne også kostnaden ved å gjøre inngrep. På den måten vil den minst kostbare linjeføringen da være den som både tar hensyn til kostnaden relatert til kryssing, samt massebalansen. Algoritmen søker i terrenget på samme måte som ST algoritmen, en celle om gangen, og benytter seg også av Dijkstra's algoritme for å beregne akkumulert reisekostnad. Kostnaden av skjæring og fylling blir beregnet ut fra volumet av cellene som må modifieres, gitt helningen mellom de ulike start- og sluttnodene i søket. Baek & Choi understreker også signifikansen som søkeområdet til algoritmen, samt modellens oppløsning, har på sluttresultatet i en GIS modell. Ved å sette

en begrensning for hvilken helning linjeføringen kan ha, vil en endring av søkeområdet og/eller oppløsningen føre til ulike resultat.

I reelle infrastrukturprosjekt er det ofte flere kriterier som må vurderes i tillegg til de geometriske begrensningene, og de direkte kostnadene av konstruksjonen. Det er en såkalt *multikriterie*-problemstilling. Effat & Hassan (2013) bruker i sin studie en tilnærming hvor både miljømessige, og ingeniørmessige faktorer blir vurdert i en multikriterie-analyse for å finne den minst kostbare linjeføringen mellom tre byer på Sinaihalvøya. Dette blir gjort ved å først opprette en geografisk database i programmet ArcGIS. I denne er DEM av området, samt GIS data av geologi, naturmiljø, arkeologi, og topografi importert som individuelle lag. Hvert lag i modellen er så klassifisert med en kostnadsoverflate som skal gjenspeile motstanden for å gjøre inngrep i området mellom byene. Kostnadensoverflatene er rangert ut fra karakteren til de ulike områdene, og objektene, gitt informasjon i de respektive lagene. For eksempel så gis områder hvor det forekommer geologiske forkastninger en høy kostnad, da det er uønsket å legge linjeføringen på tvers av disse. Effat & Hassan deler modellen inn i miljømessige og ingeniørmessige kostnader, og gir hver kostnadskategori i disse en individuell vekt. På denne måten er friksjonen, eller motstanden, av hver kategori standardisert, slik at kostnaden av de ulike lagene kan kombineres til en samlet vurdering. Denne multikriterie-vurderingen blir gjennomført i beslutningsstøtteprogrammet DEFINITE. Resultatet av denne prosessen er da en linjeføring mellom de tre byene som er minst kostbar i henhold til miljømessige, og ingeniørmessige faktorer.

3 Metode

For å besvare forskningsspørsmålene stilt i denne oppgaven har det blitt tatt utgangspunkt i en todelt forskningsmetode, se figur 9. Først og fremst ble det gjennomført en case-studie av Quantm. Her ble programmet brukt i et ekte prosjekt, E16 og Vossebanen, for å undersøke og gjøre en direkte evaluering av Quantm som linjevalgsmetode. På grunn av denne vinklingen ble det derfor gjennomført en datainnsamling, og kartlegging av dette prosjektet for å identifisere viktige elementer til modelletableringen i Quantm. I tillegg til denne direkte studien ble det også gjennomført en indirekte forskning av programmets metode og resultat. Dette kom i form av en spørreundersøkelse hvor erfarne brukere av Quantm fikk mulighet til å svare på spørsmål om forskjellige aspekt rundt programmet. Denne forskningsmetoden skal i kombinasjon med kompetansebyggingen gi grunnlag for en kvalitativ, og til dels kvantitativ evaluering av Quantm som erstatning for tradisjonelle linjevalgsmetoder. Den metodiske gjennomføringen i denne oppgaven er presentert kategorisk under. Forarbeidet til metodevalg ble gjort i tidligere arbeid, prosjektoppgave, samt utarbeidet underveis i arbeidsprosessen.



Figur 9: Metode for å svare på forskningsspørsmålene i denne oppgaven. Forskningsmetoden er markert med rødt da det er denne delen som gir grunnlag for resultater, og er relevant for dette kapittelet.

3.1 Datainnsamling fra E16 og Vossebanen

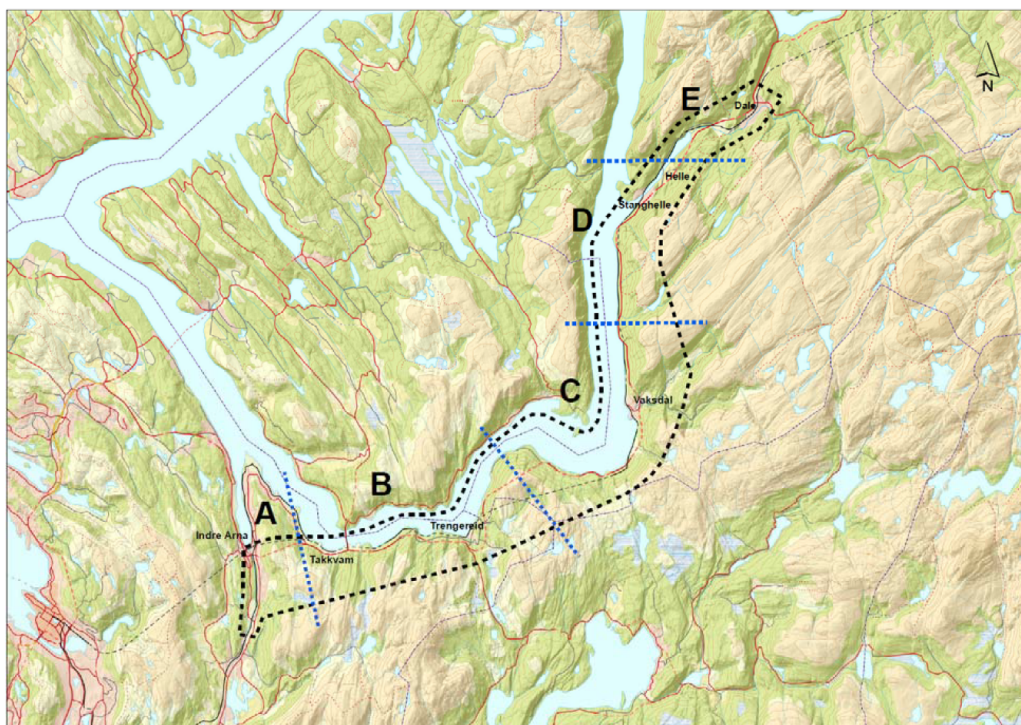
Tidlig i arbeidsprosessen ble det gjennomført avklaringsmøter med prosjektmedlemmer fra E16 og Vossebanen. På grunnlag av prosjektets art, organisatorisk oppbygging, og i tillegg til noe udefinert problemstilling ble både medlemmer fra tidlige faser og nåværende fase i prosjektet kontaktet. I disse møtene ble det innhentet råd om prosjektlitteratur som kunne være av interesse for oppgaven, avgrensning av studieområde, samt kontaktinformasjon til personer som kunne bistå i innhenting av teknisk data til oppgaven, se tabell 1.

Tabell 1: Teknisk data, informasjon og råd som var av interesse fra prosjektet ble delvis identifisert i prosjektoppgaven, samt oppdatert underveis.

Problemstilling	Svar
Koordinatsystem brukt i prosjekteringen.	EUREF89 NTM-sone 5, NN2000.
Valg av delstrekning, Arna-Trengereid eller Trengereid-Vaksdal.	Trengereid-Vaksdal.
Prosjekterte linjeføringer i CAD format av prosjektet.	Sendt over .dxf av senterlinjer for strekningen Arna-Stanghelle. En for hver alternative stasjonsplassering ved Vaksdal, B1 og B2.
Digital terrengmodell (DTM) over valgt delstrekning.	Sendt over terrengmodell for delstrekning C, Trengereid-Vaksdal.
Koordinater og bæring til start- og slutt punkt for valgt delstrekning.	Koordinater for punkt i dagen ved Trengereid, og de to alternative stasjonsplasseringene på Vaksdal sendt over. Bæring for punkt i dagen ved Trengereid også sendt over.
Kostnadsspesifikk data om prosjektet.	Ikke sendt over da dette var sensitiv informasjon mtp. anbudsrunde som skulle ta sted i samme periode som utarbeidelse av denne oppgaven.
Oversikt over tversnitt- og geometrialer brukt i prosjektet.	Tilgjengelig i offentlig prosjektdokumentasjon.

3.2 Kartlegging av valgt delstrekning

I forkant, og underveis, av modelletablering i Quantm ble det gjennomført en studie av delstrekningen Trengereid-Vaksdal. Dette ble gjort for å vurdere hvilken data som var relevant for modellen i prosjektet. Under vil derfor en oversikt over prosjektområdet bli presentert, samt et utvalg av de observasjonene som er gjort av den valgte delstrekningen. Fra silingsrapporten skrevet av [Jernbanedirektoratet & Statens vegvesen \(2017\)](#) kommer det frem at prosjektområdet er delt inn i fem deler, se figur 10. Av disse ble arbeid gjort i henhold til delstrekning B og C identifisert som relevant for denne oppgaven. På delstrekning B ble elleve alternativ for vegavvikling silt i to runder i henhold til en jernbanetrasé. På delstrekning C ble 15 alternativ for vegavvikling silt i to runder i henhold til to alternative jernbanetraséer. Disse to jernbanetraséene, på delstrekning C, er henholdsvis koblet til de to alternative stasjonsplasseringene på Vaksdal, B1 og B2.



Figur 10: Oversikt over delstrekninger i silingsarbeidet for E16 og Vossebanen. Valgt delstrekning i dette case-studiet, Trengereid-Vaksdal, starter i delstrekning B, og slutter i delstrekning C. ([Jernbanedirektoratet & Statens vegvesen 2017](#), s.32)

3.2.1 Eksisterende infrastruktur

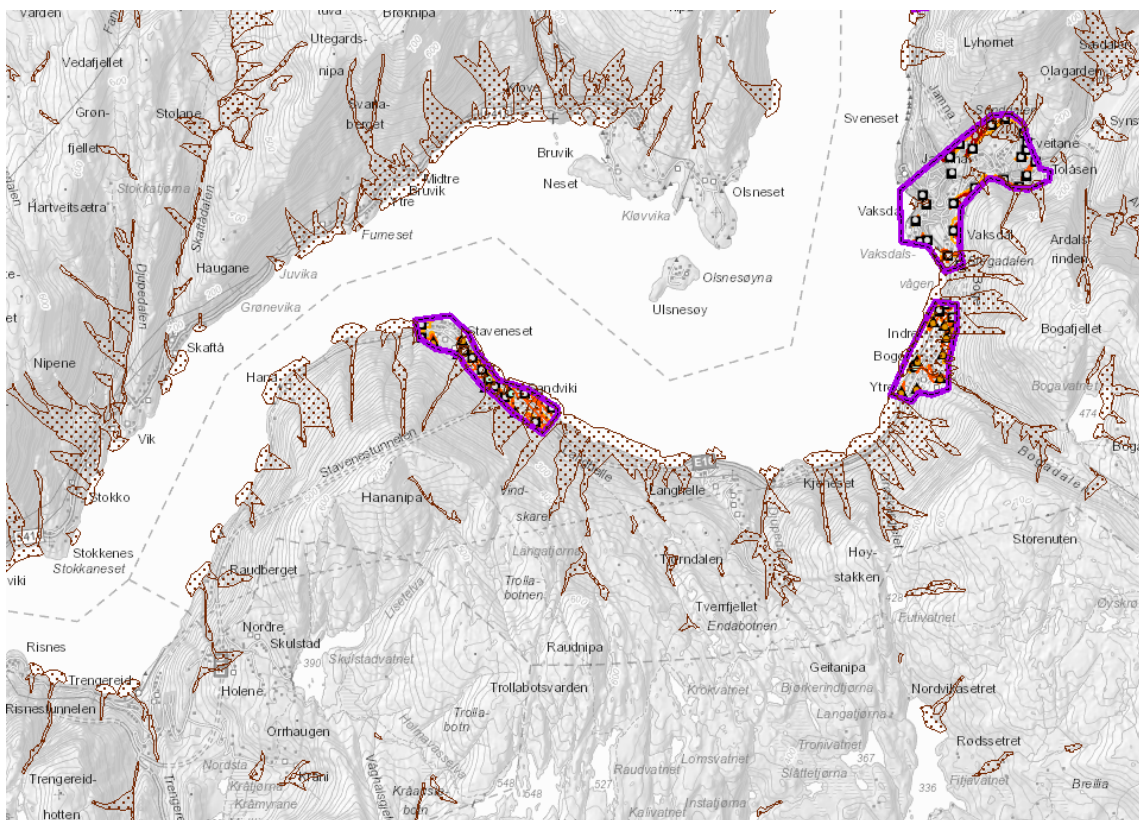
Et viktig element i prosjekteringen av E16 og Vossebanen er tilnærmingen til den eksisterende infrastrukturen, se figur 12. Som nevnt i begrunnelsen til konseptvalget fra [Bane NOR & Statens vegvesen \(2014\)](#), ble det sett som fortrinnsmessig å prosjektere ny trasé adskilt fra eksisterende veg og bane. Dette for å unngå samfunnsøkonomiske tap som følge av nedetid på transportåren under bygging av ny trasé.



Figur 11: Eksisterende bane og veg mellom Trengereid og Vaksdal. Tynn gråstiplet linje er Bergensbanen, mens tykk oransje linje er E16 i dagens trasé. (Kilde: vegkart.no)

3.2.2 Skredfare

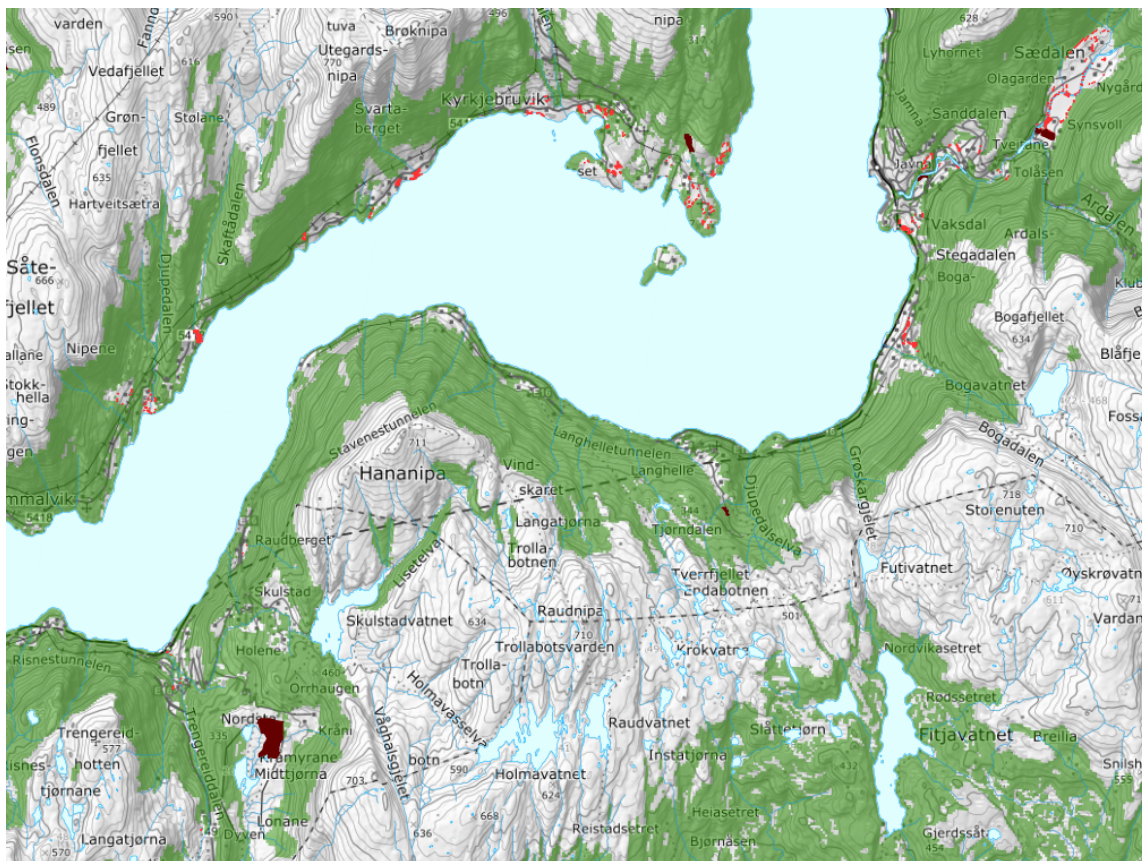
Et annet viktig element i prosjekteringen, om ikke det viktigste, er skredfaren på strekningen. [Bane NOR & Statens vegvesen \(2014\)](#) oppgir skredfaren som en av de utløsende faktorene for prosjektets oppstart. I figur kan man se hvordan skredfaresoner, og potensielle skredfaresoner som preger landskapet i stor grad ble kartlagt.



Figur 12: Skredfaresoner med registrerte 100-, 500-, og/eller 1000års skred er presentert ved de lilla sonene. Potensielle skredfaresoner er vist med røde felt og prikker. (Kilde: temakart.nve.no)

3.2.3 Naturmangfold

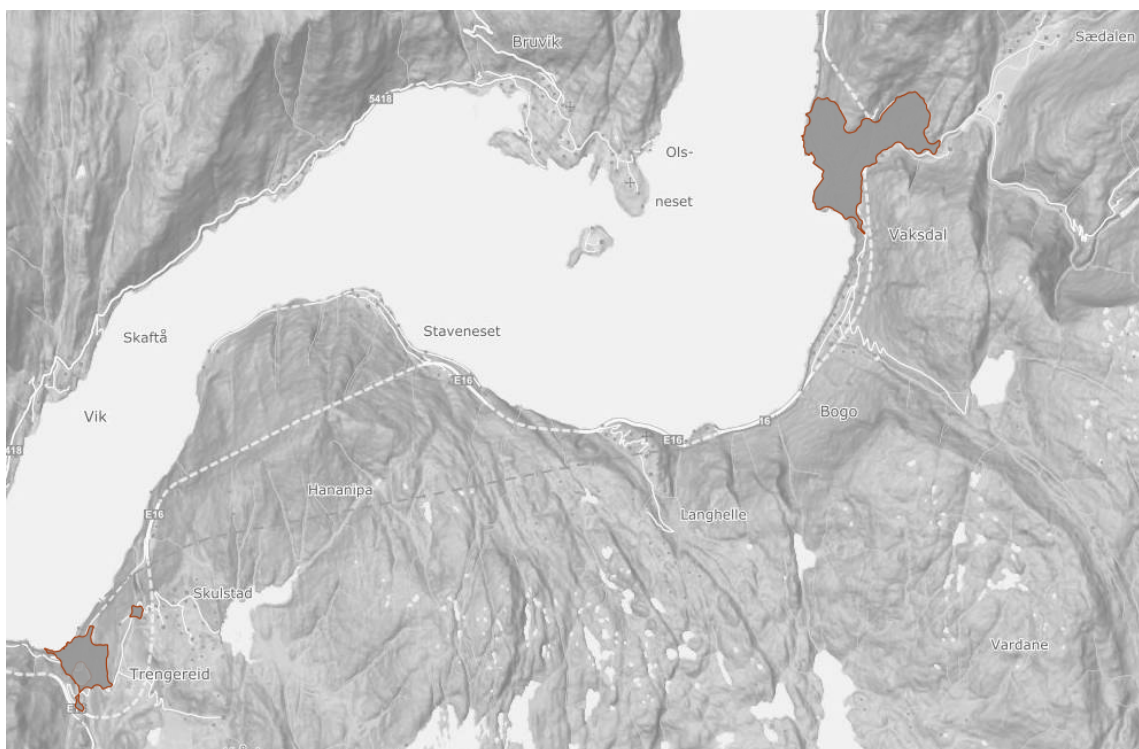
I alle samferdselsprosjekt vil grad av inngrep i naturen være av stor interesse. I figur 13 er det vist ulike naturtyper, samt dyrket mark på strekningen som kunne bli affisert av ny trasé. Skog, vann, og elver er alle gjennomgående naturtyper på strekningen, og å vurdere disse i prosjekteringen var derfor svært viktig for å forstå omfanget prosjektet har på naturlandskapet. Dyrket mark som naturressurs ble også identifisert som en viktig faktor på deler av strekningen, og ble tatt med for videre vurdering.



Figur 13: Ulike naturtyper, samt dyrket mark er vist med forskjellige fargekoder. Fargekodene representerer; grønn=skog, rød=dyrket mark, lyseblå=vann og elver. (Kilde: kilden.nibio.no)

3.2.4 Bebyggelse

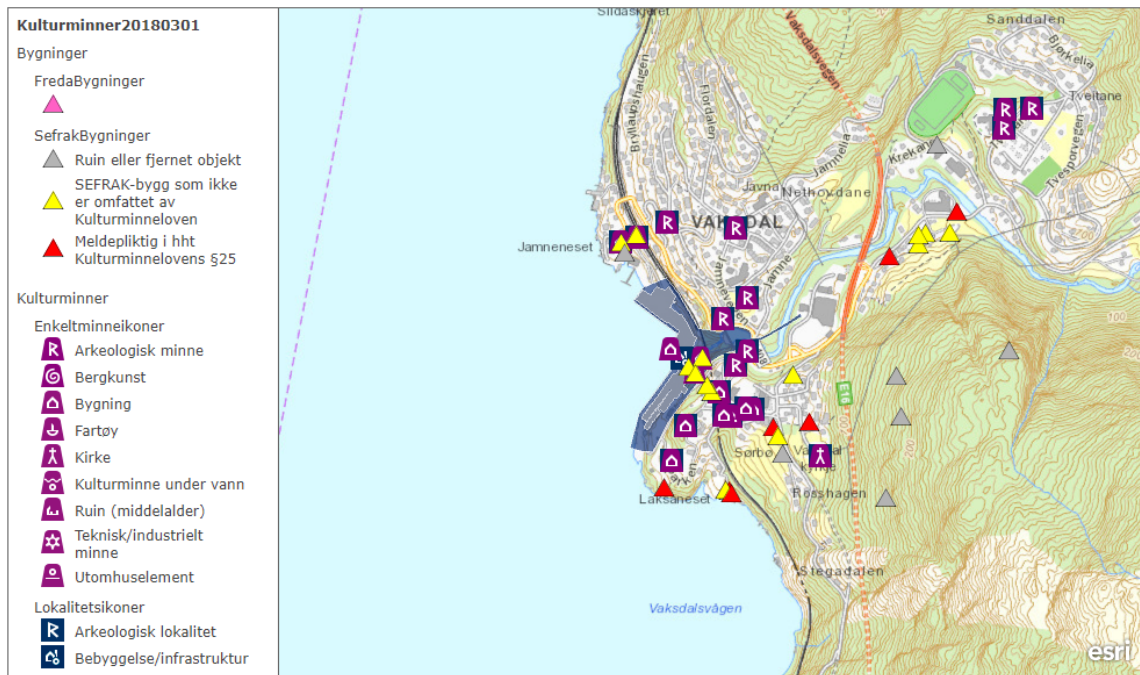
Bebyggelsen langs strekningen ble i hovedsak lokalisert rundt tettstedene ved start- og sluttpunktet, Trengereid og Vaksdal. I figur 14 er omfanget av disse tettstedene vist i sammenheng med prosjektområdet. Annen bebyggelse som var verdt å ta med videre i vurderingen, var bosetningen på Bogo.



Figur 14: Tettsteder som ble observert i prosjektområdet. (Kilde: kart.ssb.no)

3.2.5 Spesielle lokaliteter

Kulturminner, gravplasser og sportidrettsplasser er alle eksempel på ulike stedstyper, eller lokaliteter, som må tas spesielle hensyn til under prosjekteringen. For den aktuelle strekningen ble det observert i hovedsak slike lokaliteter i assosiasjon med bebyggelsen på Vaksdal. I figur 15 er disse lokalitetene vist i et kartutsnitt av området. For resten av strekningen ble det i hovedsak observert et fåtall bygninger som er meldepliktig i henhold til kulturminnelovens §25 ved bosetningen på Bogo.



Figur 15: Kartutsnitt av kulturminner, og andre spesielle lokaliteter på Vaksdal. Grønne felt oppe til høyre er henholdsvis en sportidrettsplass, og en gravplass. (Kilde: riksantikvaren.maps.arcgis.com)

3.3 Quantm

Under vil metoden som ble brukt for å etablere modell, og produsere linjeføringer mellom Trengereid og Vaksdal i Quantm bli presentert. Denne metoden ble brukt for å evaluere prosedyren Quantm anvender i prosjektering av linjeføringer i infrastrukturprosjekt.

3.3.1 Modelletablering i Quantm

For å etablere en modell i Quantm finnes det mange ulike innfallsvinkler, og metoder som kan bli benyttet. [Ervesvåg & Hedly \(2017\)](#), [Slinning & Kvamme \(2020\)](#) og [Belyakova \(2020\)](#) beskriver i sine respektive studier hver sin metodiske fremgangsmåte for hvordan deres modell ble etablert. For denne oppgaven ble det tatt utgangspunkt i disse, samt undersøkt metode i prosjektoppgaven. Siden hvert infrastrukturprosjekt har sin individuelle karakteristik og problemstilling, skiller modelletableringen i denne oppgaven seg noe fra de tidligere studiene. Den største forskjellen mellom denne oppgaven, og tidligere studier er at det ble undersøkt en ny metode for databehandling mellom Quantm og Quadri. Både den nye metoden hvor en direkte kobling mellom Quantm og Quadri ble undersøkt (Alternativ 1), samt den *tradisjonelle* metoden hvor en tredjeparts programvare, Sosicon, blir benyttet (Alternativ 2).

På grunnlag av at det i denne oppgaven undersøkes for to forskjellige sluttpunkter, alternative stasjonsplasseringer, ved Vaksdal ble det også opprettet to scenario for delstrekningen. Et scenario der stasjonsplassering B1 var sluttpunkt, og et der B2 var sluttpunkt. Begge scenarioene inneholdt samme grunnlagsdata (DTM, ortofoto, GIS data, og katalogdata), men hadde individuelle start- og sluttpunkt. For produksjon av DTM og ortofoto ble programmene *Google Earth Pro* og *Global Mapper* benyttet. Først ble det tegnet et polygon i *Google Earth Pro* som dekte valgt delstrekning. Dette polygonet ble så importert til *Global Mapper*, og koblet opp mot en database som produserte en terrengmodell og ortofoto innenfor valgt polygon. Disse filene ble hentet ut i referansesystemet EUREF89 NTM-sone 5, NN2000.

For å sammenligne traséen fra prosjektet med linjeføringene produsert av Quantm, ble senterlinjene til de to scenarioene importert i Quantm. Senterlinjene som ble sendt var derimot for hele strekningen Arna - Stanghelle, og måtte derfor kuttes ned. Disse ble dermed behandlet i programmet Autocad ved å avgrense de til koordinater som omtrent stemte overens med koordinatene ved Trengereid, samt de alternative stasjonsplasseringene på Vaksdal. Begge senterlinjene ble kortet ned, og ble utgangspunkt for hvert sitt scenario i Quantm. Koordinatene til start- og sluttpunktene i de to scenarioene ble da satt til å være start og slutt av de to linje-

segmentene. Bæring og stigning i punktene ble fastslått med enkel trigonometri ut fra koordinatene til start- og sluttpunktene, og de nærliggende punktene på senterlinjene.

GIS data ble i hovedsak lastet ned fra kartkatalogene til *Geonorge* og *NVE*. Disse ble lastet ned i SOSI format, og var kun tilgjengelig i kartprojeksjonen EUREF89 UTM-sone 32. Relevansen av ulike GIS data ble bestemt på grunnlag av den gjennomførte kartleggingen som foregikk før, og underveis av modelletableringen. Siden Quantm ikke tar inn SOSI filer direkte, så måtte disse behandles på en måte slik at informasjonen i filene kunne importeres inn i Quantm-modellen. I tillegg måtte disse filene transformeres til riktig referansesystem; EUREF89 NTM-sone 5, NN2000. Dette ble først gjort ved å importere filene inn i Quadri. Etter at alle filene var importert i Quadri, og transformert ved hjelp av konverteringsregler ble de to metodene, Alternativ 1 og 2, for databehandling anvendt og evaluert. Da relevant GIS data var kommet på plass i Quantm modellen, så ble kostnadsspesifikk data (NOK og CO₂) og geometriske parametre importert via en katalog fra utviklerfirmaet, Trimble.

Når all ekstern data var importert i modellen til de to scenarioene, ble det gjennomført ulike manuelle modifikasjoner av modellen. Først og fremst omhandlet dette å oppdatere modellen med informasjon som av ulike grunner ikke var inkludert i importert GIS- og katalogdata. Dette kunne for eksempel være soner av spesiell interesse som manglet, eller informasjon om kostnader som måtte legges inn manuelt. Det neste steget var å etablere hvilke attributter de ulike objektene, inkludert GIS-lagene, i modellen skulle ha. Attributtene var i første rekke avhengig av hvilken objekttype og sonetype de ble tilegnet ved import, eller manuell opprettelse. I denne operasjonen ble også kostnadsspesifikk data linket opp mot GIS-lag, og objekter som ble ansett til å beskrive kostnadsgraden i de ulike områdene. For eksempel så ble importert GIS data om sportidrettsplasser koblet opp mot kostnadsdata i katalogen med samme navn. Til slutt ble modellen også linket opp mot universelle regler for hele modellen. Her ble viktige parametre som tverrsnitt for konstruksjonen ut fra dimensjonerende fart, og grenser for når tunnel og broer skulle bli introdusert i linjeføringene.

3.3.2 Linjesøk og optimalisering

Etter at modellene for de to scenarioene hadde blitt opprettet, ble det gjennomført linjesøk og optimalisering ved hjelp av søkefunksjonene til Quantm. For hver av de ble det gjennomført FR-, EX-, RF-, RFv-søk og manuelle optimaliseringer som førte

til to anbefalte linjeføringer. En som var antatt best egnet i scenario B1, og en som var antatt best egnet i scenario B2. Denne prosessen gikk mest ut på å vurdere de ulike linjene fra søkerne, og resonere seg frem til hvilken linje som skulle optimaliseres videre og til slutt anbefales ut fra kostnader og andre faktorer. Til slutt ble disse anbefalte linjene sammenlignet med hverandre, og senterlinjene som hadde blitt modifisert i modelletableringen.

3.4 Spørreundersøkelse

I tillegg til den direkte undersøkelsen av programmet, ble det opprettet en anonym spørreundersøkelse om Quantm. Denne skulle benyttes som en brukerundersøkelse for å kartlegge erfaringer og meninger om Quantm i bransjen. Mer spesifikt skulle det gi en indikasjon på hvordan erfarne brukere vurderte, og sidestilte programmet i forhold til tradisjonelle metoder. Nedenfor blir valg gjort i utforming og distribusjon presentert.

3.4.1 Utforming

Spørreundersøkelsen ble utformet som et nettbasert spørreskjema i tjenesten *Nettskjema* som er levert av Universitet i Oslo. Skjemaet ble delt inn i fire deler. Først ble det innhentet informasjon om erfaringsnivå respondentene hadde om programmet. Her måtte de oppgi antall år og prosjekter, samt hvilken type prosjekter, de hadde brukt Quantm i. Den neste delen gav respondenten mulighet til å evaluere programmet. Her måtte de først svare på i hvilke grad de følte at Quantm bidrog til ulike aspekter i prosjekteringsarbeidet. Dette gav også respondentene en indikasjon på hvilke elementer som var viktig å vurdere i svaravgivelsen til de neste spørsmålene. De neste spørsmålene spurte nemlig om generell tilfredshet av programmet som helhet-, og fra resultatene. Hvert spørsmål hadde svaralternativ på en skala fra 1-10, og et åpent kommentarfelt for begrunnelse. Dette ble gjort for å hente inn kvantitativ og kvalitativ data om programvarens popularitet blant brukerne. I den tredje delen av skjemaet ble det undersøkt hvilke kunnskaper deltagerne hadde om optimaliseringsalgoritmen til Quantm, og om de eventuelt kunne tenkt seg å lære mer om den. Dette ble gjort for å understreke, eller avfeie, relevansen til litteraturstudiet som ble gjort i denne oppgaven. Den fjerde, og siste delen tok for seg en direkte sammenligning av tradisjonell metode for søk etter linjeføringer, og Quantm. Dette var en frivillig del av undersøkelsen siden den var avhengig av at respondenten hadde erfaring med begge metodene. Her ble det stilt både spørsmål med langsvart om metodenes fordeler og ulemper, samt kvantifiserbare spørsmål som satte metodene direkte opp mot hverandre. Disse kvantifiserbare spørsmålene

skulle gjøre det mulig å statistisk sammenligne metodene.

Spørreundersøkelsen ble utformet med anonym svardeltagelse da det ble vurdert som unødvendig å hente inn personinformasjon om respondentene, og organisatorisk arbeid som ville fulgt med dette. Den ble i bunn og grunn utformet som et resultat av mangel på kvantitativ data i sammenligningen av metodene.

3.4.2 Distribusjon

I første omgang ble skjemaet distribuert som en pilotundersøkelse til veileder fra NTNU, samt en professor med kunnskap om programmet og oppgavens problemstilling. Dette ble gjort for å oppdage, og utføre endringer på undersøkelsen før den ble distribuert til relevante deltagere. Den ferdig redigerte undersøkelsen ble i hovedsak distribuert gjennom kontaktperson i Trimble, som videresendte linken til det nettbaserte spørreskjemaet til respondenter i målgruppen. Disse ble i tillegg oppfordret til å videresende linken dersom de mente at andre også ville være aktuelle deltagere. Dette førte til 13 relevante svar mellom 5. mars og 6. april.

3.4.3 Analyse

For analysen av de innhentede svarene ble det tatt utgangspunkt i en *web-rapport* som Nettskjema produserte. Denne inneholdt aggregerte statistiske verdier, samt fritekst fra spørsmålene med langsvar som ble brukt til en enkel kvantitativ og kvalitativ vurdering av temaene i undersøkelsen. Denne rapporten kan ses i sin helhet i Appendiks 1. I tillegg ble det hentet ut et Excel-ark med de individuelle svarene for å kunne sette avgitte svar i kontekst til hverandre.

4 Resultater & Diskusjon

4.1 Spørreundersøkelse

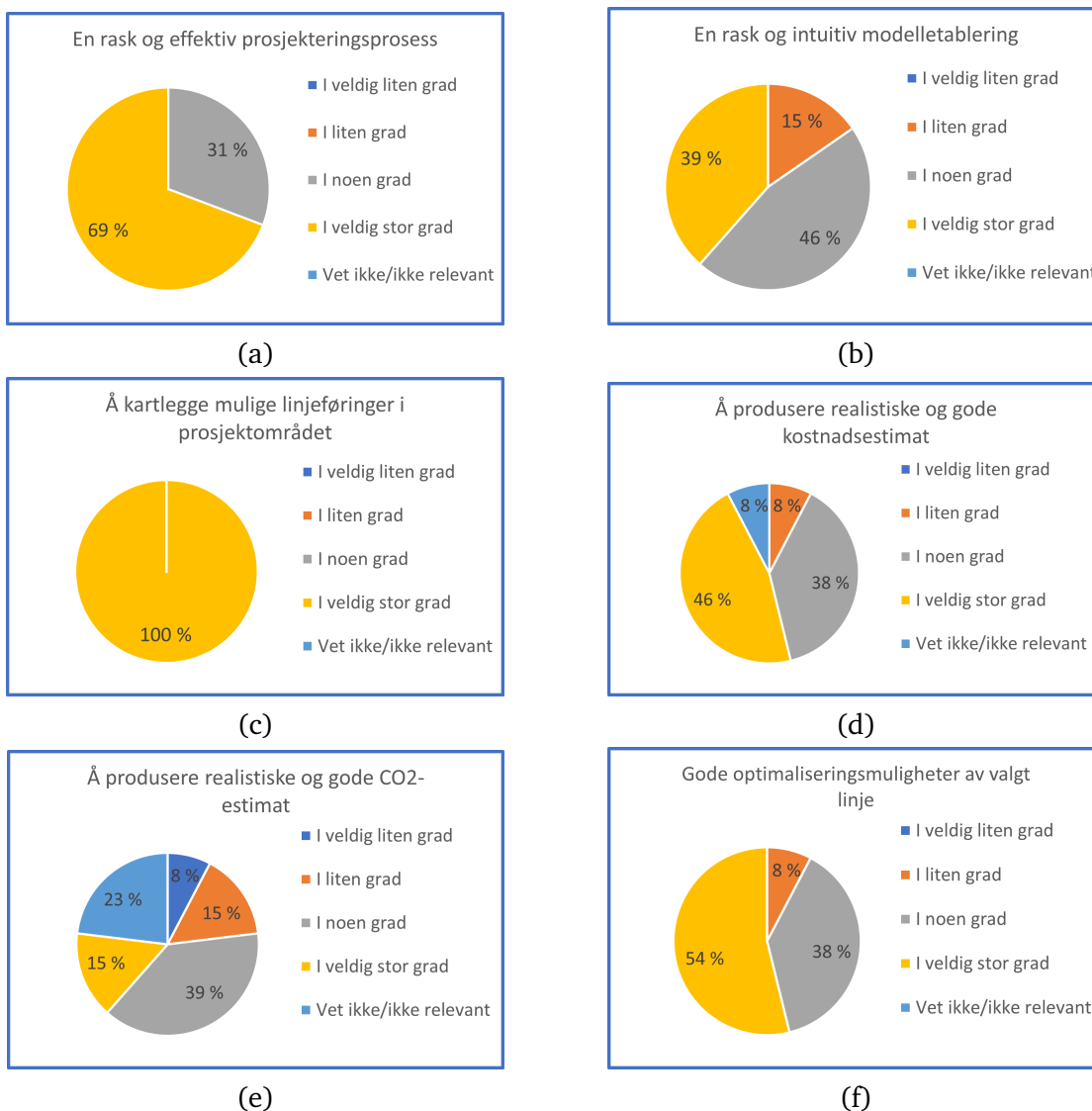
Som nevnt i metodekapittelet fikk brukerundersøkelsen 13 svar i løpet av perioden den var åpen. Dette kan diskuteres som en svakhet i metoden, da antallet kan virke noe lavt og vil være veldig sensitiv i en statistisk analyse. Det som derimot må nevnes er at bruk av Quantm i prosjekter ikke er veldig utbredt blant norske bedrifter per dags dato. Ifølge den lignende kartleggingen som ble gjort av [Slinning & Kvamme \(2020, s.46\)](#) så begynner flere og flere bedrifter å benytte seg av programmet, men mange er fortsatt usikre. Det vil derfor tas utgangspunkt i at innhentede svar representerer holdningen til programmet i bransjen, med visse vurderinger underveis til store avvik i data.

Erfaringen til respondentgruppen var godt fordelt med en erfaringsgrad fra *0-1 år*, og helt til *4 år eller lengre*. De hadde i gjennomsnitt brukt Quantm i 4,6 prosjekter hver, og omlag 70% av disse hadde brukt programmet i et eller flere veiprojekt mens omlag 40% hadde brukt det i et eller flere jernbaneprosjekt. Ingen hadde brukt programmet i et fellesprosjekt. Her må det nevnes at én respondent hadde brukt programmet i betydelig flere prosjekt enn resten, og dette førte til en gjennomsnittsverdi som kanskje ikke var representativ for brorparten av deltagerne. Dersom dette svaret hadde blitt neglisjert ville gjennomsnittsverdien være 2,9 prosjekter per deltager. Denne respondenten var i tillegg den eneste som hadde brukt programmet i både vei- og jernbaneprosjekt. Siden denne brukerundersøkelsen skal kartlegge evalueringer av programmet er det likevel viktig å inkludere evalueringen til denne respondenten. Dette kan da gi en bedre indikasjon på hvordan programmet blir ansett etter lengre tid, og med mer erfaring i prosjekter der Quantm er brukt.

4.1.1 Evaluering av Quantm

På en skala fra 1 til 10 er den gjennomsnittlige vurderingen av Quantm, sett i et helhetlig perspektiv, 7,5. For resultater i ferdigstilte prosjekter der Quantm har blitt brukt, så er vurderingen nokså lik, og er i gjennomsnitt 7,8. Dette kan tyde på at de som bruker Quantm er i stor grad fornøyd med Quantm som metode. Det var derimot bare ti av respondentene som svarte på spørsmål om sluttresultater, og det

kan da ses på som at tre av respondentene ikke har vært involvert i et prosjekt der Quantm har blitt brukt, og prosjektet er ferdigstilt. En svakhet i metoden som ble brukt i evalueringen av Quantm, og som må tas med i beregningen av analysen er at et svaralternativ, *I stor grad*, mangler i kartleggingen, se figur 16.



Figur 16: Evaluering av Quantm som metode for linjevalg.

At svaralternativet *I stor grad* har i opprettelsen av spørreskjemaet blitt glemt, vil følgende føre til en noe ulogisk brist i graderingen. Dette bemerkes, og vurderes fortløpende i resultatene.

De ulike aspektene som ble undersøkt gav en god indikasjon på i hvilken grad respondentene følte at Quantm bidrar til både helhetlige, og spesifikke prosesser og oppgaver i linjevalgsarbeidet. Det mest øyefallende resultatet fra denne kartleggingen er at alle respondentene mente at Quantm bidrar i veldig stor grad til å kartelegge mulige linjeføringer i prosjektområdet, se figur 16(c). En annen ting å bemerke seg fra disse resultatene er at så og si ingen av spørsmålene fikk en høy svarprosent på *i liten grad* eller *i veldig liten grad*. Dette kan gi en indikasjon på at Quantm bidrar ifølge respondentene nokså godt alt i alt. Det aspektet som det er størst uenighet om er evnen Quantm har til å produsere realistiske og gode CO₂-estimat. Dette kan komme av at denne beregningsfunksjonen er nokså ny i Quantm, og kan da føre til at respondentene ikke er godt nok kjent med den, eller at den kan trenge forbedringer. At 23% svarte at de ikke var sikre på dette, se figur 16(e), kan gi en indikator på at denne funksjonen er nokså ukjent for deltagerne. For denne oppgaven er oppfattelsen av hvordan optimaliseringsmulighetene til Quantm blir evaluert svært viktig. At så og si alle respondentene mener Quantm bidrar til gode optimaliseringsmuligheter av valg linje i veldig stor grad, eller noen grad, kan peke på at optimaliseringsfunksjonene jevnt over leverer gode resultat.

I spørsmålene hvor respondentene fikk lov å grunngi de kvantitative svarene sine er det observert mange nyttige innspill til evalueringen av Quantm. Dette gjelder både direkte tilbakemeldinger, samt mer drøftende kommentarer. Et utdrag av de direkte positive, og negative tilbakemeldingene er presentert kategorisk i tabell 2. Fra disse kan det være lurt å bemerke seg kommentaren om integrasjon mellom Quantm og Quadri. En slik oppgradering er nemlig inkludert i programversjonene som ble brukt under case-studie i denne oppgaven, og vil følgelig kunne følges opp under resultat og diskusjonsdelen hvor dette ble undersøkt.

Av de mer drøftende tilbakemeldingene så ble det lagt merke til spesielt en kommentar. I denne ble det påstått at: ”Kostnader er ikke relevant, men det er kostnadsdifferansen mellom linjene som er relevant og kan brukes til siling.”. Ut fra dette utsagnet kan det diskuteres for selve formålet med å bruke Quantm som metode. At man i resultatene fra programmet i hovedsak ikke er ute etter detaljerte kostnader for linjene, men mer muligheten til å kunne sette linjene opp mot hverandre i et relativt perspektiv. På denne måten blir programmet mer et hjelpemiddel i siling av mulige linjeføringer, enn å kunne presentere detaljerte rapporter om kostnader

til valgt linjeføring. I en annen kommentar blir det også nevnt at Quantm ”...gir gode resultater gitt at man har brukt tilstrekkelig tid på å gi god input”. Dette påpeker nødvendigheten av god data, og databehandling for at resultatene i Quantm skal være gyldige, og gode.

Tabell 2: Positive og negative tilbakemeldinger om Quantm

Positive tilbakemeldinger	Negative tilbakemeldinger
”Setter fokus på kostnader og kartlegging av ikke-prissatte verdier tidlig.”	”For dårlig integrasjon med Novapoint/Quadri og annen programvare.”
”Rask vurdering av alternativer, kan enkelt og raskt vurdere ulike korridorer/traseer mot hverandre mtp kostnad, optimalisering gjør det enkelt å gjøre mindre endringer..”	”...lengdeprofilene tar ikke hensyn til romkurve, noe som gir urealistisk gode lengdeprofil på veger med høy hastighet og stiv kurvatur.”
”Reduserte et prosjekt fra 25 milliarder til 15. I et annet ble det 50% tidsreduksjon”	”Vanskelig å ta med eksisterende veg som en eksisterende ressurs.”
”Var lett å begrunne resultatene og legge ballen død i mange tilfeller slik at vi fikk en rask prosess.”	”Burde hatt en bedre kobling til Novapoint med tanke på broer/tunneller og vegmodell.”
”...gjør det mulig å behandle store data raskt og effektivt.”	”Vanskelig å sette parametere slik at broer og tunneler blir helt riktig.”

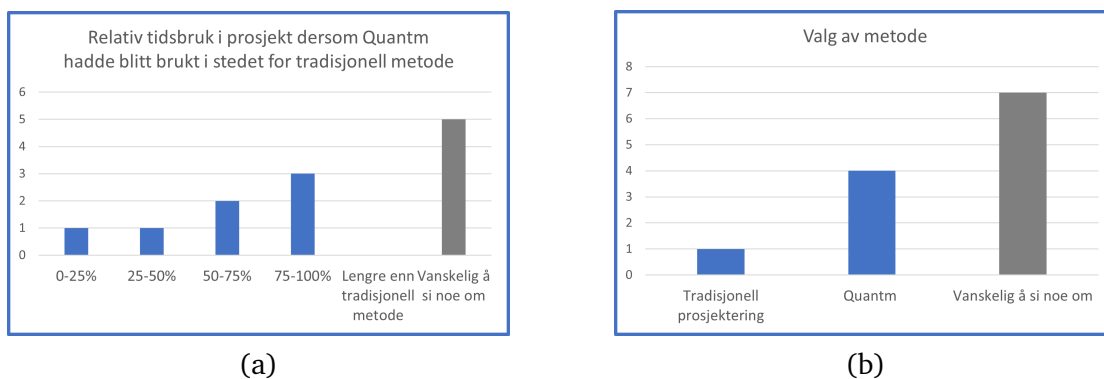
4.1.2 Kunnskap om optimaliseringsalgoritmen

Hele 69% av respondentene svarte at de i *stor grad* eller *svært stor grad* er interessert i å vite mer om hvordan Quantms optimaliseringsalgoritme fungerer. Ingen svarte i *liten grad* eller i *veldig liten grad* på det samme spørsmålet. Dette gir grunnlag for å påstå at studien som blir gjennomgått i denne oppgaven er av høy interesse for de som bruker programvaren. Dette reflekteres også ved at over halvparten føler de kan *noe, lite* eller *svært lite* om optimaliseringsalgoritmen. En kombinasjon av disse svartrendene kan da brukes til å diskutere for at de fleste respondentene

ønsker å øke sin noe begrensede kunnskap om Quantms optimaliseringsalgoritme. I retrospekt kan det argumenteres for at et åpent kommentarfelt med fritekst i denne delen av spørreskjemaet ville gitt deltagerene mulighet til å vise hva de allerede kunne om algoritmen. Dette kunne også gitt visse føringer for hvilken kunnskap som manglet, og som ville være av spesiell interesse for denne oppgaven. Ut fra dette kan man si at studien av optimaliseringsalgoritmen i denne oppgaven har på en måte tatt utgangspunkt i at leseren ikke kan noe om optimaliseringsalgoritmen. Følgende er det presentert en antatt teori, uten forsikringer om at dette er relevant teori ifølge respondentene i denne spørreundersøkelsen.

4.1.3 Sammenligning av Quantm og tradisjonelle metoder

Resultatene fra denne delen av undersøkelsen er noe forskjellig enn forventet. Der antagelsen var at resultatene fra de kvantitative spørsmålene skulle kunne brukes i en statistisk sammenligning av metodene, så understreker heller disse at Quantm idag ikke kan erstatte den tradisjonelle metoden i sin helhet. De kvalitative vurderingene gjort av respondentene er derfor minst like, om ikke mer, viktige i sammenligningen av de to metodene. Dette underbygges av at store deler av respondentene svarte *vanskelig å si noe om* i begge de kvantifiserbare spørsmålene, se figur 17. I kommentarene til disse spørsmålene kommer det frem viktige element som sier noe om hvordan programmet brukes i kombinasjon med tradisjonelle metoder, samt når enkelte mener at programmet har et fortrinn i forhold til de tradisjonelle metodene.



Figur 17: Kvantitative resultater fra sammenligningen i spørreundersøkelsen. Antall svar er vist på de vertikale aksene, mens svaralternativene er vist på de horisontale aksene.

I spørsmålet som ble stilt angående relativ tidsbruk mellom metodene er 40% glemt som svaralternativ. Dette vurderes som en svakhet i brukt metode. Optimalt skulle også svaralternativene heller vært intervall som 0-25%, 25-50%, 50-75%, og 75-100% for bedre kvantitativ sammenligning. I denne resultatanalysen tas det dermed utgangspunkt i en aggregerende mengde av svarene fra dette spørsmålet, se figur 17(a). Det kan også diskuteres for at et kvalitativt svar kunne erstattet de kvantitative intervallene, og gjort spørsmålet enklere for respondentene å svare på. Et slikt svaralternativ kunne for eksempel vært *mindre tid enn tradisjonell metode*.

I lys av de kvantitative størrelsene som kan hentes ut fra resultatene, og som går på en direkte sammenligning av metodene, ser vi uansett at trenden peker mot at Quantm er noe foretrukket, og anses som mindre tidskrevende. At ingen har valgt å svare *lengre enn tradisjonell metode* angående den relative tidsbruken av Quantm, påpeker at ingen mener at programmet har vært en byrde når det kommer til tidsbruk i prosjekter. Men som nevnt ovenfor er det kommentarene til disse spørsmålene som gir det beste svaret på sammenligningen av metodene. En kommentar til spørsmålet ”Dersom du fikk valget mellom å bruke Quantm, og tradisjonell prosjektering, hvilken metode ville du valgt?” beskriver så og si den gjennomgående oppfatningen. I denne kommentaren sier respondenten at ”Svaret er Quantm + tradisjonell. Quantm kan ikke erstatte tradisjonell”. Dette underbygges av flere som peker på at Quantm kommer som et supplement til tradisjonell prosjektering, og brukes i hovedsak som et korridoridentifiserende verktøy i tidlige faser av prosjektet. Ved videre detaljering av linjeføringen etter at korridoren er identifisert mener flere at tradisjonelle verktøy som Novapoint er mer hensiktsmessig å bruke. Isåfall peker disse resultatene på at optimaliseringsfunksjonene til Quantm, av noen, så og si ikke blir brukt, men velges bort til fordel for tradisjonelle metoder. Dette er en viktig bemerkelse for denne oppgaven, da optimaliseringsfunksjonene til programmet er lagt stor vekt på i både case-studiet og kompetansebyggingen.

I resultatene fra den mer spesifikke sammenligningen av Quantm og tradisjonell prosjektering kom det frem mange fordeler og ulemper med programmet. Et utvalg av disse er kortfattet i tabell 3. Fra kommentarene i tabell 3 så påpekes det altså at selv om Quantm har mange fordeler i forhold til tradisjonelle metoder, så finnes det mye forbedringspotensiale. Noen av de overnevnte ulempene kan ses på som terskler som Trimble bør vurdere å utbedre for at Quantm skal kunne få økt popularitet blant brukerne. Kan for eksempel en 3D presentasjon implementeres i programvaren, eller anser Trimble dette som utenfor omfanget til hva Quantm skal levere?

Tabell 3: Fordeler og ulemper med Quantm i forhold til tradisjonell prosjektering.

Fordeler	Ulemper
”Muligheten til å raskt analysere flere mulige trasevalg og, IKKE MINST, sammenligne kostnadene på disse samtidig.”	”...kan ikke erstatte bearbeiding av linjer, det er programmet for dårlig på.”
”Finne muligheter som ikke er åpenbare.”	”3D presentasjon mangler i Quantm (bortsett fra video).”
”Optimalisere linjer bedre og raskere enn mennesker kan.”	”Dårlig datagrunnlag og feil i parametre kan gi store konsekvenser for resultater fra Trimble Quantm.”
”Quantm möjliggör att undersöka tusentals linjer på kortare tid och lägga merparten av tiden på de linjer som verkligen är aktuella.”	”Romkurvatur og linjeføring er også punkter som Trimble Quantm tar litt lett på, men som på større vegprosjekter er et viktig element i planleggingen.”
”Att snabbt kunna undersöka hur olika förutsättningar påverkar möjliga linjeföringar.”	”Blir veldig mye data å analysere. Litt vanskelig å bli skikkelig godt kjent med terreng og området.”

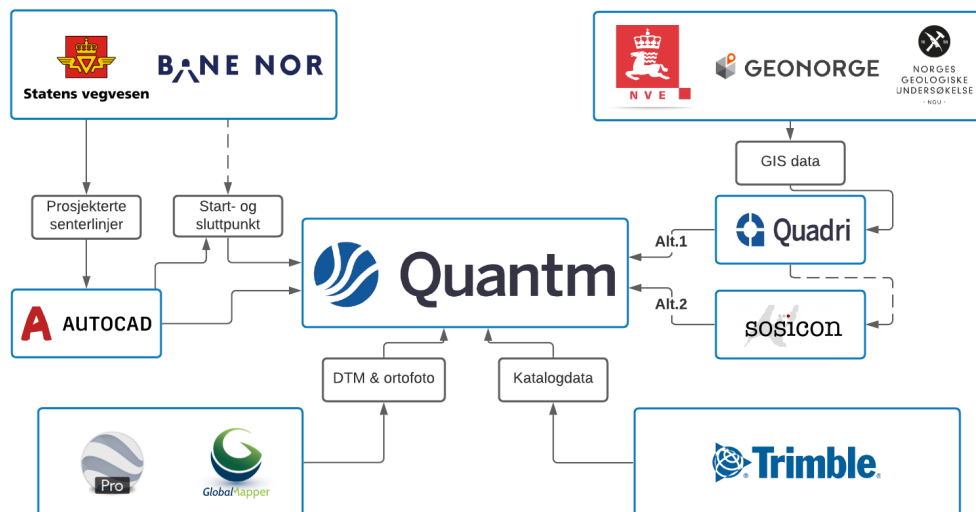
Alt i alt må denne vurderingen av gjennomført undersøkelse brukes med noe forsiktighet. Alle svarene kommer fra individuelle brukere av programmet, og må håndteres som subjektive meninger. Dette kan påvirke resultatet da alle vil ha forskjellige forutsetninger til å vurdere, og resonnere rundt bruken av programmet.

4.2 Quantm - E16 og Vossebanen

I denne oppgaven er det ikke bare selve resultatet fra de ulike delprosessene av Quantm-metoden som er interessant, men også alle valg og avveininger som måtte gjøres underveis i den metodiske gjennomføringen av case-studiet. Dette gir grunnlag for en evaluering av den fremgangsmåten som er valgt, og i henhold til den spesifikke delstrekningen som ble undersøkt.

4.2.1 Modelletablering

I metodekapittelet er fremgangsmåten for modelletableringen beskrevet. For å evaluere valgt fremgangsmåte, vil det i dette delkapittelet presenteres og diskuteres resultater av denne prosessen, samt sluttproduktet fra Quantm. I figur 18 er resultatet av den metodiske gjennomføringen for modelletableringen i denne oppgaven presentert. Dette var den mest omfattende delen av gjennomført case-studie. Tekniske problemstillinger og databehandling er hovedsakårsakene til at denne prosessen ble så tidkrevende som den ble. Videre vil hver delprosess presenteres og evalueres, og gi et samlet grunnlag for hvordan valgt metode oppnår ønskede resultater.



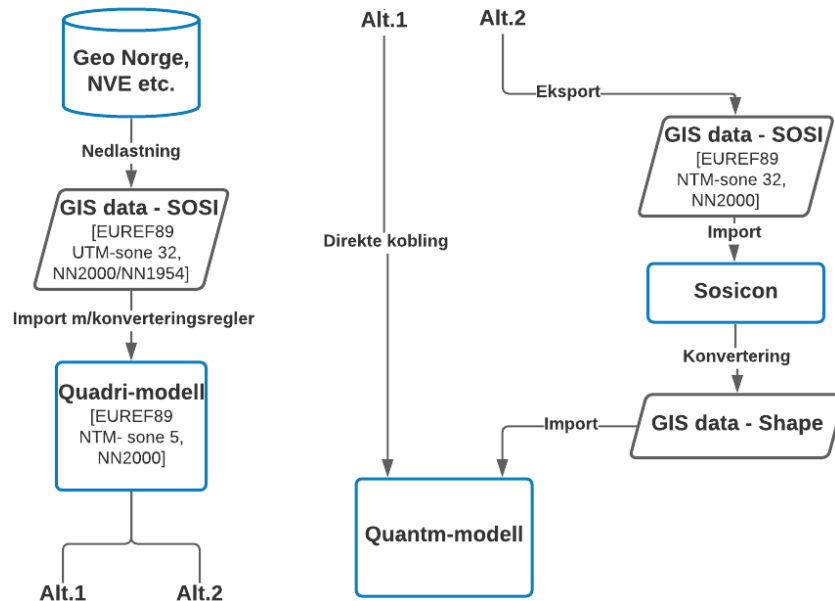
Figur 18: Sjematisk fremstilling av hvilken data som ble innhentet til modelletableringen, og hvor de ble hentet fra eller prosessert.

DTM og ortofoto ble produsert av programkombinasjonen Google Earth Pro og Global Mapper som resultat av at tilsendt DTM fra prosjektet var noe begrenset i omfang, og at den ikke dekte hele den valgte strekningen. Dette ble vurdert til å gjøre utredningsområdet til Quantm for snevert, og en ville ikke da kunne utnytte programmets funksjoner på best mulig måte. I tillegg ble det sett på som fortrinnsmessig å bruke denne fremgangsmåten for å få et bedre evalueringsgrunnlag angående denne delen av modelletablering i Quantm. Alt i alt var denne prosessen nokså effektiv, og ukomplisert, og førte til en rask opprettelse av DTM og ortofoto over ønsket område. At Global Mapper har en lisenskostnad på 428USD\$ må nevnes som en ulempe i denne metoden, men i henhold til denne oppgavens forskende art ble dette dekket av Konnekt. Det kan dermed diskuteres for om denne metoden er verdt investeringen, og om det eventuelt kan finnes substitutter som er av mindre kostnadsgrad. Fordelen med denne metoden er dens intuitive art, og raske prosessering. Med få tastetrykk vil Global Mapper kunne opprette DTM og ortofoto i riktig referansesystem og kartprojeksjon, gitt området som er definert i Google Earth Pro. Dette gjør at brukeren selv kan raskt definere hvilket utredningsområde Quantm skal bruke som grunnlag i sin modell. Det ble heller ikke observert problemer ved import av disse filene i ECW- og ASCII Grid format inn i Quantm, noe som kan tale i fordel for denne metoden. Det er ikke gjort vurderinger av substitutter til denne metoden, men kan nevnes at det ble observert andre metoder i tidligere arbeid.

Start- og sluttpunkt som skulle brukes i de to scenarioene var en problemstilling under store deler av modelletableringen. Resulterende metode kan ses oppe til venstre i figur 18. Originalt var tanken å bruke koordinater som tilsvarte start og slutt på delstrekning C i silingsrapporten fra [Jernbanedirektoratet & Statens vegvesen \(2017, s.68\)](#), men dette viste seg å være vanskelig å oppdrive. Grunnen til dette kan være at det i silingsarbeidet ble tatt utgangspunkt i alternativ som tok mer hensyn på innføring til, og løsninger i tilknytning til de ulike tettstedene, enn trasévalg mellom disse. Med disse antatte forutsetningene så kan det forstås hvorfor de prosjekterte linjene ligger i tunnel ved grensen mellom B og C, samt C og D. I samråd med prosjektet ble det derfor hentet ut koordinater for en delstrekning som startet i åpent terreng ved Trengereid, samt koordinater hvor de alternative stasjonsplasseringene var prosjektert på Vaksdal. Dette ble da utgangspunktet for videre bestemmelser av start- og sluttpunktkoordinater, samt beregning av bæring i punktene. At disse koordinatene ikke er sammenfallende med grensene til en delstrekning i silingsrapporten gir sammenligningen av resultatene fra Quantm og prosjektet noen begrensinger. I stedet for å direkte sammenligne dokumentasjonen fra prosjektet med rapporter fra programmet, må det tas utgangspunkt i Quantms

evaluering av prosjektets resultat mellom de valgte koordinatene. Som nevnt i metodekapittelet så ble derfor de oversendte senterlinjene for de to scenarioene brukt direkte til å bestemme start- og slutt punkt. At disse måtte modifiseres, og kortes ned i Autocad gir både noe usikkerhet i de valgte koordinatene, samt gyldigheten av importerte linjeføringer. Begge linjene ble ved manuelle operasjoner i Autocad avskåret så nærme de valgte koordinatene som mulig. Siden start- og sluttkoordinater til disse to linjene ikke stemte fullt overens med de valgte koordinatene fra tidligere, ble det gjort en avveining om hvilke koordinater som skulle representere de endelige start- og slutt punktene for søk i Quantm. At de modifiserte linjene gav mulighet for å hente ut bæring, og stigning, direkte i henhold til deres start- og slutt koordinater talte i fordel for å bruke disse koordinatene. I den forstand at disse linjene også skulle evalueres i Quantm, og sammenlignes med produserte linjer fra Quantm, så falt valget på at start- og slutt punkt i Quantm skulle være tilsvarende start- og slutt koordinater til de modifiserte linjene. Denne fremgangsmåten er da basert på individuelle valg gjort underveis, som følge av oppståtte problemstillinger. Optimalt kan det tenkes at den beste metoden for valg av start- og slutt punkt hadde vært at de stemte overens med start- og slutt for en vurdert delstrekning, og at senterlinje for den spesifikke delstrekningen var produsert av prosjektet. Da ville usikkerhet rundt valg av start- og slutt koordinater vært mye mindre, og sammenligningsgrunnlaget kunne vært noe bedre.

En av hovedårsakene til at modelletableringen ble så tidkrevende som den ble, er som nevnt databehandlingen. I hovedsak omhandlet dette prosessen som måtte gjennomføres for å kunne importere GIS data i riktig form til Quantm. I figur 18 er hovedprinsippene for valgt metode vist i øvre høyre hjørne, og i figur 19 er denne metoden presentert mer detaljert. Den sistnevnte figuren viser skjematisk hvordan både den tradisjonelle metoden, alternativ 2, og den nye metoden, alternativ 1, ble undersøkt i valgt case-studie. Alternativ 1 er undersøkt i denne oppgaven som resultat av at det underveis i arbeidsprosessen ble lansert en ny versjon av Quantm og Quadri. Denne oppgraderingen skulle ifølge Trimble gjøre samhandlingen mellom disse programmene mye bedre, og kunne erstatte den tradisjonelle metoden for databehandling. Dette kan da trekkes frem som en mulig løsning til kommentaren i spørreundersøkelsen hvor det nevnes at Quantm har for dårlig integrasjon med Quadri. Det viste seg derimot at alternativ 1 ikke klarte å produsere gyldig input til Quantm-modellen i denne oppgaven.



Figur 19: Skjematisk fremstilling av de alternative metodene for importering av GIS data til Quantm som er undersøkt.

I de forsøkene som ble gjort i henhold til denne metoden så ble ikke resultatet tilfredsstillende, og i figur 20 er et eksempel på problemstillingen som oppstod. Ut ifra det som opprinnelig er importert til Quadri som flere kurver, så genererer Quantm flater mellom ulike punkt på kurvene. Grunnen til denne feilen kan komme av flere grunner. Med tanke på at GIS data måtte transformeres til valgt koordinat- og referansesystem i Quadri, kan feilen ha oppstått ved feilaktig bruk av konverteringsreglene i programmet. Dette kan dog diskuteres for at ikke er tilfellet i denne oppgaven. Dataen ble nemlig vist korrekt i Quadri-modellen, og ved opprettelse av samme modell i UTM-projeksjon så forekom fortsatt problemene. At den nye funksjonen var en betaversjon kan peke mot at det fortsatt må gjøres endringer før funksjonen fungerer optimalt.

Alternativ 2 gav i denne oppgaven mye bedre resultat, og ble derfor benyttet som metode for å importere GIS data til Quantm. Denne metoden er noe mer omstendelig enn alternativ 1, men på grunnlag av de nevnte problemene så ble det ansett som mer fortrinnsmessig å gjennomføre modelletableringen med alternativ 2, enn å feilsøke videre i alternativ 1. Det ble derimot også i denne metoden identifisert



Figur 20: Problem i henhold til alternativ 1 for databehandling mellom Quadri og Quantm. Skravert område er importert GIS data av eksisterende infrastruktur, og terrengoverflaten i bakgrunnen er importert ortofoto i Quantm.

noen tekniske problem som er verdt å nevne. Når Sosicon skulle importere filer til konvertering, så var lagringsplassen disse lå på av stor betydning. Dersom filene lå dypt inne i en mappestruktur på datamaskinen, så dukket det opp feilmeldinger ved import i Sosicon. Løsningen ble å plassere eksporterte SOSI filer på skrivebordet til datamaskinen. Da gikk importen som den skulle. Grunnen til at denne problemstillingen oppstod er noe uvisst. Det kan antas at siden Sosicon er et nokså enkelt program, så mangler programvaren metadata for å håndtere innsamling av data dypt inne i en mappestruktur. Om dette er et gjennomgående problem med programmet vites heller ikke, da programmet bare har blitt prøvd på en PC.

Dersom alternativ 1 hadde fungert som ønskelig, så ville nok denne metoden vært foretrukket. Dette kan begrunnes med tidsbesparelser, og programintegrasjon. I alternativ 2 må GIS data gjennom flere operasjoner før den er leselig for Quantm. Siden begge metoder kommer frem til samme resultat, dersom alternativ 1 fungerer som den skal, så vil altså brukeren spare tid ved å benytte seg av den direkte koblingen. Programintegrasjonen er også betydelig bedre. Koblingen mellom Quadri og Quantm gir et mye bedre helhetsinntrykk av Quadri som prosjektdatabase, og Quantm som tilhørende prosjektverktøy i Trimble's BIM løsning.

En oversikt over innhentet GIS data til modelletableringen kan ses i tabell 4. Her kan man se resultatet av hvordan kartleggingen av delstrekningen påvirket valg av data, og hvilke data som ble importert i henhold til diskutert metode ovenfor.

Tabell 4: GIS lag og deres korresponderende attributter i modellen.

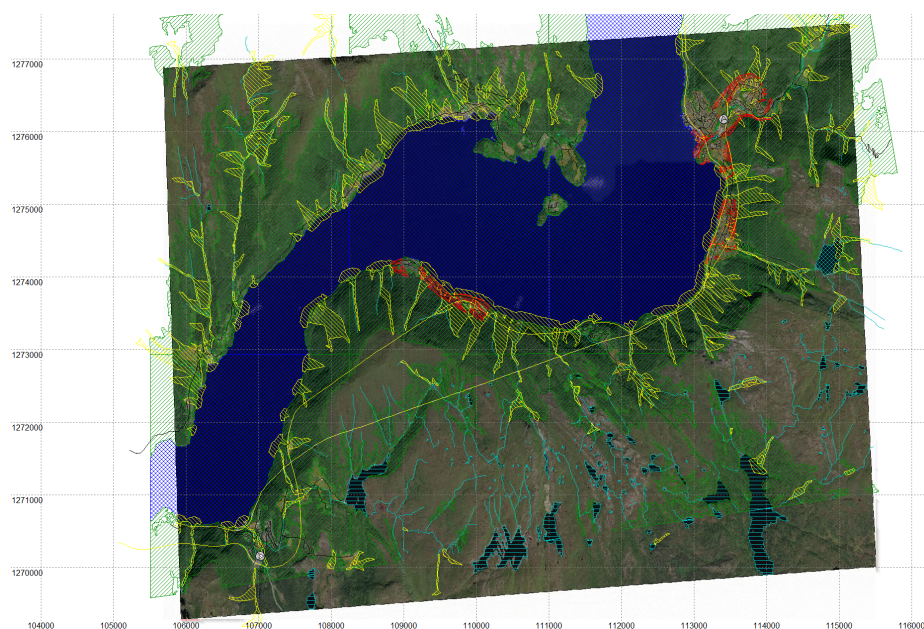
Navn	Objekttype	Sonetype	Tilleggsinfo
*Innsjø	Annet	Vann	Må krysses 5 meter over eller under terrenget.
Hav	Annet	Unngåsoner	Fjord må unngås med høy prioritet.
Elv & bekk	Elv	Kryssningssone	Må krysses 2 meter under eller over terrenget, og har en bredde på 3m.
Skog	Annet	Lineær kostnad	Ekstra kostnad for hver m kryssing av denne sonen.
Dyrket mark	Annet	Område kostnad	Ekstra kostnad for hver m ² med inngrep i denne sonen.
Potensielt skredfare	Annet	Kryssningssone	Må krysses 1 meter under terrenget.
Skredfare	Annet	Kryssningssone	Må krysses 1 meter under terrenget.
Gravplass	Annet	Kryssningssone	Må krysses 30 meter under terrenget.
Eksisterende veg	Veg	Kryssningssone	Må krysses med bro eller tunnel med 5m klaring, og har en bredde på 8,5m.
Eksisterende jernbane	Jernbane	Kryssningssone	Må krysses med bro eller tunnel med 5m klaring, og har en bredde på 4,5m.
Idrettsplass	Annet	Område kostnad	Ekstra kostnad kommer for hver m ² med inngrep i denne sonen.
*Vaksdal mølle	Annet	Unngåsoner	Kulturminne som må unngås med høy prioritet.
*Bebyggelse	Annet	Område kostnad	Ekstra kostnad kommer for hver m ² med inngrep i denne sonen.

* indikerer at laget er opprettet manuelt i Quantm, eller at det er gjort manuelle justeringer i laget.

For å gjøre raske og målrettede søk i modellen må valgt data representere både detaljgrad av prosjekteringen, samt relevant data for utredningsområdet. Hvert GIS lag i tabellen er derfor vurdert ut fra dets relevans til prosjektering av ny jernbanetrasé på delstrekningen. Hvor viktig er informasjonen i laget for å kunne produsere realistiske, og gyldige alternativ på strekningen? I hvilken grad skal laget påvirke linjesøket som blir gjennomført av Quantm? Dette er spørsmål som bør stilles for å kunne begrense datamengden i modellen. I tillegg til lagene som er inkludert i tabellen ble det også vurdert å importere informasjon om områdets geologiske karakter (svakhetssoner, avkastninger, bergarttype osv.). Denne informasjonen kunne vært nyttig da området er karakterisert av høye fjell, som i kombinasjon med rasfaren på delstrekningen gir føringer for mye tunnel. Tunnelkostnader er svært sensitiv i henhold til geologisk situasjon, og denne kostnaden kan dermed påvirke resultatet i stor grad. I databehandlingen av denne informasjonen oppstod det derimot problemer rundt import, og eksport, i Quadri. Det manglet nemlig gode konverteringsregler som kunne håndtere informasjonen i disse SOSI filene. Det kan antas at dette problemet kunne blitt løst ved mer inngående kunnskap om oppretting, og håndtering av konverteringsregler i Quadri. Det ble derimot vurdert til at innhentet GIS data var tilstrekkelig beskrivende for området, og at videre feilsøking av dette problemet var u hensiktsmessig.

I figur 21 er den ferdige modellen presentert. Denne er da resultatet av evalueringene, og valgene som ble gjort underveis i modelletableringen. De røde flatene i modellen representerer de skredfarlige områdene, samt Vaksdal mølle, i utredningsområdet. Disse GIS lagene ble designert en egen, og iøynefallende, farge for å understreke deres viktighet i prosjektet. På denne måten skulle det være lett å identifisere eventuelle linjeføringer som gikk gjennom disse områdene.

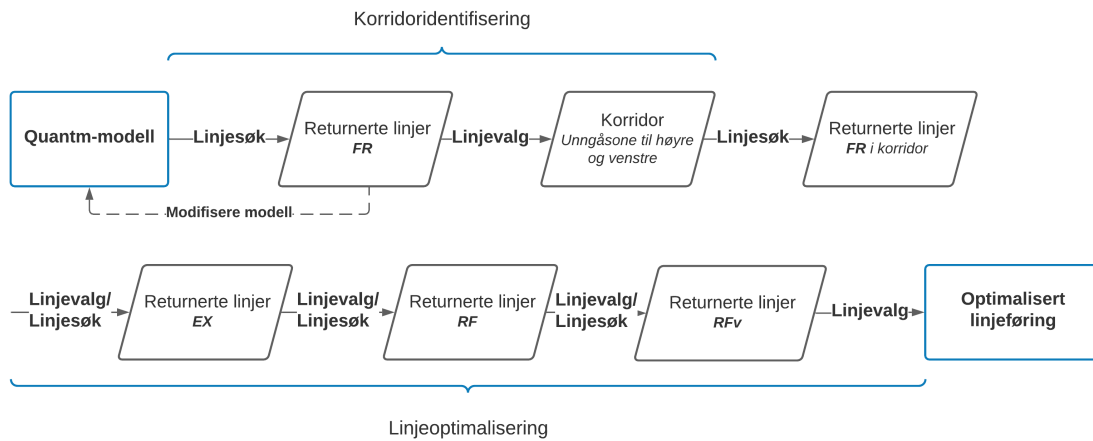
Helhetsinntrykket av modellen kan vurderes som nokså tilfredsstillende, og har en god visuell representasjon av området. GIS lagene som er lagt inn treffer godt på terrenget med referanse til ortofotoet i bakgrunnen. Dette er en viktig faktor for at linjesøket skal kunne ta med riktig informasjon om området i sin beregning. Dersom GIS dataen hadde fravikt betydelig fra terrenginformasjonen ville dette gitt grunnlag for å forkaste modellen, og eventuelt stilt spørsmål om Quantm som linjevalgsmetode. Dette kan direkte argumenteres for i henhold til ulempen som ble nevnt i spørreundersøkelsen med tanke på dårlig datagrunnlag og feil i parametre. Det kan også diskuteres for om det ville vært nyttig med en 3D visning på dette stadiet, men da informasjon i modellen til nå er i hovedsak rettet mot terrengoverflaten så antas det at 2D visningen er tilstrekkelig.



Figur 21: Etablert modell i scenario B1. Tilsvarende modell er opprettet for scenario B2 med annet sluttpunkt på Vaksdal. Objektene og sonene som er importert, eller opprettet manuelt, er gitt ulike fargekoder.

4.2.2 Linjesøk og optimalisering

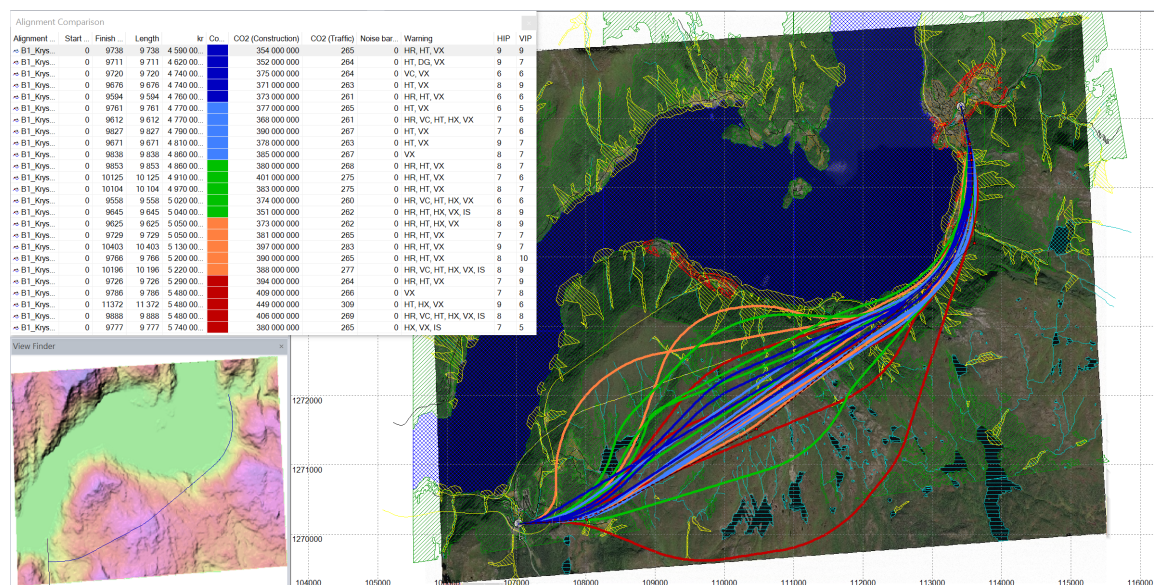
Resultatet til denne delen av metoden er direkte knytt opp mot de automatiske linjesøksfunksjonene til Quantm, FR, EX, RF, og RFv. I tillegg så er valg og evalueringer av de ulike resultatene i denne kronologiske prosessen av nytte for den endelige evalueringen av programmet, samt sammenligningen med den tradisjonelle metoden. På grunn av at det i denne oppgaven er opprettet to så og si identiske modeller, vil det hovedsaklig diskuteres ut fra resultatene til det ene scenarioet, B1, under. For sammenligningens skyld vil sluttresultatet, optimalisert linjeføring, fra B2 scenarioet også bli presentert. I figur 22 er en oversikt av endelig metodisk gjennomføring av linjesøk og optimalisering presentert. Som figuren viser så ble det i denne delen identifisert en metode som kan deles inn i to hovedprosesser. En korridoridentifisering, og en linjeoptimalisering.



Figur 22: Skjematisk fremstilling av metoden brukt for å identifisere den optimale linjeføringen i Quantm.

I korridoridentifiseringen så ble det først gjennomført et FR søk i modellen. Her ble et bestemt antall linjer returnert, og resultatet kan ses i figur 23. Det kan antas at teknikkene presentert i teoridelen om nettverksoptimalisering, med en rasterbasert tilnærming, blir anvendt i FR søk for å produsere et definert antall linjer med utgangspunkt i de geometriske betingelsene. Gitt at Quantm ikke bare produserer den korteste eller minst kostbare linjeføringen, men flere mulige linjer i hele modellområdet, så bruker den ikke de samme strenge reglene som for eksempel Dijkstra og ST algoritmene. Det kan tenkes at i stedet for å søke i nabocellene etter den, eller de, cellen(e) som gir minst verdi, så velges en vilkårlig nabocelle som til dels tilfredstiller de geometriske betingelsene. Bæring i start- og slutt punkt, maksimum og minimum horisontalradius, og stigning er alle eksempler på direkte geometriske betingelser. De ulike sonene, og deres attributter påvirker også de geometriske betingelsene noe. Unngåsoner kan ses på som en delvis avgrensning av utredningsområdet, og vil følgelig gi visse føringer for hvor algoritmen produserer linjer. Dette kan argumenteres med resultatet i figur 23 hvor algoritmen har unngått kryssing av fjorden. Attributter som kryssing over eller under sonene, med en bestemt verdi, kan også ses på som noe avgrensende for geometrien. Grunnen til at geometriske betingelser ikke blir antatt som et absolutt krav for algoritmen er at den i noen tilfeller nettopp bryter disse. I stedet for å følge betingelsene til punkt og prikke, så produserer heller Quantm advarsler vedrørende de ulike linjene dersom de bryter reglene i modellen. Advarslene kan eksempelvis ses fra resultatene i oppgavens case-studie, og er vist i kolonnen *warning*, i tabellen oppe til venstre i figur 23. For at alle linjene skal være forskjellige, og da unike, må også algoritmen

til Quantm underveis i søket ha mulighet for å sammenligne vektorpunktene til de forskjellige linjene. Med andre ord må den på et tidspunkt i opprettelsen av en linje både kunne vurdere om den sammenfaller med en annen, og i hvilken grad de eventuelt overlapper. En mulig forklaring på dette kan være at algoritmen lagrer cellenes koordinater i et register for hver celle den krysser. Denne lagringen kan ses i sammenheng med teorien til Dijkstra algoritmen, som nevnt i teorikapittelet ovenfor, hvor verdier blir lagret underveis i linjesøket. Da kan algoritmen vurdere geometrien opp mot de andre linjene, og gjennomføre videre søk ut fra denne informasjonen.



Figur 23: De 25 returnerte linjene som kom av et FR søk i korridoridentifiseringen av scenario B1.

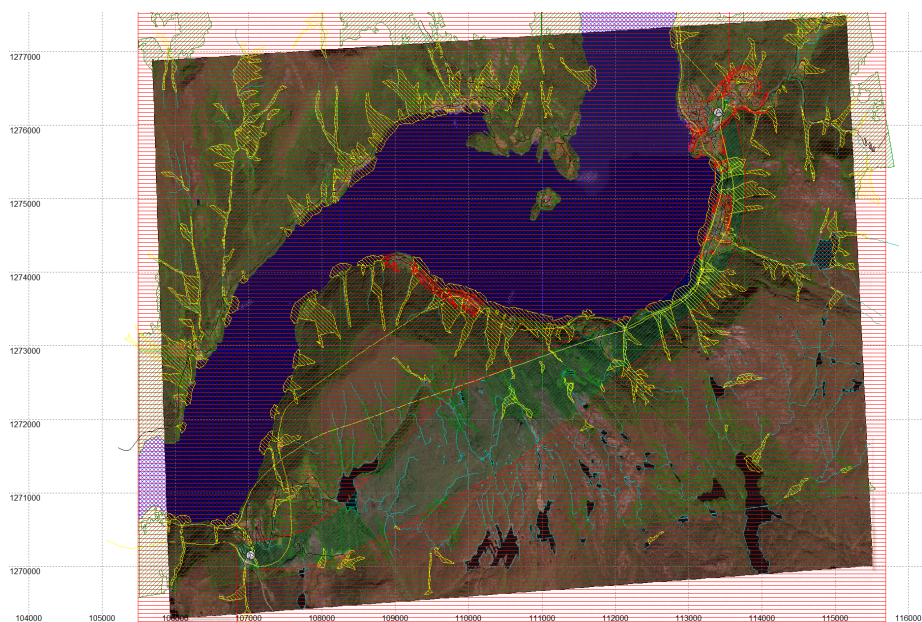
For å oppnå gyldige resultat fra dette søket ble resultatene derimot i første omgang brukt til å feilsøke modellen. Her ble det vurdert hvorvidt linjene var realistiske i henhold til de ulike begrensningene, og attributtene, som var tilegnet de ulike geografiske områdene. Advarselsrapporten som ble generert av programmet ble også benyttet hyppig for å fastslå hvor og hvilke overtredelser som ble gjort av de ulike linjene. Dette gav da forutsetninger for å returnere til modellen, og modifisere de elementene som ble ansett til å være kritiske for resultatet. Med denne fremgangsmåten kan man raskt identifisere feil eller mangel i data fra modelletableringen,

og optimalisere modellen slik at søkene gir mest mulig realistiske resultat. Siden FR søket tar relativt kort tid, rundt 20min for 25 returnerte linjer, ble det gjort flere ganger for å optimalisere resultatene. Et spesifikt eksempel på dette er at i opprettelsen av modellen ble sonene med potensielt skredfare originalt satt opp med lineære kostnader, og linket opp mot spesifikke kostnader knyttet til skredsikring. I løpet av prosessen ble det derimot ansett som kritisk for resultatene at modellen tok ekstra hensyn til disse på lik linje med de områdene hvor skredfare var lokalisert. Derfor ble sonetypen endret til krysningssone som vist i tabell 4. Denne muligheten til å optimalisere modellen, og produsere scenariorianter, ses på som svært nyttig i metoden.

Alle linjene er kategorisert med en fargekode som skal reflektere investeringsgraden de representerer. I figur 23 kan man se at de 25 linjene som ble produsert har et kostnadsspenn på 4,59mrd til 5,74mrd NOK, og er hovedsaklig organisert ut fra dette i tabellen. Her får da brukeren raskt muligheten til å sammenligne investeringsgraden til linjene opp mot hverandre, og kan se hvor disse ligger i terrenget. I tillegg produserer også Quantm et CO₂ estimat av de forskjellige linjene. Beregningen av disse individuelle investeringsgradene, og CO₂ estimatene, kan beskrives som en kostnadsakkumulering av linjene. Basert på den kostnadsspesifikke dataen som er lagt inn i programmet, og koblingene som er gjort opp mot de ulike sonene, så kan algoritmen beregne kostnaden av linjene ut fra lengden de krysser de respektive sonene. Denne antagelsen kan trekkes i tråd med teorien bak de ulike algoritmene som er nevnt i kapittelet om nettverksoptimalisering. På denne måten produserer FR søket et bredt spekter av alternativer som brukeren selv må vurdere opp mot kostnader, og overtredelser i geometrien. At alle respondentene i spørreundersøkelsen mente at Quantm bidrar i veldig stor grad til å kartlegge mulige linjeføringer kan antas å være en evaluering av denne funksjonen spesielt. Dette er da en forskjell mellom Quantms algoritme, og de som er henvist til i teorien. I stedet for at programvaren produserer en linje som resultat, så gir Quantm mulighet til å gjøre egne vurderinger av mange ulike alternativ.

Resultatet av denne vurderingen er en korridor som evalueres til å være den mest optimale. I tidligere arbeid har denne blitt satt til den traséen som de billigste linjene konvergerer mot, men resultatene i dette case-studiet viste ikke en tydelig trend som tilsa hvilken trasé som er billig eller dyr. En mulig forklaring på dette kan være at 25 linjer ikke er tilstrekkelig for å definere en slik trend på valgt delstrekning, og dersom antallet hadde blitt økt kunne dette kanskje ført til flere fremhevede traséer. I resultatene konvergerer i motsetning de fleste linjene, fra flere forskjellige investeringsgrader, inn mot en trasé, og denne ble derfor antatt som den mest opti-

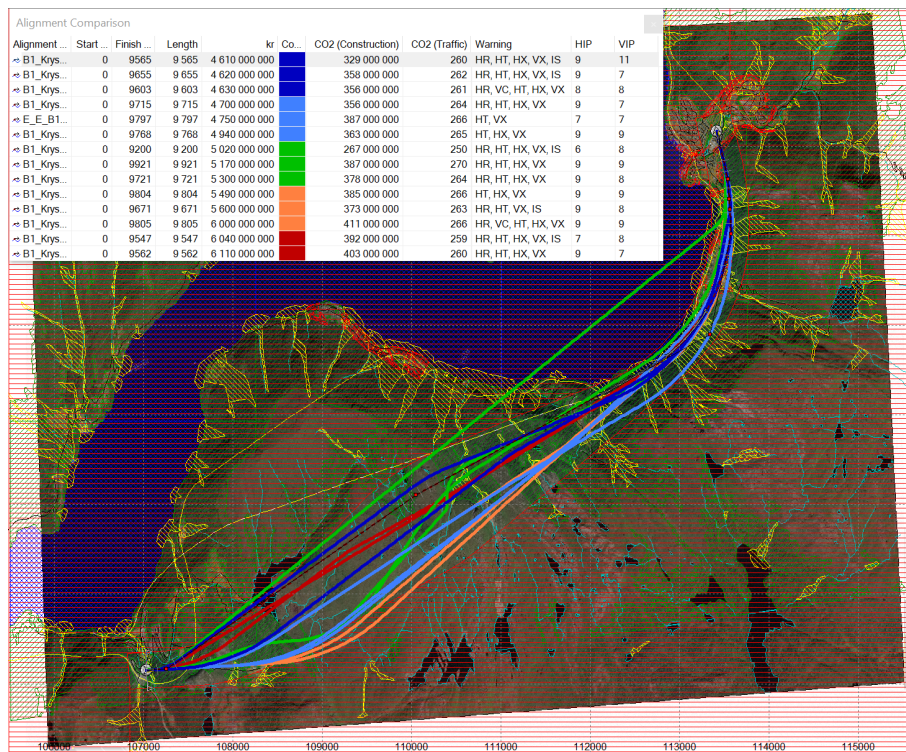
male. Denne unisone konvergeringen kan komme av delstrekningens topografiske art. Siden store deler av linjene må føres i tunnel, som er en relativt dyr investering, så reflekterer først og fremst kostnadene hvor lang strekning de ulike linjene er lagt i tunnel. For opprettelse av korridor ble det dermed tatt utgangspunkt i de linjene som var av lavest investeringsgrad, og som begrenset korridoren i motsatte retninger der spredningen var størst. I modellen ble det da opprettet unngåsoner 200m til høyre og venstre for disse, se figur 24. Disse sonene kan ses på som en avgrensning av modellen, og gav delvise føringer for hvor algoritmen kunne søke i de neste stegene. Dette vurderes som en viktig funksjon i programmet da det her gis mulighet til selv å definere hvilken korridor man ønsker å optimalisere videre.



Figur 24: Valgt korridor i scenario B1. De skraverte områdene rundt korridoren representerer unngåsonene som ble opprettet rundt valgt linje i FR søket.

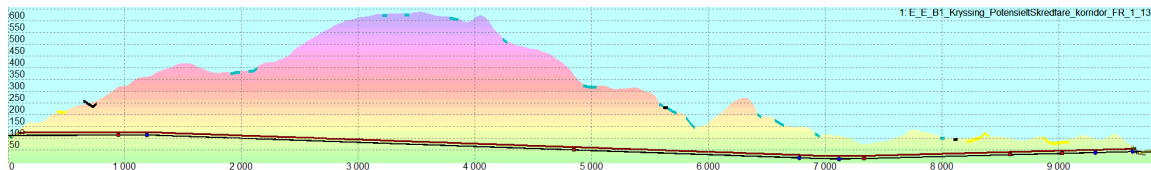
I resultatene fra FR søket i korridoren ble det først og fremst observert at algoritmen, i noen tilfeller, slet med å produsere linjer som fulgte de geometriske betingelsene. I figur 25 ser man et tydelig eksempel på dette. Her har Quantm produsert en linje som krysser fjorden selv om både havflaten, og avgrensning til den nyopprettede korridoren ligger som unngåsoner i dette området. Grunnen til at programmet har mulighet til å produsere denne urealistiske linjen kan komme av den delvise, og ikke absolutte begrensingen som nevnt ovenfor. I tillegg har dette spesifikke pro-

blemet mest sannsynligvis rot i bruk av DTM som terrengoverflate. Siden overflaten til en DTM er definert av både terreng og hav, så gir dette Quantm muligheten til å håndtere havoverflaten som en fastlandsoverflate. Da kan programmet anta at havoverflaten er et konstruksjonsverdig underlag, og følgende legge linjeføringer der. Dette problemet ble først antatt til å være neglisjerbart som følge av attributtvalget til havoverflaten, men viser seg altså å ikke gi 100% forsikringer til resultatenes gyldighet. Grunnen til at programmet produserer slike linjeføringer utenfor korridoren er noe uvisst, men kan hypotetisk sett komme fra de strenge kravene i henhold til kurvatur og algoritmens multikriterie problemstilling. Når den søker i landskapet etter linjeføringer som skal ta hensyn til alle de ulike betingelsene i modellen, så vil det i noen tilfeller føre til at ikke alle blir fulgt. For den linjen som krysser tvers over fjorden kan det antas at algoritmen har ansett krav om streng kurvatur som den primære regelen, og de andre som mindre førende.



Figur 25: De 13 returnerte linjene som kom av et FR søk i optimaliseringen av scenario B1, og en manuelt redigert linje (E_{EB1}).

Det ble gjennomført flere FR søk i korridoren både for scenario B1 og B2, og i begge tilfellene dukket det opp urealistiske linjeføringer fra tid til annen. Dette vil da kunne utelukke at det er et enkelttilfelle. Søkene tok omtrent 10min i gjennomsnitt for å gjennomføres, og var dermed ingen tidsbelastning i den forstand. I tillegg til dette ble det observert at selv om FR ble gjennomført i samme scenario, med samme forutsetninger for linjesøk, ble resultatet aldri det samme. Dette underbygger da at FR er et vilkårlig søk som reproducerer et bestemt antall linjer uten å ta for stort hensyn til hva som er de *beste linjene* i korridoren. Det må derfor selv vurderes hvilken linje som er den mest optimale av utvalget fra søket, og hvilke handlinger som må eventuelt gjøres for å optimalisere denne videre. I resultatene var det en hyppig problemstilling at linjene ble lagt i dagen gjennom de potensielt skredfarlige sonene, og derfor ble det ansett som fortrinnsmessig å manuelt redigere den mest optimale linjen fra FR søket. Grunnen til at dette er et problem kommer nok av den diskuterte investeringsgraden til tunnel som nevnt ovenfor. For å produsere de billigste linjene, søker derfor Quantm ut i dagen for å spare penger i konstruksjonen. Denne linjen ble derfor først manuelt optimalisert best mulig ut fra verktøyene i Quantm, med utgangspunkt i advarslene fra programmet. Den manuelle redigeringen ble gjort for å se om Quantm kunne med sine optimaliseringsfunksjoner finne en linje som var den billigste, men som også lå i tunnel slik som resultatet i figur 26 viser. Siden alle linjene, inkludert den antatt beste, hadde et stort antall advarsler tilknyttet til seg, så skulle det også vurderes om optimaliseringsfunksjonene kunne annullere noen av disse.



Figur 26: Profil av den manuelt redigerte linjeføringen fra FR søket i scenario B1.

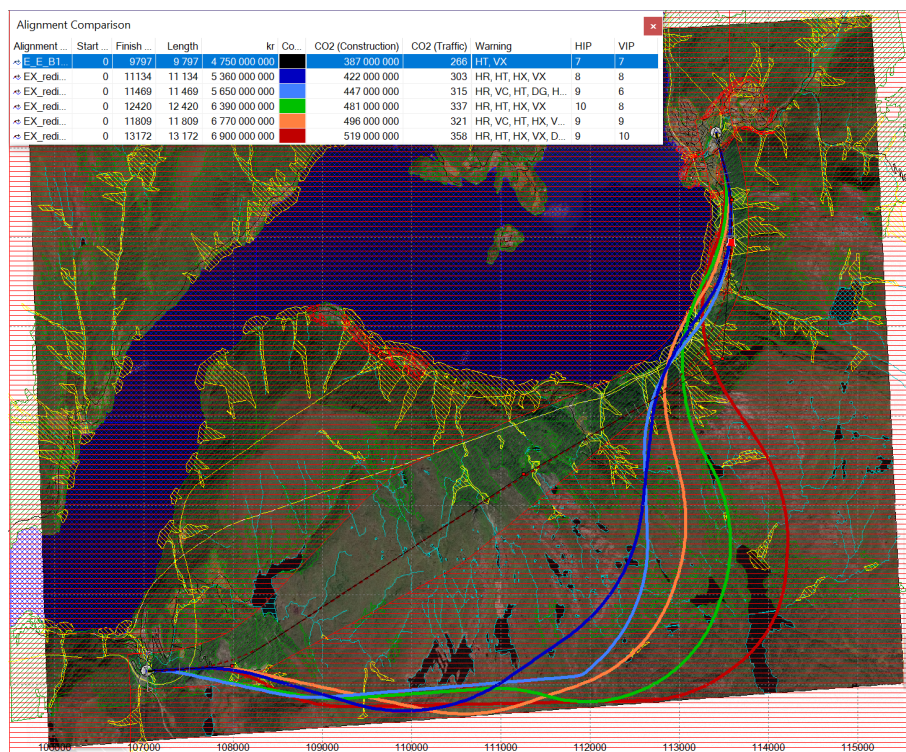
Fra resultatene i figur 25 ser vi at kostnadsspennet til linjene i dette søket er fra 4,61mrd til 6,11mrd. Det vil si at den billigste linjen fra dette søket er dyrere enn den billigste som ble produsert i FR søket uten begrensing fra korridoren. Siden korridoren ble opprettet ut fra de billigste linjene i det primære FR søket, så burde følgelig Quantm klare å produsere en tilsvarende, eller billigere linje i dette søket dersom algoritmen hovedsaklig hadde tatt hensyn til kostnadene. Dette understreker funksjonens vilkårlige produksjon av linjeføringer. Det er også dermed noe vanskelig å konkludere med i hvilken rekkefølge programmet setter reglene

opp mot hverandre. I hovedtrekk så følger en stor andel av linjene korridoren, og dette kan peke på at korridoren er satt opp som en nokså streng regel. Dette kommer også av at unngåsonene er satt til å ha en høy prioritet. Resten av reglene (som f.eks. kurvatur, kryssing, osv.) blir derimot brutt med jevne mellomrom. Det kan dermed iallefall antas at FR funksjonen ikke har mulighet til å forsikre brukeren om at de produserte linjene følger krav og regler fullt ut.

54% av respondentene i spørreundersøkelsen svarte at de følte at Quantm bidrar i stor grad til gode optimaliseringsmuligheter av valgt linje. De seedede optimaliseringsfunksjonene kan anses som de automatiske optimaliseringsmuligheten til programmet. I henhold til erfarne brukere kan altså disse funksjonene bidra til en god optimalisering av linjene som er valgt for videre søk i dette case-studiet. Resultatene gav derimot grunn til diskusjon, og evaluering av disse funksjonene. EX av den manuelt redigerte linjeføringen fra FR søket ble antatt til å være en mulig løsning til de oppståtte regelbruddene. I den forstand at denne funksjonen skal optimalisere antall knekkpunkter, og følgelig i hvilken grad kurvaturen skal legges. Derfor ble det antatt at denne funksjonen kunne vurdere de tilhørende advarslene til linjen som ble valgt, samt reglene i modellen, og produsere linjer som var optimale ut fra disse. Ifølge teorien kan denne funksjonen til en viss grad beskrives som den globale fasen av en to-faset global optimalisering. Resultatet fra denne fasen skal føre til en identifisering av optimalt antall knekkpunkt, før posisjonen av disse skal videre optimaliseres i en lokal fase (RF). Grunnen til at resultatene ble som de ble, se figur 27, er noe uvisst.

Det kan derimot konkluderes med er at funksjonen ikke produserer de samme linjene, selv med utgangspunkt i samme referanselinje, og samme modell. Ved flere identiske søk ble det produsert ulike resultat. Dette beviser også at denne funksjonen, slik som FR, har en noe vilkårlig produksjon av linjeføringer, bare med utgangspunkt i en referanselinje i tillegg til modellen. I figur 27 kan man også se at kostnadene ikke er videre optimalisert fra dette EX søket. Dette var forskjellig fra søk til søk, der kostnaden ble optimalisert i noen, mens i andre ikke. Det som var gjentagende i denne søkefunksjonen var at linjene også her ble lagt ut i dagen der det var mulig. Selv om utgangspunktet var en linje som var manuelt modifisert til å føres i tunnel, så ble fåtallet av resultatet fra EX søket også lagt i tunnel. Dette gir en indikasjon på at programmet heller ikke klarer å identifisere hvilken type konstruksjon som blir foretrukket. EX søk for hele strekningen optimaliserer heller ikke antallet advarsler som ble returnert i henhold til den modifiserte linjen. I figuren kan man se at alle linjene som er produsert i dette spesifikke søket faktisk bryter flere regler i modellen enn den som ble manuelt optimalisert. Alle linjene

har også forskjellig antall knekkpunkter, og gir dermed heller mulighet til å vurdere selv hvilke linjer som er best fremfor å resultere i en anbefalt løsning. Det kan også diskuteres for om disse spesifikke resultatene heller gir grunn til diskusjon rundt korridoren. Alle de produserte linjene i figur 27 har en trend som tilsier at en korridor skulle blitt opprettet mer til høyre i modellen. Dette kan derimot avkrefte da både kostnaden, lengden, advarsler osv. tilsier at de er av dårligere karakter enn den manuelt optimaliserte linjen. Resultatene fra EX søket for hele strekningen gav dermed ingen videre forsikring på at den manuelt optimaliserte linjen er den anbefalte.



Figur 27: De fem returnerte linjene som kom av et EX søk i optimaliseringen av scenario B1, i tillegg til den manuelt redigerte linjen (stiplet).

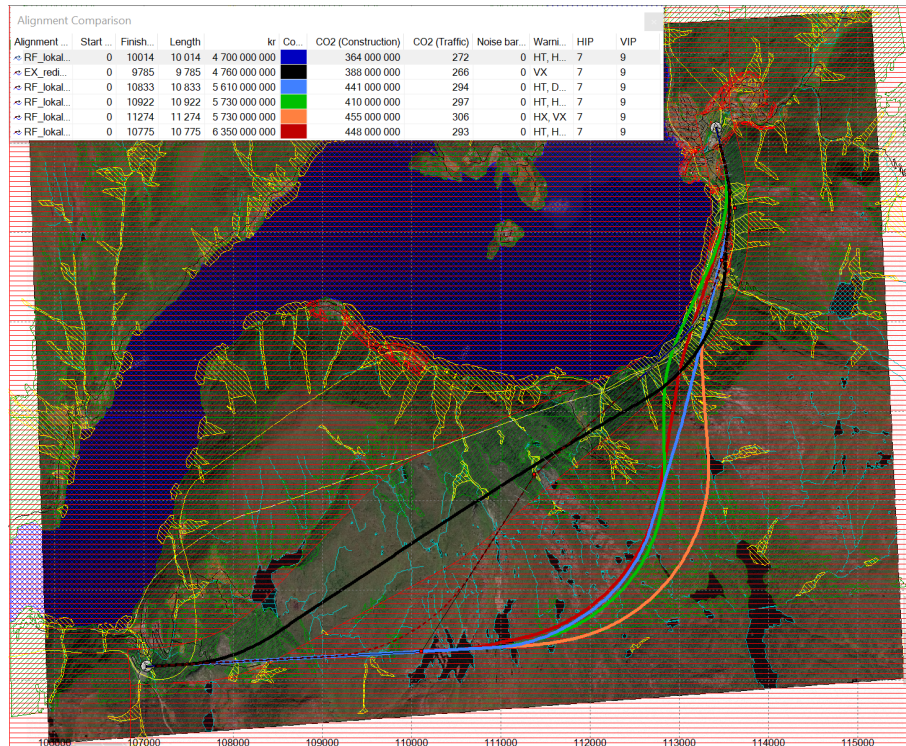
I et lokalt EX søk ble i motsetning disse advarslene redusert for B1 scenarioet. For B2 scenarioet var ikke dette tilfellet, og resultatet måtte håndteres underveis som en urealistisk linjeføring. Siden programmet gir mulighet til å optimalisere deler av strekningen så kunne start- og slutt for søket bli definert etter ønske, og an-

tall knekkpunkt på denne delstrekningen kunne optimaliseres. Det kan antas at siden det lokale søket ble manuelt manøvrert frem til der linjene konvergerer inn mot korridoren igjen i figur 27, så klarer søket å finne optimalisert kurvatur fra og med dette punktet. I disse resultatene ble det produsert ulike varianter for hvordan traséen skulle legges i siste del av strekningen, og alle linjene ble også lagt i tunnel hele veien. Ingen av linjene var billigere enn den manuelt redigerte linjen, men som følge av at de brøt færre regler så antas det at de er mer realistiske. Dette søket tok i underkant av 2min, noe som igjen er mindre enn søket på hele strekningen som tok 5min. Dette kan begrunnes med at ved å begrense søket ytterligere, så må færre elementer vurderes og søket blir dermed mer effektivt.

Videre i den automatiske optimaliseringen så skal altså RF produsere linjer med de beste plasseringene av knekkpunktene. Det antas derfor at denne lokale fasen skal identifisere hvor i terrenget, både i horisontal og vertikal retning, det bestemte antallet knekkpunkt skal optimalt plasseres. Med den multikriterie problemstillingen den står ovenfor må den kunne vurdere hva som er den beste kurvaturen på strekningen med utgangspunkt i både en referanselinje, og antall punkter den kan plassere. Fra resultatene i figur 28 ser vi den samme trenden i plassering av de produserte linjene som i EX optimaliseringen. Også for denne optimaliseringsfunksjonen ble det gjennomført flere identiske søk for å se om den produserer vilkårlige resultat. Dette var tilfellet, og tilsier at også denne optimaliseringsfunksjonen er en mulighetssøkende funksjon mer enn en optimalisering i den undersøkte modellen. Dette er gitt hvilke forutsetninger søket produserer ut fra, men rent praktisk kan det anses som at den lokalt optimaliserte linjen fra EX søket er mer optimal enn de som programmet har produsert i RF optimaliseringen for hele strekningen. Både EX og RF gir også mulighet til å stille på spredningen som ønskes fra resultatene, i tillegg til å definere start- og slutt for søkene som nevnt ovenfor. Denne funksjonen ble undersøkt for å se om denne endringen i forutsetninger for søket på hele strekningen kunne gjøre resultatene mer ønsket. Resultatet av denne endringen førte ikke til at flere linjer ble lagt i den anbefalte korridoren, men førte heller til at korridoren de to funksjonene oppretter til høyre i modellen blir mer tydelig. Dette tilsier derfor at begge funksjonene på store deler av strekningen neglisjerer ønsket om å legge linjene i definert korridor.

Et lokalt RF søk med samme utgangspunkt som det lokale EX søket resulterte i mer realistiske resultat. Disse linjene fulgte så og si referanselinjen til punkt og prikke. De kan på denne måten bekrefte at den lokale EX optimaliseringen har for den valgte linjen også klart å plassere knekkpunktene i optimal posisjon. I tillegg så understreker dette at for det valgte case-studiet så sliter programmet å opti-

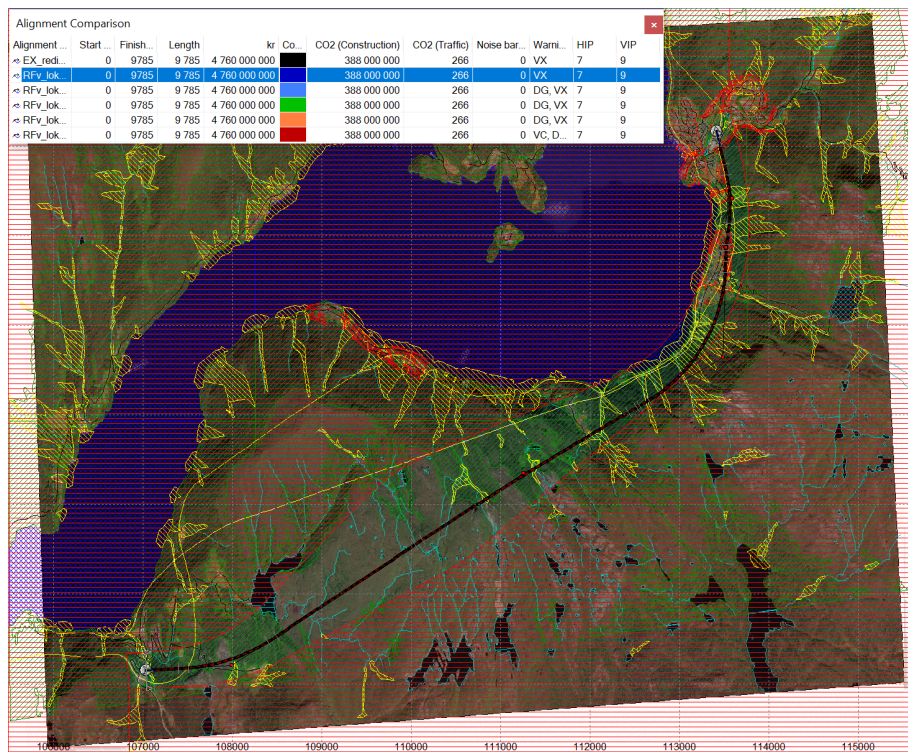
malisere hele strekningen sett under ett. Tidsbruken i RF søkene var også relativt mindre enn sett i sammenligning med de tidligere søkene. Nok en gang kan dette begrunnes med at færre elementer må vurderes, og følgelig vil søket ta mindre tid.



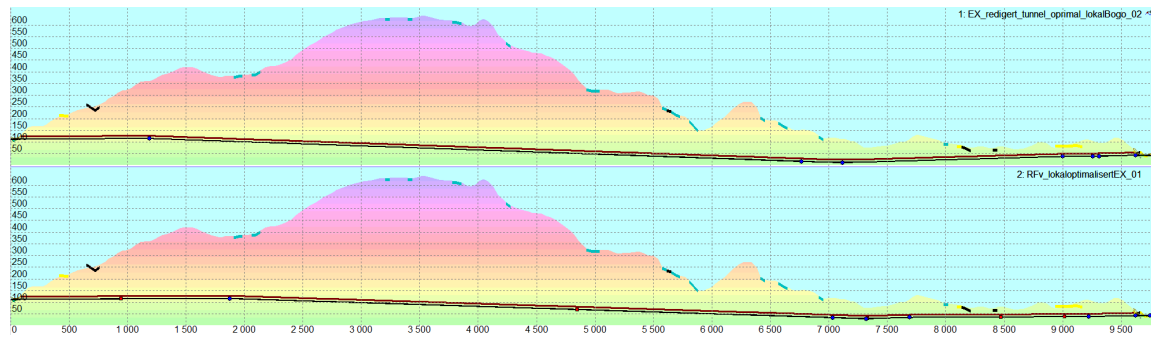
Figur 28: De fem returnerte linjene som kom av et RF søk i optimaliseringen av scenario B1, i tillegg til den lokalt optimaliserte linjen fra EX søket (sort).

Den siste optimaliseringsmuligheten til Quantm som er tilgjengelig er RFv. Med tanke på at denne kun skal optimalisere de vertikale plasseringene av knekkpunktene til en referanselinje, så ble det antatt at disse hovedsaklig ville optimalisere massebalansen. Siden prosjektet gir føringer for at strekningen skal så og si legges i tunnel hele strekningen, vil massebalansen hypotetisk sett ikke være mulig å optimalisere nevneverdig. Dette var tilfellet, og kan begrunnes med at siden hele strekningen legges i tunnel vil mengden masse som transporteres bort bare bli påvirket av lengden. Da søket ikke tar hensyn til, og endrer, horisontalkurvaturen så vil ikke lengden bli endret nevneverdig, noe som resultatene i figur 29 konstanterer. Her ser vi at alle linjene følger den samme horisontale kurvaturen, har de samme

kostnadene, men har noen ulike advarsler i henhold til regelbruddene. Fra de produserte linjene ble det dog observert linjer som virket å være noe mer optimalisert i henhold til lavbrekk. Et eksempel på dette er vist i figur 30 hvor resultatet fra den lokale EX optimaliseringen er sammenlignet med en linje fra RFv resultatene. I stedet for å legge linjen i et tydelig lavbrekk rundt lengdeprofil 7000, så optimaliseres dette til et mer konservativt lavbrekk. Dette antas å kunne ha en positiv effekt på kjøreegenskapene til linjen. Som følge av dette valget så ble strekningen antatt å være ferdig optimalisert, og den optimaliserte linjeføringen i B1 scenarioriet fra Quantm var funnet.



Figur 29: De 5 returnerte linjene som kom av et RFv søk i optimaliseringen av scenario B1, og den optimaliserte linjen fra det lokale EX søket.



Figur 30: Vertikalprofil av den valgte linjen fra det lokale EX søket (øverst), og den ferdig optimaliserte linjen etter RFv søket (nederst).

4.2.3 Sammenligning av Quantm og prosjekterte linjer

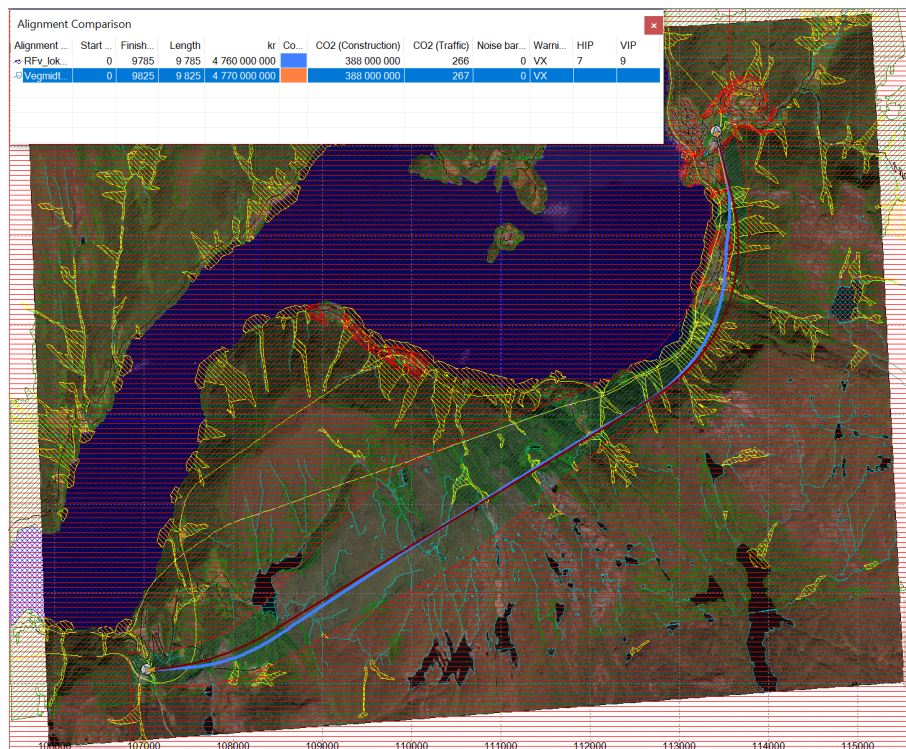
Som følge av de ulike resultatene i scenario B1 og B2, så fører dette til en noe begrenset vurdering av disse opp mot de prosjekterte linjeføringene. Dette gjelder spesielt siden optimaliseringen av scenario B2 i Quantm støtte på flere problemer enn for scenario B1. Det som derimot var klart og tydelig fra resultatene var at de identifiserte korridorene sammenfalt godt med senterlinjene som ble oversendt av prosjektgruppen til E16 og Vossebanen. Fra figur 31 og 32 kan vi se at begge senterlinjene ligger innenfor korridoren i hvert sitt respektive scenario. Ut fra dette kan den korridoridentifiserende funksjonen til Quantm argumenteres for å ha fungert bra i undersøkt case-studie. Programmet har da altså ved automatiske søk klart å identifisere den samme traséen som prosjektet identifiserte med tradisjonelle metoder. Selve korridoridentifiseringen, og opprettelsen tok i underkant av 30min, men må ses i sammenheng med modelletableringen for å kunne sammenligne tidsbruken i de to metodene.

For alle linjene så dukker det opp en advarsel om regelbrudd i henhold til vertikal kryssing (VX) i modellen. Denne oppstår som følge av at linjene må inn mot start- og slutt punktet krysse henholdsvis en elv, og eksisterende veg for å treffe punktene med riktig bæring og stigning. Disse vil det være umulig for Quantm å unngå uten å endre på viktige parametre i modellen. Det som er positivt med denne advarselen er at den kan gjøre brukeren oppmerksom på problemet, som igjen kan ved senere detaljprosjektering håndtere dette.

Den importerte senterlinjen fra E16 og Vossebanen i scenario B1 ligger innenfor korridoren hele veien, og tett opp mot den optimaliserte linjen fra Quantm. Bare på deler av strekningen, ved Bogo, avviker de to kurvaturene fra hverandre noe. Fra figur 31 ser vi også at den anbefalte løsningen fra Quantm viser seg å ha en

investeringsgrad som er 10 millioner mindre enn den anbefalte løsningen fra prosjektet. Dette kommer nok hovedsaklig fra den reduserte lengden som Quantms linje tilsvarer. Siden begge linjene er lagt i tunnel hele veien, vil altså besparelsen komme i form av mindre tunnel.

Disse resultatene kan argumenteres for å både forsterke gyldigheten til den korridoridentifiserende funksjonen til Quantm, samt å produsere en linjeføring som i et rent jernbaneperspektiv er mer optimalt enn tradisjonelle metoder.

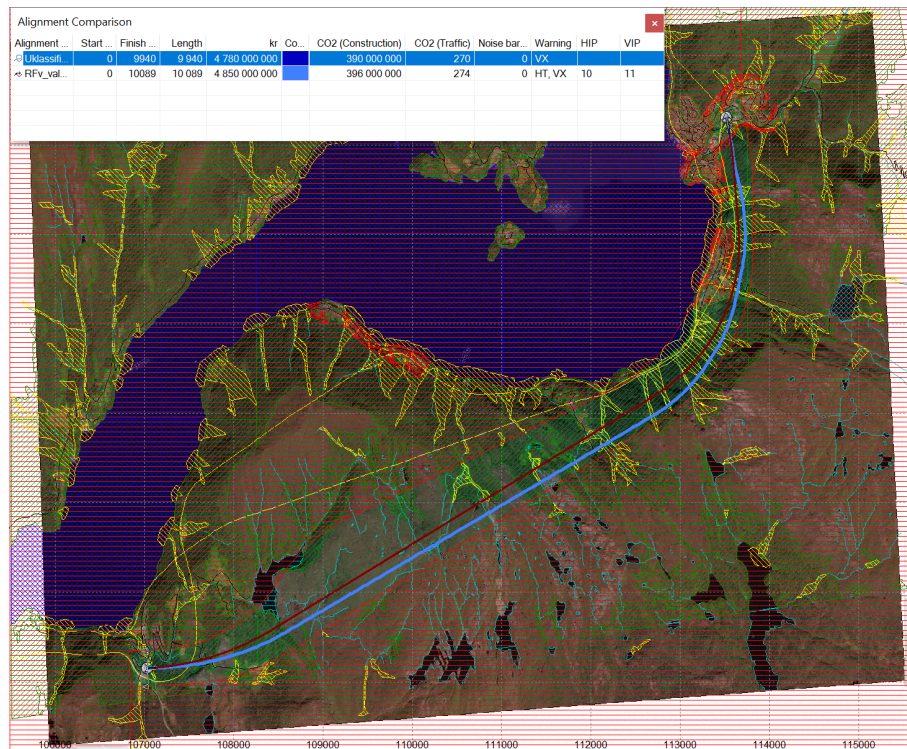


Figur 31: Optimalisert linje fra Quantm (blå) og linje fra E16 og Vossebanen (rød) med stasjonsplassering B1 på Vaksdal.

Fra figur 32 ser man at den importerte senterlinjen i scenario B2 ligger så og si midt i den opprettede korridoren hele veien. Den optimaliserte linjen fra Quantm følger denne med noe forskjell i kurvatur. Da linjen fra Quantm inneholder horisontale overgangskurver som ikke er i henhold til kravene i modellen (advarsel om HT i figuren), vil en direkte sammenligning mellom disse linjene være noe

uhensiktsmessig. Dette gir optimaliseringsmulighetene i Quantm av dette spesifikke scenarioet en liten ulempe. For å kunne direkte sammenligne linjene hadde den måttet blitt detaljprosjektert i andre programvarer, som for eksempel Novapoint, slik at begge linjene har et likt gyldighetsgrunnlag.

Derfor vil sammenligningen i dette scenarioet kun gi en bekreftelse av korridoren som er produsert av programmet, fremfor at kostnader osv. til linjene kan sammenlignes mellom metodene.



Figur 32: Optimalisert linje fra Quantm (blå) og linje fra E16 og Vossebanen (rød) med stasjonsplassering B2 på Vaksdal.

Ut fra de tre gyldige linjene kan det også argumenteres for at Quantm har identifisert stasjonsplassering B1 som det minst kostbare alternativet for strekningen. Siden den optimaliserte linjen fra Quantm i scenario B1 har en lavere kostnad enn de som er prosjektert av E16 og Vossebanen, så kan denne i et kostnadsperspektiv videre anbefales som den beste. Dette er derimot i et perspektiv hvor kun kostnaden av jernbanetraséen legges til grunn, og ikke den tilhørende vegtraséen som skal bygges parallelt i dette prosjektet. Denne parallele prosjekteringen kan på vis-

se delstrekninger føre til at anbefalt linjeføring fra Quantm må bli modifisert, slik at krav for både veg og jernbane blir oppfylt. Dette kan igjen føre til at kostnaden for denne linjen vil øke, og eventuelt bli dyrere enn de fra prosjektet.

Siden disse kostnadene kun er estimat produsert ut fra kostnadsspesifikk data lagt inn i modellen, er disse hovedsaklig kun til bruk i sammenligning av linjer i programmet. Å sammenligne estimatene fra programmet med estimater fra tradisjonelle metoder brukt i prosjektet kunne ha videre forsterket, eller avkrefte gyldigheten til resultatene i Quantm. Som følge av at valgt strekning er egendefinert for denne oppgaven, så finnes det ikke ferdigproduserte estimat fra denne delstrekningen i prosjektdokumentasjonen. Det kan derfor diskuteres for om tradisjonelle kostnadsberegninger kunne blitt brukt på den spesifikke strekningen, slik at resultatene kunne ha blitt forsterket noe mer. Isåfall måtte enhetspriser, og andre kostnadsparametre i den tradisjonelle metoden samsvart med Quantm modellen.

5 Konklusjoner og videre arbeid

5.1 Konklusjon

Resultatene fra denne oppgaven har gitt grunnlag for en konklusjon i henhold til de stilte forskningspørsmålene. Selv om diskuterte usikkerheter i metoden kan gi noen føringer for hvilke resultater som blir produsert, så kan resultatene brukes som en vurdering av problemstillingen i oppgaven. Direkte konklusjoner til forskningspørsmålene er derfor presentert under.

FS1 Hvordan sidestiller Quantm seg i forhold til tradisjonell prosjektering av linjeføringer?

Å sammenligne Quantm og tradisjonelle linjevalgsmetoder er svært avhengig i hvilken fase man setter opp metodene mot hverandre. I den korridoridentifiserende fasen av et prosjekt har programmet et stort potensiale til å produsere et mye bredere spekter av alternative linjeføringer enn tradisjonell metode. Dette gir programmet en fordel når det kommer til mulighetssøkingen. I stedet for å gjennomføre omfattende idédugnader og manuell produksjon av enkeltlinjer i ulike traséer, så produseres et stort antall linjer som gir indikasjoner til disse traséene raskt og effektivt. I tillegg kan kostnaden av de ulike traséene raskt sammenlignes i Quantm, i stedet for å måtte manuelt beregne hver linje individuelt. I opprettelsen av den optimale linjen i en korridor er det dog noe vanskelig å konkludere om hvordan metodene sidestiller seg i forhold til hverandre. Dersom optimaliseringsalgoritmen til Quantm fungerer som den skal har den et potensiale til å gi brukeren et raskt overblikk over hvilke muligheter som er mest optimale. Da vil Quantm kunne gi en mye raskere og oversiktlig valgprosess enn de tradisjonelle metodene. Men fra resultatene viser det seg at programmet kan støte på uforutsette problemer, og gi utilfredse resultater. Begge metodene tar utgangspunkt i økonomiske, miljømessige, og ingeniørmessige valg underveis, men Quantm kan gjøre mye av jobben automatisk dersom inndata til modellen er korrekt lagt inn.

FS2 Hvilke fordeler og ulemper oppstår når Quantm brukes for å prosjektere linjeføringer?

Den raske beregningen som blir gjennomført og sammenligningsgrunnlaget som blir produsert av Quantm er en av de store fordelene til programmet. Dette gjør at valg av korridor, og linjer kan gjøres raskt ut fra kvantitative mål. I tillegg så

rapporterer programmet raskt om hvilke utfordringer de individuelle linjene møter i form av advarsler. Disse kan brukes både som sammenligningsgrunnlag til linjevalg, samt som tilleggsinformasjon til manuell optimalisering av linjene i programmet. De største ulempene er i henhold til modelletableringen og uvisshet rundt linjeproduksjonen. Modelletableringen kan bli veldig komplisert, og i noen tilfeller møte på hindringer som resulterer i utilfredse resultat. Dette gjør at brukeren må ha god kompetanse og erfaring med programmet for at denne delen ikke skal ta unødvendig mye tid. Selv om nettverksoptimalisering og global optimalisering er identifisert som mulig teori bak de automatiske funksjonene til programmet, er det noe vanskelig å forstå hvorfor programmet gjør som den gjør i noen spesifikke resultat. Dette gir grunnlag for usikkerhet i resultatene, og fører til at optimaliseringsprosessen kan bli valgt bort i fordel til tradisjonelle metoder.

5.2 Videre arbeid

For videre arbeid er det identifisert både arbeid som Trimble kan gjennomføre for å forbedre programvaren, samt videre akademiske studier som kan hjelpe med forståelsen av programmet. I programmet bør videre arbeid rundt databehandlingen gjøres. Alternativ 1 for databehandling har et stort potensiale til å gjøre programintegrasjonen av Quantm mye bedre. I henhold til resultatene i denne oppgaven fungerer ikke denne optimalt idag, og kan trenge noen forbedringer. Dette kan dog også løses med mer kompetansebygging rundt metoden dersom resultatene i denne oppgaven kommer på grunn av feilhåndtering av data. Bedre implementering av krav til romkurvatur er også utpekt i spørreundersøkelsen som potensiale for forbedring. Spesifikt for denne oppgaven hadde det også vært fortrinnsmessig å kunne produsere linjeføringer hvor veg og bane prosjekteres parallelt. Derfor kunne en funksjon hvor algoritmen tar hensyn til både veg, og bane samtidig vært en mulig forbedring av programmet. Akademisk arbeid i form av forskning rundt programmet identifiseres til blant annet enda mer utforskning rundt optimaliseringsalgoritmen. Selv om noe teori er identifisert i oppgaven som kan virke lovende, er det fortsatt mye rundt de automatiske funksjonene til programmet som er vanskelig å forklare. Dette vil også kunne stadfeste om teorien i denne oppgaven er relevant, eller i hvilken grad den er utenfor programmets relevans. I tillegg til dette kan det gjøres mer målrettet arbeid for å fremheve optimalisering i tradisjonelle metoder slik at sammenligningen med Quantms automatiske optimaliseringer blir mer konkret. På denne måten vil brukere av programmet få mer forståelse av resultatene, og kan bedre argumentere for deres gyldighet.

Bibliografi

- Baek, J. & Choi, Y. (2017), 'A new algorithm to find raster-based least-cost paths using cut and fill operations', *International Journal of Geographical Information Science* **31**(11), 2234–2254. DOI: 10.1080/13658816.2017.1356463.
- Bane NOR (2015), 'Bergensbanen (Voss)-Arna: Supplerende utredning KVV Voss-Arna', Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/bergensbanen-voss--arna-supplerende-utredning-kvu-voss---arna/id2439488/>. Hentet: 2020-11-16.
- Bane NOR (2021), 'Bim i bane nor', Tilgjengelig fra: <https://www.banenor.no/Prosjekter/prosjekter/dovrebanen/kleverud-sorli-akersvika/innhold2/20192/3d-modelleringbim/>. Hentet: 2021-05-20.
- Bane NOR & Statens vegvesen (2014), 'KVV Voss-Arna', Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/Europaveg/e16banearnastanghelle/bakgrunn>. Hentet: 2020-06-04.
- Effat, H. & Hassan, O. (2013), 'An extension of gis-based least-cost path modelling to the location of wide paths', *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* **16**(2), 141–151. DOI: 10.1016/j.ejrs.2013.08.001.
- Ervesvåg, I. & Hedly, M. (2017), 'Quantm - Fra visjon til bærekraftig samferdselsplanlegging', Bacheloroppgave. HiOA Høgskolen i Oslo og Akershus. Tilgjengelig fra: <https://banenor.brage.unit.no/banenor-xmlui/handle/11250/2477481>. Hentet: 2020-06-04.
- Gen, M. & Cheng, R. (1999), Network design and routing, in H. Parsaei, ed., 'Genetic algorithms and engineering optimization', John Wiley & Sons, pp. 341–389. DOI: 10.1002/9780470172261.ch8.
- Gimbutiene, G. & Zilinskas, A. (2015), 'A two-phase global optimization algorithm for black-box functions', *Baltic Journal of Modern Computing* **3**(3), 214–224. Tilgjengelig fra: <https://www.proquest.com/scholarly-journals/two-phase-global-optimization-algorithm-black-box/docview/1722161202/se-2?accountid=12870>. Hentet: 2021-28-04.

- Gonçalves, A. B. (2010), 'An extension of gis-based least-cost path modelling to the location of wide paths', *International Journal of Geographical Information Science* **24**(7), 983–996. DOI: 10.1080/13658810903401016.
- Goodchild, M. (1977), 'An evaluation of lattice solutions to the problem of corridor location', *Environment and Planning A: Economy and Space* **9**(7), 727–738. DOI: 10.1068/a090727.
- He, J., Rexford, J. & Chiang, M. (2010), Design for optimizability: Traffic management of a future internet, in G. Cormode & M. Thottan, eds, 'Algorithms for Next Generation Networks', Springer, London, pp. 3–18. DOI: 10.1007/978-1-84882-765-3-1.
- Henig, M. I. (1986), 'The shortest path problem with two objective functions', *European Journal of Operational Research* **25**(2), 281–291. DOI: 10.1016/0377-2217(86)90092-5.
- Hong, I. & Murray, A. T. (2016), 'Assessing raster gis approximation for euclidean shortest path routing', *Transactions in GIS* **20**(4), 570–584. DOI: 10.1111/tgis.12160.
- Horst, R. & Tuy, H. (1990), Some important classes of global optimization problems, in 'Global optimization: Deterministic approaches', Springer, Berlin, pp. 3–50. DOI: 10.1007/978-3-662-02598-7.
- Jernbanedirektoratet & Statens vegvesen (2017), 'E16 og Vossebanen Arna-Stanghelle: Forprosjekt med siling', Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/Europaveg/e16banearnastanghelle/planar-og-dokument/planprogram>. Hentet: 2020-11-21.
- Li, F. & Klette, R. (2011), Euclidean shortest paths, in 'Euclidean Shortest Paths', Springer, London, pp. 3–29. DOI: 10.1007/978-1-4471-2256-2-1.
- Liberti, L. (2006), Writing global optimization software, in L. Liberti & N. Maculan, eds, 'Global optimization', Vol. 84, Springer, Boston, pp. 211–262. DOI: 10.1007/0-387-30528-9-8.
- Liberti, L. (2008), 'Introduction to global optimization', *Ecole Polytechnique*. Tilgjengelig fra: http://www.lix.polytechnique.fr/~liberti/teaching/mpro/pma-12/nonconvex_optimization.pdf. Hentet: 2021-24-04.

- Madkour, A., Aref, W. G., Rehman, F. U., Rahman, M. A. & Basalamah, S. (2017), 'A survey of shortest-path algorithms', *Cornell University*. Tilgjengelig fra: <https://arxiv.org/abs/1705.02044>. Hentet: 2021-04-29.
- Meld St. 20 (2020-2021) (2021), 'Nasjonal transportplan 2022-2033', Oslo: Samferdselsdepartementet. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/contentassets/fab417af0b8e4b5694591450f7dc6969/no/pdfs/stm202020210020000dddpdfs.pdf>. Hentet: 2021-04-06.
- Meld St. 33 (2016-2017) (2017), 'Nasjonal transportplan 2018-2029', Oslo: Samferdselsdepartementet. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/contentassets/7c52fd2938ca42209e4286fe86bb28bd/no/pdfs/stm201620170033000dddpdfs.pdf>. Hentet: 2020-12-18.
- Mitchell, J. S. et al. (2016), 'Geometric shortest paths and network optimization', *Handbook of computational geometry* **334**, 633–702. Tilgjengelig fra: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.56.2239&rep=rep1&type=pdf>. Hentet: 2020-12-19.
- Schoen, F. (2002), Two-phase methods for global optimization, in P. Pardalos & H. Romeijn, eds, 'Handbook of global optimization', Vol. 62, Springer, Boston, pp. 151–177. DOI: 10.1007/978-1-4757-5362-2-5.
- Slinning, E. & Kvamme, I. (2020), 'Quantm - Et verktøy for tidligfaseprosjektering', Bacheloroppgave. HVL Høgskulen på Vestlandet. Tilgjengelig fra: <https://hvlopen.brage.unit.no/hvlopen-xmlui/handle/11250/2659379>. Hentet: 2020-09-09.
- Spall, J. C. (2012), Stochastic optimization, in J. Gentle, W. Härdle & Y. Mori, eds, 'Handbook of computational statistics', Springer, Berlin, pp. 173–201. DOI: 10.1007/978-3-642-21551-3-7.
- Terramar & Oslo Economics (2014), 'Kvalitetssikring (KS1) av KVVU for Voss-Arna', Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/kvalitetssikring-ks1-av-kvu-for-voss--arna/id2358359/>. Hentet: 2020-11-15.
- Trimble (2017a), 'Quantm Getting Started Guide', Tilgjengelig fra: <https://community.trimble.com/communities/publiccommunity?CommunityKey=e23acad9-4fcf-4473-8ca6-a8588b170827>. Hentet: 2021-05-20.

- Trimble (2017b), 'Quantm User Guide', Tilgjengelig fra: <https://community.trimble.com/communities/publiccommunity?CommunityKey=e23acad9-4fcf-4473-8ca6-a8588b170827>. Hentet: 2021-05-20.
- Trimble (2021), 'Connecting the digital and physical worlds', Tilgjengelig fra: Teams møte 10.02.21 med Magnus Hedly. Hentet: 2021-02-10.
- Trimble Quadri* (2020), Tilgjengelig fra: <https://civil.trimble.no/produkter/quadri>. Hentet: 2021-05-20.
- Trimble Quantm* (2020), Tilgjengelig fra: <https://civil.trimble.no/produkter/novapoint/quantm>. Hentet: 2021-05-20.
- Yu, C., Lee, J. & Munro-Stasiuk, M. J. (2003), 'Extensions to least-cost path algorithms for roadway planning', *International Journal of Geographical Information Science* 17(4), 361–376. DOI: 10.1080/1365881031000072645.

Appendiks 1: Spørreskjema

Rapport fra «Quantm - Brukerundersøkelse»

Innhentede svar pr. 6. april 2021 11:08

- Leverte svar: **13**
- Påbegynte svar: **0**
- Antall invitasjoner sendt: **0**

Med fritekstsvar



Denne undersøkelsen er utformet som en del av en avsluttende masteroppgave på studiet bygg- og miljøteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU).

Temaet for undersøkelsen er bruk av prosjekteringsverktøyet Quantm i samferdselsprosjekt, og hvordan det sidestiller seg i forhold til tradisjonell prosjektering. Besvarelsen skal være anonym, og vil hovedsakelig bli brukt i en kvantitativ sammenligning mellom metodene.

I denne undersøkelsen beskriver betegnelsen "tradisjonell prosjektering" metoden(e) som ble brukt i arbeid med linjesøk, linjevalg, linjeoptimalisering og modelletablering før Quantm ble tatt i bruk.

Undersøkelsen tar omtrent 5-10 minutter å gjennomføre. Ved spørsmål, ta kontakt på mail til aadnehm@ntnu.no eller mob. 99258439.

Erfaring

Denne delen av undersøkelsen skal kartlegge hvor mye erfaring brukerne av Quantm har, og hvor utbredt bruken av Quantm er i bransjen.

Hvor mange års erfaring har du med Quantm? *

- Dersom du er usikker på hvilket alternativ som er mest korrekt for deg, velg det mest konservative alternativet. Eksempel: du gjennomførte kurs/ble opplært i Quantm våren 2018, da velger du alternativet 2-3år.

Svar	Antall	Prosent
0-0,5år	1	7,7 %
0,5-1år	3	23,1 %
1-2år	3	23,1 %
2-3år	2	15,4 %
3-4år	3	23,1 %
4år eller lengre	1	7,7 %

Hvor mange prosjekt har du brukt Quantm i? *

- 4
- 4
- 2
- 1
- 25
- 1
- 1
- 3
- 3
- 7
- 4
- 4
- 1

I hvilken type samferdselsprosjekt har du benyttet Quantm? *

- Kryss av for flere alternativ dersom dette er relevant.
- For kombinasjonsprosjekt forstås det i denne undersøkelsen at Quantm er brukt i prosjekt der ny vei og bane er prosjektert i samme prosjektområde samtidig, og med hensyn til hverandre.

Svar	Antall	Prosent
Veiprosjekt	9	69,2 %
Jernbaneprosjekt	5	38,5 %
Kombinasjonsprosjekt	0	0 %
Har ikke brukt programmet i et reelt prosjekt enda	0	0 %

Evaluering av Quantm

Besvar spørsmålene ut fra egen erfaring med programmet. I hvor stor grad føler du at Quantm bidrar til:

Svar fordelt på antall

	I veldig liten grad	I liten grad	I noen grad	I veldig stor grad	Vet ikke/ikke relevant
En rask og effektiv prosjekteringsprosess? *	0	0	4	9	0
En rask og intuitiv modelletablering? *	0	2	6	5	0
Å kartlegge mulige linjeføringer i prosjektområdet? *	0	0	0	13	0
Å produsere realistiske og gode kostnadsestimat? *	0	1	5	6	1
Å produsere realistiske og gode CO2-estimat? *	1	2	5	2	3
Gode optimaliseringsmuligheter av valgt linje? *	0	1	5	7	0

Svar fordelt på prosent

	I veldig liten grad	I liten grad	I noen grad	I veldig stor grad	Vet ikke/ikke relevant
En rask og effektiv prosjekteringsprosess? *	0 %	0 %	30,8 %	69,2 %	0 %
En rask og intuitiv modelletablering? *	0 %	15,4 %	46,2 %	38,5 %	0 %
Å kartlegge mulige linjeføringer i prosjektområdet? *	0 %	0 %	0 %	100 %	0 %
Å produsere realistiske og gode kostnadsestimat? *	0 %	7,7 %	38,5 %	46,2 %	7,7 %
Å produsere realistiske og gode CO2-estimat? *	7,7 %	15,4 %	38,5 %	15,4 %	23,1 %
Gode optimaliseringsmuligheter av valgt linje? *	0 %	7,7 %	38,5 %	53,8 %	0 %

Hva er din helhetlige vurdering av Quantm på en skala fra 1 til 10? *

- Valgt verdi skal være en generell vurdering av programmet.
- 5
- 8
- 7
- 5
- 10
- 8
- 9
- 8
- 9
- 6
- 9
- 7
- 7

I henhold til det forrige spørsmålet. Hvilke hovedpunkt vil du trekke frem som begrunnelse for din besvarelse?

- Gerne svar i stikkordform, eller noen få korte setninger som begrunner din valgte verdi.
- For dårlig integrasjon med Novapoint/Quadri og annen programvare.
- Kan brukes med å sammenligne linjer fra mange forskjellige scenario samt få noen krysningspunkter hvor alle linjer sammenfaller. De punktene kan brukes videre i mer detaljert prosjektering i Novapoint med tanke på at linjene skal gå gjennom de. Kostnader er ikke relevante men der er kostnads-differansen mellom linjene som er relevant og kan brukes til siling.
- Hade fått högre betyg om man kunnat göra sök direkt och inte behövt flytta filer till servern. Samt enklare hantering av GIS-data.
- Programmet er bra, men lengdeprofilene tar ikke hensyn til romkurve, noe som gir urealistisk gode lengdeprofil på vegger med høy hastighet og stiv kurvatur.
- Tidsbesparende Kostnadsreduksjon Evaluere alle muligheter Kvalitetssikring Kobling til Quadri Miljø og CO2
- Snabb process att skapa nya linjer
- Rask vurdering av alternativer, kan enkelt og raskt vurdere ulike korridorer/traseer mot hverandre mtp kostnad, optimalisering gjør det enkelt å gjøre mindre endringer, gir gode resultater gitt at man har brukt tilstrekkelig tid på å gi god input, gjør det mulig å behandle store data raskt og effektivt
- Det er godt på å rask få oversikt og muligheten i et område. Og setter fokus på kostnader og kartlegging av Ikke Prissatte verdier tidlig. Tar ikke hensyn til romkurve og gjør litt rare avveininger i skrått terreng. Burde hatt en bedre kobling til NP med tanke på bruer/tunneller og vegmodell. Vanskelig å ta med eksisterende veg som en eksisterende resurs. Vanskelig å sette parametere slik at bruer og tunneler blir helt riktig. Må gjøre individuelle vurderinger på disse.
- Programmet bidrar godt med å se mange muligheter på kort tid. Det er enkelt å få kostnader på linjene og å se linjer opp mot hverandre.
- Effektivt kartlagge möjlige linjeföringar.

Dersom du har deltatt i arbeid med prosjekt(er) hvor Quantm ble brukt, og som nå er ferdigstilt, hvordan ble resultatet?

- Valgt verdi skal være en generell indikator på hvor godt resultatet blir i prosjekter som involverer bruk av Quantm.
- 4
- 8
- 8
- 10
- 8
- 7
- 9
- 8
- 9
- 7

I henhold til det forrige spørsmålet. Er det noe som tilsier at bruken av Quantm påvirket resultatet i positiv eller negativ forstand?

- Quantm ble i veldig liten grad gitt noen oppmerksomhet.
- Quantm påvirker i positiv i stor grad!
- Positivt, kunnat analysere möjlige korridorer utanför vårt utredningsområde. Detta för att säkerställa att alla alternativ i vår lokaliseringstudie är jämförbara.
- JA, positivt
- Reduserte et prosjekt fra 25 milliarder til 15. I et annet ble det 50% tidsreduksjon
- Quantm gjorde det möjligt att leverera ett resultat på kort tid




- Kommunedelplan E16 Kongsvinger. Linje fra TQ har blitt justert i NP, men i hovedsak er kommunedelplanlinjene godt i overensstemmelse med resultatene fra TQ. Justeringer mot ikke-prissatte fag måtte gjøres manuelt, men TQ tar godt hensyn til prissatte fag gitt at man har gode tall og datagrunnlag.
- Var lett å begrunne resultatene og legge "ballen død" i mange tilfeller slik at vi fikk en rask prosess.
- Ingen prosjekter er ferdigbygd, kun analyser i tidligfase prosjektering.

Quantm's optimaliseringsalgoritme







Quantm utfører automatiske søk av linjeføringer, og kan optimalisere disse ved hjelp av en innebygd optimaliseringsalgoritme. Denne delen av undersøkelsen skal kartlegge hvor mye brukerne kan om denne, og om det er ønskelig med mer kunnskap om den.

Har du tidligere gjort en ekstra innsats for å undersøke hvordan Quantm's optimaliseringsalgoritme fungerer? *




- Med ekstra innsats menes det i dette spørsmålet at du har benyttet deg av vitenskapelige artikler, eller lignende, for å øke din egen kunnskap om algoritmen.

Svar	Antall	Prosent
Ja	6	46,2 % 
Nei	6	46,2 % 
Husker ikke	1	7,7 % 

Hvor mye føler du at du kan om teorien bak optimaliseringsalgoritmen som er innebygd i Quantm? *

Svar	Antall	Prosent
Svært lite	1	7,7 % 
Lite	3	23,1 % 
Noe	4	30,8 % 
Mye	2	15,4 % 
Svært mye	2	15,4 % 
Vet ikke/ikke relevant	1	7,7 % 

I hvilken grad ville du vært interessert i å vite mer om hvordan Quantm's optimaliseringsalgoritmer fungerer? *

Svar	Antall	Prosent
I veldig liten grad	0	0 %
I liten grad	0	0 %
I noen grad	4	30,8 % 
I stor grad	6	46,2 % 
I svært stor grad	3	23,1 % 
Vet ikke/ikke relevant	0	0 %

Sammenligning av Quantm og tradisjonell prosjektering

Denne delen av undersøkelsen er en direkte sammenligning mellom de to metodene. Dersom du ikke har deltatt i arbeid med tradisjonell prosjektering tidligere så kan du se bort fra denne delen.

Hva er de umiddelbare fordelene med Quantm i forhold til tradisjonell prosjektering som du kommer på?

- Finne muligheter som ikke er åpenbare Finne kostnader enkelt og raskt Optimalisere linjer bedre og raskere enn mennesker kan
- Tidsbesparelse, CO2
- Endast på några timmar i ett mycket tidigt skede kan vi ta fram hundratals linjeföringar och utifrån dessa utläsa vart den optimala avgränsningen för korridoren går och utsluta korridorer som inte alls är aktuella. • Vidare sökningar görs i den avgränsade korridoren. Vanligtvis utreds endast ett par linjer i detta skedet, detta gör att den optimala linjen uteblir. Quantm möjliggör att undersöka tusentals linjer på kortare tid och lägga merparten av tiden på de linjer som verkligen är aktuella. Vi kan helt enkelt leverera med högre kvalitet. När den slutgiltiga linjen är framtagen i Quantm så exporteras den vidare till exempelvis Microstation för detaljprojektering. • Vikta olika förutsättningar mot varandra och se konsekvenserna i kostnad, konstruktion, massor, CO2 och geometri. • Beräkna kostnader, mängder, CO2 och massbalans. • Beräkning av CO2. • Importera befintliga geometrier för att göra jämförelser och optimeringar, exempelvis en optimering enbart av vertikalgeometrin. • Att anpassa linjen efter nya förutsättningar är mycket enkelt och går snabbt. • Lägre byggkostnad.
- Kommer raskere til en optimal plassering av vegen.
- Raskere Algoritme Undersøke millioner alternativer i stedet for noen få
- Att kunna få många linjer på kort tid och göra snabba ändringar
- Muligheten til å raskt analysere flere mulige trasevalg og, IKKE MINST, sammenligne kostnadene på disse samtidig. Dette
- Får rask oversikt over mulighetene som finnes i ett område. Sette fokus på kostnader samt kartlegging av IP tidlig. Gir oss en ekstra trygghet i at vi lander på de riktige valgene.
- Mange linjer på kort tid. Får kostnader på linjene med en gang.
- Att snabbt kunna undersöka hur olika förutsättningar påverkar möjliga linjeföringar.

Hva er de umiddelbare ulempene med Quantm i forhold til tradisjonell prosjektering som du kommer på?

- 3D presentasjon mangler i Quantm (bortsett fra video). Fylling over satt antall metter bygges automatisk som støttemur! Noen utfordringer i linjepålegg i tunnelen.
- Ej integrerat med ProjectWise.
- Man må alltid endre lengdeprofilene og spesielt romkurvene, men det er ikke en ulempe i den forstand. Dette er en hjelp i tradisjonell prosjektering, spesielt i tidlig fase, men kan ikke erstatte bearbeiding av linjer, det er programmet for dårlig på.
- Man har möjligheten att utreda mycket mer inom samma tid
- Dårlig datagrunnlag og feil i parametre kan gi store konsekvenser for resultater fra TQ. Gitt dårlig kontroll og analyse av dette kan man få misvisende resultater. Romkurvatur og linjeføring er også punkter som TQ tar litt lett på, men som på strre vegprosjekter er et viktig element i planleggingen.

- Blir veldig mye data og analysere. Litt vanskelig å bli skikkelig godt kjent med terrenget og området.
- Mange linjer kan fremstå litt urealistiske/ligger høyt i terrenget etc. Man har ikke like god kontroll på valgene programmet tar. Kunne kanskje hatt en funksjon for å koble deler av linjer sammen. Det er ofte slik at en linje er ønskelig ved startpunkt og en annen ved sluttettpunkt.
- Svårighet å ibland tolke resultatet mot de forutsetninger som styrt beräkningen.

Visst tid brukt i et prosjekt der tradisjonelle metoder ble benyttet er referanse, hvor stor andel av den tiden tror du at prosjektet ville brukt dersom Quantm ble benyttet istedenfor?

- Dersom du har erfaringer fra lignende prosjekter hvor tradisjonell metode ble brukt i det ene, og Quantm i det andre, bruk gjerne dette.
- Dersom det er vanskelig å ta en generell beslutning, gjerne utdyp i neste spørsmål.

Svar	Antall	Prosent	
10%	1	8,3 %	▬
20%	0	0 %	
30%	1	8,3 %	▬
50%	0	0 %	
60%	0	0 %	
70%	2	16,7 %	▬▬
80%	1	8,3 %	▬
90%	2	16,7 %	▬▬
100%	0	0 %	
Lengre tid enn tradisjonell metode	0	0 %	
Vanskelig å si noe om	5	41,7 %	▬▬▬▬

I henhold til det forrige spørsmålet. Hvorfor valgte du dette alternativet?

- Stor besparelse i å finne gode linjer Stor fordel i å optimalisere den beste linjen Merverdi for samfunn og kunde
- E39 Lyngdal vest-Åldgård ble brukt ca 1,5 år. Quantm har fått bekreftet de resultatene. Undersøkelse ble gjort på 2 måneder.
- Dette kommer helt an på omfanget av prosjektet. På store prosjekt i en tidlig utredningsfase hvor man ikke vet hvor vegen skal gå, så er det enormt mye tid å spare, men man må uansett bearbeide Quantm linjene i vegplanleggingsprogramvare, de er ikke gode nok rett fra quantm. På små prosjekter og i en mer detaljert fase av prosjektet er det mindre å hente på tidsbesparelse.
- Revolusjonere raskt
- Ganska snabbt såg vi i prosjektet att vi kunde göra en massa extra
- Stor tidsbesparelse. Men kanskje det viktigste er at man får sammenlignet FLER traseer og sett på kostnadene av disse.
- Det er noen besparelser helt i starten av prosjektet. Senere i prosjektet blir TQ brukt supplementende, som en ekstra verdi.
- Fordi i store prosjekter i tidlig fase er avhengig av veldig mye mer enn bare å prosjektere veien. Den innsparingen vi ser i tid blir ofte spist opp i å bearbeide linjene få innspill fra andre etater osv. Men den største nytten ligger i at dette gir oss en trygghet og gode argumenter for hvorfor vi har landet der vi har.
- Har ikke sammenligningsgrunnlag da jeg ikke har vært med i sammenlignbare prosjekt med tradisjonell prosjektering.
- Min generelle oppfatning är att Quantm ger en tidsbesparing när man ska ta fram linjeföring för en helt ny väg/järnväg. Storleken på tidsbesparingen beror på vilken typ av projekt det är och i vilket skede/fas som Quantm används. Jag anser det därför svårt att sätta en procentsats.

Dersom du fikk valgt mellom å bruke Quantm, og tradisjonell prosjektering, hvilken metode ville du valgt?

- Valget skal tas på grunnlag av hvilken metode du foretrekker i samferdselsprosjekt.
- Dersom det er vanskelig å ta en generell beslutning, gjerne utdyp i neste spørsmål.

Svar	Antall	Prosent	
Tradisjonell prosjektering	1	8,3 %	▬
Quantm	4	33,3 %	▬▬▬
Vanskelig å si noe om	7	58,3 %	▬▬▬▬▬▬

I henhold til det forrige spørsmålet. Hvorfor valgte du dette alternativet?

- Svaret er Quantum + tradisjonell. Quantm kan ikke erstatte tradisjonell.
- Må brukes begge deler. jeg ville selv startet med Quantm.
- Båda behövs
- Jeg ville brukt Quantm først som en orientering og hjelp til å finne korridorere, deretter tradisjonell prosjektering.
- Øker samfunnsnyttan så vi kan bygge mer veg og bane for pengene
- I mitt fall är traditionell projektering inte intressant som jämförelse
- Enten/eller er ikke noe alternativ. TQ er et meget godt verktøy i de innledende fasene i for eksempel kommunedelplan/reguleringsplan for å finne generelle korridorere for trase, men man MÅ bruke tradisjonelle prosjekteringsverktøy som Infracore eller Novapoint for å justere linjene manuelt.
- Quantm er et supplement til å undersøke korridorere, og få en tidlig oversikt over kost. Man kommer ikke utenom "Tradisjonell prosj." Vi slipper heldigvis ikke å velge bort Quantm selv om tradisjonell prosjektering fortsatt er viktigst.
- Fordi prosjektet har veldig nytte av å kjøre Quantm i første fase. I de neste fasene er man avhengig av andre verktøy og Quantm brukes da sammen med disse får å se hvordan masser og kostnader forandrer seg når det gjøres endringer.
- Kommer an på hvilken fase prosjektet er i. Bruker gjerne Quantm i tidligfase, men ved detaljering av linjer er det hensiktsmessig å bruke andre verktøy. En kombinasjon av Quantm og tradisjonell prosjektering har vært løsningen i de prosjektene jeg har vært med på.
- Valet beror på omfattningen och typ av projekt.

Avsluttende kommentar til spørreundersøkelsen:

- Quantm sliter med å få innpass. Tradisjonell prosjektering sitter langt inne.
- Arneidsmetoder i Quantm er aller viktigste! Bruk tid for å sette opp metoder gjennom mange forskjellige scenario for å utelukke alle tilfeller. Ta kontakt med SWECO om du ønsker å vite noe mer om det.
- Quantm kan på ingen måte erstatte tradisjonell prosjektering er min mening, men det er til uvurderlig hjelp til å finne korridorere i tidlig fase og til å optimalisere linjer i en senere fase, men uansett må tradisjonell metode benyttes til detaljering, spesielt lengdeprofilene er for dårlig. Skulle dessuten ønske at Quantm hadde en direkte overføringsmulighet av bruer og tunneler til f.eks Novapoint slik at man slipper å legge inn dette manuelt når det allerede ligger i Quantm. For egen del er dette viktigere enn støy-delen av programmet som foreløpig er meget unyttig slik jeg ser det.

- Quantm är ett mycket bra verktyg som har stor potential i utredningar

Takk for at du bidro i denne spørreundersøkelsen.

[Se nylige endringer i Nettskjema](#)

