

Thomas Henriksen

Prosjektering av tunnel i Novapoint Tunnel og Gemini Terreng

Masteroppgave i studieretning Veg
September 2020

Thomas Henriksen

Prosjektering av tunnel i Novapoint Tunnel og Gemini Terreng

Masteroppgave i studieretning Veg
September 2020

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet



Kunnskap for en bedre verden

Sammendrag

Tittel: Prosjektering av tunnel i Novapoint Tunnel og Gemini Terreng

Bakgrunn: Bakgrunnen for denne oppgaven var utfordringene som oppstod under utarbeidelsen av Mælefjelltunellen. Her ble tunellen først prosjektert i programvaren Novapoint Tunnel, men måtte prosjekteres på nytt i programvaren Gemini Terreng.

Mål: Målet med denne masteroppgaven var å studere forskjeller og likheter ved prosjektering av tunnel i Novapoint Tunnel og Gemini Terreng.

Herunder hadde oppgaven to delmål:

- 1) Det ene målet var å avdekke utfordringer og oppsummere erfaringer i tunnelprosjektering og -utbygging med hensyn til programvarene og tunnelmodellene de produserer.
- 2) Det andre målet var å vurdere programvarene opp mot hverandre.

Metode: Det ble utført en todelt kvalitativ studie, hvor det ble utført dybdeintervjuer med en informant fra hver av de respektive programvarene, en informant fra den prosjekterende siden, en informant fra entreprenørsiden og en informant fra byggherresiden. Dataene fra dybdeintervjuene ble analysert ved tematisk analyse. Videre ble det gjennomført en casestudie hvor et standard tunnelprofil, havarinisje og havarinisje med teknisk bygg fra Mælefjelltunellen ble prosjektert på nytt i de nyeste versjonene av Novapoint Tunnel og Gemini Terreng, og sammenlignet opp mot tunnelprofiler som ble konstruert geometrisk riktig i AutoCAD.

Resultat: Hovedfunnene fra dybdeintervjuene viste at det er ulike kompetanse og preferanser for de ulike programvarene hos de prosjekterende. Videre fremkom det at Gemini Terreng har kommet lengst med hensyn til utvikling og funksjonalitet. Det er også ulike forventninger og ønsker til tunnelmodellene og detaljeringsgrad hos de ulike aktørene. Herunder mangler det entydige krav som sier noe om hva som skal inkluderes i en tunnelmodell. Det er også utfordringer med dataflyt imellom systemene hos prosjekterende og entreprenør. Til slutt fremkom det at valg av entreprisemodell og tidlig involvering av entreprenør, samt god dialog underveis, trolig har stor betydning for hvordan et tunnelprosjekt vil gjennomføres.

Videre viste funnene fra casestudien at det er flest likheter mellom Novapoint Tunnel og Gemini Terreng. De største forskjellene handler om at Novapoint Tunnel ikke støtter prosjektering av asymmetriske tunnelprofiler, samt at det er ulikheter i eksporten av tunnelmodellen. Gemini Terreng produserer en mer detaljert modell, men uten egenskaper i objektene, mens Novapoint Tunnel produserer en litt grovere modell, men med egenskaper i objektene. Videre var det ulikheter knyttet til brukervennlighet og funksjonalitet. Novapoint Tunnel var enklere å bruke og leverte etter kravene, mens Gemini Terreng var mer tungvint å bruke, men leverte utover kravene.

Konklusjon: Oppsummert synes hovedkonklusjonen fra denne studien å være at begge programvarene har sine styrker og svakheter, men at utfordringene som oppstår i tunnelprosjekter ikke bare handler om mangler i programvarene. Det ser ut til å kunne oppstå utfordringer i alle ledd av en prosjekterings- og utbyggingsfase.

Basert på dette konkluderer denne oppgaven med to anbefalinger videre:

1) Man bør vurdere å gå bort i fra entreprisemodeller som utførelsesentreprise, og heller gå over til entreprisemodeller som samspillsentreprise eller «samspill etter totalentreprise». Dette for å sikre at prosjekterende og entreprenør prater sammen så tidlig som mulig i prosessen, og opprettholder god dialog gjennom hele prosjektet.

2) Det bør utarbeides tydeligere kravspesifikasjoner med hensyn til hva som skal med i tunnelprosjekteringen og tunnelmodellene, spesielt med tanke på detaljeringsgrad og stikningsdata. Dagens versjoner av programvarene prosjekterer tunnelmodeller som oppfyller kravene i håndbok N500, men argumentet i denne oppgaven er at kravene i håndbøkene bør utbedres. Dette bør gjennomføres av en arbeidsgruppe med representanter fra de ulike aktørene, som sammen utarbeider nye standarder eller kravspesifikasjoner for tunnelprosjektering.

Abstract

Title: Tunnel engineering and design in Novapoint Tunnel and Gemini Terreng

Background: This master thesis is based on the challenges that occurred during the construction of Mælefjelltunnelen. The tunnel was originally engineered and designed in Novapoint Tunnel but had to be redesigned in Gemini Terreng.

Goals: The main focus of this thesis was to study differences and similarities in tunnel engineering and design using Novapoint Tunnel and Gemini Terreng.

The thesis had two sub-goals:

- 1) The first was to uncover challenges and to summarize experiences with tunnel engineering and construction, with respect to the software and the tunnel models they produce.
- 2) The second goal was to compare Novapoint Tunnel and Gemini Terreng.

Method: A two-parted qualitative study was conducted. Firstly, in-depth interviews were conducted with an informant from each of the two software, and with a tunnel engineer, a contractor and a project client. The data from the interviews was analysed using thematic analysing. A case study was also conducted, where different tunnel sections from the Mælefjelltunnel was redesigned using the newest versions of Novapoint Tunnel and Gemini Terreng. These sections were then compared with geometrically correct constructions in AutoCAD.

Results: The main findings from the in-depth interviews was that the engineer's competence and preferences regarding the software, varies. Gemini Terreng has come furthest along regarding the development and functionality of the software. Also, the tunnel engineers and contractors seem to have different expectations regarding the detail level in the 3D tunnel models. Clear specifications and requirements regarding which level of details a model should entail, is missing. Data flow between software systems, is also a challenge. Lastly, which contract model that is being used is of importance, where early involvement of the contractor and cooperation during the project is of essence.

The main findings from the case study is that the two software seems to have more similarities than differences. The biggest differences between Novapoint Tunnel and Gemini Terreng has to do with engineering of asymmetrical sections and export of the tunnel models. Overall Gemini Terreng produces a more detailed model, but without a detailed description. On the other hand, Novapoint Tunnel produces a rougher model, but with a detailed description. There were also differences regarding usability and functionality. Summarised, Novapoint Tunnel was easier to use and delivered according to the handbook specifications, whilst Gemini Terreng was less user-friendly, but delivered beyond the specifications in the handbook.

Conclusion: To summarise, each software seems to have their pros and cons. However, the challenges that arises in tunnel engineering and construction seems to be bigger than shortcomings in the software alone. It seems that problems can arise in all phases of a tunnel project.

Based on the findings, this thesis concludes with two recommendations:

1) New tunnel projects should use contract models that ensures an early involvement of the contractor and a good cooperation during the project.

2) New and clearer specifications and requirements should be made, specifically regarding level of details in the tunnel model. The newest versions of the software both fulfil the current specifications in the handbook N500, but this thesis arguments that these specifications should be improved. A task force with representatives from tunnel engineering and design, contractors, clients and the two software, should work together to form new and better specifications.

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet av Thomas Henriksen, som avslutning på det erfaringsbaserte masterprogrammet (deltid) i Veg (Veg og jernbane) ved NTNU. Jeg var ferdig utdannet vegingeniør i 2012, og jobber til daglig i Sweco Norge i Porsgrunn som vegplanlegger. Jeg har flere års erfaring med prosjektering i Novapoint og Gemini.

Gjennom karrieren og årene som masterstudent på deltid har jeg fått økt interesse for, og erfaring med, tunnelprosjektering. Jeg har de siste årene fått innblikk i ulike utfordringer som ser ut til å være i tunnelfeltet, som jeg ikke er vant med fra vegfeltet. Å velge tema for denne masteroppgaven var derfor ikke vanskelig. Engasjementet og interessen for tunnelfeltet har kun økt gjennom oppgaven, og jeg kjenner meg privilegert som har fått forsket på noe jeg har stor interesse for.

I forbindelse med denne masteroppgaven er det flere jeg ønsker å takke. For det første ønsker jeg å takke internveileder Anne Grete Skårnes for inspirasjon til tema og hjelp i startfasen. Videre vil jeg takke hovedveileder Helge Mork for stødig og god veiledning gjennom hele prosessen. Jeg vil også rette en spesiell takk til Eva-Lena Winge for nyttige innspill i sluttfasen. Videre vil jeg også takke min samboer og øvrige familie for uvurderlig støtte gjennom denne prosessen.

Sist, men ikke minst, vil jeg også få takke informantene som stilte opp, både i dybdeintervjuene og i casestudien, for deling av sin verdifulle kunnskap og erfaring.

Skien, 14. oktober 2020.

Thomas Henriksen

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	v
Abstract	vii
Forord.....	ix
Figurer	xiii
Tabeller.....	xv
Forkortelser/symboler	xvi
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn og målformulering	1
1.2 Omfang og begrensninger	2
2 Bakgrunnsinformasjon	3
2.1 Håndbøker	3
2.2 Veg.....	4
2.2.1 Tverrfall	4
2.2.2 Linjeføring.....	5
2.2.3 Dimensjoneringsklasser veg	8
2.3 Tunnell.....	9
2.3.1 Tunnelklasser.....	9
2.3.2 Sikkerhetstiltak	10
2.3.3 Generelle krav til tunnelprofiler	13
2.3.4 Geometriske mål i tunnelen	14
2.3.5 Overganger i tunnelprofilet.....	16
2.3.6 Skulder og bankett	16
2.4 Fagmodell	17
2.5 Dataflyt	18
2.6 Programvare.....	18
2.6.1 Novapoint Tunnel	18
2.6.2 Gemini Terreng.....	19
2.7 Entreprenørmodeller	20
2.8 Casestudie – Mælefjelltunnelen.....	20
2.8.1 Generell bakgrunnsinformasjon	20
2.8.2 Tunnelutformingene.....	21

2.8.3	Bakgrunnen for utfordringene	21
3	Metode.....	23
3.1	Kvalitativ tilnærming	23
3.2	Dybdeintervju med intervjuguide	23
3.2.1	Utvalg av informanter	23
3.2.2	Rekruteringsprosessen	24
3.2.3	Gjennomføringen	24
3.2.4	Analysestrategi	24
3.3	Casestudie	24
3.3.1	Innhenting av bakgrunnsinformasjon	25
3.3.2	Metode for prosjektering	25
3.3.3	Analysestrategi	26
3.4	Etiske betrakninger.....	26
4	Resultater	28
4.1	Funn fra dybdeintervjuene.....	28
4.1.1	De ulike temaene	28
4.2	Funn fra prosjektering i Novapoint Tunnel og Gemini Terreng	33
4.2.1	Tunnelprosjektering	33
4.2.2	Resultat prosjektering av tunnelprofil T10,5.....	36
4.2.3	Prosjektering havarinisje	39
4.2.4	Prosjektering havarinisje med teknisk bygg.....	42
4.2.5	Eksport av tunnelmodell	45
4.2.6	Brukervennlighet.....	47
4.2.7	Oppsummering av forskjeller og likheter i Novapoint og Gemini.....	47
5	Diskusjon	50
5.1	Funn fra dybdeintervjuene.....	50
5.1.1	De ulike temaene	50
5.2	Funn fra casestudien	53
5.2.1	Tunnelprofil T10,5 og havarinisje (T13,5).....	53
5.2.2	Havarinisje med teknisk bygg.....	53
5.2.3	Brukervennlighet.....	54
5.2.4	Utfordringene i Mælefjelltunnelen	54
5.3	Forskjeller og likheter ved Novapoint og Gemini.....	55
5.4	Hvor ligger utfordringen?	55

5.5	Oppgavens styrker og begrensninger.....	56
5.5.1	Utvalget	56
5.5.2	Dybdeintervju.....	57
5.5.3	Casestudien	57
5.5.4	Validitet og reliabilitet.....	57
5.6	Videre forskning	58
6	Oppsummering	59
7	Konklusjon.....	61
	Referanseliste.....	62
	Vedlegg 1.....	65

Figurer

<i>Figur 2.1.</i> Ensidig tverrfall, overhøyde.	4
<i>Figur 2.2.</i> Veg med takfall med eksempelvis 3%.	5
<i>Figur 2.3.</i> Sammensetningen av enkeltelementer i horisontal- og vertikalkurvatur danner en romkurve	5
<i>Figur 2.4.</i> Senterlinje veg med sammensetning av kurvatur mellom to rettlinjer med klotoider.	6
<i>Figur 2.5.</i> Parametere som inngår i beregningen av minste klotoidparameter	6
<i>Figur 2.6.</i> Krefter som virker på kjøretøy ved kjøring i kurve.....	7
<i>Figur 2.7.</i> Parametere som inngår i beregningen av minste horisontalkurveradius.....	7
<i>Figur 2.8.</i> Sirkel og parabel (vertikalkurvatur).....	8
<i>Figur 2.9.</i> Ulike tunnelklassene basert på trafikkmengde og tunnellengde.....	9
<i>Figur 2.10.</i> Havarinisje (mål i meter)	10
<i>Figur 2.11.</i> Eksempel på utforming av snunisje (mål i meter).....	11
<i>Figur 2.12.</i> Plassering av havarinisjer og nødstasjoner, tunnelklasse B-F.....	12
<i>Figur 2.13.</i> Skjematisk tunnelprofil vist med bankett og føringskant av betong	14
<i>Figur 2.14.</i> Geometriske mål for tunnelprofil T9,5-T14,0	16
<i>Figur 2.15.</i> Eksempel på vegskulder, kantstein og betongsåle, her vist som plasstøpt løsning	17
<i>Figur 2.16.</i> Tunnelmodell med teoretisk sprengningsprofil med såle, innerprofil og kjørekasse i DWG-format.....	18
<i>Figur 2.17.</i> Felles samordningsmodell i Novapoint Quadri med modeller prosjektert i andre programmer	19
<i>Figur 2.18.</i> Kart over ny vegtrase, E134 Mælefjelltunnelen.....	21
<i>Figur 3.1.</i> Konstruert tunnelprofil (T10,5) i AutoCAD.....	26
<i>Figur 4.1.</i> Dialog for tunnelprosjektering i Novapoint Tunnel.....	33
<i>Figur 4.2.</i> Dialogen for innerprofil i Novapoint Tunnel.	34
<i>Figur 4.3.</i> Dialogboksen for sprengningsprofil i Novapoint Tunnel.....	35
<i>Figur 4.4.</i> Dialog for tunnelprosjektering i Gemini Terreng.	35
<i>Figur 4.5.</i> Dialoger for prosjektering av innerprofil og teoretisk sprengningsprofil.	36
<i>Figur 4.6.</i> Tunnelprofil T10,5 konstruert geometrisk riktig etter håndbok N500 og målsatt i AutoCAD	37
<i>Figur 4.7.</i> Eksport av parametrisk tunnelprofil T10,5 fra Novapoint Tunnel til AutoCAD og målsatt i AutoCAD.	38
<i>Figur 4.8.</i> Eksport av parametrisk tunnelprofil T10,5 fra Gemini Terreng til AutoCAD. Tunnelprofil målsatt i AutoCAD.	39
<i>Figur 4.9.</i> Tunnelprofil med havarinisje (T13,5) konstruert i AutoCAD etter håndbok N500 og målsatt i AutoCAD.	40
<i>Figur 4.10.</i> Tunnelprofil med havarinisje (T13,5) fra Novapoint Tunnel og målsatt i AutoCAD.	41
<i>Figur 4.11.</i> Tunnelprofil med havarinisje (T13,5) fra Gemini Terreng og målsatt i AutoCAD.	42
<i>Figur 4.12.</i> Tunnelprofil med havarinisje og teknisk bygg konstruert og målsatt i AutoCAD.	42
<i>Figur 4.13.</i> Tunnelprofil med havarinisje og teknisk prosjektert i Novapoint Tunnel.....	43
<i>Figur 4.14.</i> Dialog for nisjefunksjon i Novapoint Tunnel	44
<i>Figur 4.15.</i> Tunnelprofil med havarinisje og teknisk bygg prosjektert i Gemini Terreng.	44
<i>Figur 4.16.</i> Manuell beskrivelse for tunnelprofil havarinisje med teknisk bygg.	45

<i>Figur 4.17.</i> Tunnelmodell eksportert fra Novapoint Tunnel (inneholder trau, vegoverflate, kjøreboks, innerprofil og teoretisk sprengningsprofil).	46
<i>Figur 4.18.</i> Tunnelmodell eksportert fra Gemini Terreng (inneholder trau, vegoverflate, kjøreboks, innerprofil og teoretisk sprengningsprofil).	46
<i>Figur 4.19.</i> Likheter mellom Novapoint Tunnel og Gemini Terreng.....	48
<i>Figur 4.20.</i> Forskjeller mellom Novapoint Tunnel og Gemini Terreng.....	49

Tabeller

<i>Tabell 2.1.</i> Inndeling av dimensjoneringsklasser for hovedveger	8
<i>Tabell 2.2.</i> Tiltak for å sikre akseptabelt sikkerhetsnivå i tunneler	10
<i>Tabell 2.3.</i> Normalavstand for havari- og snunisjer	12
<i>Tabell 2.4.</i> Minimum areal for rom i teknisk bygg	13
<i>Tabell 2.5.</i> Dimensjoneringsklasser og tunnelprofiler.....	14
<i>Tabell 2.6.</i> Geometriske mål for de ulike tunnelprofilene (mål i m)	15
<i>Tabell 2.7.</i> Data for de ulike tunnelprofilene	15
<i>Tabell 4.1.</i> Parameterne for tunnelprofil T10,5	36

Forkortelser/symboler

NTNU

ÅDT

VA

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Årsdøgntrafikk

Vann og avløp

1 Innledning

1.1 Bakgrunn og målformulering

I Norge finnes verdens lengste og dypeste tunnel. Norge er faktisk ett av landene i Europa med flest tunneller (Statens vegvesen, 2019e). Statens vegvesens vegkart viser at fordelt på europaveger, riksveger og fylkesveger, har Norge per mai 2020 bygget til sammen over 1224 vegtunneler, hvorav 38 er undersjøiske. På offentlige veger ble det i 2019 åpnet 12 vegtunneler med en samlet lengde på 38,5 km (Statens vegvesen, 2020d). Med parallelle hovedløp er den totale lengde med tunnel åpnet i 2019 59,8 km.

Mye av årsaken til at Norge har så mange tunneler, er vår topografi. Skog, fjell og vidde dominerer landarealet i Norge (Statistisk sentralbyrå, 2017), hvor den karakteristiske topografien består av fjorder og daler med høye fjell (Thuesen, Thorsnæs og Røvik, 2020). Ifølge en beregning utført av Statistisk sentralbyrå i 2017, er kun rundt 2 prosent av landarealene i Norge bebygde. Av denne bebyggelsen utgjør veg den største andelen, med hele 38 prosent (Statistisk sentralbyrå, 2017). Langs disse vegene, dekker norske tunneler sammenlagt rundt 1300 km riks- og fylkesveg (Statens vegvesen, 2019d). Høye (2016) skriver at grunnet vanskelige terrengforhold i Norge, med bratte fjellsider, trange daler og mange fjorder, kan tunneler bidra til å forbedre både trafikksikkerheten og fremkommeligheten i vanskelige terreng. Ifølge Statens vegvesen (2020a) blir tunneller ofte brukt ved fjordkryssinger der bro ikke er et alternativ, og for å sikre trafikanter og åpen veg i rasfarlige områder er tunnel ofte det beste alternativet. Videre beskriver Høye (2016) at tunneler i tettbygde strøk fjerner gjennomgangstrafikk, som deriblant kan bedre miljøforhold og forkorte kjørelengde som igjen reduserer drivstofforbruk. Videre kan tunneler bidra til å sikre god trafikkavvikling og føre trafikken bort fra bebygde områder (Statens vegvesen, 2020a). Tunneller er dermed en viktig del av vår samferdsel og infrastruktur. Ifølge sjefsingeniør Arild Petter Sjøvik i Vegdirektoratet, bygges det til enhver tid rundt 50 vegtunneler rundt om i landet (Sandberg, 2017). At disse utbyggingene er av god kvalitet, hvor alle faser i utbyggingen skjer effektivt og uten forsinkelser og økte kostnader, er dermed i alles interesse.

Utgangspunktet for denne oppgaven er utfordringene som oppstod i utbyggingen av Mælefjelltunnelen på E134. I den opprinnelige leveransen ble tunnelen prosjektert i programvaren Novapoint Tunnel. Under drivingen av tunnelen oppstod det en del utfordringer der entreprenøren mente det ikke var mulig å bygge deler av tunnelen med de modellbaserte stikningsdataene som Novapoint Tunnel ga. Dette gjorde at tunnelen måtte prosjekteres på nytt i Gemini Terreng. Dataene som ble gitt fra Gemini Terreng fungerte slik at entreprenøren kunne bygge tunnelen, men entreprenøren måtte likevel utføre enkelte tilpasninger på stedet og utarbeide egne stikningsdata (A.G Skårnes, personlig kommunikasjon, desember 2019).

På bakgrunn av dette er målet med denne masteroppgaven å studere forskjeller og likheter ved prosjektering av tunnel i programvarene Novapoint Tunnel og Gemini Terreng.

Herunder har oppgaven to delmål:

- 1) Det ene målet er å avdekke utfordringer og oppsummere erfaringer i tunnelprosjektering og -utbygging med hensyn til programvarene og tunnelmodellene de produserer.
- 2) Det andre målet er å vurdere programvarene opp mot hverandre.

Det første delmålet vil undersøkes gjennom kvalitative dybdeintervjuer med en informant fra hver av de respektive programvarene, med en informant som til daglig jobber med prosjektering av tunnel i disse programvarene, samt en offentlig byggherre og en entreprenør som arbeider med tunnelutbygging og som er kjent med begge programvarene.

Det andre delmålet vil belyses ved at tunnelprofil T10,5, havarinisje (T13,5) og havarinisje med teknisk bygg fra Mælefjelltunnelen, prosjekteres i hvert av programmene, og sammenlignes opp mot geometrisk riktig konstruerte tunnelprofiler i AutoCAD.

1.2 Omfang og begrensninger

Statens Vegvesen sine håndbøker er i konstant utvikling. Utviklingen skjer ofte raskere enn veger og tunneler bygges. Siden Mælefjelltunnelen ble prosjektert, er det utgitt nye utgaver av håndbøker for veg og tunnel. I denne oppgaven benyttes kun de siste utgavene av håndbøkene.

Gjennomgående for oppgaven er at det kun fokuseres på prosjekteringen av selve tunnelen – ikke de øvrige fagene som inngår i en tunnel. Dette gjelder både i dybdeintervjuene som er gjennomgått, og i prosjekteringen av tunnel. Videre er det kun fokusert på vegtunnel i oppgaven, og andre former for tunneler gjennomgås ikke. Dette vil si at når ordet «tunnel» brukes i oppgaven, så referer dette til vegtunnel.

Det er i denne oppgaven valgt å bruke siste versjoner av programvarene, Novapoint Tunnel 21.10 FP4e og Gemini Terreng v15, til prosjektering av tunnel. Avgrensningen for prosjekteringen er satt til kun å inneholde tunnelprofil med teoretisk sprengingsprofil og innerprofil. Grøftutførelse er en del av teoretisk sprengningsprofil, men er ikke en del av denne oppgaven. Andre elementer og konstruksjoner som hører til i en tunnel er heller ikke med i denne oppgaven. Det ble gjort et utvalg av elementer fra casestudien som skulle prosjekteres. Tunnelprofilene og tunnelementene som prosjekteres i denne oppgaven er T10,5, havarinisje (T13,5) og havarinisje med teknisk bygg. Utarbeidelse av tegninger og konstruering av tunnelprofiler er utført i tegneprogrammet AutoCAD, men er ikke beskrevet i denne oppgaven. Sammen med de nyeste håndbøkene vil tegninger fra konsulenten benyttes som prosjekteringsgrunnlag for de ulike tunnelprofilene og tunnelementene.

Det er forfatteren av oppgaven som har gjennomført alle dybdeintervjuene og møtet med byggherren på Mælefjelltunnelen. Det er også forfatteren av oppgaven som har prosjektert de ovennevnte tunnelprofilene som presenteres i resultatdelen, samt konstruert de geometrisk riktige figurene i AutoCAD.

2 Bakgrunnsinformasjon

Dette kapittelet redegjør for bakgrunnsinformasjon som er relevant for målet med oppgaven. Først presenteres håndbøkene som benyttes ved prosjektering av veg og tunnel, før vegens og tunnelens krav til geometriske utforming belyses. Videre gjøres det rede for hva en fagmodell er, før programvarene Novapoint Tunnel og Gemini Terreng, og dataflyt, presenteres. Deretter gjennomgås ulike entreprisemodeller brukt ved samferdselsprosjekter. Til slutt presenteres bakgrunnsinformasjon om Mælefjelltunnelen og utfordringene som oppstod ved utbyggingen av denne.

2.1 Håndbøker

Ved utbygging og utbedring av det offentlige vegnettet i Norge stilles det krav til tunnel, samt vegens utforming og oppbygging. Disse kravene står beskrevet i Statens vegvesen sine håndbøker. På sine hjemmesider skriver Statens vegvesen (2019a) at håndbøkene deres utgis i to nivåer; nivå en kravdokumenter og nivå to hjelpedokumenter. Statens vegvesen (2019a) beskriver nivå en og nivå to på følgende måte:

«Normaler og retningslinjer er kravdokumenter og de viktigste håndbøkene i Statens vegvesens håndbokhierarki. Normaler er hjemlet i lovverk og gjelder all offentlig veg/gate eller Statens vegvesen og andre myndigheter. Retningslinjer gjelder kun for riksveg og for Statens vegvesen, og er hjemlet i lovverk eller i instruks fra Vegdirektøren. Retningslinjene gjelder også for konsulenter og entreprenører som gjør oppdrag for Statens vegvesen. Fravik fra normaler skal fraviksbehandles. Mer om dette finner du under Vegnormalene.»

«Veiledninger er hjelpedokumenter som understøtter normalene og retningslinjene. De inneholder utdypende fagstoff utover det som står i normalene og retningslinjene og beskriver mer i detalj hvordan normalkravene kan brukes.»

Normaler og retningslinjer er godkjent av overordnet myndighet eller av Vegdirektoratet etter fullmakt. Veiledninger er godkjent av den avdeling som har fått fullmakt til dette i Vegdirektoratet (Statens vegvesen, 2019b).

I denne masteroppgaven er disse håndbøkene brukt:

- håndbok N100 Veg- og gateutforming utgitt i 2019
- håndbok N500 Vegtunneler utgitt i 2020
- håndbok V120 Premisser for geometrisk utforming av veger utgitt i 2019
- håndbok V770 Modellgrunnlag utgitt i 2015.

Håndbok N100 og N500 er utarbeidet med hjemmel i Samferdselsdepartementets forskrifter etter vegloven §13 (Statens vegvesen, 2019b, 2020b). «Forskriftene gir generelle rammer for vegens utforming og standard, og gjelder alle offentlige veger» (Statens vegvesen, 2019b, s. 3). Håndbok N100 beskriver standardkrav for hvordan veger og gater skal utformes (Statens vegvesen, 2019b). Håndbok N500 gjelder alle typer vegtunneler på offentlig veg, og omfatter forhold knyttet til planlegging og prosjektering av nye tunneler. Håndboken gjelder også ved oppgradering av bergsikring, drenering, vann- og frostsikring, automasjon, sikkerhetsinstallasjoner og overvannshåndtering i eksisterende tunneler (Statens vegvesen, 2020b).

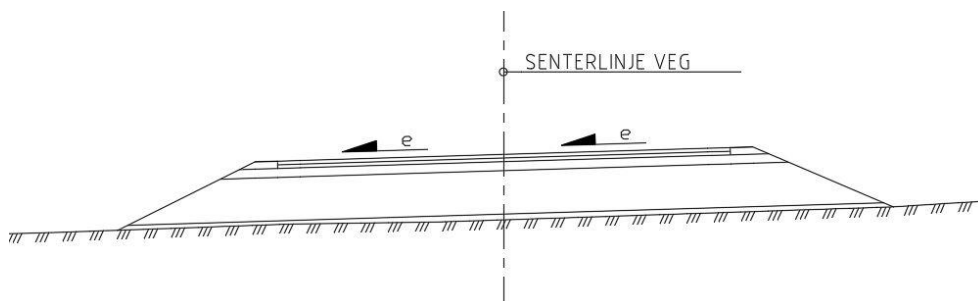
Håndbok V120 er en veileder som inneholder grunnlagsmaterialet for linjeføringskravene i håndbok N100. Kravene som stilles til vegens kurvatur i håndbok N100 beregnes ut fra en rekke fysiske parametere. Denne håndboken forklarer og redegjør for disse parameterne og formelverket som disse parameterne inngår i. Den forklarer også hvordan prosjekteringsstabellene i håndbok N100 er bygd opp, i tillegg til at den beskriver overgangen mellom veg i dagen og tunnel (Statens vegvesen, 2019c).

Hvordan grunnlagsdata og modeller skal bestilles, utarbeides og leveres i vegprosjekter, stilles det krav til i håndbok V770 Modellgrunnlag med vedlegg. Håndbok V770 er kun en veileder, og det må kontraktsfestes i prosjektene hvis bestemmelsene i håndboken skal gjelde for et aktuelt prosjekt. Dette bestemmes i prosjektbestillingen fra prosjekteier til prosjektleder, hvor det avgjøres om planlegging, prosjektering og bygging skal gjennomføres modellbasert (Statens vegvesen, 2015).

2.2 Veg

2.2.1 Tverrfall

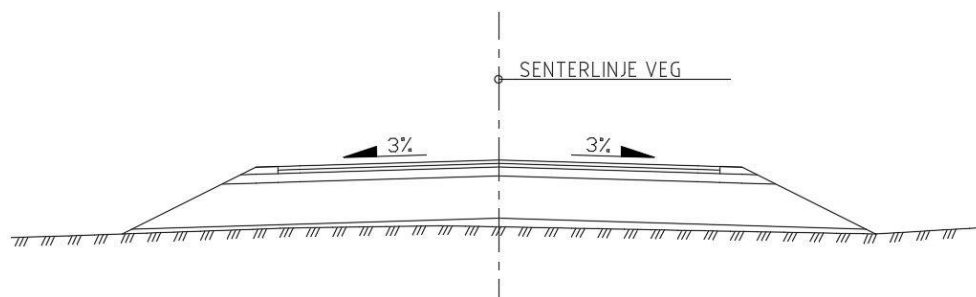
Tverrfall er kjørebanelens helning på tvers av vegen i forhold til senterlinjen i lengdeakse. Tverrfall i kurver defineres som overhøyde, og brukes for å motvirke sidekrefter, for å oppnå bedre kjørekomfort i horisontalkurver og av hensyn til vannavrenning. Sidekreftene som ikke tas opp av overhøyden, tas opp ved sidefriksjonen mellom bilens dekk og vegens overflate. I prosjekteringsstabellene i håndbok N100 fremgår den maksimale overhøyden er for de ulike dimensjoneringsklasse for veg (Statens vegvesen, 2019c). Figur 2.1 viser veg med tverrfall (overhøyde).



Figur 2.1. Ensidig tverrfall, overhøyde.

Tunnelprofilen i ettløpstunneler skal dreies om vegens senterlinje til aktuelt tverrfall. I toløpstunneler skal det etableres en senterlinje for hvert løp der hvert enkelt løp dreier om sin senterlinje ved tverrfallsendringer (Statens vegvesen, 2020b).

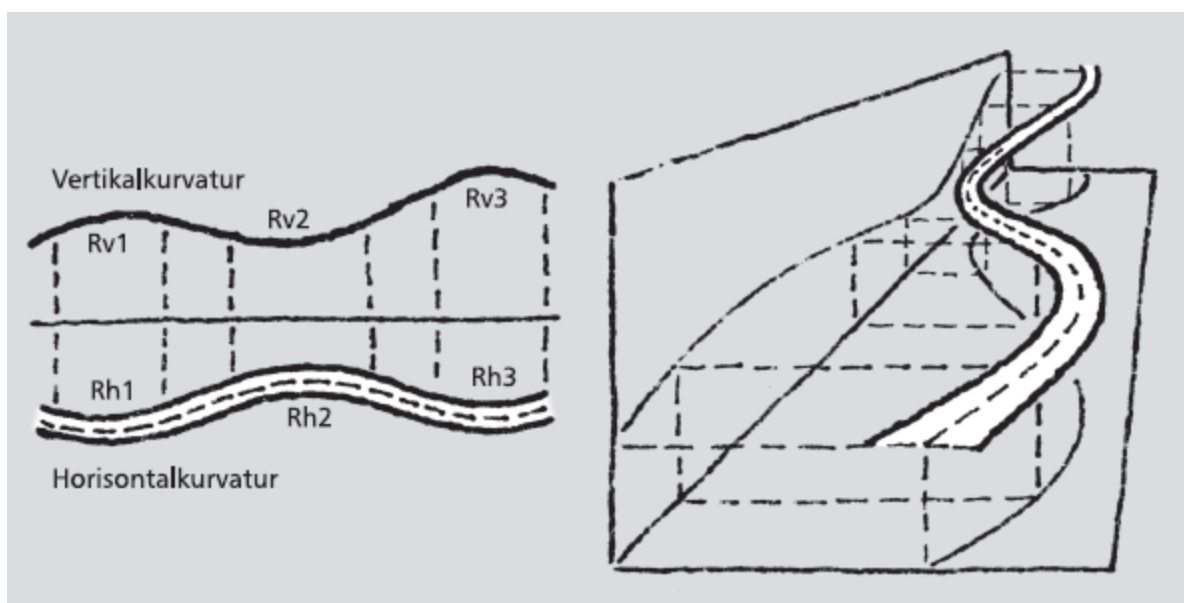
Takfall benyttes på rettstrekninger med to-feltsveger der asfaltert kjørebane har helning på 3% som vist i figur 2.2. Ved takfall ligger senterlinjen som toppunkt, og kjørebanelen faller til to sider fra senterlinjen til vegskulder (kjørebane kant) (Statens vegvesen, 2019c).



Figur 2.2. Veg med takfall med eksempelvis 3%.

2.2.2 Linjeføring

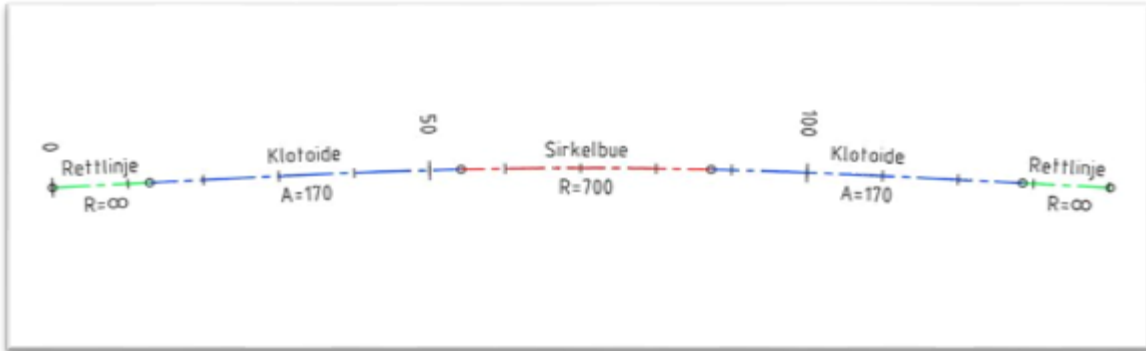
Normalt defineres vegens senterlinje midt mellom vegkantene (Statens vegvesen, 2020e), som normalt er symmetrisk om vegens senterlinje. Unntaket er ved bruk av overhøyde hvor høyre og venstre vegkant får ulik vertikalkurvatur (Statens vegvesen, 2019c). Vegen er en tredimensjonal romkurve som beskrives ved hjelp av projeksjoner i horisontalplanet (horisontalkurvatur), vertikalplanet (vertikalkurvatur) og tverrprofilet slik som vist i figur 2.3. Håndbok N100 gir krav til vegens linjeføring og overhøyde for de ulike vegklassene, og disse kravene skal også tilfredsstilles i tunnel (Statens vegvesen, 2019c).



Figur 2.3. Sammensetningen av enkeltelementer i horisontal- og vertikalkurvatur danner en romkurve (Statens vegvesen, 2019c).

Horisontalkurvatur

Ved konstruksjon av vegens horisontalkurvatur brukes det tre enkeltelementer sett i x, y-planet; rettlinje ($R=\infty$), klotoide (A) og horisontalkurveradius (sirkelbue) (R). Disse elementene kan kombineres fritt og danner vegens senterlinje (Statens vegvesen, 2019c). Figur 2.4 viser eksempel av horisontalkurvatur med horisontalkurveradius mellom to rettlinjier med klotoider.



Figur 2.4. Senterlinje veg med sammensetning av kurvatur mellom to rettlinjer med klotoider.

Rettlinje er linje uten krumning, som vil si at radius er lik ∞ . Klotoide brukes for å sikre en jevn overgangskurve med en gradvis overgang mellom ulike elementer i horisontalkurven. Klotoide brukes mellom elementer som rettlinjer og sirkelbuer, sirkelbuer med ulikt, men ensrettet krumning, og mellom sirkelbuer med motsatt krumning (vendeklotoider) (Statens vegvesen, 2019c).

Kjøring med konstant hastighet gjennom klotoidens geometri gir en konstant vinkelhastighet. Det er dette som gir klotoiden gode egenskaper som overgangskurve. Minste klotoideparameter (A_{min}) beregnes ut fra krav til lengde for overhøydeoppbygging ($L_{o,min}$) (Statens vegvesen, 2019c). Figur 2.5 viser formel fra håndbok V120 med følgende parametere som inngår i beregningen av minste klotoideparameter.

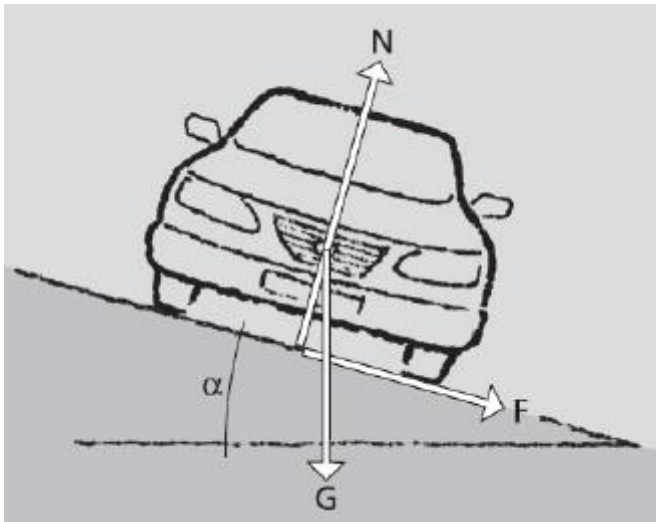
$R_{h,min}$ = minste horisontalkurveradius [m]
 b = hjulavstand [m]
 e_{maks} = maksimal overhøyde [m/m]
 V = fartsgrense (med eventuelle farts- og fartsprofiltillegg) [km/t]
 v_{vf} = relativ vertikalfart [m/s]
 $L_{o,min}$ = nødvendig lengde for å bygge opp overhøyde fra 0 til E_{maks} [m]

Minste klotoideparameter beregnes ut fra formelen:

$$A_{min} = \sqrt{R_{h,min} \cdot L_{o,min}} \quad \text{hvor} \quad L_{o,min} = \frac{b \cdot V \cdot e_{maks}}{3,6 \cdot v_{vf}}$$

Figur 2.5. Parametere som inngår i beregningen av minste klotoideparameter (Statens vegvesen, 2019c).

Horisontalkurveradius er en geometrisk kurve med konstant radius. Minste horisontalkurveradius ($R_{h,min}$) bestemmes ut fra ønske om likevekt mellom kreftene som virker på kjøretøyet (Statens vegvesen, 2019c). Figur 2.6 viser kreftene som virker inn på kjøring i kurve



Figur 2.6. Krefter som virker på kjøretøy ved kjøring i kurve (Statens vegvesen, 2019c).

Figur 2.7 viser formel fra håndbok V120 med følgende parametere som inngår i beregningen av minste horisontalkurveradius.

V	=	fartsgrense (med eventuelle fartstillegg) [km/t]
e _{maks}	=	maksimal overhøyde [m/m]
f _k	=	dimensjonerende sidefriksjonsfaktor

Minste horisontalkurveradius ($R_{h,min}$) beregnes ut fra følgende formel:

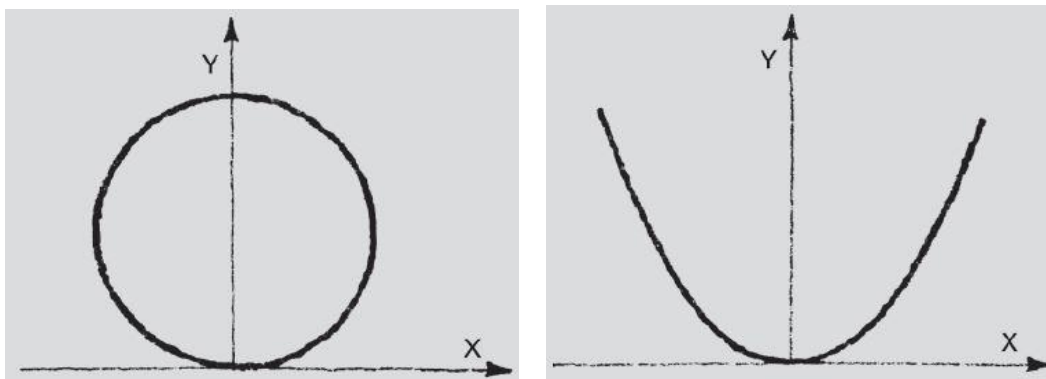
$$R_{h,min} = \frac{v^2}{127 \cdot (e_{maks} + f_k)} \quad [m]$$

Figur 2.7. Parametere som inngår i beregningen av minste horisontalkurveradius (Statens vegvesen, 2019c).

Kravene til horisontalkurvatur for veg gjelder i utgangspunktet også for tunnel. Normalt vil krav til sikt bli dimensjonerende for minste horisontalkurvatur i tunnel (Statens vegvesen, 2019c). Siktkravene som er gitt i håndbok N100 Veg- og gateutforming er også gjeldende for tunnel. Krav til stoppsikt og møtesikt i tunnel med et løp og toveistrafikk skal tilfredsstilles. Om nødvending skal tunnelbredden utvides med ekstra bredde på sidearealet i innerkurven for å tilfredsstillere siktkravene (Statens vegvesen, 2020b).

Vertikalkurvatur

Ved konstruksjon av vertikalkurvatur brukes det to enkeltelementer sett i vertikalplanet (x, z), stigning og vertikalkurver. I håndbok V120 defineres stigningsgrad som høydeforskjell dividert med horisontal avstand i lengderetning, og uttrykkes vanligvis i %. Vertikalkurvatur kan bestå av sirkler, parabler eller klotoider. Den mest brukte kurveelementet i vertikalkurvaturen er sirkel (Statens vegvesen, 2019c). Figur 2.8 viser sirkel og parabel (y-aksen er ment til å være z-aksen).



Figur 2.8. Sirkel og parabel (vertikalkurvatur) (Statens vegvesen, 2019c).

Ved bruk av parabel beskrives radiusen normalt i parabelens toppunkt. For den delen av parabelen som er aktuell å bruke, avviker denne lite fra en sirkel. I en vertikalkurve er klotoiden et nyttig element. Ved bruk av klotoider sammen med sirkel får man et vesentlig lengre kurveforløp, men gir en mer estetisk lavbrekkskurve (Statens vegvesen, 2019c).

I dimensjoneringsstabellene for de ulike vegklassene i håndbok N100 står krav til vertikalkurver og maksimal tillatt stigning beskrevet (Statens vegvesen, 2019c). I vedlegg I til §8 Sikkerhetstiltak står det beskrevet følgende:

«Mer enn 5 % stigning i lengderetningen skal ikke være tillatt i nye tunneler, med mindre ingen annen løsning er geografisk mulig. I tunneler med stigning på mer enn 3 % skal det treffes ekstra og/eller forsterkede tiltak for å forbedre sikkerheten på grunnlag av en risikoanalyse» (Lovdata, 2020).

2.2.3 Dimensjoneringsklasser veg

Hovedvegene er inndelt i fem ulike dimensjoneringsklasser. Tabell 2.1 viser tre dimensjoneringsklasser for nasjonale hovedveger og 2 dimensjoneringsklasser for øvrige hovedveger. I håndbok N100 har hver dimensjoneringsklasse prosjekteringstabeller som gir krav til enkeltelementene i linjeføringen (Statens vegvesen, 2019b).

ADT	< 6 000	6 000 - 12 000	>12 000
Fartsgrense (km/t)	80 (90)	90	110
Dimensjoneringsklasse	H1	H5	H3
Vegbredde (m)	9	12,5	23

Tabell C.2: Dimensjoneringsklasser for øvrige hovedveger og andre veger

ADT	< 4000	< 12 000
Fartsgrense (km/t)	80	60
Dimensjoneringsklasse	Hø1	Hø2
Vegbredde (m)	7,5 (4)	7,5

Tabell 2.1. Inndeling av dimensjoneringsklasser for hovedveger (Statens vegvesen, 2019b).

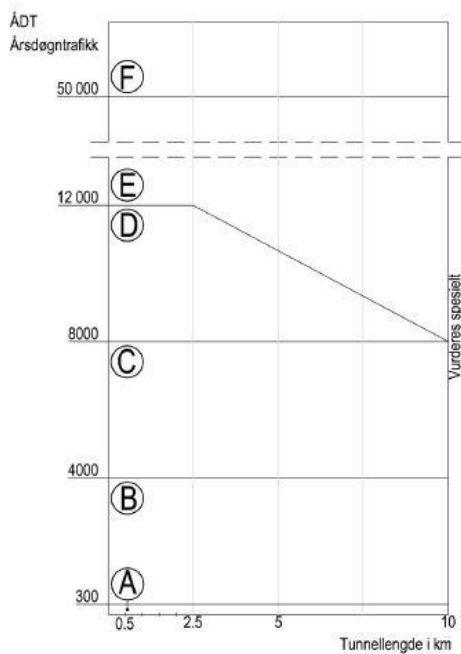
Ut ifra en overordnet planprosess, velges dimensjoneringsklassen ut ifra en helhetsvurdering av vegnettet den planlagte parsellen skal inngå i. En forandring i ÅDT langs ruta trenger nødvendigvis ikke å resultere i en endring av dimensjoneringsklassen. Målet er en ensartet vegstandard over

lengre strekninger der skifte av dimensjoneringsklasse ikke skjer for ofte. Over lengre strekninger er det derfor viktig at valg av dimensjoneringsklassen planlegges samlet (Statens vegvesen, 2019b).

2.3 Tunnell

2.3.1 Tunnelklasser

I Håndbok N500 deles tunnelklasser inn i A-F basert på trafikkmengde og tunnellengde, som vist i figur 2.9. Trafikkmengde defineres som den ÅDT-en som kan forventes 20 år etter at tunnelen er åpnet (Statens vegvesen, 2020b).



Figur 2.9. Ulike tunnelklassene basert på trafikkmengde og tunnellengde (Statens vegvesen, 2020b).

Krav til sikkerhetstiltak og sikkerhetsutrustninger i tunneler med lengde på over 500 meter bestemmes av tunnelklassene presentert over. Tabell 2.2 viser de ulike kravene til tiltak for de ulike tunnelklassene som sørger for å sikre akseptabelt sikkerhetsnivå i tunneler (Statens vegvesen, 2020b).

Tabell 4.1 Tiltak for å sikre akseptabelt sikkerhetsnivå i tunneler

● Krav ○ Vurderes	Tunnelklasser						Merknader
	A	B	C	D	E	F	
SIKKERHETSTILTAK							
Havarinisjer		●	●	●	●	●	Se kapittel 3 Geometrisk utforming
Snunisjer		●	●	●			Se kapittel 3 Geometrisk utforming
Nødutganger			○	●	●	●	Se kap. 3.6
SIKKERHETSUTRUSTNING							
Strømforsyning, belysning og ventilasjon	Se kapittel 9 Tekniske anlegg						
Skilt og signaler	Se kapittel 5						
Nødstrømsystem	●	●	●	●	●	●	Belysning ved strømutfall. Se 4.3.2.1 og 9.3.6
Rømningslys	●	●	●	●	●	●	25 m avstand for tunneler < 5 km. Ettløpstunneler > 5 km skal ha sammenhengende lys. Se 4.3.2.2
Nødstasjon	●	●	●	●	●	●	Hver 125 m. Se kap. 4.3.2.3. Ved oppgradering min. hver 250 m (jf. 4.3.4). I tillegg utenfor hver tunnelåpning.
Slokkevann	●	●	●	●	●	●	Se 4.3.2.4
Fjernstyrte bomber for stengning		○	●	●	●	●	Se 4.3.2.5
ITV-overvåking		○	○	○	○	○	Krav i tunneler > 3 km og ÅDT > 4 000. Krav i tunneler > 5 km og ÅDT > 300. Se 4.3.2.6
Høytalersystem		○	○	○			Krav i tunneler > 3 km og ÅDT > 4 000. Krav i tunneler > 5 km og ÅDT > 300. Se 4.3.2.7
Nødnett og radiokringkasting	●	●	●	●	●	●	Se 4.3.3
Høydehinder (avviser)	●	●	●	●	●	●	Se 4.3.2.8

Tabell 2.2. Tiltak for å sikre akseptabelt sikkerhetsnivå i tunneler (Statens vegvesen, 2020b).

2.3.2 Sikkerhetstiltak

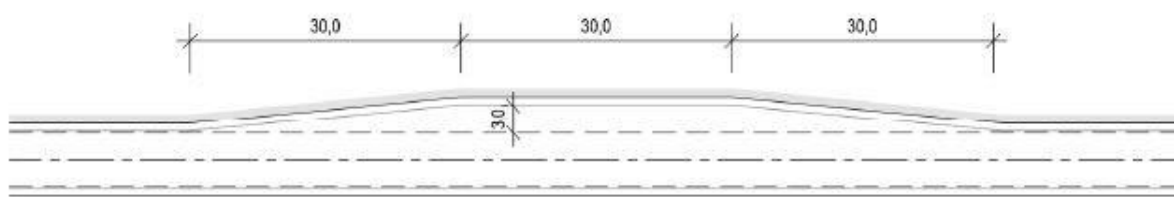
Tunnelløp

Av håndbok N500 fremgår det at Tunnelklasse A-D skal ha ett løp, mens tunnelklasse E og F skal ha to. For tunnelklasse C og D kan kravet om nødutganger utløse behov for at det bygges to løp (Statens vegvesen, 2020b). I vedlegg I til §8 *Sikkerhetstiltak* står det beskrevet: «Forventet trafikkvolum og sikkerhet er hovedkriteriene for å bestemme om det skal bygges tunnel med ett eller to løp, og det skal tas hensyn til slike aspekter som prosentandelen tunge lastebiler, stigning og lengde» (Lovdata, 2020).

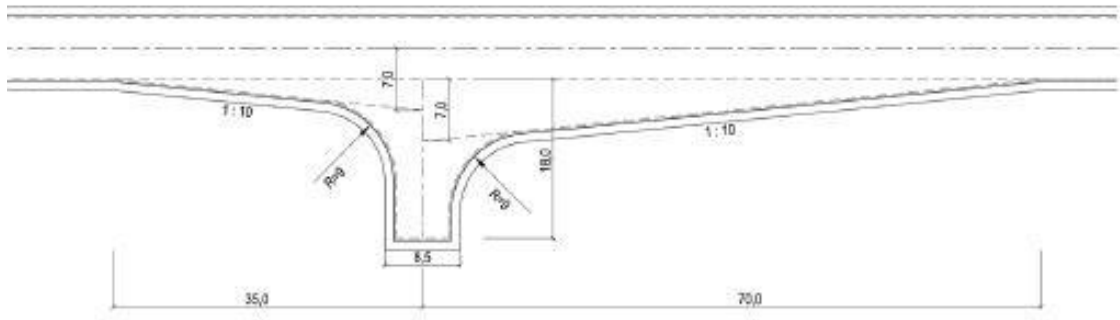
Antall ordinære kjørefelt i hver retning skal ikke reduseres inne i tunnelen. Forbikjøringsfelt skal ikke forekomme i tunnel, unntak er for lange stigninger hvor det er krav til forbikjøringsfelt i henhold til håndbok N100 (Statens vegvesen, 2020b).

Havarinisjer og snunisje

Nisjer er en breddeutvidelse i tunnelen som muliggjør parkering utenfor kjørebanelen ved nødstop, arbeid eller vedlikehold i tekniske installasjoner (Statens vegvesen, 2020b). Snunisjer, havarinisjer og åpne bergrom vil blant annet kunne gjøre det lettere å snu i en ettløpstunnel (Jenssen, Bjørkli og Flø, 2007). Havarinisjer skal utformes som vist i figur 2.11 og eksempel på utforming av snunisje er vist i figur 2.12 (Statens vegvesen, 2020b).



Figur 2.10. Havarinisje (mål i meter) (Statens vegvesen, 2020b).

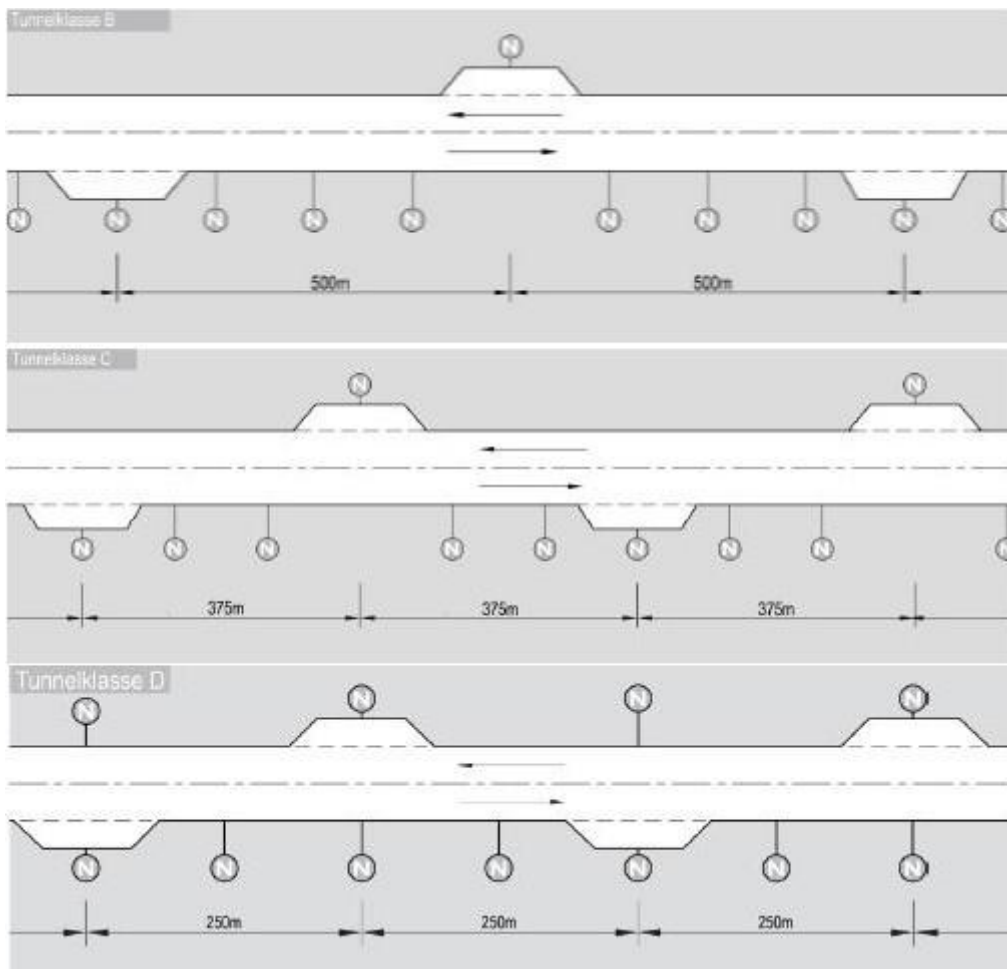


Figur 2.11. Eksempel på utforming av snunisje (mål i meter) (Statens vegvesen, 2020b).

Plassering av nisjer og avstanden mellom dem avgjøres av tunnelklassen. Toleranse i plassering for havarinisjer og snunisjer bør være innenfor ± 50 m (Statens vegvesen, 2020b). Tabell 2.3 og figur 2.12 viser normalavstand og plassering av havari- og snunisje for de ulike tunnelklassene.

Tunnelklasse	Normalavstand havarinisje	Normalavstand snunisje	Kommentar
A	–	–	Møteplasser
B	500 m	2 000 m	Snunisje bygges i tunneler > 4 km
C	375 m	1 500 m	Snunisje bygges i tunneler > 3 km
D	250 m	1 000 m	Snunisje bygges i tunneler > 2 km
E	500 m	–	Angitt avstand gjelder for hvert tunnellopp
F	250 m	–	Angitt avstand gjelder for hvert tunnellopp

Tabell 2.3. Normalavstand for havari- og snunisjer (Statens vegvesen, 2020b).



Figur 2.12. Plassering av havarinisjer og nødstasjoner, tunnelklasse B-F (Statens vegvesen, 2020b).

Teknisk bygg skal plasseres i forbindelse med nisje med tett vegg mot trafikkkrommet. Det skal tas hensyn til mulighetene for å kombinere teknisk bygg med havarinisjer. Størrelse på teoretisk sprengningsprofil avgjøres av antall tekniske rom det er behov for. Rommene i teknisk bygg skal ha en høyde på 3 m. Minimum areal (innvendige mål) for teknisk bygg vises i tabell 2.4 (Statens vegvesen, 2020b).

Teknisk bygg	Min. areal
Nettstasjon (trafo)	5 x 5 m
Lavspenning tavlerom	5 x 5 m
Nødstrøm/UPS/SRO	4 x 5 m
Batterirom	3 x 5 m
Radio og Nødnett	3 x 5 m
Mobil	3 x 5 m

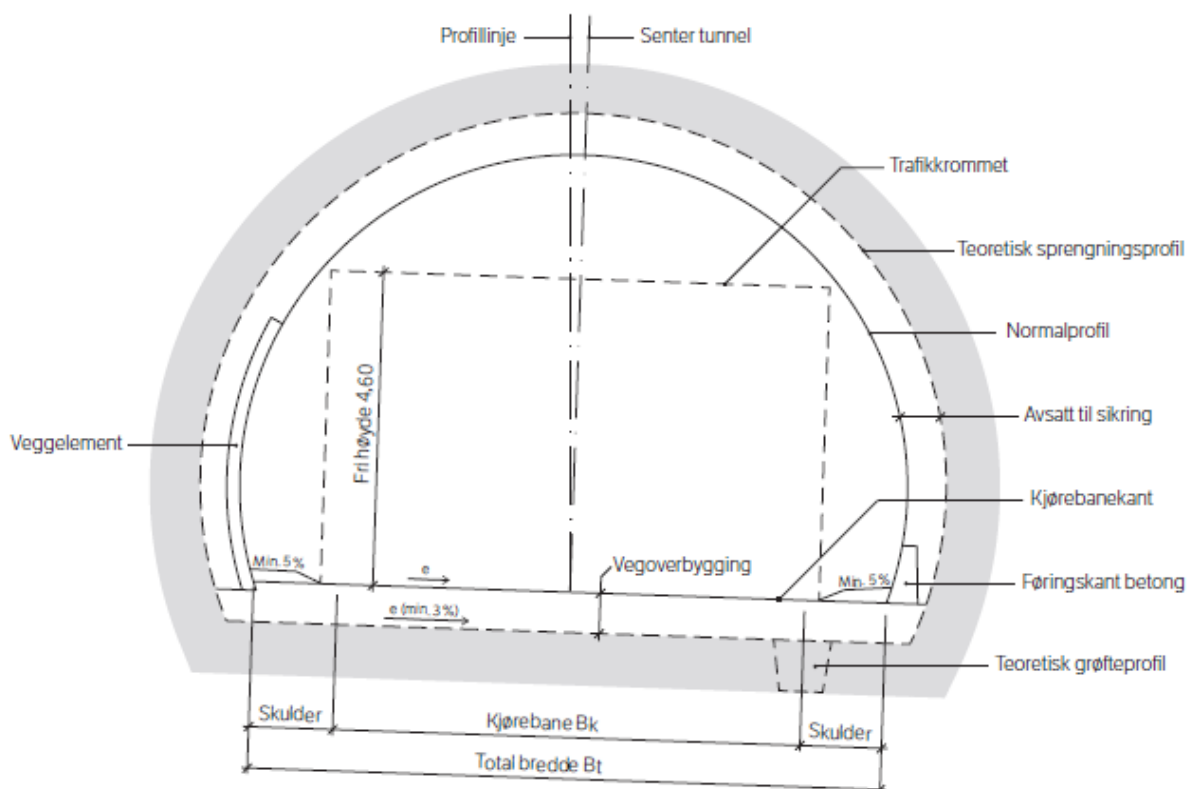
Tabell 2.4. Minimum areal for rom i teknisk bygg (Statens vegvesen, 2020b s.56).

Bergrom

Bergrom, eller utvidelser i tunnelen, brukes til å bryte opp lange tunneler, og er et viktig virkemiddel for å redusere folks ubehag når de skal kjøre i tunnel (Jenssen, Bjørkli og Flø, 2007; SINTEF 2010). I en tidligere undersøkelse fra SINTEF (2010) uttrykte rundt 40% av de eldre deltagerne et sterkt ubehag ved tunnelkjøring, mens en annen rapport fra SINTEF (Jenssen, Bjørkli og Flø, 2007) viser at rundt 30% av trafikantene synes det er farlig å kjøre i tunneler over en viss lengde. Derfor er tiltak som for eksempel bergrom, belysning og kunst viktig for å redusere folks redsel for lange tunneler. Dette da det å lage trompetlignende utvidelser ved innkjøring og munning blant annet vil bryte opp ensformigheten som gjerne oppstår i lengre tunneler (Jenssen, Bjørkli og Flø, 2007; SINTEF 2010).

2.3.3 Generelle krav til tunnelprofiler

I tunnel er det krav til frihøyde på 4,6 m over kjørebanelen målt vinkelrett på kjørebanelen ved kantstein. I tillegg er det lagt til 0,2 m utover disse 4,6 m for å ivareta ekstra klaring for senere justering av vegdekke (0,1 m), for å ivareta normal toleranse for vegoverbygning, vann- og frostsikring og eventuelle utstøpninger (0,1 m). Ved teknisk utrustning skal minimumshøyde være 4,8 m over kjørebanelen. Klaring til trafikkrommet skal vurderes spesielt for sidemontert utstyr, som skilt og signalanlegg (Statens vegvesen, 2020b). Figur 2.13 viser hvordan tunnelprofilen er bygd opp.



Figur 2.13. Skjematisk tunnelprofil vist med bankett og føringskant av betong (Statens vegvesen, 2020b).

Dimensjoneringsklasser for veg og tunnelprofil for de ulike vegklassene omtales i håndbok N100. Tabell 2.5 viser de nye dimensjoneringsklassene for veg og tunnelprofil for de ulike vegklassene (Statens vegvesen, 2019b).

Dimensjonerings klasse	ÅDT	Fartsgrense	Tunnelprofil
H1	<6000	80 (90) km/t	T9,5 T12,5 T12GS
H5	6000-12000	90 km/t	T12,5 T10,5 T13,5 T14
H3	>12000	110 km/t	T10,5 T13,5
Hø1	<4000	80 km/t	T9,5 T12,5 T8,5 T11,5 T11,5GS T5,5 T8,5
Hø2	<12000	60 km/t	T7,5 T5,5

Tabell 2.5. Dimensjoneringsklasser og tunnelprofiler (Statens vegvesen, 2019b).

2.3.4 Geometriske mål i tunnelen

I håndbok N500 er det gitt krav til utforming av de ulike tunnelprofilene. Tunnelprofiler skal uformes i henhold til geometriske mål gitt i tabell 2.6 (Statens vegvesen, 2020b).

	Total bredde	Kjørebane- bredde	Senterhøyde veggradier	Veggradius	Senter- avstand veggradier	Senterhøyde hengradius	Hengradius
Profil	Bt	Bk	Yv	Rv	X	Yh	Rh
T4	4,0	3,00	–	–	–	1,330	2,400
T5,5	5,5	3,50	1,770	4,790	3,402	3,171	2,587
T8,5	8,5	6,50	1,770	4,790	0,402	1,981	4,500
T11,5	11,5	9,50	1,770	4,790	2,598	-0,258	7,199
T7,5	7,5	5,00	1,570	4,790	1,550	2,481	3,594
T9,5	9,5	7,00	1,570	4,790	0,450	1,213	5,212
T10,5	10,5	8,00	1,570	4,790	1,450	0,664	5,950
T12,5	12,5	10,00	1,570	4,790	3,450	-0,466	7,458
T13	13,0	10,50	1,570	4,790	3,950	-0,735	7,825
T13,5	13,5	11,00	1,570	4,790	4,450	-0,817	8,053
T14,0	14,0	11,50	1,570	4,790	4,950	-1,294	8,575

Tabell 2.6. Geometriske mål for de ulike tunnelprofilene (mål i m) (Statens vegvesen, 2020b).

Data for de ulike tunnelprofilene under gitte forutsetninger fremgår i tabell 2.7 (Statens vegvesen, 2020b).

Tunnelprofil	Teoretisk sprengningsprofil		Normalprofil	
	Areal As m ²	Buelengde, Bs m	Areal An m ²	Buelengde, Bn m
T4	20,32	12,31	13,57	9,85
T5,5	39,10	17,12	29,72	14,55
T8,5	61,92	20,56	49,66	17,99
T11,5	85,92	23,75	70,89	21,18
T7,5	51,56	18,88	40,46	16,30
T9,5	66,62	21,04	53,61	18,46
T10,5	74,59	22,13	60,64	19,55
T12,5	91,32	24,32	75,49	21,73
T13	95,69	24,86	79,39	22,28
T13,5	100,52	25,46	83,73	22,88
T14	104,58	25,96	87,35	23,88

Data avhenger av valgt vegoverbygning og plass avsatt for sikring. I tabellen er følgende lagt til grunn:

As – Areal regnet etter teoretisk sprengningsprofil. I verdiene i tabellen er det forutsatt 0,5 m vegoverbygning og 0,4 m avsatt til sikring.

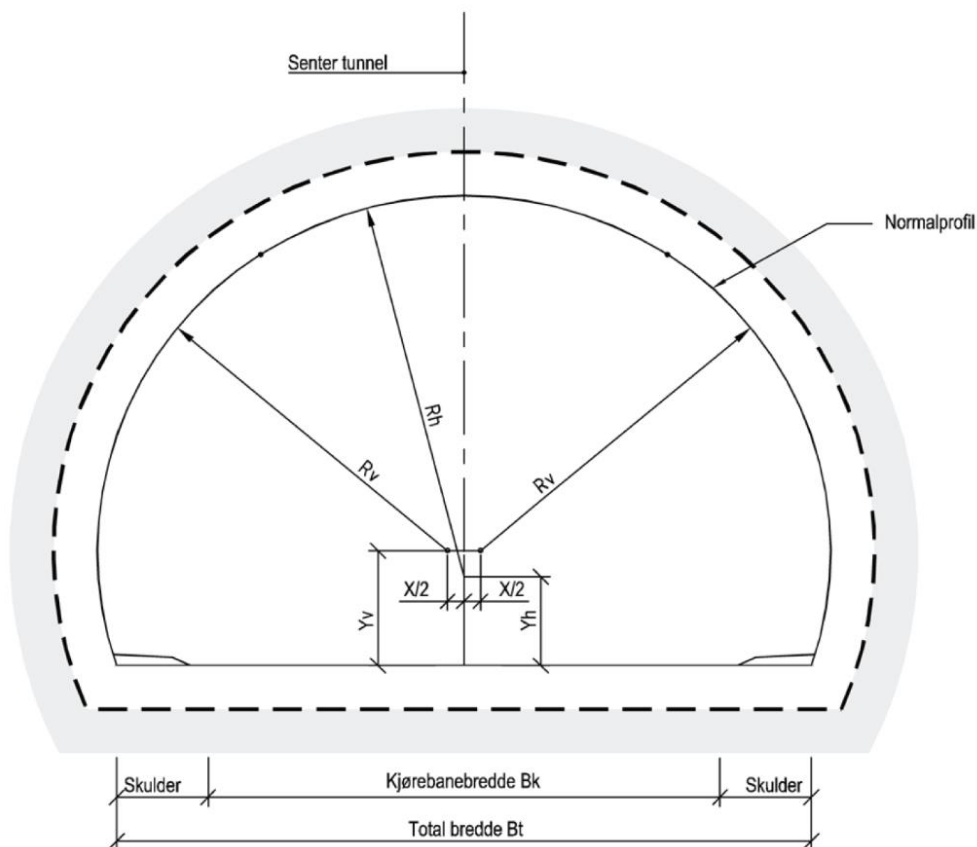
An – Areal regnet etter normalprofilen over kjørebane og sideareal, forutsatt 5 % fall på skulder.

Bs – Buelengde regnet etter teoretisk sprengningsprofil ned til nivå for planum forutsatt 0,5 m vegoverbygning og 0,4 m avsatt til sikring.

Bn – Buelengde regnet etter normalprofil ned til nivå for kjørebane.

Tabell 2.7. Data for de ulike tunnelprofilene (Statens vegvesen, 2020b).

Tabell 2.6 og 2.7 gjelder for tunnelprofiler med ensidig tverrfall uavhengig av tverrfallets størrelse, men må minimum være 3%. Tunnelprofilen skal dreies om vegens senterlinje ved ensidig tverrfall (Statens vegvesen, 2020b). Figur 2.14 viser tunnelprofil med geometriske mål for tunnelprofil T9,5-T14,0.



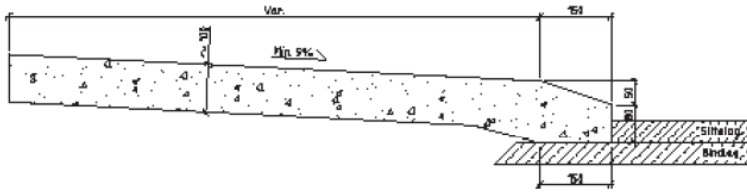
Figur 2.14. Geometriske mål for tunnelprofil T9,5-T14,0 (Statens vegvesen, 2020b).

2.3.5 Overganger i tunnelprofilet

Ved overganger til nisjer og siktutvidelse skal tunnelprofilet konstrueres ut fra hovedprinsippet om at tangentene i overgangene mellom veggradius (R_v) og hengradius (R_h) er parallelle (sammenfaller) i overgangspunktene. Veggradiusen (R_v) skal holdes konstant i henhold til geometriske mål gitt for de ulike tunnelprofilene i håndbok N500. For å få en parallell (sammenfallende) overgang gjøres tilpasningen i hengradiusen (R_h) (Statens vegvesen, 2020b).

2.3.6 Skulder og bankett

Den delen av vegen som ligger utenfor kjørebanelinjen (kantlinjen) betegnes som skulder. Den opphøyde delen av skulderen i tunnel kalles bankett i Novapoint Tunnel og Gemini Terreng. Banketten skal utføres med en ikke-avvisende kantstein plassert minst 0,25 m fra kjørebanelinjen og med asfalt eller betongdekke. Asfalt eller betongdekket legges mot veggelementer av betong eller føringskant av betong med 5 % fall mot kjørebanelinjen. Kantsteinen skal settes på bindlaget i vegoverbygningen (Statens vegvesen, 2020b). Figur 2.15 viser et eksempel av en bankett med vegskulder.



Figur 2.15. Eksempel på vegskulder, kantstein og betongsåle, her vist som plasstøpt løsning (Statens vegvesen, 2020b).

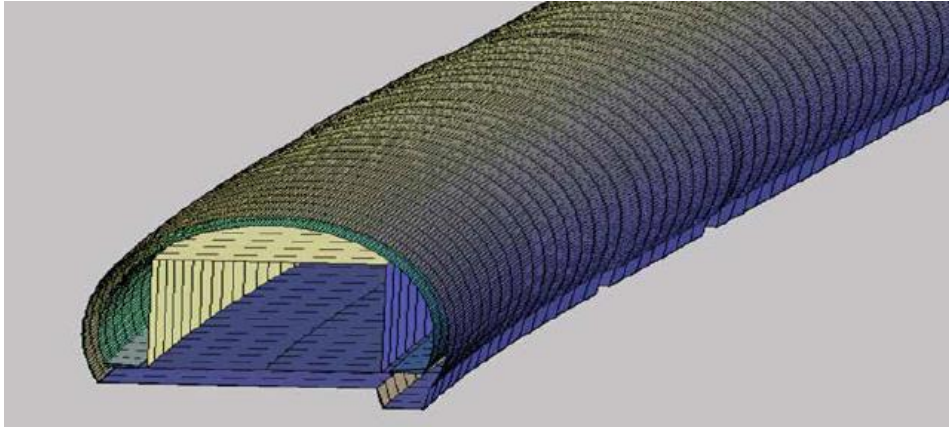
2.4 Fagmodell

En fagmodell er en 3D-modell som inneholder objekter som beskriver en planlagt situasjon for et fag, for eksempel for veg eller tunnel (Statens vegvesen, 2015). I denne oppgaven vil «tunnelmodell» benyttes for fagmodell for tunnel. Detaljeringsgraden i en fagmodell skal være minst like god som det som er påkrevd for tegninger (Statens vegvesen, 2020c)

Hvilke materialtyper og masser som benyttes i de ulike elementene i objektets oppbygging skal også vises i tunnelmodellen. Fra prosjekt til prosjekt vil detaljeringsgraden og innholdet variere i den generelle beskrivelsen av fagmodellen. Innholdet i en tunnelmodell med delmodeller skal bestå av fullstendig geometri for tunnelsystemet, samt tekniske installasjoner og annet utstyr. Ut ifra modellen må tunnelprofilen med tilhørende konstruksjonshøyder kunne leses av (Statens vegvesen, 2015). I figur 2.16 vises et eksempel på en tunnelmodell i DWG-format.

Ifølge håndbok V770 skal en tunnelmodell inneholde geometribeskrivelse av minimum følgende punkter (Statens vegvesen, 2015, s. 105):

- Overgang mellom planum og utsprengt tunnel
- Teoretisk grøfteprofiler (topp og bunn)
- Avgrensing mellom eventuelle delmodeller
- Teoretisk sprengningsprofil for tunnelprofil og andre bergrom (triangulert flate eller volum)
- Teoretisk sikret profil som triangulert flate eller volumobjekter (avhengig om sikring er for eksempel sprøytebetong, elementer, bolting eller nett)
- Teoretisk kjørekasse som volum eller triangulerte flater
- Vann og frostsikring (bolter, nett, sprøytebetong) som objekter, punktdata eller flater
- Grøfter som triangulerte flater



Figur 2.16. Tunnelmodell med teoretisk sprengningsprofil med såle, innerprofil og kjørekasse i DWG-format (Statens vegvesen, 2015).

2.5 Dataflyt

Dataflyt mellom ulike systemer og dataverktøy er en utfordring i infrastrukturprosjekter. I motsetning til for eksempel et bygg, så er informasjonen i et infrastrukturprosjekt i mye større grad stedfestet til eksisterende situasjon og et globalt koordinatsystem. LandXML og IFC er eksempel på åpne formater som håndterer noe informasjon, men de klarer ikke å håndtere all informasjon som er nødvendig hvis stikningsdata skal leveres modellbasert. Det er derfor nødvendig med videre utvikling av åpne formater og en standardisering og strukturering av objekter som kan utveksles og leses mellom programvarer, uten tap av data (Begić og Skagen, 2019).

2.6 Programvare

Utviklingen i dag går i retning av at man benytter fagmodeller for å hente ut stikningsdata. Det vil si at for eksempel tunneler i større grad bygges etter stikningsdataen fra fagmodeller, og ikke de ordinære stikningsdataene vi er kjent med. Stikningsdata hentet ut ifra tunnelmodeller vil videre i oppgaven bli referert til som «modellbaserte stikningsdata». For å prosjektere og produsere fagmodeller må man bruke ulike programvarer. Det er viktig at programvaren har en høy brukervennlighet, og at modellene er av topp kvalitet og inneholder god nok stikningsdata. Dette blir viktigere jo mer komplekst prosjektet er, spesielt ved tverrfaglige prosjekter. To av programvarene som benyttes til prosjektering og produksjon av fagmodeller, er Novapoint og Gemini.

2.6.1 Novapoint Tunnel

Novapoint er en programvare i Trimble's BIM-løsning for infrastrukturprosjekter. Novapoint blir brukt av ingeniører til å prosjektere veg, jernbane, tunnel, bru og VA (Trimble, u.å.a).

Quadri-modellen er den sentrale modellen i Novapoint, og er en samhandlingsplattform for samferdselsprosjekter som gir en oversikt over fagmodeller i en felles samhandlingsmodell (Trimble, 2017a; Trimble u.å.b). I Quadri-modellen kan alle fagområder «møtes på ett sted» hvor resultatene fra ulike fagområder kan benyttes som tilførsel til andre fag (Trimble, 2013a). Quadri-modellen kan motta modeller fra andre programvarer benyttet i prosjektet. Trimble beskriver Quadri som kjernen til informasjonen i modellen (Trimble u.å.b). Figur 2.17 viser en samordningsmodell i Novapoint Quadri hvor modeller fra ulike programvarer er importert.



Figur 2.17. Felles samordningsmodell i Novapoint Quadri med modeller prosjektert i andre programmer (Trimble, u.å.b).

Novapoint Basis er den delen av Novapoint som håndterer den sentrale Quadri-modellen og er et verktøy for de ulike fagapplikasjonene. På Trimble sine nettsider står det: «Basis håndterer den sentrale Quadri-modellen med prosesser og objekter, import av data til denne, definisjon av oppgaver som så utføres av andre Novapoint-moduler». Basis håndterer også grunnlagsdata og kan etablere grunnlagsmodeller som benyttes som beregningsgrunnlag i prosjektering (Trimble, 2017a).

Fagapplikasjonene i Novapoint kommuniserer med Novapoint Basis (Trimble, 2013b), og er integrert med AutoCAD som fungerer som en CAD-plattform for de ulike modulene (Trimble u.å.c). Prosjekteringen med de ulike fagapplikasjonene blir utført gjennom CAD-plattformen hvor filformatet i er DWG (Trimble, 2013b).

Trimble sin fagapplikasjon (fagmodul) Novapoint Tunnel benyttes til detaljert modellering av tunneler. Tunnelmodellene knyttes mot vegmodeller fra fagapplikasjonen Novapoint Veg der tunnelmodellen automatisk blir oppdatert ved endringer i vegmodellen (Trimble, 2017b).

2.6.2 Gemini Terreng

Gemini Terreng er utviklet av det norske selskapet Powel, og er et 3D-verktøy som brukes i forbindelse med infrastrukturprosjekter i Norge. Gemini Terreng brukes til prosjektering, og har ulike moduler for prosjektering av modeller for vei, kryss, tunnel, byggegrop og VA. Gemini Terreng har muligheten til å utføre overflateanalyser av 3D-modellene prosjektert med de ulike modulene. Disse modellene brukes i samtlige faser av et prosjekt. Dette gjelder da både i planleggings-, prosjekterings- og oppfølgingsfasen, samt for dokumentasjon av utført arbeid (Powel, u.å.a).

Tunnelmodulen i Gemini Terreng brukes til prosjektering, masseberegning og dokumentasjon av fjellhaller, vanntunneler og tradisjonelle vegtunneler. Med tunnelmodulen kan man prosjektere standard tunnelprofiler, nisjer og spesielt tilpassete konturer. Det finnes to alternativer for beskrivelse av tunnel i prosjekteringene; manuell og parametrisk beskrivelse, hvor det også er mulig å kombinere begge beskrivelsene. Tunnelmodulen kan også benyttes til oppfølging av produksjon ute på anlegg, ved dokumentasjon av utførelsen for kontroll opp mot toleransekravene og kontroll av

innmålte data opp mot prosjekterte fagmodeller. Gemini kan fremstille egne rapporter som dokumenterer at objekter er bygget som de ble prosjektert (as-built) (Powel, u.å.b).

2.7 Entreprisemodeller

Ved bygging av infrastruktur lages det en avtale om utførelse mellom entreprenør og byggherre. Type entrepris- og kontraktsform velges ofte utfra plassering av risikoen i et prosjekt. Type entrepris regulerer også grad av medvirkning hos partene, hvem som har ansvar for hva i prosjektgjennomføringen.

Utførelsesentrepris og totalentrepris er de to vanligste entreprisformene. Forenklet kan man si at i en utførelsesentrepris er det byggherren som står for prosjekteringen og entreprenøren bygger. Entreprenøren har her «bare» risikoen for selve utførelsen og valg av arbeidsmetode. I en totalentrepris både prosjekterer og bygger entreprenøren, og prosjekteringen baseres på en funksjonsbeskrivelse fra byggherren. Entreprenøren har, i tillegg til ansvar for gjennomføringen, også ansvar og risikoen for prosjekteringen (DFØ, 2020).

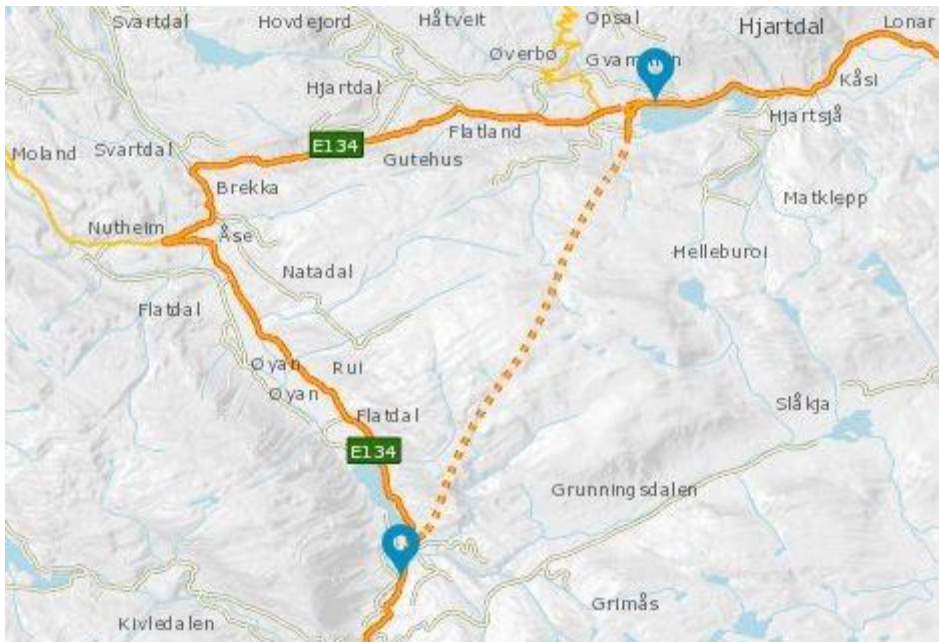
Det er utarbeidet norske standarder som regulerer kontraktsforhold i bygg- og anleggs prosjekter. NS 8405 Norsk Bygge- og anleggskontrakt regulerer kontraktsforhold inngått i utførelsesentrepriser. For mindre og enklere prosjekter er det mulig å benytte NS 8406 Forenklet norsk bygge- og anleggskontrakt. For kontrakter som bygger på totalentrepriser benyttes NS 8407 Alminnelige kontraktsbestemmelser for totalentrepriser (DFØ, 2020).

Det finnes flere entreprisemodeller og de bygger som oftest på enten utførelsesentrepris eller totalentrepris og/eller en blanding av de to. Et eksempel er samspillsentrepris. Entreprisemodellen kjennetegnes av at byggherren involverer prosjekterende og entreprenør tidlig i prosjektet. Formålet er at partene sammen utvikler funksjonskrav og gjennomfører prosjektet effektivt, med færre konflikter og gjerne til en lavere pris enn planlagt. En variant av samspillsentrepris er at det etter en innledende samspillsfase i gjennomføringsfasen inngås en totalentreprisekontrakt etter NS 8407 med gruppen. Denne entreprisemodellen kalles "Samspill til totalentrepris" (DFØ, 2020).

2.8 Casestudie – Mælefjelltunnelen

2.8.1 Generell bakgrunnsinformasjon

E134 er et av hovedsambandene mellom Østlandet og Vestlandet og er den korteste veien fra Drammen til Haugesund. Omleggingen av strekningen mellom Gvammen og Århus har redusert reiseavstanden på E134 med ca. 11 km, og reisetiden for tungtransport med 18 minutter. Den 17. desember 2014 gikk første salve i Mælefjelltunnelen av, og tunnelen ble åpnet for trafikk 19. desember 2019 (Statens vegvesen, brosjyre 1). Figur 2.18 viser oversiktskart for hvor den nye strekningen går. Den stiplede linjen illustrer Mælefjelltunnelen.



Figur 2.18. Kart over ny vegtrase, E134 Mælefjelltunnelen (Statens vegvesen, vegkart).

2.8.2 Tunnelutformingen

En transportmodellberegning gjennomført våren 2011 viste at trafikken ville bli vesentlig større enn tidligere anslått. Beregningen viste en ÅDT i 2040 på 5000 kjøretøy per døgn. Dette utløste kravet om tunnelklasse C og dimensjoneringsklasse S4 for veien (Konsulent, 2011).

Bekrivelse av Mælefjelltunnelen i dette avsnittet er basert på tegninger fra konsulenten som opprinnelig prosjekterte tunnelen. Mælefjelltunnelen er bygget med ett løp tilrettelagt for tovestrafikk med tunnelprofil T10,5. Tunnelens bredde består av 1 m bankett, 0,25 m skulder og 3,5 m kjørefelt på hver side, med 1 m rabatt mellom kjørefeltene. I den 9,4 km lange tunnelen er det totalt seksten havarinisjer, fem snunisjer med havarinisje, to snunisjer for brøytebil og et bergrom plassert midt i tunnelen hvor vogntog kan snu uten å rygge.

På grunn av slake kurver er det ikke krav til endring av tverrfallet på vegflatene i kurvaturene. Kjørebanelene i Mælefjelltunnelen har derfor ensidig tverrfall på 3% mot høyre for senterlinjens lengdeakse gjennom hele tunnellopet, sett i profilretning.

I Mælefjelltunnelen er det totalt seksten havarinisjer i Mælefjelltunnelen hvor ni av disse er ensidig og fem er ensidig med teknisk bygg. Havarinisjene er utformet etter håndbok N500 som vist i figur 2.10 i kapittel 2.3.2.

2.8.3 Bakgrunnen for utfordringene

Det kommende som presenteres er hentet fra et møte med den offentlige byggherren i dette prosjektet, interne dokumenter fra konsulentfirmaet som opprinnelig prosjekterte tunnelen, samt korrespondanse mellom byggherren og konsulentfirmaet. I den opprinnelige leveransen ble Mælefjelltunnelen prosjektert i Novapoint Tunnel. Etter at entreprenøren mottok tunnelmodellen, ble det oppdaget feil og mangler av entreprenøren. Entreprenøren mente at tunnelen ikke kunne bygges basert på den modellbaserte stikningsdataen fra Novapoint Tunnel. Konsulenten gjorde et forsøk på å utbedre dette, men ikke alle feilene kunne rettes opp. Konsulenten mente at noen av utfordringene var et direkte resultat av begrensninger i programvaren. Byggherren kontaktet dermed

Vianova (nå Trimble) og fikk bekreftet at det var begrensninger i programvaren der det foreligger asymmetriske tunnelprofiler.

Prosjekteringen foregikk ved at tegningene ble utarbeidet først, så ble det forsøkt å prosjektere etterpå. Konsulenten signaliserte overfor byggherren skepsis til at modellen ble gitt forrang foran tegninger. Byggherren ønsket å benytte modellbasert prosjektering på grunn av innsparingspotensialet, enklere dokumentasjon i byggefasen og at man mente man kunne hente stikningsdata direkte fra modellen.

Ettersom forsøkene på å utbedre modellen fra Novapoint ikke fungerte, ble Powel engasjert for å prosjektere tunnelen i Gemini Terreng i stedet. Med modellbaserte stikningsdata fra Gemini Terreng kunne entreprenøren drive tunnelen, ved å gjøre enkelte tilpasninger på stedet.

Utfordringene

Utfordringene oppstod hvor tunnelprofilet ikke var symmetrisk i forhold til vegens senterlinje. Det var spesielt ved havarinisjene med teknisk bygg og overganger fra tunnelprofil T10,5 til de ulike elementene i tunnelen hvor diskusjonen om hvordan det skulle løses oppstod. Der tunnelprofilet var konstant og med symmetriske utvidelser var det ingen problemer med den modellbaserte stikningsdataen fra noen av programvarene. Tunnelprofilet skulle ha rette vegger i teoretisk sprengningsprofil, noe som Novapoint Tunnel på den tiden ikke støttet. Men dette ble løst av konsulenten og Vianova (Trimble). Manglene i leveransen førte til at deler av den modellbaserte stikningsdataen fra Novapoint Tunnel ikke lot seg bruke. Det ble nevnt at det fremgikk i kontrakten at tunnelmodellen skulle beskrive tunnelens geometri i sin helhet, dette inkluderte teoretisk sprengningsprofil inklusive nisjer og andre elementer i tunnelen. Som nevnt ble tegningene utarbeidet først, så ble det forsøkt å prosjektere etterpå. Tegningene skulle også samsvare med tunnelmodellen. Utfordringen var å prosjektere det tegningene viste med de begrensningene programvaren da hadde.

3 Metode

Dette kapitlet redegjør for oppgavens metodiske tilnærminger. Denne oppgaven er basert på en case, og benytter seg av kvalitativ metodisk tilnærming. Først beskrives kvalitativ tilnærming som metode. Deretter beskrives dybdeintervju som metode, og utvalget og prosedyre for gjennomføring av dybdeintervjuene gjennomgås. Videre belyses analysestrategi for intervjudataene. Casestudie som metode beskrives og prosedyre for prosjekteringen av tunnel og analyse gjennomgås. Til slutt vil etiske betraktninger gjøres rede for.

3.1 Kvalitativ tilnærming

Kvalitative metoder forsøker å fange opp mening og opplevelse som ikke lar seg måle eller tallfeste (Dalland, 2020). Dalland (2020) skriver at kjennetegn ved kvalitative tilnærminger er at de blant annet går i dybden, de henter fram det særegne, de har nærhet til feltet, dataen som samles forsøker å få frem sammenheng og helhet og søker å formidle forståelse. Innenfor kvalitativ forskning er ulike intervjuformer den mest brukte datagenereringsmetoden (Tjora, 2017).

3.2 Dybdeintervju med intervjuguide

I denne masteroppgaven ble dybdeintervju med intervjuguide brukt for innhenting av informasjon. Et dybdeintervju er ifølge Tjora (2017) noe man bruker der man ønsker å studere meninger, holdninger og erfaringer, hvor man er ute etter å se ett tema fra informantens side. Tjora (2017) skriver videre at målet med slike intervjuer handler om å skape en fri samtale rundt spesifikke temaer som er bestemt på forhånd.

3.2.1 Utvalg av informanter

For å avdekke utfordringer og erfaringer tilknyttet tunnelprosjektering, var det nødvendig å intervju personer med erfaring rundt dette. Det ble vurdert nødvendig å intervju fagfolk som jobbet med utvikling av programvarene, samt fra de prosjekterende som bruker programvarene. I tillegg ble det vurdert viktig å kartlegge erfaringer fra byggherre, samt erfaringer fra entreprenør. Det ble på bakgrunn av dette laget et kriterieutvalg; dette er kriterier som «(...) optimaliserer informantens bidrag til å kunne svare på oppgavens problemstilling» (Tjora, 2017, s. 41). I denne sammenheng ble kriteriene satt til at informanten(e) i) fra programvarene jobbet i de respektive firmaene med erfaring fra tunnelprosjektering, ii) fra den prosjekterende siden hadde erfaring med tunnelprosjektering og de aktuelle programvarene, iii) fra entreprenørsiden hadde erfaring med driving av tunnel og de aktuelle programvarene, og iv) fra byggherresiden hadde erfaring som prosjektleder eller byggeleder for utbygging av tunneler på riks- og fylkesveger av vesentlig størrelse, hvor de aktuelle programvarene var benyttet. I denne oppgaven vil betegnelsen «erfaring» innebære mer enn 5 års arbeid innenfor de ulike kriterieutvalgene. Det ble gjennomført fem dybdeintervjuer, hvor man hentet informasjon fra fem innfallsvinkler med fire ulike bakgrunner fra tunnelprosjekter. Informantene som ble intervjuet jobbet innenfor programvarene Trimble (Novapoint) og Powel (Gemini), innenfor prosjektering i et større konsulentfirma, som entreprenør i et større entreprenørselskap, og som offentlig byggherre.

3.2.2 Rekrutteringsprosessen

I rekrutteringsfasen ble det gjort et strategisk utvalg av informanter. Informantene som ble kontaktet ble vurdert å fylle kriteriene som beskrevet over. Gjennom egne erfaringer og kjennskaper ble en informant fra hver av programvarene kontaktet. Det ble kontaktet flere informanter fra offentlige byggherrer med erfaring som prosjektleder og byggeleder. Det ble gjort en vurdering av disse, og den med mest relevant erfaring ble valgt som informant fra byggherresiden. Videre ble det gjennom kontakter funnet en informant fra den prosjekterende siden, som hadde lang erfaring med prosjektering av tunnel i begge programvarene. På samme måte ble det også funnet en informant fra entreprenørsiden.

3.2.3 Gjennomføringen

Informantene ble først kontaktet per telefon eller mail, hvor de ble spurt om å delta som informanter i dette mastergradsprosjektet. Alle informantene ga muntlig samtykke til at informasjonen som fremkom i intervjuene kunne brukes i masteroppgaven. Det ble utformet en intervjuguide for gjennomføringen av intervjuene (vedlegg 1). Spørsmålene ble oversendt informantene flere dager i forveien før intervjuene ble gjennomført. Intervjuguiden ble ikke fulgt til punkt og prikke, men ble brukt som utgangspunkt for intervjuene. Til sammen ble det utført fem dybdeintervjuer. Disse intervjuene ble gjennomført per telefon grunnet koronasituasjonen. Intervjuene foregikk vår-sommer 2020. Intervjuene ble tatt opp med lydopptak og transkribert i etterkant. Disse lydopptakene vil slettes når masteroppgaven er ferdigstilt, noe informantene er informert om. Det ble også tatt notater underveis i intervjuene.

3.2.4 Analysestrategi

Transkripsjon

En måte å bearbeide informasjon på, er ved å skrive ned det som ble sagt, ord for ord - også kalt transkribering (Dalland, 2020). Dette er en vanlig måte å bearbeide de fleste type intervjuer på, som gjør at man får gjennomgått intervjuene og informasjonen man har innhentet, en gang til.

Tematisk analyse

«Analysen skal hjelpe oss å finne ut *hva* intervjuet har å fortelle» (Dalland, 2020, s. 94). Grunnlaget for analysen legges allerede i utarbeidelsen av intervjuguiden (Dalland, 2020). I etterkant av transkriberingen ble intervjuene lest igjen, og viktige temaer ble plukket ut. Her ble intervjuguiden også brukt som utgangspunkt. Deretter ble det gjort en tematisk bearbeiding av alle intervjuene. Dette innebar at alle svarene fra intervjuene som passet inn under ett tema, ble plassert under dette temaet (Dalland, 2020). Deretter ble alle intervjuene satt opp mot hverandre, for å se hvordan svarene under de ulike temaene passet sammen.

3.3 Casestudie

I denne masteroppgaven ble Mælefjelltunellen brukt som casestudie. Å bruke en case er en svært vanlig form for avgrensing i kvalitativ forskning (Tjora, 2017). «En casestudie er en undersøkelse som benytter en allerede eksisterende grense for hva og hvem undersøkelsen inkluderer og ekskluderer» (Tjora, 2017, s. 41). I dette tilfellet ble et eksisterende tunnelprosjekt brukt som case. Dette for å kunne gå i dybden av prosjektering av tunnel. I en casestudie kan man bruke de formene for datainnhenting man vil; både kvantitativ og kvalitativ (Tjora, 2017). I denne oppgaven ble både ustrukturert intervju brukt, samt innhenting av relevante dokumenter fra casen. I tillegg har

tegningsgrunnlaget fra Mælefjelltunnelen samt håndbøkene blitt brukt til å prosjektere enkelte tunnelprofiler på nytt.

3.3.1 Innhenting av bakgrunnsinformasjon

Bakgrunnsinformasjonen som tidligere er presentert i oppgaven, er hentet fra erfaringene som ble gjort ved Statens Vegvesen sin utbygging av Mælefjelltunnelen på E134. Denne informasjonen er som nevnt hentet fra et møte med den offentlige byggherren i dette prosjektet, interne dokumenter fra konsulentfirmaet som opprinnelig prosjekterte tunnelen, samt korrespondanse mellom byggherren og konsulentfirmaet. Møtet med byggherren ble gjennomført på deres brakkerigg på anleggsplassen våren 2020, hvor prosjektleder, prosjekteringsleder og kontrollingeniør fra byggherren deltok. Dette møtet, som ble gjennomført som et ustrukturert intervju, ble tatt opp på lydopptak, og deretter transkribert. Fra transkriberingen ble det hentet ut relevant informasjon om utfordringene i prosjektet.

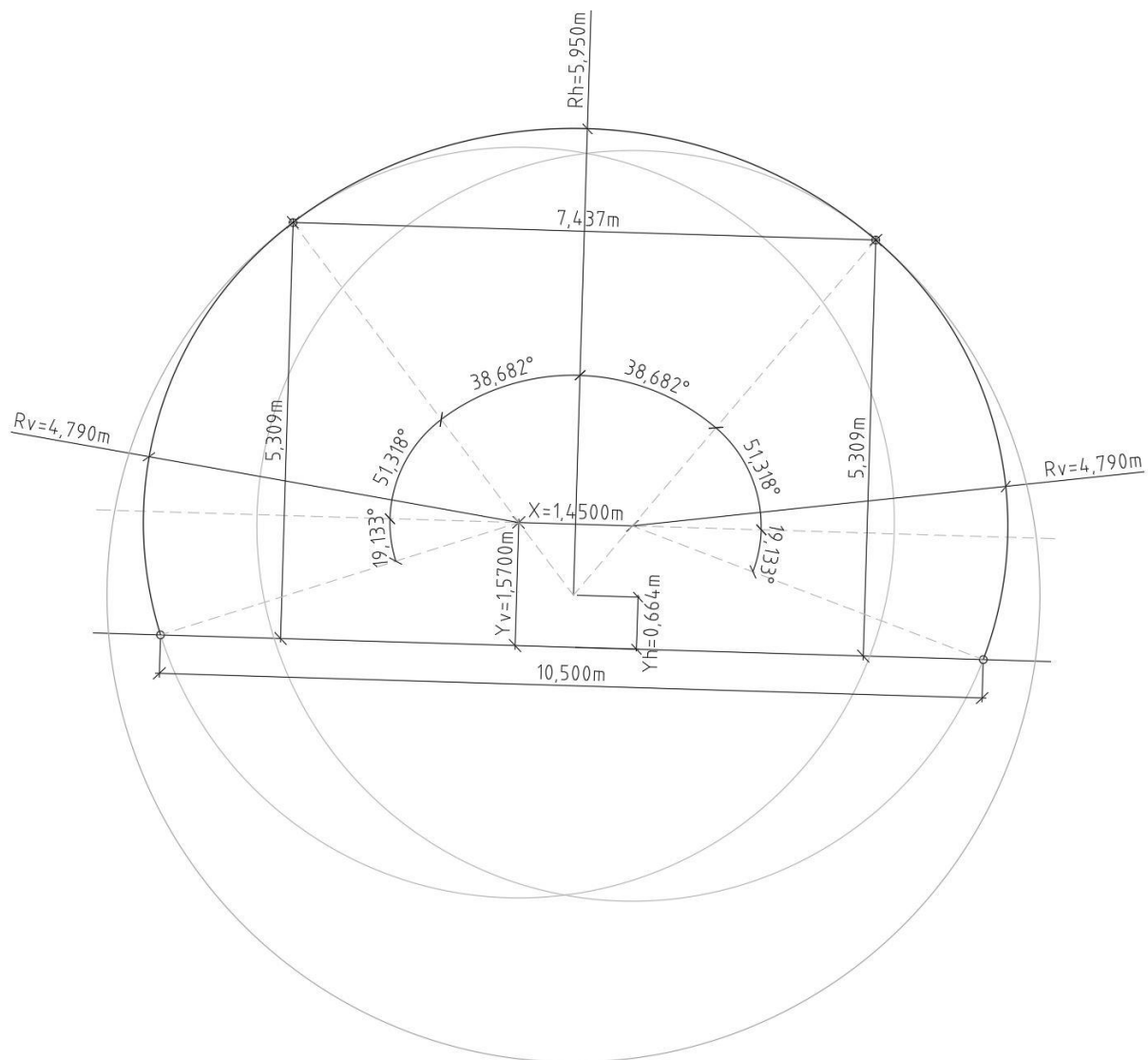
3.3.2 Metode for prosjektering

Novapoint Tunnel 21.10.FP4e og Gemini Terreng V15 er programvarene som ble benyttet til prosjektering av tunnel i denne masteroppgaven. Tilgang og lisenser til Novapoint Tunnel og Gemini Terreng ble tildelt av Sweco Norge.

Det ble foretatt en utvelgelse av to elementer i tillegg til tunnelprofilet fra casestudien som ble prosjektert. Det som ble prosjektert var tunnelprofil T10,5, havarinisje (T13,5) og havarinisje med teknisk bygg. I Novapoint Tunnel og Gemini Terreng ble tunnelprofil T10,5 og T13,5 prosjektert parametrisk etter parameterne i håndbok N500. Havarinisje med teknisk bygg ble i Gemini Terreng prosjektert manuelt, mens i Novapoint Tunnel ble det prosjektert parametrisk med nisjefunksjonen. Havarinisje med teknisk bygg ble prosjektert med håndbok N500 og tegninger fra konsulentfirmaet som grunnlag.

Linjeføring og vegmodell for de ulike elementene ble prosjektert i Novapoint Veg og ble brukt som grunnlag til tunnelprosjektering i begge programvarene. Dette ble gjort for å gi identiske prosjekteringsgrunnlag i begge programvarene. For de ulike elementene ble linjeføringen konstruert med en 260 m rettlinje uten stigning og vertikalkurvaturer. Senterlinjene og vegmodellene ble eksportert fra Novapoint Veg og importert og kontrollert i Gemini Terreng. Prosjekteringen av senterlinjen og vegmodellen er ikke beskrevet i denne oppgaven.

Samtlige tunnelprofiler og utforming av elementene i plan ble manuelt konstruert geometrisk riktig ved hjelp av verktøyene i AutoCAD. De geometrisk riktige tunnelprofilene ble brukt som prosjekteringsgrunnlag og til kontroll av tunnelprofilene som ble eksportert fra Novapoint Tunnel og Gemini Terreng. Figur 3.1 viser resultatet av konstruert tunnelprofil T10,5 i AutoCAD etter håndbok N500.



Figur 3.1. Konstruert tunnelprofil (T10,5) i AutoCAD.

3.3.3 Analysestrategi

Ett av formålene med oppgaven er å vurdere Novapoint Tunnel og Gemini Terreng opp mot hverandre med hensyn til prosjektering av tunnel. For å gjøre dette, må man sammenligne utsnittene fra de respektive programmene, med de manuelt konstruerte geometrisk riktige tegningene fra AutoCAD, som beskrevet over. Det ble så vurdert hvor mye de eventuelt avvek eller lignet de geometrisk riktige tegningene.

3.4 Etiske betraktninger

Det har i oppgaven vært fokus på gode etiske vurderinger. Tillit mellom forsker og informant, informert samtykke, konfidensialitet og anonymitet har blitt vektlagt (Tjora, 2017; Dalland 2020). Alle informantene fikk en muntlig gjennomgang av hvordan informasjonen fra intervjuene ville brukes. Samtlige informanter ga muntlig samtykke til at intervjuene ble tatt opp på lydopptak, og at informasjonen kunne brukes i masteroppgaven. Siden lydopptak ble benyttet, er det vurdert at

sitatsjekk (Tjora, 2017) ikke var nødvendig. Lydopptakene er lagret på en passordbeskyttet minnepenn, og alle informantene er informert om at opptakene slettes når masteroppgaven er ferdigstilt. Det er verdt å merke seg at opplysninger som har fremkommet er lite sensitive, ingen av opplysningene er av personlig karakter. Den sensitive informasjonen som har fremkommet om selskaper og programvarer har vært etterstrebet å beskytte og anonymisere så langt det lar seg gjøre i henhold til problemstillingen. I denne studien er det valgt å bruke navnet til programvarenes firmaer, Trimble og Powel, da det er relevant å vite hvem av disse som mener hva i intervjuene. Dette er også informantene for de respektive programvarene informert om. For å overholde konfidensialitet, er det ikke valgt å skrive hvilket firma den prosjekterende, entreprenøren eller byggherren tilhører.

Alle berørte parter i casestudien er informert om at oppgaven gjennomføres. Det er viktig å påpeke at det i denne oppgaven etterstrebes å ikke henge ut verken firmaer eller programvarer, men å bidra til kunnskapsøkning rundt prosjektering av tunnel. Med tanke på konfidensialitet blir ikke konsulentfirmaet som opprinnelig prosjekterte Mælefjelltunnelen nevnt med navn, men blir referert til som «konsulenten» eller «konsulentfirmaet». Det samme gjelder den offentlige byggherren, som refereres til som «byggherren».

4 Resultater

Dette kapittelet redegjør for resultatene i oppgaven. Først presenteres funn fra dybdeintervjuene. Deretter presenteres funn fra casestudien hvor tunnelprofil T10,5, havarinisje (T13,5) og havarinisje med teknisk bygg ble prosjektert på nytt i de respektive programvarene. Videre vil det gjøres rede for eksport av tunnelmodell og brukervennlighet. Til slutt vil forskjellene og likhetene i de to programvarene oppsummeres i to figurer.

4.1 Funn fra dybdeintervjuene

Som nevnt i metodekapittelet vil informantene omtales på følgende måte: Informantene fra programvarene vil omtales som «informanten fra Trimble (Novapoint)» og «informanten fra Powel (Gemini)». Informantene fra konsulentfirmaet, den offentlige byggherren og entreprenørfirmaet vil videre omtales som «den prosjekterende», «byggherren» og «entreprenøren».

4.1.1 De ulike temaene

Gjennom tematisk analyse fremkom det syv overordnede temaer fra dybdeintervjuene som vil presenteres i det videre.

Kompetanse og preferanser

Informanten fra Trimble mener at kompetansenivået og kjennskapen til programvarene hos konsulentene generelt er god. De som prosjekterer tunnel, jobber som oftest i et miljø med egne veg- og tunnelprosjekteringsavdelinger som har tilegnet seg god erfaring og kunnskap om programvarene. Erfaringen fra Trimble er at det blir lenger mellom hver supportsak av betydning fra prosjekterende. Vedkommende sier det handler om: «[...] kompetanse og vilje til å løse utfordringer. Noen gir opp når det butter, mens andre gidder å jobbe litt for å få det til.» Basert på supportsaker Trimble har hatt for offentlige byggherrer, har også byggherren god kjennskap og erfaring med Novapoint Tunnel. Informanten fra Powel sier at offentlige byggherrer er godt kjent med både Novapoint Tunnel og Gemini Terreng, og vet om deres sterke og svake sider. Videre sier vedkommende at valget av programvare har en sammenheng med hva prosjekterende har erfaring med å bruke, og forteller: «Det er mange som synes det er tungvint å lære seg nytt program hvis man allerede kan Gemini Terreng eller Novapoint Tunnel. Ofte holder man seg til hva man er kjent med.» Informanten fra Powel påpeker i intervjuet at Statens Vegvesen eller andre offentlige byggherrer ikke kan gi føringer på hvilken programvare som skal brukes i prosjektene. Videre sier informanten fra Powel at hos konsulenter, Statens Vegvesen og kommuner står de fritt til å bruke foretrukket programvare. Dette bekrefter også byggherren, som sier at konsulentene prosjekterer litt etter egen kultur og kompetanse. Byggherren sier videre at inntrykket er at den generelle kompetansen i bruken av disse programvarene er tilfredsstillende hos konsulentene, i alle fall hvis man tar utgangspunkt i de fem siste årene. Den prosjekterende uttrykker også at kunnskapen og kompetansen blant de prosjekterende er god, men at den som alle andre steder også er varierende. Dette bekrefter også entreprenøren, som forteller at den ferdige leveransen ofte varierer med hensyn til hvor «komplett» den er. Vedkommende er dog usikker på om dette handler om kompetanse hos den prosjekterende, eller om det heller handler om begrensinger i selve programvarene.

Utvikling av programvarene

I intervjuet med Trimble fortalte informanten at Novapoint Tunnel ikke er en av deres moduler som blir høyest prioritert i videreutviklingen av programvarer. Det er veg-, VA- og terrengmodulene i Novapoint som er deres primærmoduler, sammen med samhandlingsmodellen med 3D-visninger og serverløsninger for flerfaglig prosjektering. «Tunnel blir en sånn siderett. Vi vedlikeholder, retter feil og lager noen nye ting innimellom.» Informanten fra Trimble sier at Powel utvikler Gemini fortløpende, mens Trimble ikke har laget noen nye funksjonaliteter for prosjektering av tunnel i Novapoint Tunnel på en stund. Utviklingen av programvaren for tunnelprosjektering går raskere fremover hos Powel enn hos Trimble, og har oppnådd en rikere funksjonalitet enn Novapoint Tunnel sier informanten fra Trimble. Dette er noe informanten fra Powel også bekrefter. Byggherren erfarer at den store utviklingen av Gemini Terreng har skjedd i de siste 5-6 årene. Vedkommende forteller at tidligere var inntrykket at konsulentene brukte Novapoint Tunnel som prosjekteringsverktøy, mens byggherrer og entreprenører brukte Gemini Terreng til dokumentasjon, rapportering og til å lage historiske data. Dette bekrefter entreprenøren, som rapporterer at de bruker Gemini til alle oppgaver på veg og tunnel; til behandling av stikningsdata, målebrevdokumentasjon, masseberegning og delprosjektering. Byggherren opplever nå at Gemini Terreng i større grad også er tatt i bruk hos konsulentene.

Byggherren sier oppsummerende at verken de prosjekterende eller entreprenørene fullt ut utnytter mulighetene som ligger i bruken av modellbaserte stikningsdata med tanke på utviklingen som har vært. Informanten opplever at tunnelfaget er et av de fagene som har hengt etter i bruken av modellbaserte stikningsdata. Entreprenøren sier det har vært en stor utvikling sammenlignet med tidligere, og at det nå er vanlig at entreprenører mottar og bruker modellbaserte stikningsdata for tunnel.

Ulike forventninger hos prosjekterende og entreprenør

Byggherren forteller at konsulenter ikke nødvendigvis har fokus på de samme detaljene i tunnelmodellene som entreprenørene, og at det spriker i leveransene. Informanten fra Trimble mener at dette ofte handler om at konsulenten ikke har erfaring med hva entreprenørene ønsker eller trenger, slik at det er vanskelig å vite hva som er viktig og hva som ikke er viktig for dem. Den prosjekterende sier at konsulentene også mangler erfaring rundt hva som er viktig og ikke viktig med tanke på detaljeringsgrad i tunnelmodellene. Byggherren sier at entreprenører ofte etterspør andre stikningsdata enn det som opprinnelig er levert til byggherren av konsulentene. Entreprenøren opplever at de sjeldent mottar komplette modellbaserte stikningsdata, og at det de mottar krever en del bearbeiding. Vedkommende sier det ofte mangler data for tunnel, hvor de for eksempel kun får modellbaserte stikningsdata for veg. Entreprenøren sier følgende:

«Vi har i flere prosjekter fått tilbakemelding av konsulentene at de ikke klarer å gi oss data vi etterspør, hvor vi da selv må prosjektere manglende data eller korrigere dataen vi har mottatt. Om dette skyldes begrensinger i programvaren eller ikke vet jeg ikke. [...] jeg ikke har nok kunnskap om programmets muligheter til å si noe om det.»

Byggherren stiller også spørsmål om hvorvidt det kan handle om entreprenørens evne til å løse små utfordringer når det ikke er vist i detalj i modellen. Denne erfaringen sitter også den prosjekterende med. Vedkommende forteller at det er stor forskjell på entreprenørene med hensyn til evnen og viljen til å løse ulike utfordringer på stedet. Byggherren sier:

«Da jeg begynte i denne bransjen så var det nesten å levere fra seg en reguleringsplan - og så bygg dette. Tradisjonelt så har jo tunnel vært sånn at man har løst utfordringer man har støtt på litt løpende.»

Informanten fra Trimble setter dette litt på spissen og sier: «I gamledager så leverte man bare tegninger og sa lykke til med overgangene til entreprenøren».

Detaljeringsgrad i tunnelmodellen

En utfordring ved tunnelmodellene er at det ofte leveres for store og for detaljerte modeller med for mange og antatt overflødige detaljer. Byggherren har opplevd at det leveres modellbaserte stikningsdata til entreprenøren med så store datamengder at maskinstyringen ikke klarer å håndtere dette, og at entreprenøren må fjerne data fra modellen. Byggherren mener at dette i hovedsak gjelder modeller fra Novapoint Tunnel. Den prosjekterende på sin side sier at det ikke er forskjell på datamengden i modellbaserte stikningsdataene fra Gemini Terreng og Novapoint Tunnel, men at det er filformatet DWG som er utfordringen. I følge den prosjekterende sier håndbok V770 at filformatet DWG skal brukes ved modellbasert stikningsdata. Informanten fra Trimble forteller at en tunnel med mange ulike tunnelprofiler og høy detaljeringsgrad skaper mange ulike tunnelprofiler i modellen som gjør at det blir tungt for mottagende systemer å bearbeide. Informanten fra Trimble forteller at utfordringen er å levere en modell med akkurat de tunnelprofilene som er absolutt nødvendig, og fjerne «unødvendige» tunnelprofiler. Informanten opplever at det er en uenighet mellom Trimble og entreprenører rundt hvor detaljert de modellbaserte stikningsdataene trenger å være. Informanten fra Trimble opplever ofte at entreprenøren ønsker en «røffere» tunnelmodell, mens Trimble mener de må levere en mer fullstendig tunnelmodell.

Byggherren sier de ønsker å ligge på nivå med de kaller en «digital tvilling», der modellen viser det som faktisk skal bygges. Dette er i tråd med hva den prosjekterende sier. Men vedkommende forteller at selv om ønsket er en «digital tvilling», altså en modell som gjenspeiler det som skal bygges, er det ofte vanskelig å imøtekomme, da det er uenighet med tanke på hvilken detaljeringsgrad som er nødvendig. Den prosjekterende opplever at det er forskjell fra entreprenør til entreprenør, samt fra byggherre til byggherre. Den prosjekterende sier: «Alle vil ha det forskjellig og alle gjør det forskjellig. [...] det kommer jo kanskje av at man ikke nødvendigvis har et kravspekk som er god nok eller omforent.» Entreprenøren på sin side sier at det er viktig at det skilles mellom modell og stikningsdata. Vedkommende sier:

«Det er viktig å skille mellom stikningsdata og modell, det er i dag ikke noe naturlig flyt mellom modelldata og stikningsdata. Stikningsdata som vi har bruk for ute i felt har ikke behov for mye av detaljene som ligger i modellen. Modeller er ofte bygget opp veldig bra, men mangler sentrale stikningspunkt. Dette medfører en del ekstra arbeid for stikkerne og rom for feil.»

Et annet sentralt poeng relatert til detaljeringsgrad, er kostnaden dette medfører på både prosjekterings- og byggesiden. Entreprenøren sier: «Modellen vi mottar fra konsulenter kan ikke direkte brukes som stikningsdata i stikningsutstyr eller tunnelrigger, [...] men vi må ofte hente ut sentrale stikningspunkt og referanselinjer selv ut ifra modellen.» Dette er noe som tar tid og dermed kan bidra til økte kostnader. Informanten fra Powel mener det er lite penger å spare på detaljprosjektering av overganger fra tunnelprofilen til for eksempel snunisjer, snuhammer og liknende for å spare kubikk. Videre sier informanten at det også er begrensninger for hvor detaljert en entreprenør klarer å sprengne, når det er vanlig å sprengne med salver på 5 meter. Vedkommende sier: «Hvor mange kubikk må du spare for at du skal kunne jobbe en dag ekstra med å finne utformingen på en løsning da?» Informanten fra Trimble sier den generelle feilen som ofte skjer, er

at prosjekterende «filer» på små detaljer som er uvesentlig på byggeplassen. Og sier videre: «Det er jo egentlig ikke kunstverk man leverer fra seg, men noe som er bra nok slik at entreprenøren kan bygge.» Den prosjekterende mener også at de små detaljene konsulentene bruker tid på ikke har noen praktisk betydning for utførelsen. Og sier hvis man får en kubikk pluss minus for hver nisje så utgjør dette så å si ingenting når totalen for en tunnel kan være flere 100.000 kubikk.

Krav til tunnelmodellen

Det var enighet mellom samtlige informanter om at det mangler entydige krav til modellbaserte stikningsdata for tunnel. Den prosjekterende og informanten fra Powel sier begge at det bør utarbeides mer detaljerte beskrivelser og krav til hvordan modellbaserte stikningsdata bør utarbeides og leveres. Videre sier den prosjekterende at dette vil gjøre det klarere for konsulentene hva de skal prosjektere og levere, i tillegg til at entreprenøren i større grad vet hva de vil motta. Dagens håndbok V770 beskriver ikke dette godt nok, sier både informanten fra Trimble og den prosjekterende. Informanten fra Trimble sier at grensesnitt utover håndbok V770 håndteres forskjellig fra prosjekt til prosjekt og entreprisreform. Prosjekterende sier at utfordringen med håndbok V770 er at denne er en veileder og ikke et kravdokument. Videre sier vedkommende at V770 ikke er konkret eller klar nok i forhold til krav om detaljeringsgrad av modellbaserte stikningsdata. Og at dette kan være litt av bakgrunnen til hvorfor det ofte er uenighet rundt detaljeringsgrad. På spørsmål til entreprenøren om hva de ønsker å motta, sier vedkommende at det avhenger veldig av prosjektets størrelse og kompleksitet med tanke på hva som er nødvendig å motta av data. Vedkommende tror videre det ikke finnes en fasit for hva entreprenørene ønsker å motta i ulike prosjekter. Byggherren på sin side foreslår en mer enhetlig tilnærming til prosjektering og leveranser, og sier at det er på tide at de offentlige byggherrene utarbeider ulike standardiseringer for å bidra til dette.

Et forslag til en løsning på det overnevnte, kommer fra den prosjekterende. Vedkommende sier at noen av utfordringene rundt leveranse av modellbaserte stikningsdata kanskje kan løses ved å utarbeide tilleggsdokumenter som sier noe om hva de modellbaserte stikningsdataene inneholder, slik at entreprenøren er klar over hva som blir mottatt. Byggherren mener det burde vært en form for typetegninger for ulike elementer i tunnelen, men påpeker også at dette ikke passer helt inn i tankegangen når modellbaserte stikningsdata skal være gjeldende. Prosjekterende sier at det er lettere å vise kompliserte utforminger på tegning, enn å prosjektere det. Og at det er uheldig hvis tegning og modell viser to ulike situasjoner, noe som ofte kan skje på grunn av begrensinger i programvaren. Den prosjekterende sier:

«Jeg tror at man har kommet et stykke på vei hvis man går vekk den fra tradisjonelle [måten], at man tegner ting i detalj først og så prøver å modellere dette etterpå. Det beste er og enten bare ha tegninger eller bare modell, ikke ha begge deler.»

Dataflyt

En annen utfordring som fremkom i intervjuene, var dataflyt mellom ulike systemer. Prosjekterende sier som nevnt over at de modellbaserte stikningsdataene er basert på håndbok V770 som primært er DWG-basert. Hvis man leverer en komplett tunnel i DWG-format så dukker det ofte opp spørsmål om andre dataformater fra entreprenøren. Informanten fra Powel sier at alle prosjekteringsverktøy har sine spesialiteter som vanskelig kan konverteres til andre programvarer. Informanten fra Trimble sier at mottakende programvarer tolker dataene ulikt og fortsetter: «Interoperabilitet mellom programvaresystem er alltid en utfordring.» Entreprenøren sier at mange anleggsmaskiner og

utstysleverandører har sine egne programvarer. Dette krever behandling av data som mottas fra konsulentene før det kan overføres til ulike utstyr og anleggsmaskiner sier entreprenøren.

Entreprisemodeller

Det var en generell enighet mellom informantene rundt entreprisemodellene utførelsesentreprise og totalentreprise. Byggherren og informanten fra Trimble sier at ved utførelsesentreprise der konsulenten lager grunnlaget først, og entreprenøren kommer og bygger etterpå, så er det vanskelig å sette grensesnitt mellom modellbaserte stikningsdata og hva entreprenøren kan løse på stedet i etterkant. Ved utførelsesentreprise sier byggherren at ønsket om høy detaljeringsgrad og type modellbaserte stikningsdata ikke alltid samsvarer med det prosjekterende har levert, og ser at det er for stor variasjon på hva de prosjekterende leverer. Den prosjekterende sier at dette er en utfordring i en tradisjonell utførelsesentreprise hvor man ikke har en dialog med entreprenør i forkant. Dette kan ofte også være en kilde til konflikt, ifølge den prosjekterende. Informanten fra Powel sier at kilden til uenighet mellom entreprenør og byggherre ofte oppstår ved mangler eller endringer underveis i byggingen. Prosjekterende sier: «Det er vanskelig å bygge eksakt etter det som er prosjektert».

Byggherren og informanten fra Trimble mener begge at dette vil endre seg med økt bruk av totalentreprise. Dette innebærer at entreprenøren selv får ansvaret med å fremskaffe de modellbaserte stikningsdataene de har behov for. Den prosjekterende forteller at i en totalentreprise har prosjekterende direkte dialog med entreprenør, med den fordel at problemstillinger kan tas opp med de som faktisk skal utføre arbeidet. Vedkommende forteller videre at dette vil gjøre det lettere å velge programvare som fungerer til formålet fra starten av prosjektet. Informanten fra Trimble sier: «Tett samarbeid mellom prosjekterende og entreprenør fører til at det prosjekteres akkurat det som er nødvendig for at entreprenøren skal kunne drive tunnelen.» Informanten fra Trimble og prosjekterende sier begge at dette samarbeidet gjør det enklere å finne grensesnittet mellom den modellbaserte stikningsdataen og hva entreprenøren kan løse på stedet. Det prosjekteres «as you build», sier informanten fra Trimble.

Entreprenøren mener at det viktigste, uavhengig av kontraktsform, er tidlig involvering av entreprenør i prosjekterings- og samhandlingsfasen og en god dialog mellom prosjekterende og utførende. Entreprenøren sier:

«Erfaringsutveksling mellom partene er vel nøkkelen til å få til et bra prosjekt med riktig mengde data. Jeg tror også at det kun gir en positiv effekt på både økonomi og fremdrift av å ta med entreprenøren så tidlig som mulig i prosjekteringsfasen eller samhandlingsfasen».

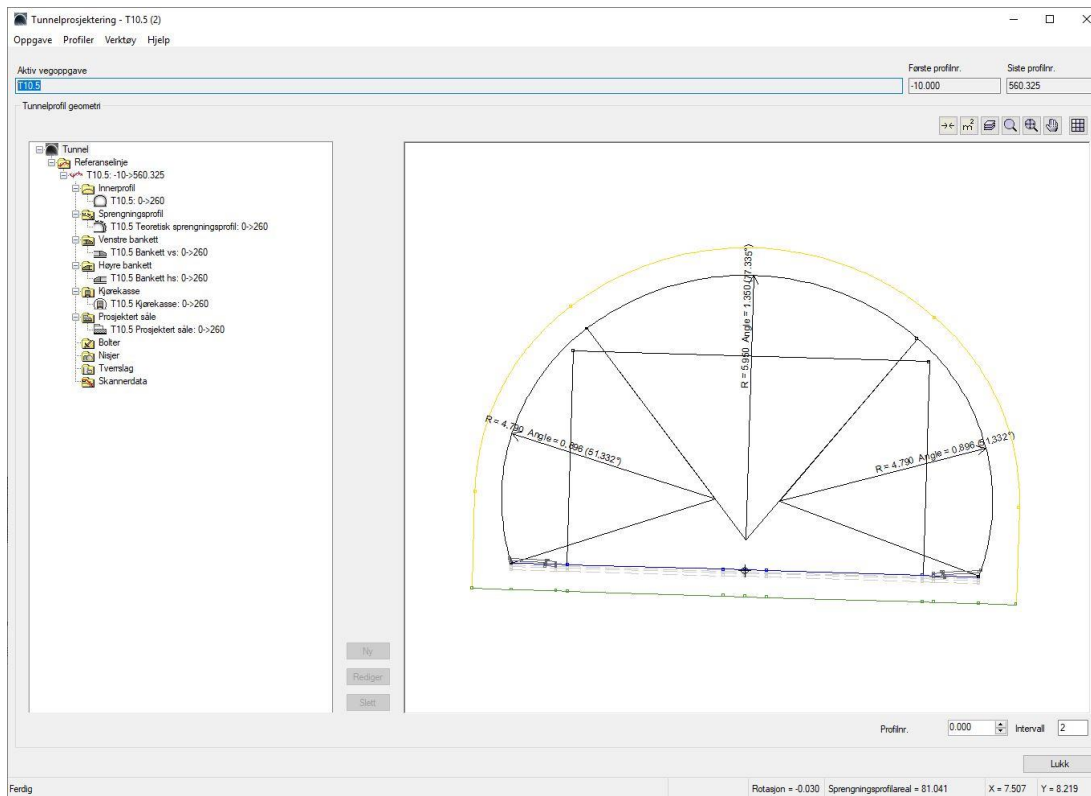
Informanten fra Powel forteller at de opplever at de store prosjektene nå i stor grad benytter totalentreprise. Som følge av dette hører Powel lite om utfordringer med modellbaserte stikningsdata som tidligere har oppstått ved utførelsesentreprise. Vedkommende stiller et hypotetisk spørsmål: «Også vet jeg ikke hvilke frustrasjoner det kan gi hos byggherren etter hvert. Det får nå tiden vise.»

4.2 Funn fra prosjektering i Novapoint Tunnel og Gemini Terreng

4.2.1 Tunnelprosjektering

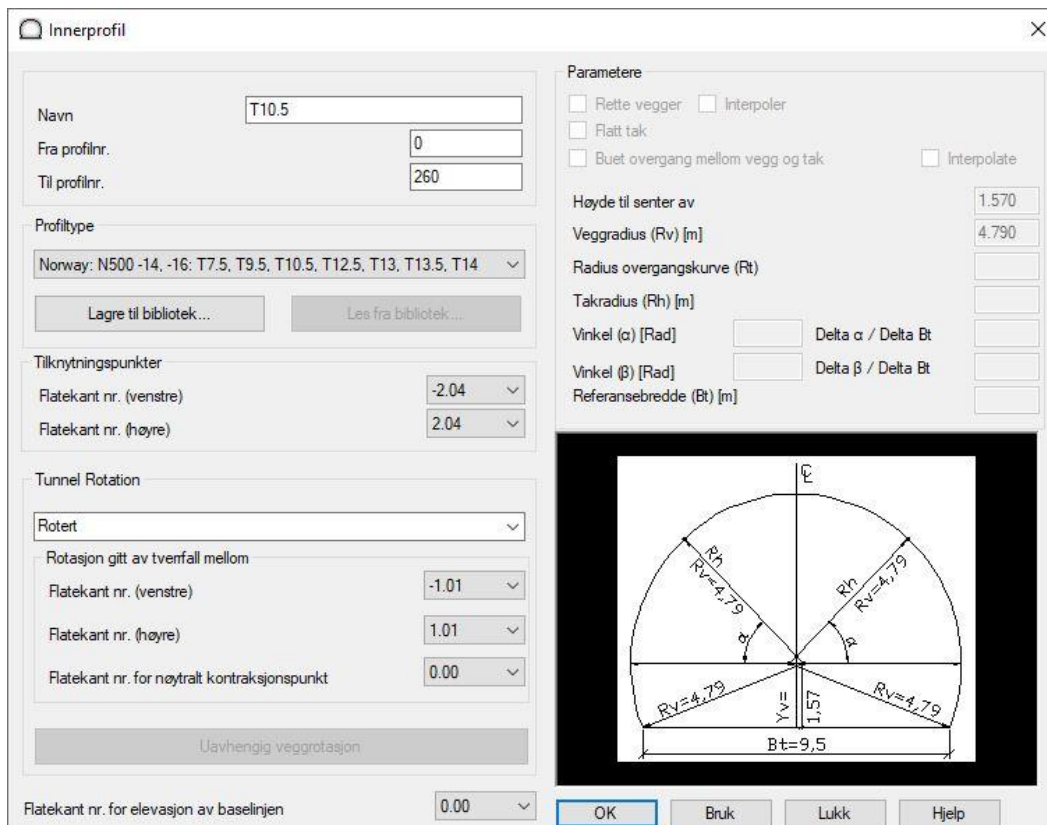
Novapoint Tunnel

For å starte prosjekteringen av tunnel ble det først opprettet en tunnelmodell for de ulike elementene. For å kunne prosjektere tunnelene måtte tunnelmodellene knyttes til de respektive vegmodellene for de ulike elementene som er beskrevet i kapittel 3.3.2. Deretter ble innerprofil og teoretisk sprengningsprofil opprettet i tre-strukturen, som vist i figur 4.1.



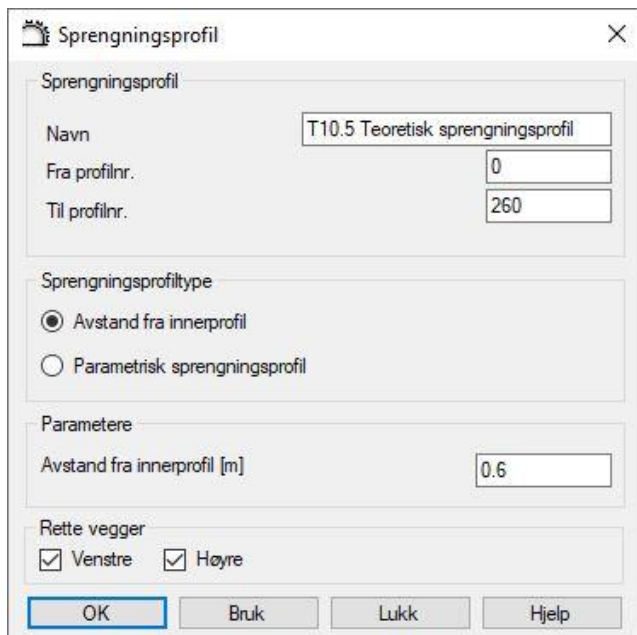
Figur 4.1. Dialog for tunnelprosjektering i Novapoint Tunnel.

I dialogen for innerprofilet måtte innerprofilet navngis og profilnummer for tunnelberegningen settes inn. I Novapoint Tunnel er parametrisk beskrivelse det eneste alternativet. Parametrisk vil si at tunnelprofilet knyttes til flatekanter i vegmodellen. I nedtrekksmenyen kunne man velge ferdig definerte tunnelprofiler etter norsk standard hvor T10,5 ble valgt. For å kunne bygge tunnelen måtte innerprofilet knyttes til flatekantnummer. Flatekant -2,04 og 2,04 (bakkant av bankett) ble satt som tilknytningspunkter. Rotasjon av tunnelprofilet kunne velges under «Tunnel Rotation», og rotasjon ble gitt av tverrfallet mellom flatekant -1,01 og 1,01 (kjørebane kant). Figur 4.2 viser dialogen for innerprofilet og hvor parameterne ble lagt inn.



Figur 4.2. Dialogen for innerprofil i Novapoint Tunnel.

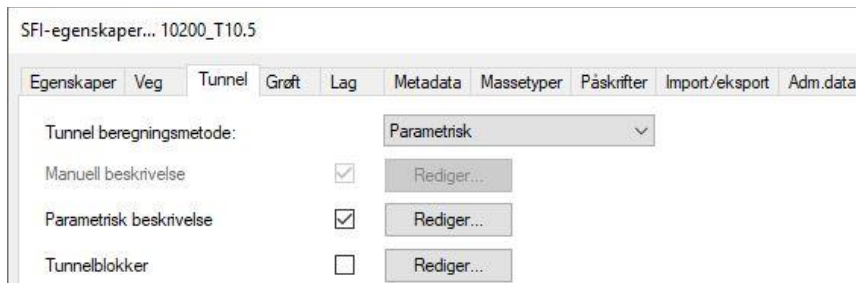
På samme måte som innerprofilen måtte sprengningsprofilen navngis og profilnummer for tunnelberegningen settes inn. For å sette en fast avstand mellom innerprofilen og teoretisk sprengningsprofil måtte det hukes av for «Avstand fra innerprofil». Til slutt ble det huket av for rette vegger på høyre og venstre side, der koblet tunnelveggene seg automatisk til trauret. Figur 4.3 viser dialogen for teoretisk sprengningsprofil og hvor parameterne for teoretisk sprengningsprofil ble lagt inn.



Figur 4.3. Dialogboksen for sprengningsprofil i Novapoint Tunnel.

Gemini Terreng

For å starte prosjektering av tunnel i Gemini Terreng velges «Tunnel» i egenskapene til hver av de ulike vegmodellene. Tunnelmenyen er automatisk knyttet til vegmodellen i menyen. Det må så velges mellom beregningsmetodene parametrisk, manuell eller en kombinasjon av disse som vist i figur 4.4. Deretter må innerprofil og teoretisk sprengningsprofil opprettes i tunnelbeskrivelsen.

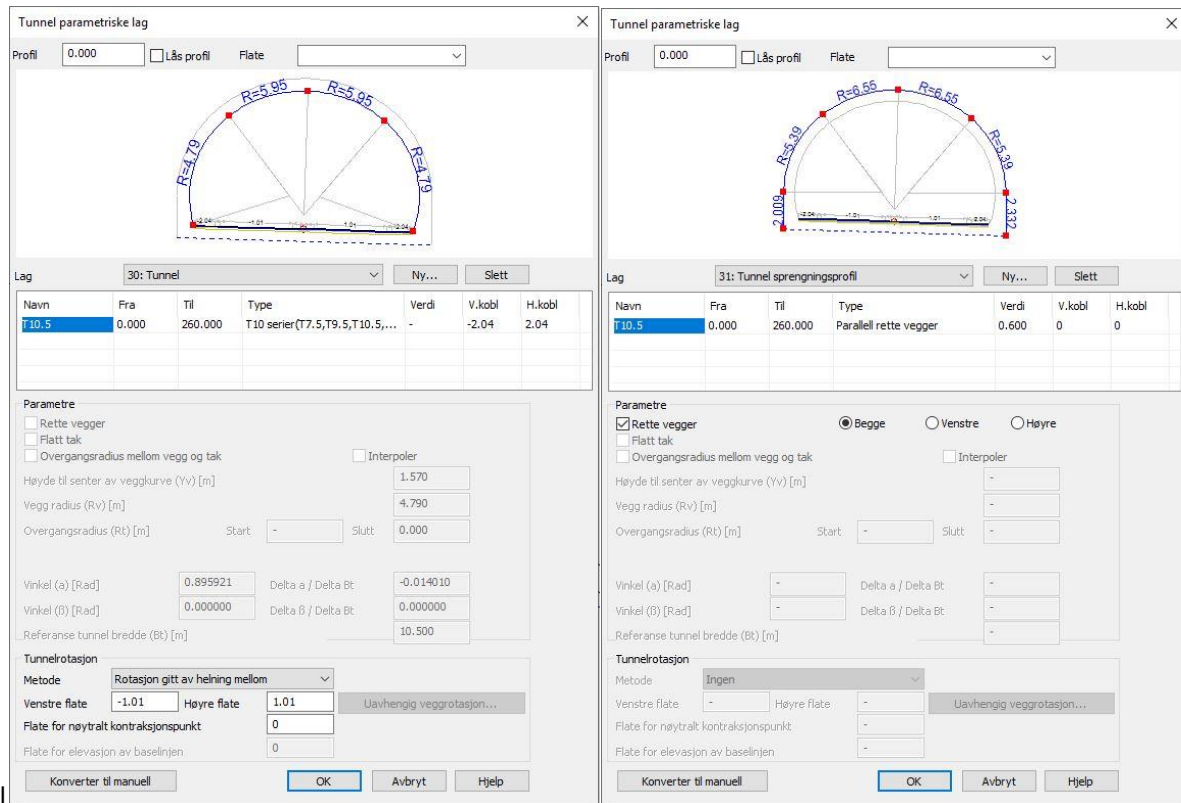


Figur 4.4. Dialog for tunnelprosjektering i Gemini Terreng.

I parametrisk beskrivelse prosjekteres innerprofilet og teoretisk sprengningsprofil i samme dialog ved å opprette lag «30: Tunnelprofil» og «31: Tunnel sprengningsprofil» under nedtrekksmenyen under «Ny...». I dialogen for innerprofilet måtte innerprofilet navngis, og profilnummer for tunnelberegningen settes. I nedtrekksmenyen velges alternativet som inneholder ønsket tunnelprofil. For å kunne bygge tunnelen måtte innerprofilet knyttes til flatekantnummer. Flatekant – 2,04 og 2,04 (bakkant av bankett) ble satt som tilknytningspunkter. Rotasjon av tunnelprofilet ble valgt under «Metode», og for at tunnelprofilet skulle rotere om kjørebanelen ble rotasjonen satt til å følge helningen mellom flatekant -1,01 og 1,01 (kjørebanelen) som vist i figur 4.5.

På samme måte som innerprofilet måtte sprengningsprofilet navngis og profilnummer for tunnelberegningen settes. For å definere en fast avstand mellom innerprofilet og teoretisk sprengningsprofil ble «Parallell rette vegger» valgt og verdien for avstanden skrevet inn. Til slutt ble

det huket av for rette vegger på begge sider som vist i figur 4.5. Teoretisk sprengningsprofil koblet seg da automatisk til trauret.



Figur 4.5. Dialoger for prosjektering av innerprofil og teoretisk sprengningsprofil.

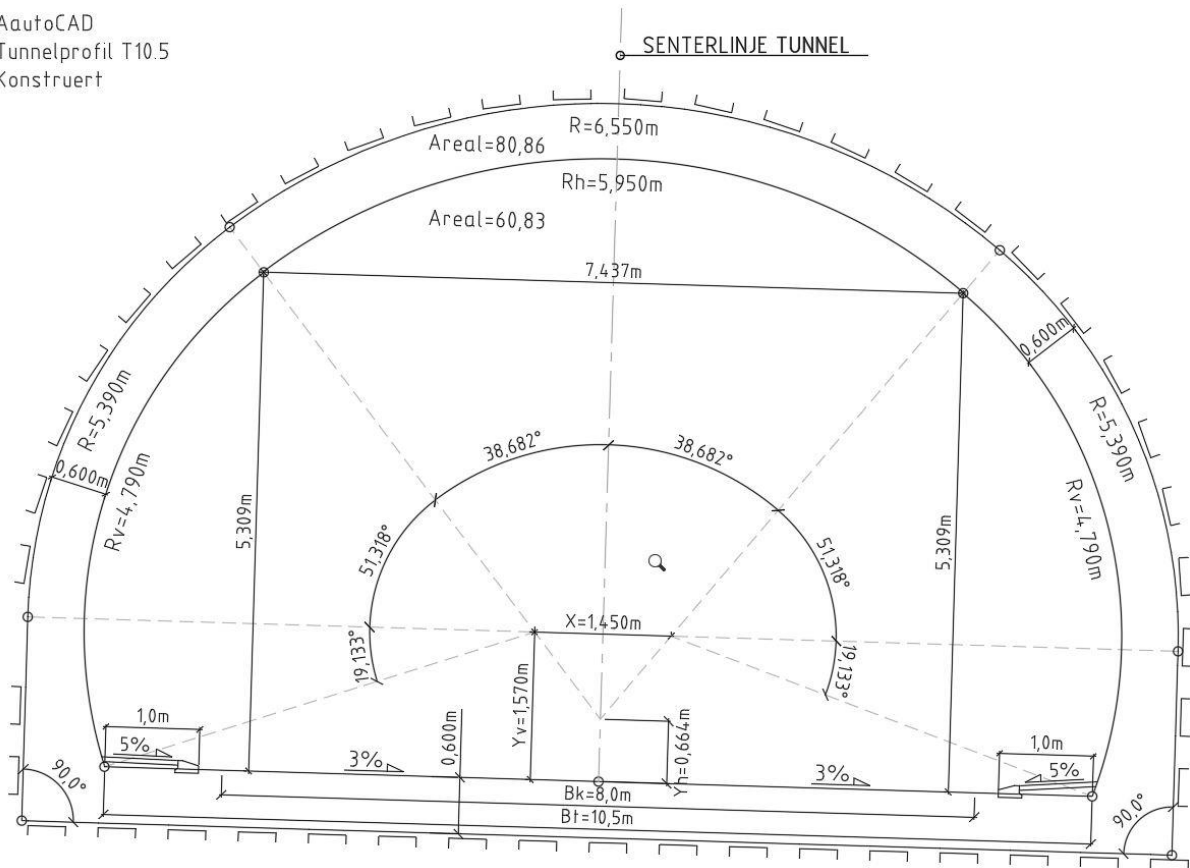
4.2.2 Resultat prosjektering av tunnelprofil T10,5

Konstruert i AutoCAD

Tabell 4.1 viser parameterne for tunnelprofil T10,5 fra håndbok N500 som ble brukt i Mælefjelltunnelen og i prosjekteringen i oppgaven. Teoretisk sprengningsprofil ble prosjektert med en avstand på 0,6 m fra innerprofilet med rette vegger ned til traue. Trauet er prosjektert 0,6 m under kjørebanelen. Figur 4.6 viser hvordan tunnelprofilet med disse parameterne konstruert geometrisk riktig og målsatt i AutoCAD ser ut.

Profil	Bt	Bk	Yv	Rv	X	Yh	Rh
T10,5	10,5	8	1,570	4,790	1,450	0,664	5,950

Tabell 4.1. Parameterne for tunnelprofil T10,5 (Statens vegvesen, 2020b).

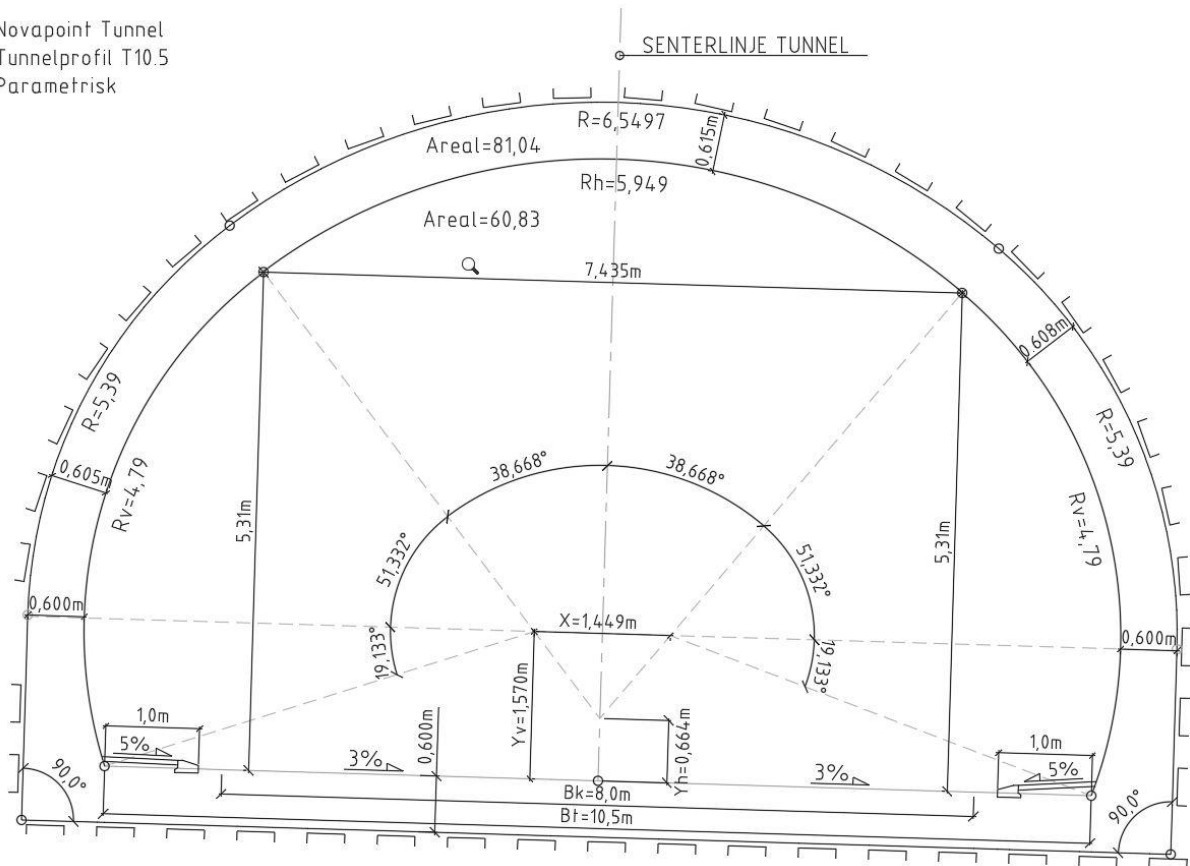


Figur 4.6. Tunnelprofil T10,5 konstruert geometrisk riktig etter håndbok N500 og målsatt i AutoCAD.

Novapoint Tunnel

Resultatet av tunnelprofil T10,5 prosjektert med parametrisk beskrivelse er tegnet ut fra Novapoint Tunnel til AutoCAD og vises i figur 4.7. Tunnelprofilet ble målsatt i AutoCAD og viser hvordan tunnelprofilet ble bygget parametrisk i Novapoint Tunnel. Det ble funnet et avvik i radiusen i henget både i innerprofilet og teoretisk sprengningsprofil. Til sammenlikning med geometrisk riktig tunnelprofil i figur 4.6 ble hengradiusen tilnærmet identisk med avvik på millimeternivå. I teoretisk sprengningsprofil ble overgangspunktene mellom rett vegg, veggradius og hengradius forskjøvet 1-1,5 cm vinkelrett fra innerprofilet. Dette avviket ga et utslag i størrelsesorden 0,18 m² større areal for teoretisk sprengningsprofil enn det geometrisk riktige sprengningsprofilet i figuren 4.6.

Novapoint Tunnel
 Tunnelprofil T10.5
 Parametrisk

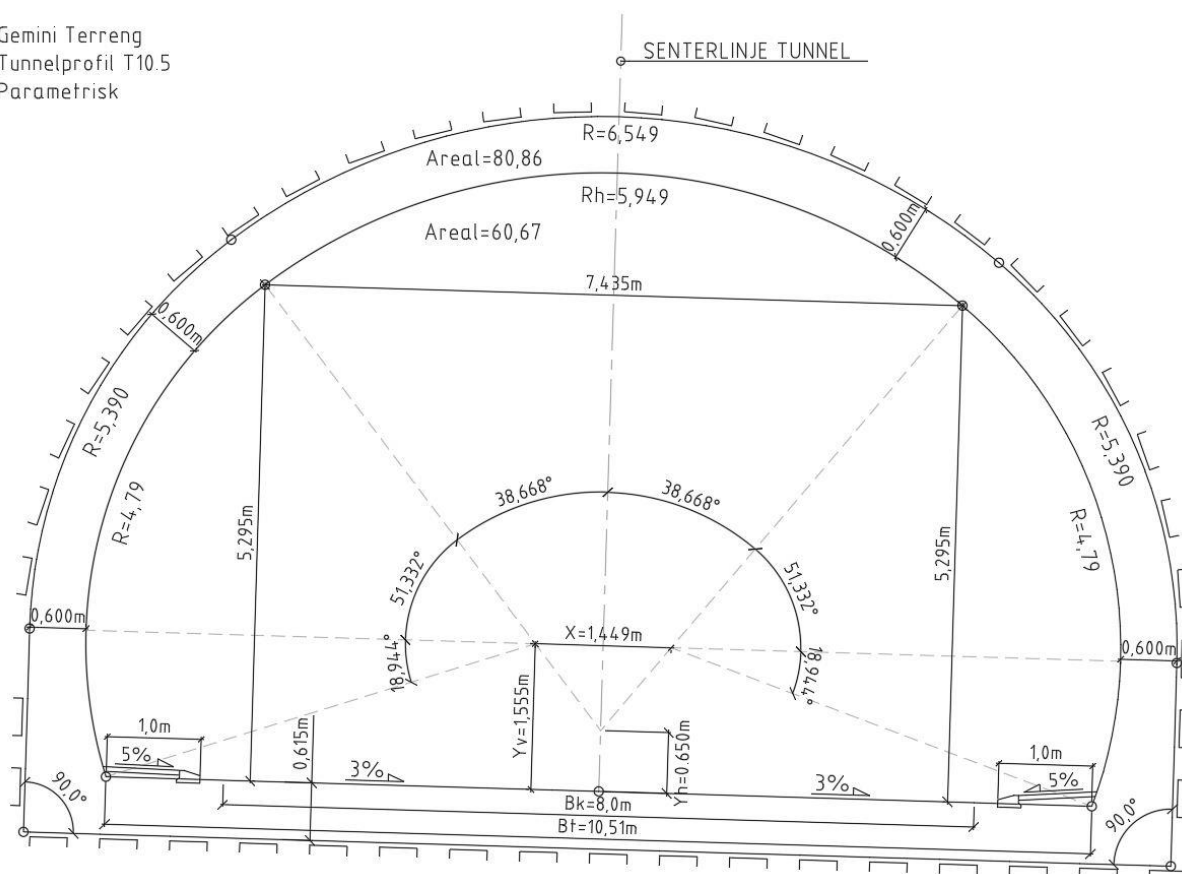


Figur 4.7. Eksport av parametrisk tunnelprofil T10,5 fra Novapoint Tunnel til AutoCAD og målsatt i AutoCAD.

Gemini Terreng

Resultatet av tunnelprofil T10,5 prosjektert med parametrisk beskrivelse er tegnet ut fra Gemini Terreng til AutoCAD og vises i figur 4.8. Tunnelprofilen ble målsatt i AutoCAD og viser hvordan tunnelprofilen bygges parametrisk i Gemini Terreng. Til sammenlikning med geometrisk riktig tunnelprofil i figur 4.6 er radiusen i innerprofilen og teoretisk sprengningsprofil tilnærmet identisk. Det ble funnet et avvik i senterhøyde veggradius (Y_v) der teoretisk sprengningsprofil og innerprofilen ble forskjøvet 1,5 cm ned mot kjørebanelen. Dette avviket ga et utslag i størrelsesorden 0,16 m² mindre areal for innerprofilen enn det geometrisk riktige tunnelprofilen i figur 4.6.

Gemini Terreng
Tunnelprofil T10,5
Parametrisk



Figur 4.8. Eksport av parametrisk tunnelprofil T10,5 fra Gemini Terreng til AutoCAD. Tunnelprofil målsatt i AutoCAD.

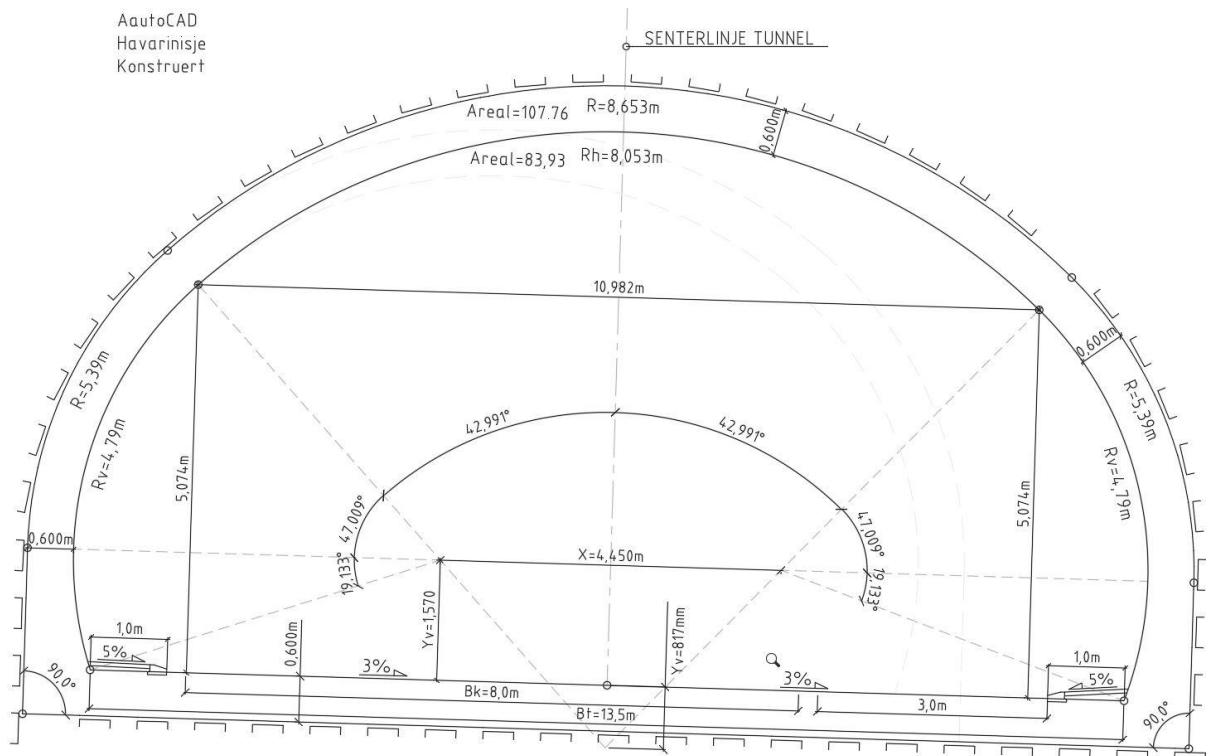
4.2.3 Prosjektering havarinisje

Konstruert i AutoCAD

Tabell 2 viser parameterne for tunnelprofil T13,5 fra håndbok N500 som ble brukt i Mælefjelltunnelen og i prosjekteringen i oppgaven. Teoretisk sprengningsprofil ble prosjektert med en avstand på 0,6 m fra innerprofilet med rette vegger ned til trau. Trauet er prosjektert 0,6 m under kjørebanelen. Figur 4.9 viser hvordan tunnelprofilet med disse parameterne konstruert geometrisk riktig og målsatt i AutoCAD ser ut.

Profil	Bt	Bk	Yv	Rv	X	Yh	Rh
T13,5	13,5	11	1,57	4,790	4,450	-0,817	8,053

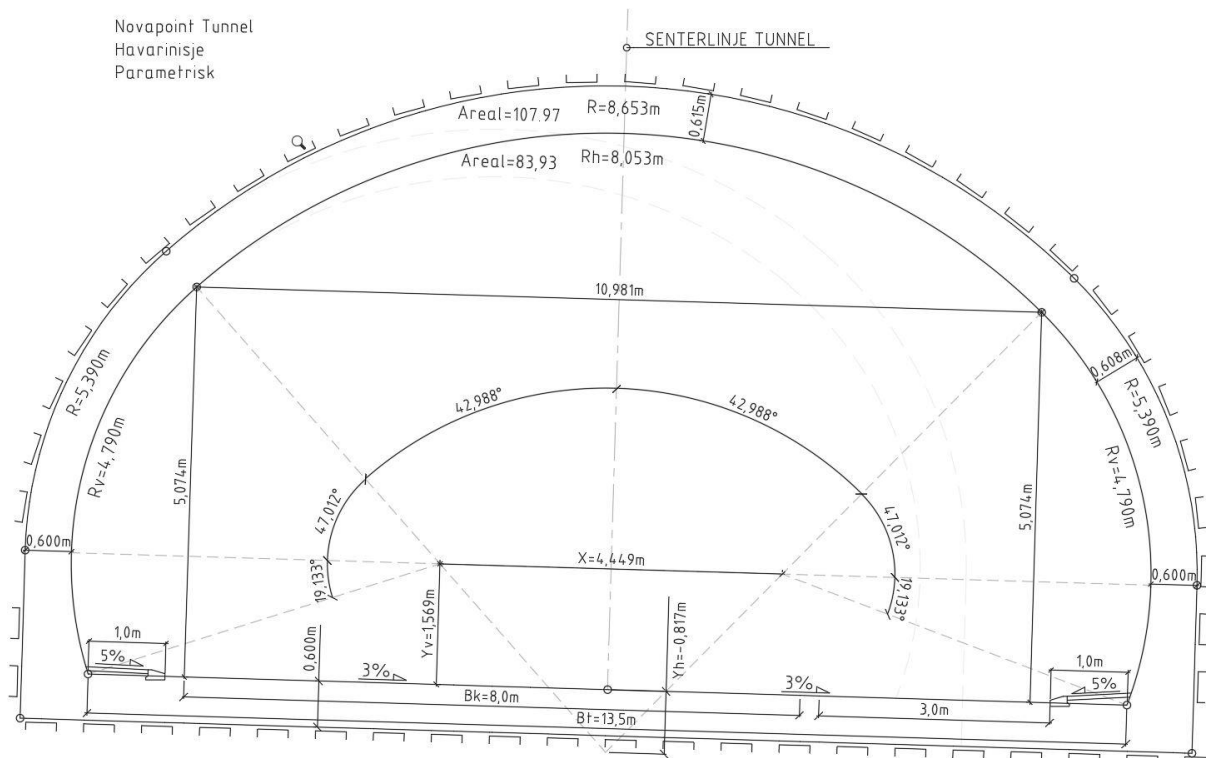
Tabell 2 Parameterne for tunnelprofil T13,5 fra håndbok N500.



Figur 4.9. Tunnelprofil med havarinisje (T13,5) konstruert i AutoCAD etter håndbok N500 og målsatt i AutoCAD.

Novapoint Tunnel

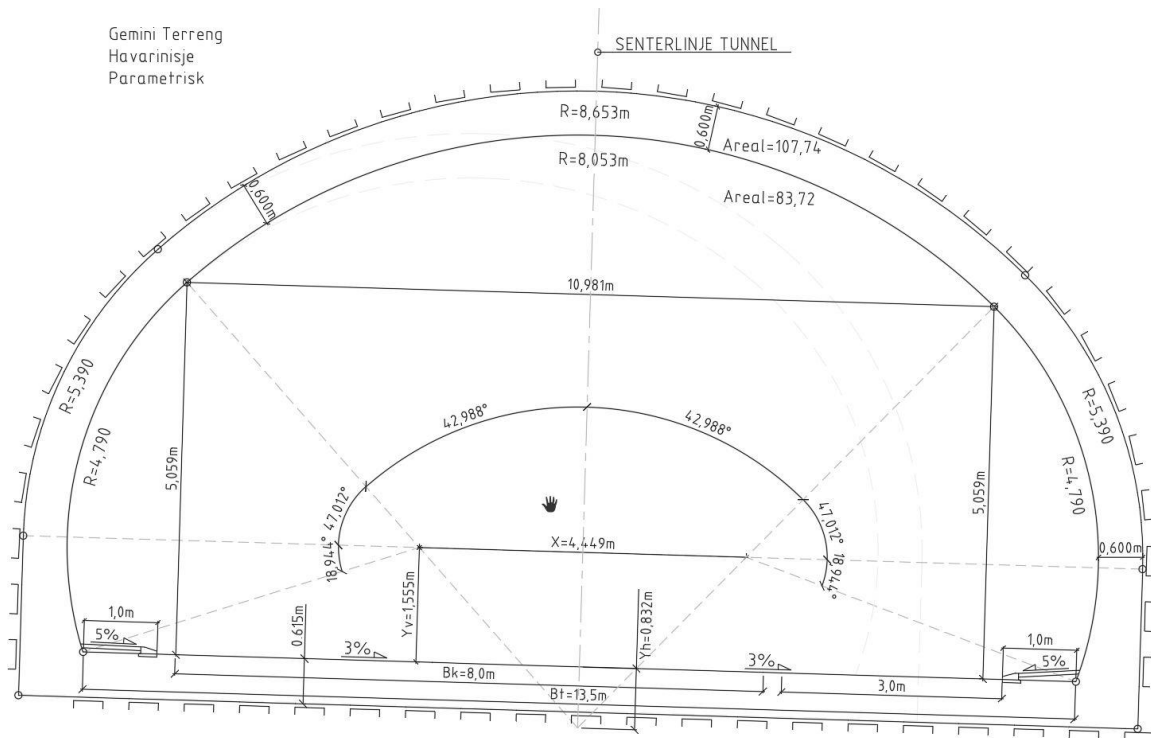
Resultatet av tunnelprofil havarinisje (T13,5) prosjektert med parametrisk beskrivelse vises i figur 4.10. Tunnelprofilet er tegnet ut fra Novapoint Tunnel til AutoCAD og målsatt i AutoCAD. Novapoint Tunnel modellerte radiene i innerprofilet og i teoretisk sprengningsprofilet nøyaktig etter parameterne gitt i håndbok N500. Til sammenlikning med konstruert tunnelprofil vist i figur 4.9 så ble innerprofilet tilnærmet identisk med avvik på bare 1 millimeter på senteravstand veggradien (X) og senterhøyde hengradius (Y_v). Novapoint Tunnel beregnet teoretisk sprengningsprofil nøyaktig etter parameterne gitt for T13,5 i håndbok N500. I teoretisk sprengningsprofil ble overgangspunktene mellom rett vegg, veggradius og hengradius forskjøvet 1-1,5 cm fra innerprofilet. Dette avviket ga et utslag i størrelsesorden 0,21 m² større areal for teoretisk sprengningsprofil enn det geometrisk riktige sprengningsprofilet i figur 4.9.



Figur 4.10. Tunnelprofil med havarinisje (T13,5) fra Novapoint Tunnel og målsatt i AutoCAD.

Gemini Terreng

Resultatet av tunnelprofil (T13,5) prosjertert med parametrisk beskrivelse vises i figur 4.11. Tunnelprofilet er tegnet ut fra Gemini Terreng til AutoCAD og målsatt i AutoCAD. Gemini Terreng modellerte radiene i innerprofilet og i teoretisk sprengningsprofil nøyaktig etter parameterne gitt i håndbok N500. Men det ble funnet avvik i senterhøyde hengradius (Y_h) og senterhøyde veggradier (Y_v) på 1,5 cm. Innerprofilet og teoretisk sprengningsprofil ble trukket 1,5 cm vinkelrett ned mot kjørebanelen. Takhøyden ble redusert med 1,5 cm som utgjorde 0,21 m² mindre areal enn det konstruerte innerprofilet i figur 4.9.

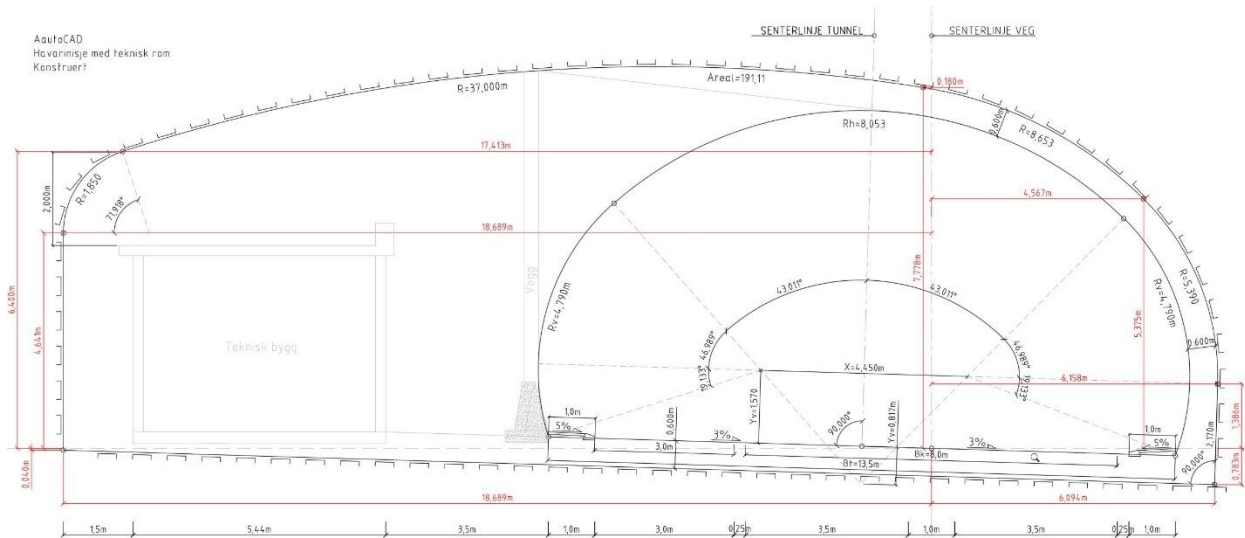


Figur 4.11. Tunnelprofil med havarinisje (T13,5) fra Gemini Terreng og målsatt i AutoCAD.

4.2.4 Prosjektering havarinisje med teknisk bygg

AutoCAD

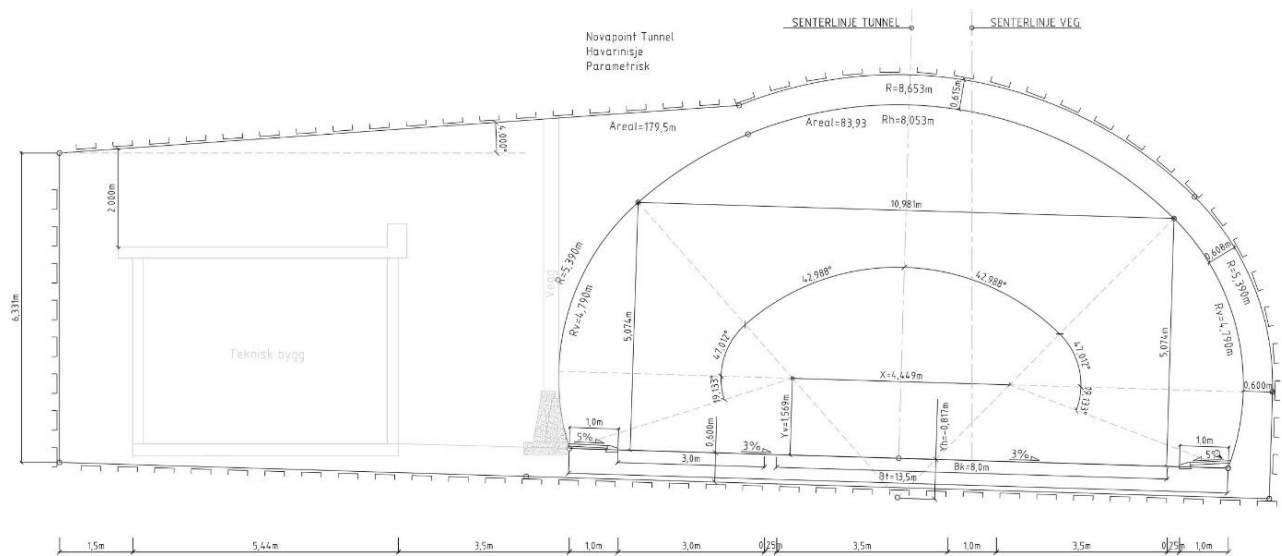
Resultatet av konstrueringen av tunnelprofilen med havarinisje og utsprenkning for teknisk bygg vises i figur 4.12. Grunnlaget som er brukt til konstrueringen av tunnelprofilen er tunnelprofil havarinisje (T13,5) og parametere hentet fra Sweco Norge sine tegninger fra Mælefjelltunnelen.



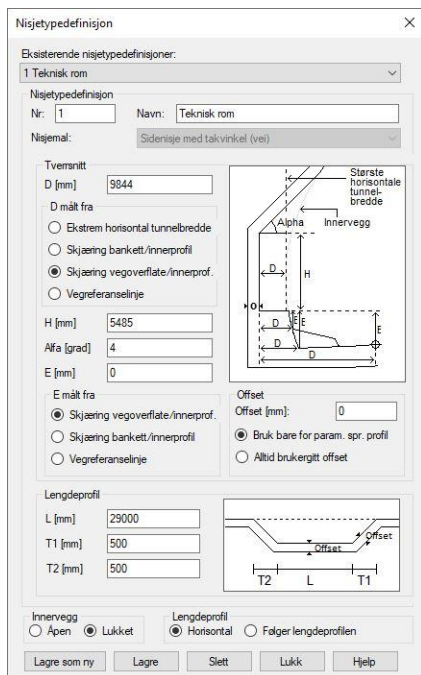
Figur 4.12. Tunnelprofil med havarinisje og teknisk bygg konstruert og målsatt i AutoCAD.

Novapoint Tunnel

Resultatet av tunnelprofil havarinisje med teknisk bygg prosjektert med parametrisk beskrivelse og nisjefunksjon er vist i figur 4.13. Tunnelprofilen er tegnet ut fra Novapoint Tunnel til AutoCAD og målsatt i AutoCAD. I Novapoint Tunnel var det ikke mulig å prosjektere et asymmetrisk tunnelprofil. Utsprengningen for teknisk bygg ble derfor prosjektert med nisjefunksjonen som et tilleggselement på tunnelprofilen som ble prosjektert parametrisk. Med nisjefunksjonen var det ikke mulig å få til radius i henget over teknisk bygg, eller i overgangen mellom veggen bak teknisk bygg og henget. Dette gjorde at tunnelprofilen fikk en enklere utforming enn det konstruerte tunnelprofilen har. Denne utformingen gav et avvik i størrelsesorden 11,6 m² mindre areal for teoretisk sprengningsprofil enn det konstruerte tunnelprofilen i figur 12. Figur 4.13 viser tunnelprofilen med havarinisje og teknisk bygg tegnet ut fra Novapoint Tunnel. Figur 4.14 viser dialogen for nisjefunksjonen som ble brukt til prosjektering av teoretisk sprengningsprofil rundt teknisk bygg.



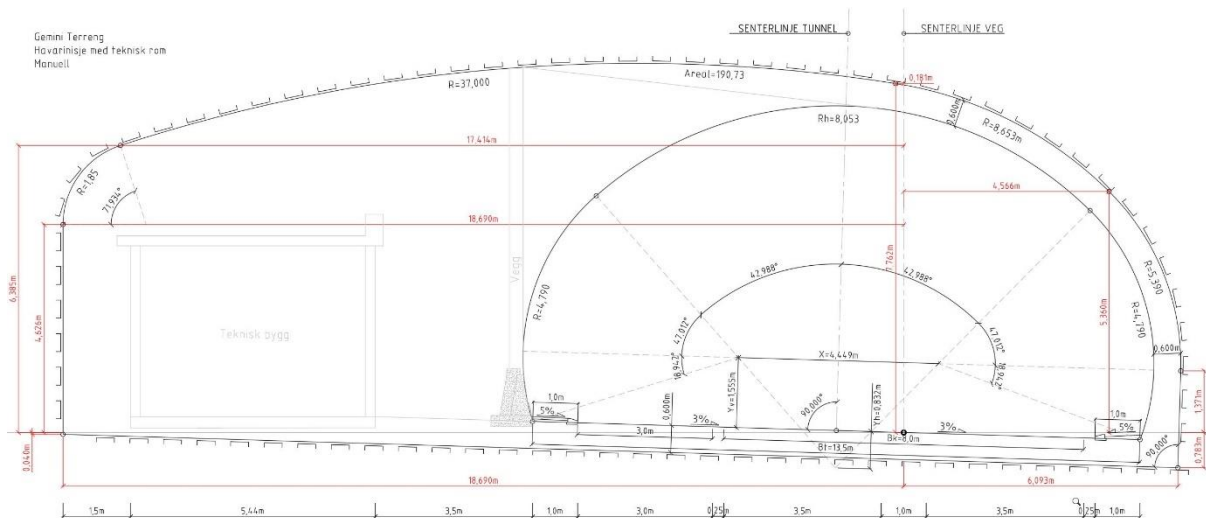
Figur 4.13. Tunnelprofil med havarinisje og teknisk prosjektert i Novapoint Tunnel.



Figur 4.14. Dialog for nisjefunksjon i Novapoint Tunnel

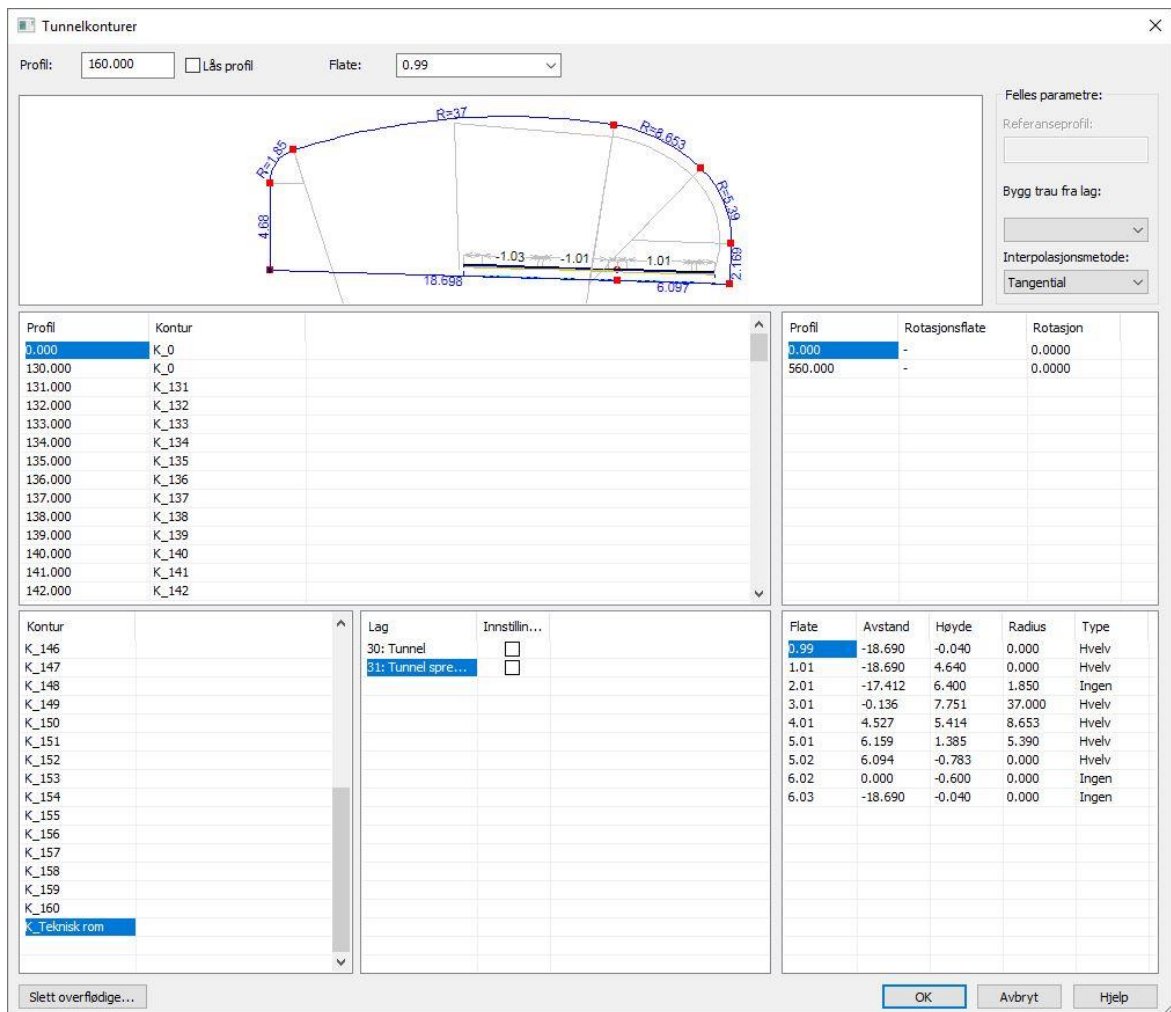
Gemini Terreng

Resultatet av tunnelprofil havarinisje med teknisk bygg prosjektert med manuell beskrivelse vises i figur 4.15. Tunnelprofilen er tegnet ut fra Gemini Terreng til AutoCAD og målsatt i AutoCAD. Gemini Terreng modellerte utformingen av innerprofilen og teoretisk sprengningsprofil etter parameterne lagt inn i den manuelle beskrivelsen som vist i figur 4.16. Parameterne som ble benyttet ble hentet konstruert tunnelprofilen vist i figur 4.12. Til sammenlikning med konstruert tunnelprofil ble det funnet et avvik i høyden på samtlige overgangspunkter i teoretisk sprengningsprofil, i senterhøyde hengradius (Y_h) og senterhøyde veggradier (Y_v) på 1,5 cm. Innerprofilen og teoretisk sprengningsprofil ble på samme måte som i tunnelprofil T10,5 og havarinisje trukket vinkelrett ned mot kjørebanen slik at takhøyden ble redusert med 1,5 cm. Dette avviket ga et utslag på teoretisk sprengningsprofil i størrelsesorden $0,38 \text{ m}^2$ mindre areal enn det konstruerte sprengningsprofilen i figur 4.12.



Figur 4.15. Tunnelprofil med havarinisje og teknisk bygg prosjektert i Gemini Terreng.

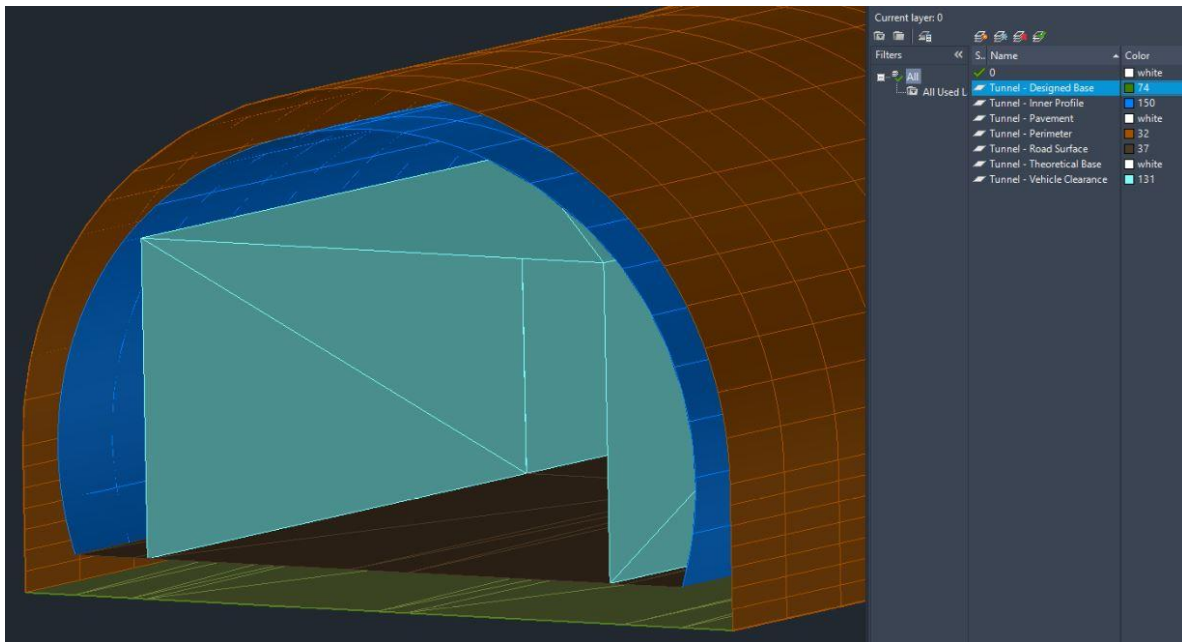
Figur 4.16 viser dialogen for manuell beskrivelse hvor parameterne for tunnelprofil havarinisje med teknisk rom (figur 4.12) er skrevet inn.



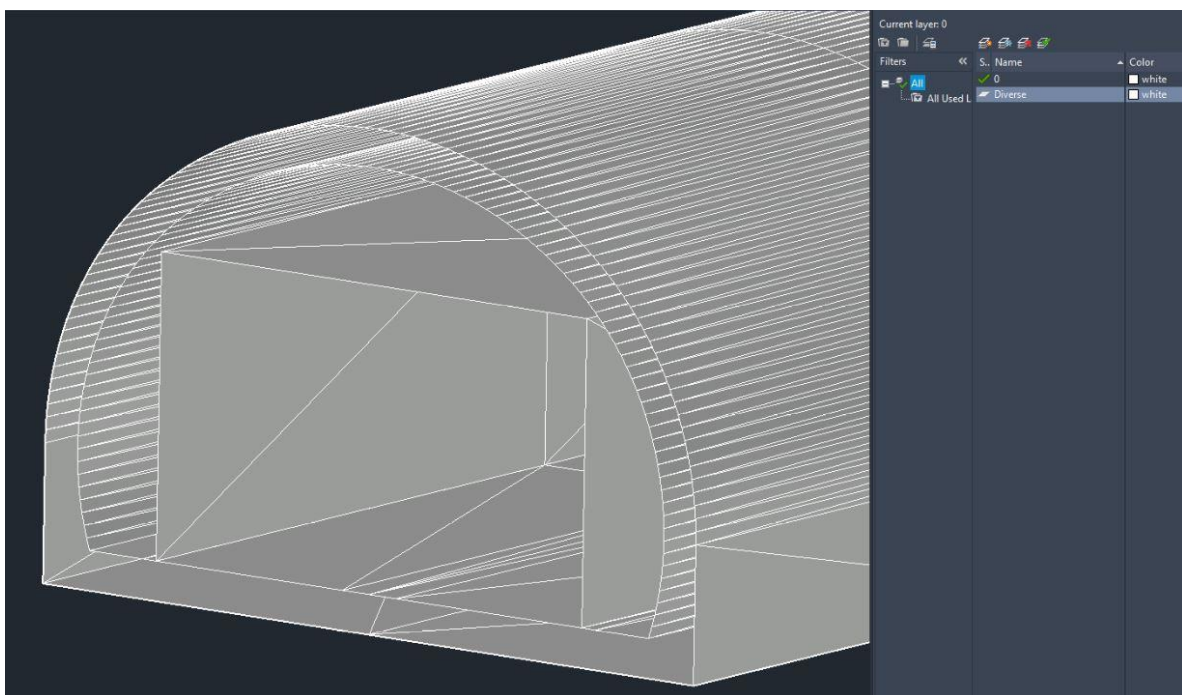
Figur 4.16. Manuell beskrivelse for tunnelprofil havarinisje med teknisk bygg.

4.2.5 Eksport av tunnelmodell

Etter prosjektering ble det utført en eksport av tunnelmodellen fra begge programvarene til DWG. Figur 4.17 viser resultatet fra eksporten av tunnelprofil T10,5 fra Novapoint Tunnel. Figur 4.18 viser resultatet fra eksporten av samme tunnelprofil fra Gemini terreng. Figurene viser hvor ulikt Novapoint Tunnel og Gemini Terreng beregner tunnelmodellen. Novapoint Tunnel beregner modellen som et rutenett, mens Gemini Terreng beregner modellen som et triangelnett. Triangelnettet gir en mer nøyaktig utforming og «finere» modell. Rutenettet gir en grovere og mer kantete modell.



Figur 4.17. Tunnelmodell eksportert fra Novapoint Tunnel (inneholder trau, vegoverflate, kjøreboks, innerprofil og teoretisk sprengningsprofil).



Figur 4.18. Tunnelmodell eksportert fra Gemini Terreng (inneholder trau, vegoverflate, kjøreboks, innerprofil og teoretisk sprengningsprofil).

Før eksport av tunnelmodellen fra Novapoint Tunnel kan det legges inn konverteringsregler og tegnerregler slik at de ulike objektene får riktige egenskaper i modellen. Ved eksport av tunnelmodellen fra Gemini Terreng var ikke dette mulig og gi de ulike objektene egenskaper. Dette resulterte i at alle objektene havnet på et og samme lag uten egenskaper. For å få dette til måtte elementene eksporteres hver for seg til separate DWG-filer, for så å sette disse sammen i en samlet modell til slutt.

4.2.6 Brukervennlighet

Novapoint Tunnel

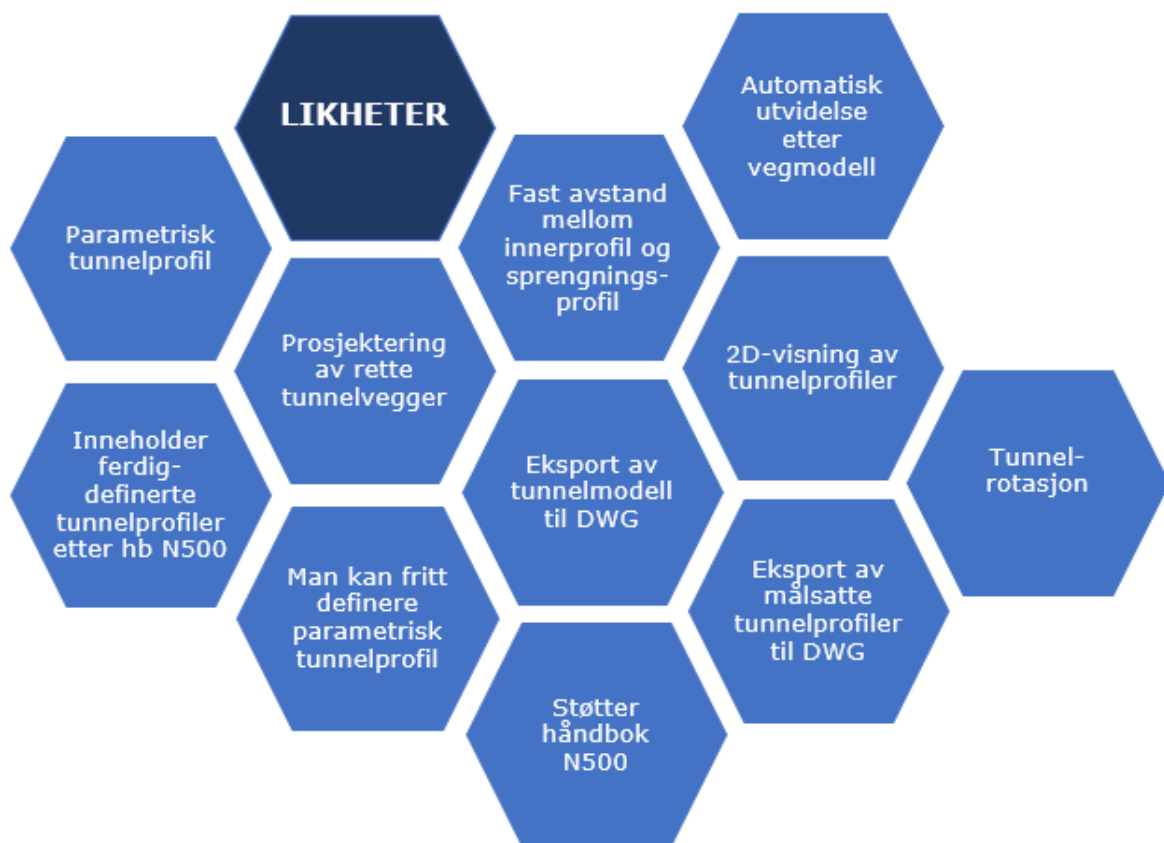
Fremgangsmåten for å starte tunnelmodulen fra Novapoint og opprette en tunnelmodell var selvforklarende. Dialogene hadde en enkel og oversiktlig utforming og var lette å forstå. Dialogen for tunnelprosjekteringen hadde en oversiktlig fremstilling av valgmulighetene for geometrielementer en tunnel kan bestå av, og hvordan man oppretter disse. Dialogene for innerprofilet og teoretisk sprengningsprofil var også enkle og selvforklarende, disse er vist i figur 4.2 og 4.3. Man kunne enkelt velge forhåndsdefinerte tunnelprofiler etter geometriske mål fra håndbok N500, eller definere eget tunnelprofil. Hvis man ønsket å definere eget tunnelprofil valgte man «Generelt parametrisk profil» under profiltipe i dialogen for innerprofilet. Hvis ikke parameterne var gitt på forhånd måtte de beregnes manuelt, eller tunnelprofilet måtte tegnes og målsettes i for eksempel AutoCAD, for så å sette inn parameterne i dialogen. Dette måtte utføres for å sørge for at veggradius (Rv) og hengradius (Rh) tangerte og ble sammenfallende i overgangspunktene. Dette kan være en tungvinn og tidkrevende prosess, spesielt hvis det er mange ulike tunnelprofiler utover standardprofilene. Hvordan man prosjekterte nisjen var ikke helt selvforklarende. Dialogen for nisjedefinisjonen lå i menyen «Profiler» og ikke i «Nisjer» i tre-strukturen. Selve nisjefunksjonen var lett å tolke. Når man skulle taste inn nisjens mål måtte dette gjøres i mm i stedet for m, sånn at 30 meter måtte tastes inn som 30.000 mm. Når de ønskede parameterne i innerprofilet og teoretisk sprengningsprofil ble lagt inn og man trykket «Bruk», ble tunnelprofilet automatisk oppdatert i dialogen for tunnelprosjektering slik som vist i figur 4.1. Denne visningen var den eneste presentasjonen av tunnelmodellen i Novapoint. For å kunne se resultatet i 3D måtte man tegne ut tunnelmodellen i AutoCAD, for så å importere denne tilbake til Novapoint Basis. Hvis man da gjorde endringer i tunnelmodellen og ønsket å se resultatet i 3D måtte denne prosessen gjentas for hver gang.

Gemini Terreng

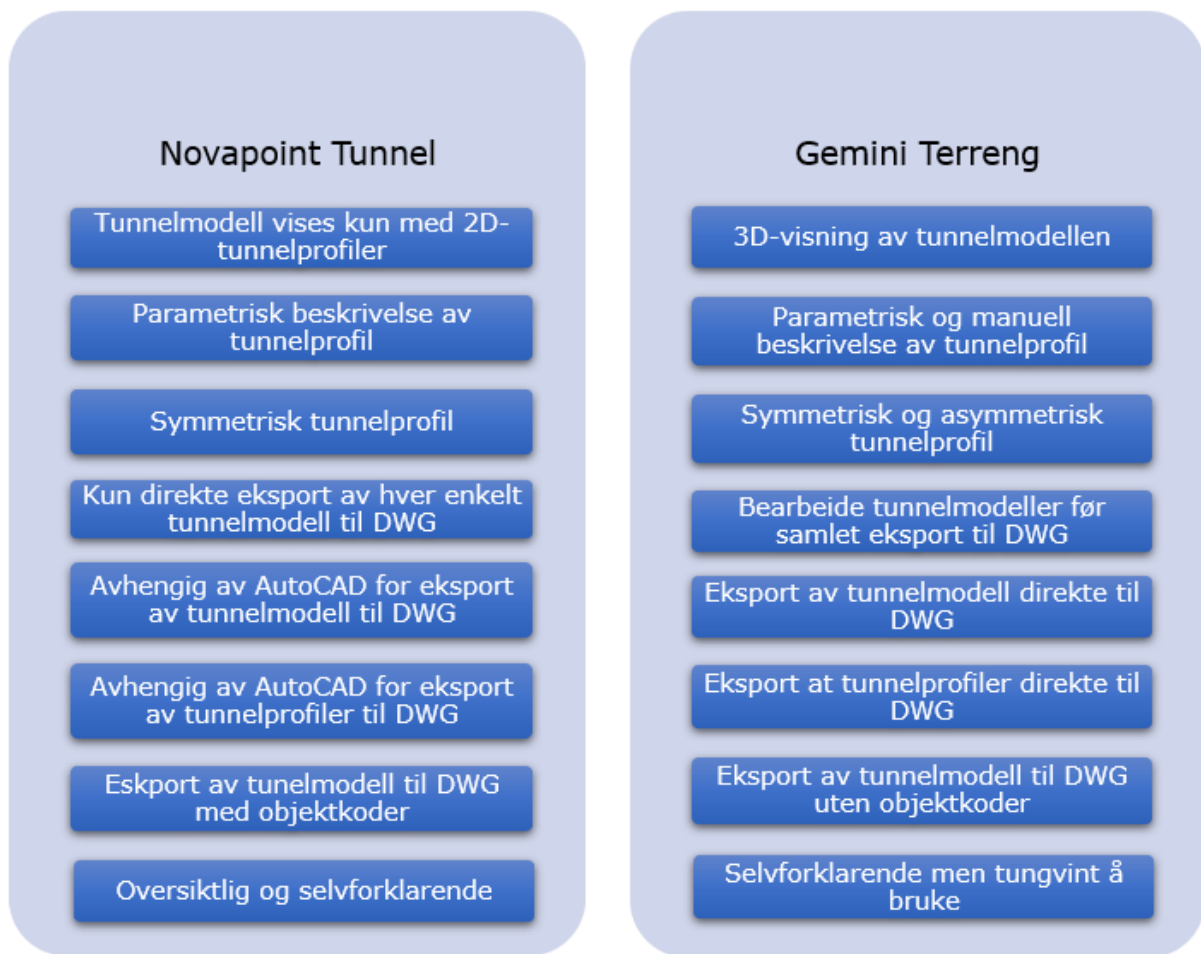
Fremgangsmåten for prosjektering av tunnel med parametrisk beskrivelse i Gemini Terreng var selvforklarende. Dialogen for prosjektering av innerprofilet og teoretisk sprengningsprofil var oversiktlig utformet og lett å forstå. Dialogene er vist i figur 4.5. Man kunne enkelt velge forhåndsdefinerte tunnelprofiler etter geometriske mål fra håndbok N500, eller egendefinert tunnelprofil. Hvis man valgte egendefinert tunnelprofil og parameterne ikke var gitt på forhånd måtte parameterne beregnes manuelt, eller så måtte tunnelprofilene tegnes og målsettes i for eksempel AutoCAD, slik som i Novapoint. Man kunne da lese av målene og plote de inn i dialogen. Dette syntes å være en tungvint og tidkrevende prosess for å sørge for at veggradius (Rv) og hengradius (Rh) tangerte og ble sammenfallende i overgangspunktet. Tunnelprosjektering med manuell beskrivelse var ikke selvforklarende. Oppsettet i dialogen var ikke bygget opp kronologisk etter rekkefølgen man prosjekterer tunnelprofilene. Samme prosedyre måtte gjennomføres som for egendefinert tunnelprofil i parametrisk beskrivelse som igjen ble en tungvinn manuell jobb og tidkrevende prosess. I dialogene for parametrisk og manuell beskrivelse ble tunnelprofilet automatisk oppdatert i et visningsvindu i dialogen etter hver endring som ble gjort. Men vinduet for visning av tunnelprofilet var lite og ikke mulig å utvide eller zoome i. 3D-visning av tunnelmodellen var lettvin i Gemini. Gjorde man en endring i tunnelen oppdaterte modellen seg automatisk.

4.2.7 Oppsummering av forskjeller og likheter i Novapoint og Gemini

Gjennom prosjekteringen har det fremkommet flere forskjeller og likheter mellom Novapoint Tunnel og Gemini Terreng. Disse forskjellene og likhetene oppsummeres i figur 4.19 og 4.20.



Figur 4.19. Likheter mellom Novapoint Tunnel og Gemini Terreng.



Figur 4.20. Forskjeller mellom Novapoint Tunnel og Gemini Terreng.

5 Diskusjon

I dette kapitlet diskuteres og tolkes funnene fra resultatene. Først vil funn fra dybdeintervjuene diskuteres, deretter funn fra casestudien. Her vil funnene drøftes opp mot utfordringene i Mælefjelltunnelen. Deretter vil forskjeller og likheter ved Novapoint Tunnel og Gemini Terreng diskuteres. Videre vil det drøftes hvor utfordringen egentlig ligger. Til slutt vil studiens styrker og begrensinger gjennomgå, før behov for videre forskning til slutt belyses.

5.1 Funn fra dybdeintervjuene

5.1.1 De ulike temaene

Kompetanse og preferanser

Det er viktig med god kompetanse om programvarene som benyttes i prosjekteringsfasen. Det er også viktig å ha god kjennskap til de ulike programvarer på markedet slik at en kan bedømme hva som fungerer best til de ulike formålene. Ett av funnene i dybdeintervjuet er erfaringen informantene fra Powel og Trimble har gjennom deres egne supportsaker. De sier at brukerne deres jevnt over har god erfaring med deres programvarer. I motsetning til dette opplevde informanten fra offentlig byggherre et sprik i leveransene fra prosjekterende, og entreprenøren erfarte at det ofte er mangler i leveransene fra prosjekterende. Hvorvidt dette handler om kompetanse eller andre faktorer er de usikre på.

Et viktig spørsmål i forlengelsen av dette er hvordan man skal sikre at de som prosjekterer tunnel har nok kompetanse og erfaring på området. Kurs og sertifiseringer ville være en måte å sørge for at prosjekterende tilegner seg den rette kompetansen. Hvilke minimumskrav for kompetanse som skal stilles, hvem som skal stille dette og hvordan dette skal etterprøves i praksis, er relevante spørsmål. Man kan for eksempel tenke seg at byggherren ved et tunnelprosjekt bør ha ansvaret for å sikre at den prosjekterende som hyres inn har nok kompetanse og erfaring med tunnelprosjektering. Samtidig er spørsmålet hvor grensen går for hva som er *nok* kompetanse og erfaring. Kanskje er dette en kravspesifikasjon som bør utarbeides av representanter for programvarene, prosjekterende, offentlig byggherre og entreprenør sammen. I tillegg kan man argumentere for at det er viktig at ikke bare prosjekterende har god kompetanse på programvarene, men også byggherre og entreprenør.

Et annet funn i dybdeintervjuene er at det var enighet mellom informantene om at valget av programvare ofte baseres på egne preferanser hos de prosjekterende. Dette kan være som følge av at offentlige byggherrer ikke kan gi føringer for hvilken programvare som skal brukes i prosjekteringen, slik som informanten fra Powel sier i intervjuet, eller det kan være mangel på tilgangen til ulike programvarer.

Utvikling av programvarene

Ett av de tydelige funnene i denne oppgaven er at programvareutviklerne har hatt ulike prioriteringer og mål ved utvikling av tunnelmodulene. Dette er i tråd med det informanten fra Trimble sier i intervjuet, hvor «tunnel blir en sånn siderett» for Trimble, mens Powel utvikler Gemini fortløpende.

Størstedelen av utviklingen synes likevel å ha skjedd de siste 5-6 årene, som også sammenfaller med økt bruk av modell i stedet for tegninger. Det kommer frem i intervjuet og gjennom prosjektering at Gemini Terreng har en rikere funksjonalitet når det kommer til utforming av ulike tunnelprofiler utover det som er beskrevet i håndbok N500. I intervjuet med den offentlige byggherren, fremkommer det at Novapoint Tunnel var programvaren som ble brukt til tunnelprosjektering i «gamledager», men at Gemini Terreng har kommet mer og mer på banen de siste årene. For videreutviklingen av programvarene er det viktig med konkurranse. Siden begge programvarene støtter dagens håndbøker, er det i teorien ikke nødvendig for Trimble og Powel og videreutvikling programvarene. Men en ser at utviklingen i bransjen skjer uavhengig av krav og håndbøker, og det tyder på at Powel i større grad har hengt seg på denne utviklingen med tanke på selve prosjektering av tunnel.

Ulike forventninger hos prosjekterende og entreprenør

Noe av det som fremkom i intervjuene var at ulike entreprenører har ulike forventninger med tanke på hva de ønsker å motta fra de prosjekterende. Det fremkommer også at det er sprik i forventningene de har til hverandre. Både byggherren og informantene fra Trimble stiller spørsmål ved om dette også kan handle om entreprenørens evne til å løse ting på stedet. De mener begge at dette i større grad var noe man forventet av entreprenøren før. Har det blitt slik at entreprenørene har fått økte forventninger til hva de prosjekterende skal og kan levere? Og er dette i så fall forventninger de prosjekterende, og programvaren de bruker, kan etterkomme? Som nevnt i bakgrunnsinformasjonen skal fagmodeller ha like god detaljeringsgrad som det som er påkrevd for tegninger (Statens vegvesen, 2020c). Er det sånn at fagmodellen og tegningene spriker mer enn det de i utgangspunktet er ment å gjøre? Det har ikke fremkommet i denne oppgaven hvordan entreprenørene opplevde detaljeringsgraden i tegningene de tidligere fikk levert. Dette hadde det vært interessant å undersøke, for å oppklare det forventningsspriket som ser ut til å eksistere mellom de prosjekterende og entreprenørene.

Detaljeringsgrad i tunnelmodellen

Intervjuene viser at det er uenighet mellom informantene om hvilket detaljeringsnivå tunnelmodellen bør ha. Det kan virke som at folks egne erfaringer er med på å påvirke dette. Det kan stilles spørsmål til om disse uenighetene er et resultat av mangelen på krav av detaljeringsgrad. Entreprenøren mottar stikningsdataene og benytter de til å bygge tunnelen. Man kan dermed argumentere for at entreprenøren bør være med å bestemme hvilken detaljeringsgrad de modellbaserte stikningsdataene bør ha. I intervjuet sier den prosjekterende at det i stor grad varierer fra entreprenør til entreprenør hva som ønskes av data. Dette er med på å komplisere denne problemstillingen. Hvem er det egentlig som har mest kompetanse og grunnlag til å bestemme detaljeringsgrad? Det er tungvint for alle parter hvis detaljeringsnivået i hvert prosjekt er unikt. Siden detaljeringsnivå er nevnt av alle informanter er det nærliggende å tenke at det er behov for en omforent kravspesifikasjon for utarbeidelse av modellbaserte stikningsdata. Et felles utgangspunkt som konsulenter, byggherrer og entreprenører kan forholde seg til.

Krav til tunnelmodell

Som nevnt over mener samtlige informanter at det bør være entydige krav til hvordan tunnelmodellene skal se ut og hva de skal inneholde av stikningsdata. Som nevnt står det i håndbok V770 at detaljeringsgraden skal være minst like god som for tegninger og kunne beskrive planlagt situasjon (Statens vegvesen, 2020c). Men det står også at detaljeringsgrad og innhold varierer fra

prosjekt til prosjekt. Disse to setningene er motstridende. Hvis detaljeringsnivået i en modell er lavere, er spørsmålet om modellen vil kunne beskrive den planlagte situasjonen godt nok. I intervjuet sier entreprenøren at det ikke er noen fasit på hva de ulike entreprenørene ønsker av detaljeringsgrad. Dette skaper utfordringer for konsulentene som på forhånd bør vite hvilket nivå av detaljeringsgrad de skal legge seg på i prosjekteringen. Dette er i tråd med det den prosjekterende sier i intervjuet om at det bør utarbeides mer detaljert beskrivelse og krav til hvordan modellbaserte stikningsdata bør utarbeides. På denne måten vet konsulentene hva som skal leveres og entreprenørene vet hva de kan forvente å motta. Det som også er nevnt i bakgrunnsinformasjonen er hvor teknisk bygg skal plasseres og hvordan de utformes. Utformingen av asymmetriske tunnelprofiler står derimot ikke beskrevet i håndbok N500. I praksis kan man dermed ikke si at tunnelprofilet med havarinisje og teknisk bygg fra Novapoint Tunnel er feil, men man kan argumentere for at det påvirker byggherrens byggherren. På bakgrunn av dette kan det da se ut til at Novapoint Tunnel faktisk følger kravene i håndbok N500 men ikke utover håndboken slik som Gemini Terreng. Ergo kan man spørre seg om det bør utarbeides tydeligere krav eller om håndbøkene bør utbedres.

Et spørsmål knyttet til utarbeidelse av kravspesifikasjoner vil være hvem det er som taper på dette og hvem det er som vinner på dette. Man bør her ta i betraktning de økonomiske konsekvensene slike krav vil kunne medføre for de ulike partene. Vil dette være noe som fører til merarbeid for prosjekterende, vil dette medføre økte kostnader for programvarene, vil det medføre merarbeid eller økte kostnader for entreprenør, eller vil det være byggherren som må ta regningen? Man kan argumentere for at dette i så fall bør tas høyde for når det utarbeides – og at det løftes til et høyere nivå, for eksempel til overordnede myndigheter. Som nevnt innledningsvis er det til enhver tid rundt 50 vegtunneler som bygges rundt om i landet (Sandberg, 2017). At tunnelprosjekteringen og -utbygging gjennomføres så problemfritt og kostnadseffektivt som mulig, er dermed i alles interesse. Denne oppgaven er basert på en case. Tross at fem ulike fagpersoner har blitt intervjuet generelt om tunnelprosjektering og -utbygging med hensyn til de programvarene og tunnelmodellene, har den ikke spesifikt undersøkt om utfordringer ved andre tunnelprosjekter rundt om i landet. Likevel kan man argumentere for at funnene i denne oppgaven løfter behovet for en felles kravspesifikasjon for tunnelmodellene som utarbeides – og dermed for programvarene som benyttes til dette.

Dataflyt

Det fremkommer i intervjuene at prosjekterende, byggherre og entreprenører ofte bruker ulike programvarer. I tillegg nevner entreprenøren i intervjuet at ulike leverandører av utstyr og anleggsmaskiner har sine egne programvarer. Dette skaper utfordringer når en overfører data fra et system til et annet. Som nevnt i bakgrunnsinformasjonen er dataflyt mellom ulike systemer en utfordring i infrastrukturprosjekter. Dette er i tråd med hva informantene fra Trimble sier om at «interoperabilitet mellom programvaresystemer er alltid en utfordring». Man kan argumentere for at det også burde være en kravspesifikasjon til samtlige programvarer som behandler data i tunnelprosjektene, for å bedre dataflyten imellom de ulike programvarene.

Entreprisemodeller

Ett av funnene fra intervjuene som går utover programvarene, var at flere av informantene løftet fram ulike entreprisemodeller som en viktig del av tunnelprosjekter. Entrepriseformen som velges i et prosjekt avgjør hvordan et prosjekt gjennomføres. Som nevnt i bakgrunnsinformasjonen er de to vanligste kontraktsformene i samferdselsprosjekter er utførelsesentreprise og totalentreprise (DFØ,

2020). Dette fremkommer også i intervjuene. Ett av funnene i dybdeintervjuene er at utførelsesentrepriser er det som har vært mest brukt i samferdselsprosjekter tidligere, men at totalentrepriser blir mer og mer vanlig i de store samferdselsprosjektene. Det var en generell enighet om at det er knyttet en del utfordringer til bruken av utførelsesentrepriser. Ved utførelsesentrepriser utføres prosjekteringen først, så bygger entreprenøren etterpå. Dette medfører at den prosjekterende og entreprenøren ofte ikke prater sammen før langt uti prosjektet, noe som flere av informantene uttrykker at kan være en kilde til misforståelser og diskusjon. Her ble totalentrepriser nevnt som en løsning. Ved en totalentrepriser entreprenøren både ansvar for gjennomføringen og prosjekteringen (DFØ, 2020). Dette legger mer ansvar over på entreprenøren enn ved utførelsesentrepriser. Entreprenøren var tydelig på at det viktigste, uavhengig av kontraktsform, var at entreprenøren kom på banen tidlig og at det var god dialog mellom alle parter gjennom prosjekteringen. Ingen av informantene nevnte andre entreprisemodeller, men basert på entreprenørens innspill, kunne det høres ut som han mente at samspillsentrepriser ville vært en god løsning. Som nevnt i bakgrunnsinformasjonen er samspillsentrepriser en entreprisemodell som kjennetegnes av at byggherren involverer prosjekterende og entreprenør tidlig i prosjektet (DFØ, 2020). Formålet er at partene sammen utvikler funksjonskrav og gjennomfører prosjektet effektivt. Målet er som nevnt at dette skal gi både færre konflikter og lavere kostnad. "Samspill til totalentrepriser" er en variant av samspillsentrepriser, hvor det etter en innledende samspillsfase i gjennomføringsfasen inngås en totalentrepriserkontrakt etter NS 8407 med gruppen (DFØ, 2020). Basert på funnene i oppgaven kan det virke som at disse entreprisemodellene kan være gode løsninger på ovennevnte utfordringer, hvor byggherren har ansvaret for å involvere prosjekterende og entreprenør tidlig i prosjektet, og hvor de sammen utvikler funksjonskrav.

5.2 Funn fra casestudien

5.2.1 Tunnelprofil T10,5 og havarinisje (T13,5)

Som beskrevet i resultatene fra prosjekteringen viste eksportert av tunnelprofil T10,5 og T13,5 fra Novapoint til DWG at innerprofilet ble lik parameterne gitt i håndbok N500, men teoretisk sprengningsprofil ble forskjøvet vinkelrett fra kjørebanelen med ca. 1,5 cm. Dette utgjorde 0,21 m² mer i teoretisk sprengningsprofil enn det burde. Et så lite avvik i teoretisk sprengningsprofil vil ikke ha noen praktisk betydning, men dette avviket bør uansett ikke forekomme. Tunnelprofilene T10,5 og T13,5 eksportert fra Gemini Terreng var den geometriske utformingen av innerprofilet og teoretisk sprengningsprofil etter kravene i håndbok N500. Men resultatet viste at begge tunnelprofilene ble trukket 1,5 cm vinkelrett ned mot kjørebanelen. For innerprofilet er dette et avvik som vil kunne få praktisk betydning for andre elementer og installasjoner i tunnelen. Spesielt hvis entreprenøren i tillegg skulle bygge etter maks tillat avvik etter toleransekravene.

5.2.2 Havarinisje med teknisk bygg

Resultatet av prosjekteringen av havarinisje med teknisk bygg viser tydelig forskjellen mellom Novapoint Tunnel og Gemini Terreng. Tunnelprofilene eksportert fra programvarene til DWG, gjenspeiler det som er beskrevet i bakgrunnsinformasjonen om utfordringen med asymmetrisk tunnelprofil i Novapoint Tunnel. Dette diskuteres nærmere i delkapittel 5.2.4

5.2.3 Brukervennlighet

Brukervennlighet i programvarene er viktig ved tunnelprosjektering. God brukervennlighet kan være med på å forbedre effektiviteten og reduserer risikoen for feil i prosjekteringsfasen. På bakgrunn av prosjekteringen i denne oppgaven er erfaringen at Gemini Terreng til en viss grad er tungvint å bruke. Det er flere prosesser fra start til ferdig eksportert tunnelmodell enn Novapoint Tunnel. Novapoint Tunnel har en mer oversiktlig og selvforklarende oppbygging i tunnelmodulen en Gemini Terreng. Men mangelen på direkte 3D-visning av tunnelmodellen er kanskje det som påvirker brukervennligheten mest i Novapoint Tunnel. Disse ulike faktorene kan i stor grad påvirke nye brukere som kan resultere i at de holder fast ved foretrukket programvare. Igjen kommer viktigheten av kompetanse inn. Kurs, opplæring og erfaring er essensielt for at brukervennligheten får en mindre påvirkning i prosjekteringsfasen. Novapoint Tunnel er enkelt å bruke og leverer etter kravene. Gemini Terreng er mer tungvint, men leverer utover kravene. Det er få justeringer som skal til for å effektivisere og gjøre begge programmene mer brukervennlige. Dette henger igjen sammen med hvilken retning bransjen beveger seg i og i hvilken grad det da er behov for utbedring av programvarene.

5.2.4 Utfordringene i Mælefjelltunnelen

En av utfordringene ved drivingen av Mælefjelltunnelen var at Novapoint Tunnel på det tidspunktet ikke støttet teoretisk sprengningsprofil med rette vegger. I prosjekteringen som ble gjennomført i denne oppgaven var ikke dette et problem. Man kan spørre seg om disse utfordringene i Mælefjelltunnelen kan ha bidratt til at dette har blitt utbedret i programvaren. Dette stemmer overens med hva informanten fra Trimble sier om at deres tunnelmodul utvikles i tråd med utfordringene som oppstår. Videre var den største utfordringen i Mælefjelltunnelen dom tidligere nevnt at Novapoint Tunnel ikke støttet prosjektering av asymmetriske tunnelprofiler. Det var tunnelprofilen havarinisje med teknisk bygg som var den største utfordringen. Resultatene fra prosjekteringen i denne oppgaven er i tråd med hva den prosjekterende og informanten fra Trimble sier om begrensningene i programvaren. I Gemini Terreng er det mulig å prosjektere tunnelprofilen fritt, mens i Novapoint Tunnel kreves det andre løsninger for å oppnå et tunnelprofil opp mot det man ønsker. Så kan man stille seg spørsmålet; er dette godt nok? I intervjuet med Powel fremkommer det at det finnes grenser for hvor detaljert en entreprenør klarer å sprengne, hvor vedkommende sier det ofte sprenges med 5 m salver. Sammenlikningen mellom resultatene av tunnelprofilene fra programvarene, viser at arealene i tunnelprofilen fra Gemini Terreng er 190 m² og Novapoint Tunnel er 180 m². Vil det da kunne være mulig å benytte typetegninger slik informanten fra offentlig byggherre foreslo? Hvis utviklingen fortsetter i samme retningen som i dag, hvor tunnelmodellen har forrang foran tegninger og modellen skal vise det som faktisk skal bygges, bør programvarene utvikles slik at det er mulig å prosjektere det som kreves.

Mælefjelltunnelen ble opprinnelig prosjektert på bakgrunn av tegninger, noe prosjekterende i intervjuet mener at man bør gå bort i fra. Argumentene til byggherren for å bruke modellbasert stikningsdata i Mælefjelltunnelen var på grunn av innsparingspotensialet, enklere dokumentasjon i byggefasen og at man mente man kunne hente stikningsdata direkte fra modellen. For det første kan man argumentere for at det å tegne tunnelprofilene først, for deretter å prosjektere dette, ikke er kostnadseffektivt. For det andre har det også fremkommet gjennom intervjuene at entreprenøren ofte opplever at det faktisk mangler sentrale stikningspunkter i modellene de mottar. Hvorvidt det da er mer kostnadseffektivt å benytte tunnelmodeller som grunnlag for tunnelutbyggingen, kan dermed

se ut til å avhenge av hvordan modellene utarbeides og hvorvidt de faktisk inneholder de stikningspunktene entreprenøren trenger.

Et viktig poeng er at Mælefjelltunnelen ble prosjektert for 7-8 år siden, men skal vi tro informantene i dybdeintervjuene, så har den største utviklingen innen modellbaserte tunneler hatt en utvikling de siste fem årene. Hvorvidt de samme utfordringene som oppstod når Mælefjelltunnelen opprinnelig ble prosjektert og påbegynt utbygget, ville skjedd i dag, er et interessant spørsmål.

5.3 Forskjeller og likheter ved Novapoint og Gemini

Det er flere likheter enn forskjeller mellom Novapoint Tunnel og Gemini Terreng, som oppsummert i figurene 4.18 og 4.19. Programvarene har jevnt over de samme egenskapene. De største forskjellene er at Gemini Terreng støtter asymmetriske snitt, noe Novapoint Tunnel ikke gjør. Generelt har Gemini Terreng en rikere funksjonalitet enn det Novapoint Tunnel har. Det er også brukervennligheten ulik i programvarene, som diskutert i delkapittel 5.2.4. Videre er det ulikheter i eksporten av tunnelmodellen. Gemini Terreng produserer en mer detaljert modell, men uten egenskaper i objektene, mens Novapoint Tunnel produserer en litt grovere modell, men med egenskaper for objektene. Hva som er å foretrekke, må ses i sammenheng med ønsket om detaljeringsgrad. Som nevnt tidligere i oppgaven, er detaljeringsgraden noe det er uenighet om blant de ulike aktørene.

Et viktig spørsmål i forlengelsen av dette, er hvorvidt forskjellene og likheten mellom programvarene er av praktisk betydning; har disse forskjellene noe å si i praksis? Å lære seg en ny programvare er både tids- og kostandskrevende. Skal man pålegge de prosjekterende å lære seg en ny programvare, eller stille krav til hva de skal ha kompetanse på, må man også være sikker på dette er vel investerte kostnader og innsats. Basert på funnene i denne oppgaven, er det vanskelig å konkludere hva slags praktisk betydning forskjellene i programvarene har. Man kan argumentere for at det ikke er gitt hvilken programvare som fungerer best til prosjektering av tunnel, når hvert enkelt tunnelprosjekt er «unikt» og det er forskjeller mellom alle aktører og deres kunnskap, preferanser, forventninger og ønsker.

5.4 Hvor ligger utfordringen?

En problemstilling som går igjen i oppgaven, er hvorvidt utfordringer og problemer som oppstår i prosjektering og byggingen av tunnel kan sies å ligge i programvarene som benyttes, eller om de stammer fra prosjekteringen, fra byggherren, fra entreprenøren – eller om det er et mer sammensatt problem. Funnene i denne studien tyder på at problemstillingen er sammensatt, og at utfordringene som oppstod ved Mælefjelltunnelen, og som generelt kan oppstå ved tunnelutbygging, handler om problemstillinger i flere ledd.

For det første er det en utfordring at prosjekterende har varierende kompetanse og at de velger programvare etter egen preferanse. De prosjekterende manglende erfaring fra entreprenørsiden kan også være en faktor, da de ikke har full oversikt over hva entreprenøren faktisk ønsker eller trenger.

Videre er det også utfordringer på entreprenørsiden. For det første fremkommer det at ulike entreprenører ønsker ulikt nivå av detaljeringsgrad, noe som kompliserer jobben til de prosjekterende, og som gjør det mindre tydelig hva man egentlig trenger at programvaren de prosjekterende bruker, klarer å utarbeide med hensyn til tunnelmodell. I tillegg kan man spørre seg om det også er en utfordring at entreprenøren på sin side

heller ikke har erfaring fra konsulentsiden, med tanke på å forstå hva den prosjekterende faktisk kan levere. Det ser på mange måter ut til å kunne skje en miskommunikasjon mellom disse partene og hva de forventer av hverandre, som det også fremkom i resultatene.

Her kommer byggherrene inn, da deres jobb på mange måter er å ha et overordnet ansvar for å koordinere prosjektet. Kan da dårlig koordinering fra byggherren sin side tenkes å være en årsak til at det oppstår utfordringer i tunnelprosjekter? Det ser nok heller ikke ut til at det finnes noe tydelig svar på dette. Her kan man også stille seg spørsmålet om det burde utarbeides entydige krav som det har blitt nevnt flere ganger i oppgaven, slik at både prosjekterende og entreprenør vet hva de kan forvente av hverandre. Men da er spørsmålet, er dette byggherrens oppgave å utarbeide? Skal det finnes lokale krav eller bør det være nasjonale krav, utover håndbøkene?

Hovedmålet ved denne oppgaven var å utforske forskjeller og likheter ved prosjektering av tunnel i Novapoint Tunnel og Gemini Terreng. Bakgrunnen for dette var utfordringene som oppstod i Mælefjelltunnelen, hvor tunnelmodellen som opprinnelig ble prosjektert i Novapoint Tunnel måtte prosjekteres på nytt i Gemini Terreng. Basert på dette kunne man tenke at utfordringen lå i selve programvaren, og herunder hos Novapoint. Funnene fra både dybdeintervjuene og fra egen prosjektering tyder på at dette i alle fall ikke er hele sannheten. Selv om Novapoint Tunnel ikke kan prosjektere asymmetriske tunnelprofiler, er dette som tidligere nevnt heller ikke krav om i håndbok N500. Det har fremkommet at Powel har fokusert mer på utvikling av tunnelmodulen i sin programvare enn det Trimble har. Spørsmålet er om det Novapoint Tunnel klarer faktisk holder til det detaljeringsnivået entreprenøren ønsker, og at de detaljene Gemini klarer kanskje bare blir unødvendige data når modellen skal overføres til entreprenørens systemer. Igjen handler det om hvorvidt ulikhetene i programvarene er av praktisk betydning. I forlengelsen av dette er ett av de indirekte spørsmålene i oppgaven om det vil lønne seg å gå fra Novapoint Tunnel til Gemini Terreng for de prosjekterende, slik som de gjorde i Mælefjelltunnelen. Svaret på dette er trolig ikke, men at det vil variere fra prosjekt til prosjekt.

Som det har fremkommet i oppgaven ser noe av utfordringen kanskje ut til å ligge i manglende kommunikasjon i starten av prosjekteringen. Man kan dermed spørre seg om utfordringen ligger nettopp her; at de ulike sidene i prosjekteringen faktisk ikke prater sammen tidlig nok eller godt nok. Om dette er et problem som kan løses ved de nyere formene for entreprisemodeller gjenstår å se. Kanskje er dette en problemstilling som krever at samtlige aktører, både representanter fra den prosjekterende siden, fra byggherrene, fra entreprenørsiden og fra programvarene, setter seg ned og forsøker å løse dette seg imellom – på et høyere nivå? Slik at videre tunnelutbygging i Norge ikke fortsetter å møte på utfordringer, men tvert imot har en klarhet i hva som forventes både av de prosjekterende, fra byggherren, fra entreprenørsiden og fra programvarene som benyttes.

5.5 Oppgavens styrker og begrensninger

5.5.1 Utvalget

En av utfordringene ved kvalitative metoder, er generaliserbarheten (Tjora, 2017). Likevel er målet med all forskning at man skal kunne bruke funnene til å si noe mer generelt om det man undersøker (Dalland, 2020). En av faktorene som bidrar til økt generaliserbarhet er at utvalget man har er

representativt (Dalland, 2020). Utvalget i denne oppgaven er lite, noe som kan regnes for å være en svakhet ved denne oppgaven. Det ble dog forsøkt å fange opp erfaringer fra alle ledd i et tunnelprosjekt; fra den prosjekterende og programvarene de bruker, til byggherren og entreprenøren som driver tunnelen. I tillegg ble det utarbeidet kriterier for utvalget i dybdeintervjuene, hvor informantene som ble intervjuet oppfylte noen forutbestemte kriterier, om at de hadde minst fem års erfaring fra det respektive feltet, og at de hadde erfaring med begge programvarene. På denne måten ble det forsøkt å sikre at de som uttalte seg om tunnelprosjektering, var folk som hadde god kompetanse og erfaring på dette feltet. På denne måten ble det etterstrebet at utvalget i dybdeintervjuene skulle dekke fagfeltet på en representativ måte.

Når det gjelder personene som ble intervjuet i casestudien, var det et mål å intervju de personene som hadde mest sentral kunnskap om prosessen som hadde foregått ved utbyggingen av Mælefjelltunnelen, og hvilke utfordringer som hadde oppstått. Hovedbyggeleder, prosjekteringsleder og kontrollingeniør ble dermed intervjuet.

5.5.2 Dybdeintervju

Dybdeintervjuer gjøres som regel ansikt til ansikt (Tjora, 2017). Grunnet korona-pandemien som kom i våres, måtte intervjuene gjennomføres per telefon i stedet. Dette kan ha medført at noe informasjon har forsvunnet, også kan regnes som en svakhet i denne oppgaven. Når man bruker telefon mister man deriblant mulighet for å bruke kroppsspråk, og noe av samtaleaspektene som gode intervjuer kan være avhengig av, kan forsvinne (Tjora, 2017). Likevel kan man argumentere for at informasjonen i denne oppgaven har vært forsøkt sikret rett innhentet, ved at transkripsjon ble benyttet i etterkant av intervjuet.

5.5.3 Casestudien

Ifølge Tjora (2017) er en av de viktigste oppgavene til all forskning, eller presentasjonen av forskningen, å være transparent. Det vil si at studien og funnene skal være så tydelig beskrevet som mulig, slik at det skal være lett for leseren å forstå hva som er gjort og hva som ble oppdaget. Med tanke på casestudien var målet å innhente mest mulig informasjon om hvordan prosessen utspilte seg og hvilke oppfordringer som oppstod når, og å presentere dette på en så oversiktlig måte som mulig. Utfordringen med casestudier er nettopp dens generaliserbarhet utover akkurat den casen. Jo mer transparent forskningen er fremstilt, jo lettere vil det være å gjenskape denne forskningen, samt bygge videre på denne i framtiden.

5.5.4 Validitet og reliabilitet

Validitet handler om hvorvidt en metode kan regnes for å være egnet til å undersøke det den skal undersøke (Dalland, 2020). I denne oppgaven var målet å undersøke forskjeller og ulikheter i prosjektering av tunnel i Novapoint Tunnel og Gemini. Her var det ene delmålet å avdekke utfordringer og å oppsummere erfaringer i tunnelprosjektering og -utbygging med hensyn til programvarene og den modellbaserte stikningsdataen de lager. Dette er en problemstilling som best lar seg undersøke ved en kvalitativ tilnærming, og hvor ønsket var å komme i dybden på ulike utfordringer og erfaringer fra kompetente fagfolk i tunnelbransjen. I tillegg var utgangspunktet for selve oppgaven en case, og delmål to var å vurdere fordeler og ulemper ved de to programvarene for enkelte spesialtilfeller/ utvidete tunnelprofiler. Dette var en problemstilling som best lot seg dekke ved nettopp å prosjektere disse tunnelprofilene på nytt.

«Reliabilitet betyr pålitelighet eller troverdighet og dreier seg om forskningsresultatene konsistens og troverdighet» (Dalland, 2020, s. 246). Dette handler i stor grad om man ville kunne forvente å finne igjen de samme resultatene om man skal utført studien igjen. Dette ble forsøkt ivaretatt ved at forfatteren av denne oppgaven ikke fra tidligere har hatt kjennskap til eller vært direkte involvert i det aktuelle prosjektet. Forfatteren har heller ikke vært tidligere kjent med informantene i dybdeintervjuene, slik at intervjuene kunne foregå på en så nøytral måte som mulig.

5.6 Videre forskning

Det hadde vært interessant å bruke temaene som har fremkommet i denne oppgaven, til å utarbeide en surveyundersøkelse, sånn at man kunne spørre flere relevante fagpersoner om disse temaene. Da kunne man forsket på dette kvantitativt ved hjelp statistisk analyse og fått undersøkt problematikken i en større skala. På denne måten ville man kunne fått et bedre inntrykk av hvor store disse utfordringene faktisk er – eller om det også er andre temaer som dukker opp når det sendes ut til flere. Det kunne vært interessant å sende ut til et visst antall prosjekterende, byggherrer og entreprenører, og deriblant spurt om deres kjennskap til ulike programvarer, hvilke utfordringer de opplever å støte på, deres tanker om modellbaserte stikningsdata og behov for detaljeringsgrad og forslag til eventuelle krav, samt deres erfaringer med ulike entreprisformer. Dette ville gjort at man fikk undersøkt disse problemstillingene i større skala, og kanskje man ville kunne fått til noen endringer i hvordan tunnelprosjekteringen og – utbyggingen gjennomføres i dag.

Videre ville det vært spennende å utforske om samme utfordringer som oppstod ved Mælefjelltunnelen, også har oppstått i andre tunneler. Det ville vært interessant å undersøke hvordan disse utfordringene ble løst; måtte man bytte programvare, eller klarte entreprenøren å løse problemene på stedet? Videre ville det vært interessant å utforske om det også har vært andre type utfordringer som har oppstått i andre tunnelprosjekter, som ikke denne oppgaven har tatt for seg.

I oppgaven fremkom det at ulike entreprenører virker til å ha ulike ønsker og preferanser med tanke på hva de ønsker å motta av data. Disse ulikhetene hadde det vært interessant å utforske mer, og kanskje gjennomføre forskning mer rettet mot entreprenørsiden av tunnelprosjekter. For eksempel kunne man tatt et visst utvalg av entreprenører og undersøkt blant annet hvordan de bearbeider data, hva de ønsker å motta og hva de pleier å løse på stedet. Herunder ville det også vært spennende å utforske hvilke systemer entreprenøren bruker og hvordan de mottagende systemene og de prosjekterende systemene kommuniserer sammen.

Det ville også vært interessant å gjøre en studie på om utfordringene som oppstår i tunnelprosjektering- og driving kan ha sammenheng med hva slags entreprisemodell som er brukt i prosjektet. Som nevnt i oppgaven er både samspillsentreprise og «samspill til totalentreprise» to lovende entreprisemodeller. Videre kunne man undersøke ved hvor mange tunnelprosjekter disse entreprisemodellene faktisk benyttes, og om de samme utfordringene som nevnt over har oppstått der, eller om dette eventuelt har bydd på andre utfordringer som denne oppgaven ikke har vært innom.

6 Oppsummering

På grunn av vår topografi bygges det mye tunnel i Norge. At denne utbyggingen er av god kvalitet, hvor alle faser skjer effektivt, uten forsinkelser og økte kostnader, er i alles interesse. Bakgrunnen for denne oppgaven var utfordringen som oppstod ved utbyggingen av Mælefjelltunnelen.

Tunnelmodellen ble opprinnelig prosjektert i Novapoint Tunnel, men måtte prosjekteres på nytt i Gemini Terreng, da entreprenøren mente at deler av modellen fra Novapoint Tunnel ikke var mulig å bruke. På bakgrunn av dette var hovedmålet med denne oppgaven å studere forskjeller og likheter ved prosjektering av tunnel i Novapoint Tunnel og Gemini Terreng.

Det ene delmålet var å avdekke utfordringer og oppsummere erfaringer i tunnelprosjektering og -utbygging med hensyn til programvarene og tunnelmodellene de produserer. Dette ble undersøkt ved å gjennomføre kvalitative dybdeintervju med en informant fra hver av de respektive programvarene, med en informant som til daglig jobber med prosjektering av tunnel i disse programvarene, samt en offentlig byggherre og en entreprenør som arbeider med tunnelutbygging og som er kjent med begge programvarene. Hovedfunnene fra disse intervjuene var som følger:

- Kompetansen er generelt god blant de som bruker programmene.
- Videre ser det ut til at valget av programvare ikke handler om hvilken programvare som er best egnet, men det velges ut ifra egne preferanser.
- Videre fremkom det at Powel (Gemini) har arbeidet mer med utviklingen av sin programvare enn det Trimble (Novapoint) har.
- Et annet viktig funn var at det er sprik mellom hva konsulenten og entreprenøren har fokus på og ønsker fra tunnelmodellene. Herunder fremkommer det at det er ulike ønsker og forventninger med hensyn til detaljeringsgrad, og at konsulenter ofte leverer fra seg så store modeller at de mottagende systemene strever med å håndtere disse.
- Videre var det tydelig at interoperabilitet mellom programvaresystemer ofte er en utfordring, og at tunnelmodellene som Novapoint og Gemini produserer, ofte må bearbeides før de mottagende systemene hos entreprenøren kan bruke de.
- Et annet viktig poeng var at entreprenøren opplever at modellen ofte er bygget opp bra, men likevel kan inneholde mange unødvendige detaljer og mangle sentrale stikningspunkt.
- Det var enighet mellom informantene om at utarbeidelsen av entydige krav til modellbaserte stikningsdata for tunnel kan være veien å gå.
- Ulike entreprisformer ble diskutert, hvor totalentreprise ble løftet fram som en lovende løsning.

Det andre delmålet var å vurdere programvarene opp mot hverandre. Her ble tunnelprofil T10,5, havarinisje (T13,5) og havarinisje med teknisk bygg prosjektert i de nyeste versjonene av Novapoint Tunnel og Gemini Terreng, og sammenlignet opp mot en geometrisk riktig tegning utformet i AutoCAD. Hovedfunnene var som følger:

- Begge programvarene støtter parametrisk beskrivelse av tunnel, manuell beskrivelse støttes bare av Gemini Terreng.

- Begge følger kravene i håndbok N500
- Begge programvarene har lik fremgangsmåte for prosjektering.
- Videre er det bare Gemini som støtter prosjektering av asymmetrisk tunnelprofil.
- Ved eksport av tunnelmodell til DWG har man i Novapoint Tunnel mulighet til å legge til objektkoder for de ulike elementene i tunnelen. Dette er ikke mulig i eksporten av modellen fra Gemini Terreng og krever manuelt arbeid i AutoCAD.
- Gemini Terreng har flere funksjonaliteter, og genererer en mer detaljert tunnelmodell.
- I Gemini Terreng kan man se tunnelmodellen direkte i 3D-visning.
- Novapoint Tunnel oppleves å være mer brukervennlig.

7 Konklusjon

Målet med denne oppgaven var å utforske forskjeller og likheter ved tunnelprosjektering i Novapoint Tunnel og Gemini Terreng. Av likheter var det viktigste at begge programvarene støttet håndbøkene fullt ut og at begge programvarene hadde likheter i fremgangsmåten for prosjekteringen. En av hovedforskjellene som ble oppdaget i denne oppgaven, var at Novapoint Tunnel ikke støtter prosjektering av asymmetriske tunnelprofiler. Videre var det ulikheter i eksporten av tunnelmodellen. Gemini Terreng produserer en mer detaljert modell, men uten egenskaper i objektene, mens Novapoint Tunnel produserer en litt grovere modell, men med egenskaper for objektene. Videre var det ulikheter knyttet til brukervennlighet og funksjonalitet. Novapoint Tunnel var enklere å bruke og leverte etter kravene, mens Gemini Terreng var mer tungvint, men leverte til gjengjeld utover kravene.

Om disse ulikhetene har praktisk betydning, er derimot et viktig spørsmål, som ser ut til å ville variere fra prosjekt til prosjekt. Det har fremkommet i oppgaven at mange av utfordringene som oppstår i tunnelprosjektering- og utbygging nettopp handler om faktorer utenfor selve programvarene. Herunder er ulike forventninger hos prosjekterende og entreprenører med tanke på hvilken detaljeringsgrad tunnelmodellen skal ha, et viktig problem. En enda større kompliserende faktor er at kompetanse og preferanser varierer hos den prosjekterende, som ofte har lite erfaring fra entreprenørsiden. I tillegg varierer entreprenørens ønsker knyttet til detaljeringsgrad, og de har på sin side lite erfaring fra den prosjekterende siden. Dette kompliseres ytterligere av vansker i dataflyten mellom programvaresystemene hos prosjekterende og entreprenør.

Oppsummert synes hovedkonklusjonen fra denne studien å være at begge programvarene har sine styrker og svakheter, men at utfordringene som oppstår i tunnelprosjekter ikke bare handler om mangler i programvarene, da det kan oppstå utfordringer i alle ledd av en prosjekterings- og utbyggingsfase.

Basert på dette konkluderer denne oppgaven med to anbefalinger:

1) Man bør vurdere å gå bort i fra entreprisemodeller som utførelsesentreprise, og heller gå over til entreprisemodeller som samspillsentreprise eller «samspill til totalentreprise». Dette for å sikre at prosjekterende og entreprenør prater sammen så tidlig som mulig i prosessen, og opprettholder god dialog gjennom hele prosjektet.

2) Det bør utarbeides tydeligere kravspesifikasjoner med hensyn til hva som skal med i tunnelprosjekteringen og tunnelmodellene, spesielt med tanke på detaljeringsgrad og stikningsdata. Dagens versjoner av programvarene prosjekterer tunnelmodeller som oppfyller kravene i håndbok N500, men argumentet i denne oppgaven er at kravene i håndbøkene bør utbedres. Dette bør gjennomføres av en arbeidsgruppe med representanter fra de ulike aktørene, som sammen utarbeider nye standarder eller kravspesifikasjoner for tunnelprosjektering.

Dette for å unngå unødvendige utfordringer, merarbeid og økte kostnader i framtiden, da det i mange år framover vil fortsette å bygges tunneler i Norge.

Referanseliste

- Begić, A og Skagen, H.M.K. (2019) *Effektivisering av modellbasert leveranse av infrastrukturprosjekter*. Masteroppgave. NTNU. Tilgjengelig fra: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2645607> (Hentet: 01. oktober 2020)
- Dalland, O. (2020) *Metode og oppgaveskriving*. 7. utg. Oslo: Gyldendal
- DFØ (2020) *Direktoratet for forvaltning og økonomistyring*. Tilgjengelig fra <https://www.anskaffelser.no/> (Hentet: 09.10.2020)
- Jenssen, G. D., Bjørkli. C. og Flø M. (2007) *Vurderinger E39 Rogfast, RAPPORT, Trygghet, monoton og sikkerhet i krisesituasjoner og ved normalferdsel*. (STF50 A06109). Trondheim: SINTEF. Tilgjengelig fra: https://www.sintef.no/globalassets/upload/teknologi_og_samfunn/veg-og-samferdsel/a06109_vurdering-e39-rofast.pdf
- Konsulent, 2011. «Søknad om fravik» (konfidensielt internt notat).
- Høye, A. (2016) *1.19 Utforming av tunneler, Trafikksikkerhetshåndboken*. Tilgjengelig fra: <https://www.tshandbok.no/del-2/1-vegutforming-og-vegutstyr/doc635/> (Hentet: 05. oktober 2020).
- Lovdata (2020) *Forskrift om minimum sikkerhet til visse vegtunneler (tunnelsikkerhetsforskriften)*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2007-05-15-517> (Hentet: 05. juni 2020).
- Powel (u.å.a) *Gemini Terreng-Innovativ planlegging i 3D*. Tilgjengelig fra: <https://www.powel.no/construction/gemini-terrengv> (Hentet: 20. august 2020)
- Powel (u.å.b) *Gemini Terreng Moduller*. Tilgjengelig fra: <https://www.powel.no/construction/gemini-terreng/gemini-terreng-moduller> (Hentet 20. august 2020)
- Sandberg, T. (2017) Ingen ende på nye tunneler, *Dagsavisen*. Tilgjengelig fra: <https://www.dagsavisen.no/nyheter/innenriks/ingen-ende-pa-nye-tunneler-1.919935> (Hentet: 05. oktober 2020).
- SINTEF (2010). *Tunnelangst kan reduseres*. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/siste-nytt/tunnelangst-kan-reduseres/> (Hentet: 09. april 2020)
- Statistisk sentralbyrå (2017) *Skog, fjell og vidde dominerer*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/artikler-og-publikasjoner/skog-fjell-og-vidde-dominerer> (Hentet: 09. april 2020).
- Statens vegvesen (2015). *Modellgrunnlag, Krav til grunnlagsdata og modeller, VEILEDNING, Håndbok V770*. Tilgjengelig fra: https://www.vegvesen.no/_attachment/395908/binary/1098509?fast_title=H%C3%A5ndbok+V770+Modellgrunnlag.pdf

Statens vegvesen (2019a) *Om håndbøkene*. Tilgjengelig fra:
<https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/handboker/om-handbokene/om-handbokene> (Hentet: 28. august 2020)

Statens vegvesen (2019b) *Veg- og gateutforming, NORMAL, Håndbok N100*. Tilgjengelig fra: https://www.vegvesen.no/_attachment/61414/binary/1355470?fast_title=H%C3%A5ndbok+N100+Veg-+og+gateutforming+%286+MB%29.pdf

Statens vegvesen (2019c) *Premisser for geometrisk utforming av veger, VEILEDNING, Håndbok V120*. Tilgjengelig fra:
https://www.vegvesen.no/_attachment/61500/binary/1327507?fast_title=H%C3%A5ndbok+V120+Premisser+for+geometrisk+utforming+av+veger.pdf

Statens vegvesen (2019d). *Norske tunneler blir stadig tryggere*. Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/om+statens+vegvesen/presse/nyheter/nasjonalt/norske-tunneler-blir-stadig-tryggere> (Hentet: 10. mai 2020).

Statens vegvesen (2019e). *Verdens lengste og dypeste veitunnel er åpnet*. Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/om+statens+vegvesen/presse/nyheter/nasjonalt/verdens-lengste-og-dypeste-veitunnel-er-apnet> (Hentet: 10. mai 2020)

Statens vegvesen (2020a) *Vegtunneler*. Tilgjengelig fra:
<https://www.vegvesen.no/fag/teknologi/tunneler> (Hentet: 09. april 2020)

Statens vegvesen (2020b) *Vegtunneler, NORMAL, Håndbok N500*. Tilgjengelig fra: https://www.vegvesen.no/_attachment/61913/binary/1359948?fast_title=H%C3%A5ndbok+N500+Vegtunneler.pdf

Statens vegvesen (2020c) *Krav til modellen*. Tilgjengelig fra:
<https://www.vegvesen.no/fag/teknologi/bruer/kontroll-og-godkjenning/modellbasert-prosjektering/krav-til-modellen> (Hentet: 25. august 2020)

Statens vegvesen (2020d) *Vegkart*. Tilgjengelig fra:
<https://vegkart.atlas.vegvesen.no/#kartlag:geodata/@600000,7225000,4> (Hentet: 8 mai 2020d).

Statens vegvesen (2020e) *Nasjonal vegreferansesystem, VEILEDNING, Håndbok V830*. Tilgjengelig fra: https://www.vegvesen.no/_attachment/61505/binary/1363035?fast_title=H%C3%A5ndbok+V830+Nasjonalt+vegreferansesystem.pdf

Thuesen, N. P., Thorsnæs, G. & Røvik, S. (2020). Norge. Tilgjengelig fra:
<https://snl.no/Norge> (Hentet 05. oktober 2020)

Tjora, A. (2017) *Kvalitative forskningsmetoder i praksis*. 3. utg. Oslo: Gyldendal

Trimble (2013a). *Hva er en Quadri-modell*. Tilgjengelig fra:
http://help.novapoint.com/doku.php?id=no:np:base:introduction_to_base:modeling_infrastructure:what_is_quadri_model (Henet: 20. august 2020)

Trimble (2013b) *Kobling til AutoCAD*. Tilgjengelig fra:
http://help.novapoint.com/doku.php?id=no:np:base:introduction_to_base:modeling_infrastructure:how_connects_base_with_autocad (Hentet 20. august 2020)

Trimble (2017a) *Novapoint Basis*. Tilgjengelig fra:

<http://85.19.218.248/doku.php?id=no:np:base:start> (Hentet 20. august 2020)

Trimble (2017b) *Tunnel*. Tilgjengelig fra: <http://help.novapoint.com/doku.php?id=no:np:tunnel:start>
(Hentet 20. august 2020)

Trimble (u.å.a.) *Novapoint*. Tilgjengelig fra:

<https://civil.trimble.no/produkter/novapoint> (Hentet 20. august 2020)

Trimble (u.å.b) *Quadri*. Tilgjengelig fra:

<https://civil.trimble.no/produkter/quadri> (Hentet 20. august 2020)

Trimble (u.å.c) *AutoCAD*. Tilgjengelig fra:

<https://civil.trimble.no/produkter/andre-programvareprodukter/autocad> (Hentet 20. august 2020)

Vedlegg 1

SPØRSMÅL VEDRØRENDE TUNNELPROSJEKTERING OG -BYGGING; MODELLBASERTE STIKNINGSDATA FOR TUNNEL

Masteroppgave i Vegteknikk, NTNU, 2020

Thomas Henriksen

- 1) Hvor kjent er du med de programvarene på markedet som best egner seg til tunnelprosjektering, og hva de er designet for å prosjektere og levere?
 - a) Spesifikt fokus på Gemini Terreng og Novapoint Tunnel
- 2) Stiller Statens Vegvesen større krav til detaljeringsgraden av modellbaserte stikningsdata enn det dagens programvarer klarer å levere?
- 3) Hvor stor er verdien av at den modellbaserte stikningsdataen er "100% perfekt"?
 - Enkelte detaljer i modellen kan være tidkrevende å prosjektere, vil dette kunne løses enklere på stedet?
 - Bør/kan, eller settes det et grensesnitt mellom modellbasert stikningsdata og hva som kan/skal løses på stedet?
 - Vil et slikt grensesnitt redusere kjente/antatte utfordringer som er erfart ved at dette løses på stedet og ikke i prosjekteringsfasen?
- 4) Hvilke utfordringer er det gjort erfaringer med ved prosjektering og driving av tunneler?
- 5) Hvor stor betydning har de ulike utfordringene hatt for prosjektering og driving av tunneler?
- 6) Hvilke utfordringer, avvik og begrensninger er det som går igjen i tunnelprosjekter?

Programvare:

Prosjekterende:

Modellbasert stikningsdata:
- 7) Hvordan har utfordringene som har oppstått blitt løst?
- 8) Hvilke erfaringer er det gjort med kompetansen til prosjekterende?
- 9) Er det en sammenheng mellom kompetansenivået til prosjekterende og utfordringene som oppstår med modellbasert stikningsdata?
- 10) Er det mangel på kompetanse fra prosjekterende som går igjen?

1 (2)

Thomas Henriksen

