

## **Prosjektering av adkomsttunnel:**

Sammenligning mot problematisk veg i krevende terreng

## **Calculation of Accesstunnel:**

Comparison Against a Problematic Road in Difficult Terrain

## **Trondheim Mai 2020**

Navn studenter:

Are Berstad  
Juel Petter Bergseth  
Magnus Smestad Aamodt

Intern veileder:  
Omar Sabri

Ekstern veileder:  
Bjørn Tollefsen

Prosjektnr:  
01 - 2020

Rapporten er ÅPEN



Fakultet for ingeniørvitenskap

Institutt for bygg- og miljøteknikk



## Problemdefinering, prosjektbeskrivelse og resultatmål

Prosjektet Nye Nedre Fiskumfoss befinner seg langs Namsen i Grong kommune i Trøndelag. Her er det i dag et eksisterende kraftverk som ble bygget i 1946. Skanska skal bygge et nytt kraftverk med stasjon i fjell. Det skal blant annet bygges en vei til uttaket for kraftverket. Dette skulle i utgangspunktet være en enkel veiskjæring, men vanskelige grunnforhold har gjort jobben så krevende at arbeidet er forventet ferdig i underkant av et halvt år senere enn først planlagt.

Vi skal se på alternativ adkomst frem til utløpet på kraftverket. Prosjektet skal sammenligne utført veg i dagen mot prosjektert tunnel frem til utløpet. Det skal gjøres anslag for tid og kostnader på tunnel for å danne et grunnlag for sammenligning opp mot vegen.

Namsenvassdraget som renner gjennom kraftverket og nært denne veien er en stor og viktig lakseelv. Miljøaspektet ved arbeidet til entreprenør vil være en viktig faktor. Det skal gjøres en vurdering av miljøutslipp for løsningene.

Stikkord:

- Tunnel
- Veiskjæring i dagen
- Ingeniørgeologi
- Kostnadsberegning
- Miljø



## Forord

I samarbeid med Institutt for bygg – og miljøteknikk ved NTNU i Trondheim skal det utarbeides en bacheloroppgave tellende 20 studiepoeng. Gruppen består av 3 studenter som går studieretningen «Anleggsteknikk og ingeniørgeologi».

Gruppen ville fordype seg i ett praktisk rettet prosjekt innenfor våre interesseområder innen tunnelbygging og ingeniørgeologi. I samtale med Skanska ble det valgt en spennende oppgave som ga gruppen mulighet til å tilegne seg kunnskap og erfaring innenfor ønskede områder.

Det har vært svært spennende å jobbe med oppgaven og se hvordan den har utviklet seg. Gruppearbeidet har vært lærerikt og samarbeidet har fungert bra. Oppgaven har gitt oss en god basis for videre utvikling.

Gruppen vil først og fremst takke vår interne veileder; universitetslektor Omar Sabri, ekstern veileder; prosjektingeniør Bjørn Tollefsen og vår kontaktperson i Skanska; prosjektingeniør Mats Høgås Hansen for hjelp og oppfølging med oppgaven. Vi vil også takke alle i Skanska ved Nye Nedre Fiskumfoss Kraftverk, som har vært svært behjelpelige og lagt til rette for at vi har fått et stort læringsutbytte. Til slutt rettes en takk til Powel AS, for tilgang til programvaren Gemini Terrain 15, og Orica Mining for veiledning til sprengningsplan.

Takk for godt samarbeid!



---

Juel Petter Bergseth

Trondheim 19. mai 2020.



---

Are Berstad



---

Magnus Smestad Aamodt



## Sammendrag

I forbindelse med utbyggingen av Nye Nedre Fiskumfoss er det anlagt adkomstveg for arbeid på utløpet. Arbeidet på veggen ble i utgangspunktet ansett som en grei jobb uten store vanskeligheter. Etter oppstart av arbeidet har grunnforholdene vist seg å være mer krevende, og det har oppstått problemer med løsmasser flere steder. Spesielt i bratt en skråning, hvor det var antatt inntil tynt løsmassedekke, har det kommet frem løsmasser med dybder over 6 m. Dette har ført til at varighet på arbeidet har blitt forlenget med minst et halvt år og blitt vesentlig dyrere.

Skanska foreslo i tidlig planleggingsfase å drive tunnel til utløpet i stedet for veg. Dette forslaget ble forkastet. I ettertid når veggen viste seg å bli mer krevende enn antatt, ønsker Skanska en vurdering på om det, i dette tilfellet og tilsvarende situasjoner, vil lønne seg å drive tunnel. Oppgaven ser på tunnel som et alternativ mot dagens løsning med veg i dagen, med fokus på kostnad, miljø, fremdrift og helse og sikkerhet.

I oppgaven blir det sett på temaer innenfor anleggsteknikk og ingeniørgeologi for prosjektering og utførelse av tunnel. Ved hjelp av rapporter og befaring blir det valgt tunneltrase som videre danner grunnlaget for prosjektering av tverrsnitt, profillinje og etablering av forskjæring ved gjennomslag innenfra og ut. For tunneldrivingen er det laget spreningsplan, sikringsplan og plan for vannhåndtering.

Sammenligningsgrunnlaget mellom tunnel og veg bygges på kriteriene kostnad, miljø, fremdrift og helse og sikkerhet. Miljø er et viktig kriterie da det er strenge krav til utslipp i resipient. For kostnad og fremdrift er det utarbeidet beregninger i oppgaven. Tunnelen koster ca. 8,3 MNOK uten fortjeneste og vil ta 77 dager å gjennomføre. Veggen i dagen har så langt blitt arbeidet på i et år og har kostet rundt 12 MNOK.

Tunnel anses for dette prosjektet å være den beste løsningen for adkomst frem til utløpet på kraftverket, hvorav kriteriene kostnad, miljø og fremdrift heller i tunnelens favør. Resultatet taler for at tunnel bør vurderes for lignende prosjekter med krevende grunnforhold.





## Abstract

Regarding the construction on the hydropower plant “Nye Nedre Fiskumfoss”, there has been landscaped an access road for work on the outlet. The work on the road was initially considered a job without much difficulty. The ground conditions have proved to be more demanding, and problems with soils have occurred in several places. Especially in the steepest parts, where it was assumed a thin layer of soil, there has emerged soils with depths above 6 m. As a result of this, work has been extended by at least half a year and the cost is much higher.

In the early planning phase, Skanska suggested to make a tunnel to the outlet instead of a road. This suggestion was rejected. Now, Skanska wants to research if a tunnel would have been the best choice for this project, for comparison to later projects. This thesis compares the option with tunnel with today’s solution with regards to cost, progress and environment. The thesis looks at subjects within sivil engineering and engineering geology for tunnel design and construction. With the help from reports and inspections, a tunnel path is chosen. This will create the foundation for the tunnel design, profile line and the breakthrough from inside and out. For the tunnel excavation, there has been made a blast plan, a rock support plan and a plan for water management.

The comparison between tunnel and road is based on the criterias cost, progress, environment, health and safety (HSE). Environment is an important criteria because of strict requirements for emissions into the recipient. Calculations have been made for cost and progress. The tunnel cost approx. 8,3 million NOK without profit and will take 77 days to complete. The access road has so far been worked on for a year and a cost around 12 million NOK.

For this project, Tunnel is considered to be the best solution as access road to the outlet of the power plant, of which the criteria cost, progress and environment is in favor of the tunnel. The result suggests that tunnels should be considered for future projects with demanding ground conditions.



# Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon .....	1
1.1	Bakgrunn .....	1
1.2	Formål og avgrensinger.....	2
1.3	Beskrivelse av studieområdet.....	3
1.4	Geologi.....	4
1.5	Klima og miljø .....	6
1.6	Oppbygging av oppgaven.....	8
1.7	Informasjon veg i dagen og situasjon.....	9
2	Teoretisk grunnlag .....	13
2.1	HMS i bergarbeid .....	13
2.2	Tunnelgeologi.....	15
2.2.1	Oppsprekning .....	15
2.2.2	Svakhetssoner .....	15
2.2.3	Spenningsbølger i fjell .....	16
2.2.4	Grunnvann.....	16
2.2.5	Stabilitetsproblemer .....	17
2.3	Tunneldriving .....	18
2.3.1	Konvensjonell driving.....	18
2.3.2	Syklus for tunneldriving .....	18
2.3.3	Tunnelsprengning .....	19
2.3.4	Forskjæring og påhuggsflate.....	19
2.4	Sprengstoff og tenmidler .....	21
2.4.1	Tunnelsprengstoff .....	21
2.4.2	SSE-systemet (Slurry).....	21
2.4.3	Nonel LP .....	22
2.4.4	Elektronisk tenning .....	22
2.5	Bergklassifisering.....	23

2.5.1	Q-systemet .....	23
2.5.2	Sprekkerose.....	25
2.6	Sikringsmetoder .....	26
2.6.1	Bolting.....	26
2.6.2	Forskjellige boltetyper .....	26
2.6.3	Sprøytebetong .....	29
2.6.4	Injeksjon.....	30
2.6.5	Forbolter.....	32
2.6.6	Armerte sprøytebetongbuer .....	33
2.6.7	Full utstøping .....	34
2.7	Vannhåndtering .....	35
2.7.1	Miljøpåvirkning .....	35
2.8	Massehåndtering.....	38
2.8.1	Deponi.....	38
2.8.2	Mellomlager.....	38
2.8.3	Lokale løsninger.....	38
3	Metodedel .....	39
3.1	Prosjektering av tunnel.....	39
3.1.1	Valg av tunneltrasé .....	40
3.1.2	Prosjektering tverrsnitt.....	45
3.1.3	Prosjektering av tunneltrasé.....	46
3.1.4	Gjennomslag og etablering av forskjæring .....	49
3.2	Sprengningsplan.....	50
3.2.1	Rystelsesberegning .....	51
3.2.2	Borplan.....	52
3.2.3	Ladeplan.....	54
3.2.4	Tennplan .....	55
3.3	Sikring .....	56

3.3.1	Forventet sikringsbehov .....	56
3.3.2	Overdekning .....	56
3.3.3	Grunnvann .....	59
3.3.4	Detaljoppsprekking og foliasjon .....	59
3.3.5	Svakhetssoner .....	62
3.4	Vann- og massehåndtering .....	63
3.4.1	Grenseverdier og rens tiltak .....	63
3.4.2	Massehåndtering .....	68
3.5	Kostnadsberegning .....	69
3.6	Tidsberegning .....	70
4	Resultater .....	71
4.1	Prosjektering av tunnel .....	71
4.1.1	Valg av tunneltrasé .....	71
4.1.2	Prosjektering tverrsnitt .....	72
4.1.3	Prosjektering av tunneltrasé .....	73
4.1.4	Gjennomslag og etablering av forskjæring .....	74
4.1.5	Kommentar til prosjektering av tunnel .....	78
4.2	Sprengningsplan .....	79
4.2.1	Rystelsesberegning .....	79
4.2.2	Borplan .....	79
4.2.3	Ladeplan .....	81
4.2.4	Tennplan .....	83
4.2.5	Kommentar til sprengningsplan .....	84
4.3	Sikring .....	85
4.3.1	Q-metoden .....	85
4.3.2	Dimensjonering av permanent sikring i heng og vederlag .....	91
4.3.3	Dimensjonering av permanent veggsikring .....	92
4.3.4	Kommentar til permanent sikring .....	94

4.4	Vann- og massehåndtering .....	95
4.4.1	Vannhåndtering .....	95
4.4.2	Massehåndtering .....	95
4.4.3	Kommentar til vann- og massehåndtering .....	95
4.5	Kostnadsberegning .....	96
4.5.1	Kommentar til kostnadsberegning .....	97
4.6	Tidsberegning .....	98
4.6.1	Kommentar til tidsberegning .....	99
5	Sammenligning/diskusjon .....	100
5.1	Kriterier og vektlegging .....	100
5.2	Kostnad .....	101
5.3	Miljø .....	101
5.4	Fremdrift .....	103
5.5	Helse og sikkerhet .....	104
6	Innovasjon og utvikling .....	105
7	Konklusjon .....	108
8	Litteraturliste .....	109
9	Vedlegg .....	115

## Figurliste

Figur 1: Kart over studieområdet.....	3
Figur 2: Berggrunnskart fra NGU. Kraftverket vist med rød innringing. [4].....	4
Figur 3: Observerte bergarter i kraftstasjon. Til venstre: Gneisen. Til høyre: Trolig krystallin gabbro. [3].....	5
Figur 4: Illustrasjon av elveløpet til Namsenvassdraget. [67] .....	6
Figur 5: Til venstre: Seriøs sportsfiske like nedstrøms for kraftverket [71]. Til høyre: Namsblank. [70].....	7
Figur 6: Venstre: Oversikt skogsbilveg [66]. Høyre: Utklipp av adkomstveg fra Navisworks....	9
Figur 7: Bilde av skjæring som viser dybde på løsmasser. [12] .....	10
Figur 8: Bilde av vegskjæringen i området pel 650 til pel 780 (problemområdet). Innringet vises ras som har gått ut i elven. Bilde tatt av Skanska. ....	12
Figur 9: Bergsikringsdiagram Q-systemet. [27] .....	24
Figur 10: Endeforankret bolt. [30] .....	27
Figur 11: Fullt innstøpt bolt. [30] .....	27
Figur 12: Kombinasjonsbolt. [30].....	28
Figur 13: Viser fiberarmert sprøytebetong. Egenprodusert illustrasjon. ....	30
Figur 14: Illustrasjon av forinjeksjonsprinsippet. [38] .....	31
Figur 15: Illustrasjon for utførelse av forbolter. [28].....	32
Figur 16: Viser armeringsbuene før og etter spruting. [39] .....	33
Figur 17: Full utstøpning. Støpeskjoldet kan påmonteres på f.eks. dumper. [40] .....	34
Figur 18: Skisse av løsninger. ....	40
Figur 19: Bilde av skråning med fyllingen og uttaket i bakkant.....	43
Figur 20: Overside (venstre) og underside (høyre) knaus. ....	43
Figur 21: Bilde som viser gjennomslag for løsning 2 og 3.....	44
Figur 22: Liebherr LTM 1100-4.2 målsatt. [49] .....	45
Figur 23: Skisse av løsning 1. ....	46
Figur 24: Illustrasjon av 100 tonns mobilkran. ....	47
Figur 25: Området for gjennomslag og etablering av forskjæring før vegskjæring. Privat bilde. ....	48
Figur 26: Området for gjennomslag og etablering av forskjæring etter vegskjæring. Foto av Skanska. ....	48
Figur 27: Illustrasjon for «driving innenfra og ut» av Statens Vegvesen. [23] .....	49

Figur 28: Utklipp av tunnel fra Navisworks som viser avstand mellom tunnel og nærmeste bygning. ....	51
Figur 29: Eksempel kutt. [22] .....	53
Figur 30: Diagram for bestemmelse av forsetning Vb. [22] .....	53
Figur 31 Rekkefølge brytningsforløp. Piler indikerer retning for forsetning. [22] .....	54
Figur 32: Totalsonderinger oppstrøms påhugg. Oppstrøms og eksisterende påhugg, samt måleverdier er innringet. [53] .....	56
Figur 33: Diagram for overdekning. Avlesninger angitt ved profilnummer. ....	58
Figur 34: Viser sprekkeroser for sprekker i dagen og i eksisterende kraftstasjon [3]. Langstrek fra P-50 til P-170 er tegnet inn. ....	61
Figur 35: Flyfoto over nedstrøms overløp for kartlegging av foliasjonsretning. [3] .....	61
Figur 36: Prinsippskisse for kontinuerlig sandfilter. [40]. Figuren er navnsatt. ....	65
Figur 37: Prinsippskisse hydrosyklon for oljeutskilling. [56]. Figuren er navnsatt. ....	66
Figur 38: Endring av pH til 200mL betongpåvirket anleggsvann som funksjon av økt tilførsel av CO <sub>2</sub> i form av tørris dosert på spaltespisser. Tilsatt under turbulent omrøring med magnetrører. [58] .....	67
Figur 39: Endelig tunneltrasé vist med lys gråfarge. ....	71
Figur 40: Tverrsnitt med laster og tippbil. [74] [75] .....	72
Figur 41: Data fra tunnelprosjektering. ....	73
Figur 42: Illustrasjon av tverrsnitt pilothull. ....	75
Figur 43: Illustrasjon til utførelse av pilothull. ....	76
Figur 44: Illustrasjon til utførelse av sikring og strossing. ....	77
Figur 45: Målsatt tegning av kutten. ....	79
Figur 46: Ladeskjema med utførte beregninger. ....	81
Figur 47: Ladeplan med oppbygning av alle hulltyper. ....	82
Figur 48: Brytningsforløp for standard tunnelsalve. ....	83
Figur 49: Tennplan for standard tunnelsalve. ....	83
Figur 50: Bestemmelse av RQD. [27] .....	86
Figur 51: Bestemmelse av tall for sprekkese. [27] .....	86
Figur 52: Bestemmelse av sprekkeruhetstall. [27] .....	87
Figur 53: Bestemmelse av tall for sprekkedylling. [27] .....	87
Figur 54: Bestemmelse av sprekkvannstall. [27] .....	88
Figur 55: Bestemmelse av spenningsfaktor (SFR). [27] .....	89
Figur 56: Bestemmelse av ESR-verdi. [27] .....	90



Figur 57: Avlesning i bergsikringsdiagram for dimensjonering av sikring i heng og vederlag.	91
Figur 58: Avlesning i bergsikringsdiagram for dimensjonering av veggsikring. ....	93
Figur 59: Driving ut loddrett berg ved forbolting.....	106
Figur 60: Driving ut i skråning av berg ved pilottunnel og gjennomslagssalve i flere retninger. Venstre figur illustrerer boring i flere retninger. Høyre figur illustrerer gjennomslaget etter sprengning.....	107
Figur 61: Løsmassedekke som holdes stabilt ved tele.....	107

## Tabelliste

Tabell 1: Hovedaktiviteter veg i dagen (Vedlegg M-2: Aniksdal, Mads). .....	11
Tabell 2: Omregning av faktiske Q-verdier til Q-verdier for veggsikring [27] .....	25
Tabell 3: Viser effektene av ulike pH-verdier på fisk. [43] .....	36
Tabell 4: Vurdering av løsninger for tunneltrasé. ....	42
Tabell 5: Bestemmelse av grenseverdi. ....	52
Tabell 6: Bestemmelse av ladningsmengde, Q. ....	52
Tabell 7: Bestemmelse av forsetning og hullavstand fra Vb. [22] .....	53
Tabell 8: Anbefaling for bunnladning, fyllingsgrad og uladet del fra Vb. [22].....	54
Tabell 9: Resultater fra totalsonderinger oppstrøms påhugg. [53] .....	57
Tabell 10: Viser hovedtrender i kartlagt oppsrekking av bergmasser. [3].....	60
Tabell 11: Forsetning og hullavstand ved Vb = 1,1m.....	80
Tabell 12: Samletabell for Q-systemts parametere. Inndata for dimensjonering av sikring i heng og vederlag.....	90
Tabell 13: Resultater fra Q-systemet (sikring i heng og vederlag).....	91
Tabell 14: Inndata for dimensjonering av veggsikring.....	92
Tabell 15: Resultater fra Q-systemet (vegsikring).....	93
Tabell 16: Kriterier med vekting.....	100
Tabell 17: Poengfordeling for kostnad. ....	101
Tabell 18: Poengfordeling for miljø. ....	102
Tabell 19: Poengfordeling for fremdrift. ....	103
Tabell 20: Poengfordeling for helse og sikkerhet .....	104
Tabell 21: Resultat av poengfordeling fra sammenligning.....	108

## Tunnel- og sprengningsordliste

Faguttrykk	Forklaring
Forsager	Sprengstoffladning eller tenner som ikke har detonert. Udetonert sprengstoff.
Forsetning	Korteste avstand mellom to borehull målt i utslagsretningen
Forskjæring	Bergskjæring inn mot tunnelpåhugg
Gjennomslag	Sted hvor tunneldriving avsluttes
Heng	Taket i tunnelen
Hullavstand	Avstand mellom nabohull i en rad
Inndrift	Målt økning av tunnelens lengde etter en salve
Kontur	Tilsiktet flate i berget etter sprengning
Overdekning	Avstand fra tunnelheng til terrengoverflate enten i form av fjell eller løsmasser
Påhugg	Sted hvor tunneldriving starter
Salve	Betegnelse på steinmassen som sprenges ut. Angir også selve sprengningen
Skjæring	Utsprengt berg i dagen for å gi plass til vei, bane, bygg mm.
Stross	Utvidelse av tverrsnittet
Stuff	Endeveggen i tunnelen. Sted hvor man angriper med en salve
Såle	Gulvet i tunnelen
Tverrsnitt	Størrelsen på tunnelen
Tunneldriving	Bygging av tunnel
Vederlag	Overgangen mellom vegg og heng
[1] [2]	

# 1 Introduksjon

I dette kapitlet formidles bakgrunnsinformasjon som gruppen anser er relevant å kunne på forhånd av oppgaven. Oppgavens formål, avgrensninger og oppbygging inngår også i dette kapitlet. Kapitlet avsluttes med informasjon om vegen i dagen, som er dagens løsning for adkomst frem til utløpet. Denne informasjonen vil bli vesentlig for oppgaven.

## 1.1 Bakgrunn

Gruppen tok kontakt med Skanska Anlegg høsten 2019 med forespørsel om et aktuelt samarbeid i forbindelse med bacheloroppgave. Skanska stilte seg positive til dette. Videre formidlet gruppen at det var mest interessant med et prosjekt innenfor tunneler og/eller ingeniørgeologi. Vannkraftprosjektet på Nedre Fiskumfoss ble foreslått da det var aktuelle problemstillinger der innenfor gruppen sine ønsker, samt en nærliggenhet til Trondheim. Gruppen tok kontakt med prosjektleder ved prosjektet og ble presentert med aktuelle oppgaver rundt krevende adkomstveg til utløpet. En av oppgavene tok for seg driving av tunnel fremfor veg i dagen som adkomst til utløpet.

Skanska vil ikke gjøre noen endringer på planene som er lagt for prosjektet i dag, men ønsker en sammenligning på krevende veg mot tunnel for lignende arbeid senere. Sammen med veileder og ekstern veileder ble gruppen enige om å prosjektere og lage plan for utførelse av tunnel, for så å sammenligne denne mot vegen ut ifra utvalgte kriterier.

Målet med oppgaven er å øke egen forståelse for tunneldrift og hva som legger grunnlaget for ulike vurderinger i prosjekter. I løpet av oppgaven vil gruppen ha fått innsikt i samarbeid, anleggsvirksomhet og teknologibruk i anleggsbransjen.

## 1.2 Formål og avgrensinger

Følgende problemstilling er valgt for oppgaven:

*«Sammenligne prosjektert tunnel mot veg i krevende terreng.»*

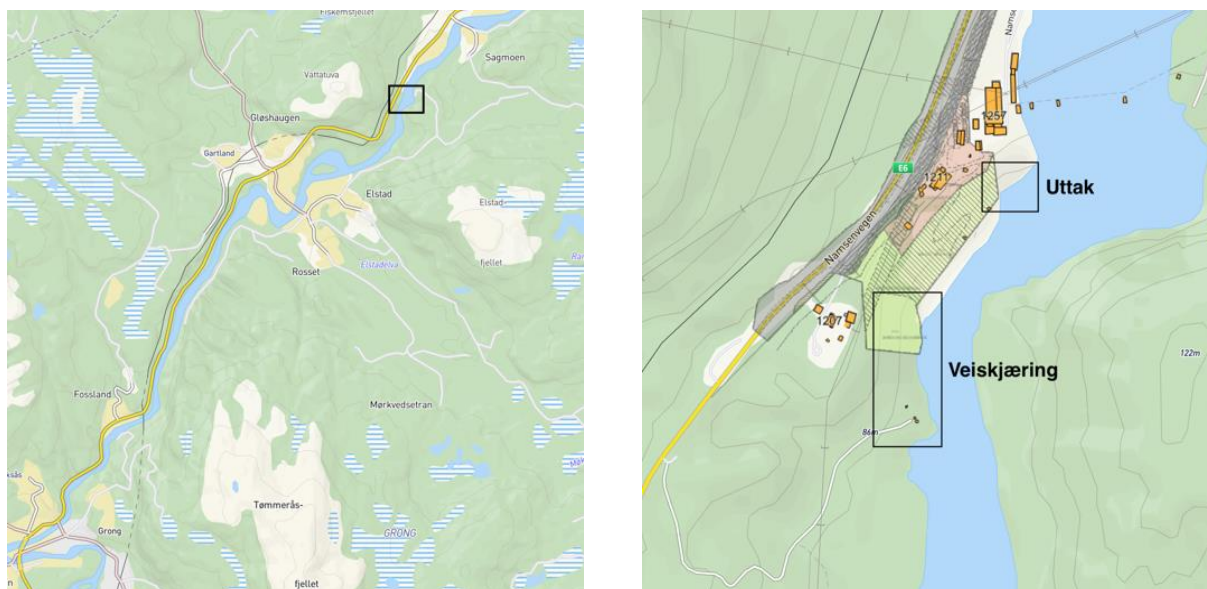
Oppgaven går ut på å prosjektere og lage gjennomføringsplan for en alternativ adkomst til et kraftutløp som skal utvides. Den alternative adkomsten skal prosjekteres som tunnel ved å bruke digitale verktøy og tilgjengelige beregningsmetoder. Produserte resultater skal danne grunnlag for å sammenligne tunnel mot dagens løsning. Det vil bli gitt konklusjon for best egnede løsning basert på kriteriene kostnad, miljø, fremdrift og helse og sikkerhet. Oppgaven kan brukes til vurdering for lignende prosjekter i fremtiden.

Grunnet vanskelig fremkommelighet i studieområdet og pågående arbeid på veg i dagen, vil det være vanskelig å gjennomføre egne prøver og analyser av skråningen. Det skal derfor brukes tilgjengelige data fra prosjektet og fornuftige antagelser, slik at det blir en mest mulig realistisk prosjektering. Det bør gjennomføres befaringer og intervjuer for å støtte opp faglige bestemmelser.

Det er primært fokusert på utarbeidelse av tunnel i oppgaven. Tilgjengelig rapporter og erfaring på prosjektet vil danne sammenligningsgrunnlaget for veg i dagen. Her vil det være viktig å se på både tidlig planlegging og faktiske forhold etter utført arbeid opp mot kostnader, miljø, fremdrift og helse og sikkerhet.

### 1.3 Beskrivelse av studieområdet

Studieområdet er tilknyttet utbyggingen av Nye Nedre Fiskumfoss kraftverk, som befinner seg i Grong Kommune i Trøndelag. Kraftverket ligger ca. 3 timer med bil nord-øst for Trondheim. Adkomstvegen som er under utbygging er nødvendig for å få utvidet eksisterende utløp for å øke kapasiteten til det nye kraftverket. Vegen som etableres til utløpet i dag, samt tunnelen som skal prosjekteres, ligger sør-vest for kraftanlegget. Figur 1 viser oversikt over studieområdet.



Figur 1: Kart over studieområdet.

Utløpet ligger på ca. kote 30 ved elven og terrenget stiger ca. 30-40 meter opp en gammel steinfylling til E6 ved ca. kote 70-80. Terrenget fra veiskjæringen til utløpet har helning mellom 30-45° og består av vegetasjon, berg i dagen eller steinfylling [3].

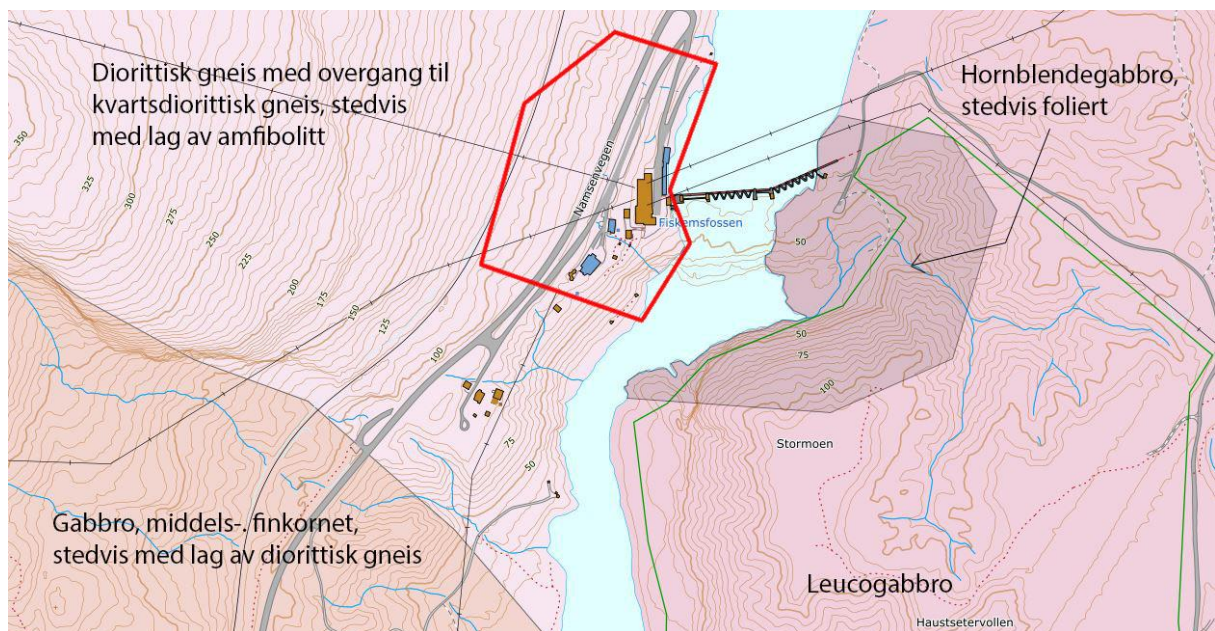
## 1.4 Geologi

I bacheloroppgaven ligger følgende materiale til grunn for ingeniørgeologiske beskrivelser og vurderinger.

- Ingeiørgeologisk rapport for Nye Nedre Fiskumfoss kraftverk, Norconsult.
- Supplerende grunnundersøkelser Nye Nedre Fiskumfoss, Norconsult.
- Ingeiørgeologiske notater, Norconsult.
- Berggrunnskart, NGU.

Geologien i studieområdet ligger i Helgelandsdekkekomplekset, en tektonisk enhet i øverste dekkserie. Komplekset strekker seg fra nordre Grong, helt til Oldenkulminasjonen i nord. Dekket består hovedsakelig av dypbergarter, gneiser/glimmerskifre og karbonatbergarter [4].

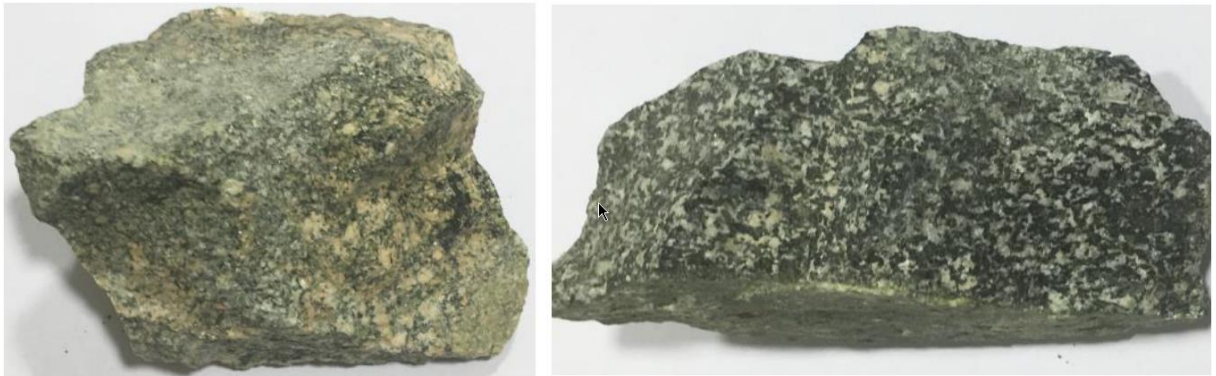
Selve prosjektområdet består, i følge berggrunnskart fra NGU (Figur 2), av «diorittisk gneis; med overgang til kvartsdiorittisk gneis, stedvis med lag av amfibolitt». Gneis er en metamorf bergart som er formet av andre bergarter under stort trykk og varme. Mineralene i gneis er avhengig av hvilke mineraler som var med under omdanningen. Siden mineralene er samme som i dioritt, kan gneisen beskrives som diorittisk gneis [5]. Omtrentlig 500 meter sør-vest for kraftverket ligger det en forkasting der vestsiden består av «gabbro, middels – finkornet, stedvis lag med av diorittisk gneis» [3].



Figur 2: Berggrunnskart fra NGU. Kraftverket vist med rød innringing. [4]

I veggene i eksisterende kraftstasjon er det hovedsakelig observert en veksling mellom to bergarter [3]:

- En middelskornet lys bergart. Trolig diorittisk til kvartsdiorittisk gneis. En del synlige kvartskrystaller. Svakt foliært.
- En middels til grovkornet og mørkere bergart med en blanding av mørke og lyse mineraler. Trolig krystallin gabbro med svak tendens til omdanning/foliasjon.



*Figur 3: Observerte bergarter i kraftstasjon. Til venstre: Gneisen. Til høyre: Trolig krystallin gabbro. [3]*



## 1.5 Klima og miljø

Namdalen ligger i Nord-Trøndelag og er kategorisert som ett innlandsklima. Årlig er det relativ høy nedbørsmengde i området. Årlig nedbørsmengde ligger i snitt på rundt 1500 mm/år. Det faller vanligvis mest nedbør på høsten. Temperaturen i området varierer fra 25°C som varmeste på sommerhalvåret, og -25°C som kjøligste på vinterhalvåret. Det faller mye snø i området, og under vinterhalvåret er det ikke uvanlig med snødybder opp mot 80 cm [6].

Elven som kraftverket høster sin energi fra, Namsen, er Trønderlags største elv. Namsen springer ut fra Store Namsvatnet i Røyrvik, og munner ut i Namsenfjorden i Namsos. Total lengde er 230 kilometer, og det er etablert 9 kraftverk langs elven hvorav NTE eier alle. Flere av kraftverkene er utstyrt med laksetrappet som har gjort det mulig for fisk å svømme forbi hva som ellers hadde vært en hindring. Før utbyggingen av kraftverk var Namsen en viktig tømmerfløtningselv [7].



Figur 4: Illustrasjon av elveløpet til Namsenvassdraget. [67]

Namsen byr på et rikt dyreliv hvor fiskebestanden hovedsaklig består av ørret og laks. Den relikte laksearten Namsblanken, også kalt småblank, har sitt naturlige leveområde på den om lag 85 kilometer lange strekningen fra Namskroken til Nedre Fiskumfoss. Arten er unik i både nasjonal og internasjonal sammenheng ved at den ikke begir seg ut i havet på næringsøk, men at den lever hele sitt liv i en spesiell elv. Namsblanken er mye mindre enn vanlig laks, og genetisk sett svært forskjellig fra sjøvandrende laks. Laksen har sin gytetid på høsten. Strekningen fra Nedre Fiskumfoss til Grong utgjør de viktigste gyteområdene for laks i hele hovedvassdraget [7].

Namsen regnes som en av Norges beste og viktigste lakseelver, og har eget beskyttelsesregime. Årlig kommer det mange fiskere fra hele Europa for å være med på fangsten. Fiske er for øvrig anslått til å gi mellom 20 og 35 tonn, kun slått av Tanaelva i Karasjokk [7].



Figur 5: Til venstre: Seriøs sportsfiske like nedstrøms for kraftverket [71]. Til høyre: Namsblank. [70]

## 1.6 Oppbygging av oppgaven

Opgaven er delt opp i hensiktsmessige kapitler. Dette for å opprettholde orden, og for fremstilling av oppgaven og fremgangsmåter på en kronologisk måte. Kapittel 1 er introduksjonsdelen. Her formidles oppgavens avgrensninger, formål og bakgrunnsinformasjon som gruppen anser som nødvendig for leseren å kunne. Kapittel 2 er oppgavens teoridel, som legger grunnlaget for beslutninger og prosjektering i de påfølgende delene av oppgaven. Etter kapittel 2 skal leseren ha nok kunnskap til å følge oppgavens videre resonnement og beslutninger. Kapittel 3 er oppgavens metodedel, som vil ta for seg totalprosjektering av adkomsttunnelen.

I kapittel 4 samles alt av resultater fra oppgavens tidligere deler. Kapittel 5 vil være dedikert til diskusjon og sammenligning mellom veg (dagens løsning) og tunnel (prosjektert løsning). Kostnad, miljø, fremdrift og helse og sikkerhet vil være sentrale kriterier i diskusjonen som vil danne tilløpet for konklusjonen. Kapittel 6 vil være rettet opp mot innovasjon og utvikling. I Kapittel 7 presenteres konklusjon som skal svare på oppgavens problemstilling. Konklusjonen vil som tidligere nevnt ha nær tilknytning til kapittel 5.

Litteraturliste og vedlegg er oppført under separate kapitler.

## 1.7 Informasjon veg i dagen og situasjon

I forbindelse med utbyggingen av Nye Nedre Fiskumfoss er det anlagt en adkomstveg frem til kaiområdet ved utløpet. I utgangspunktet var det byggherre og konsulent som planla vegen, da Skanska var mest involvert i planleggingen av kraftverket. Tidlig i planleggingen foreslo Skanska å drive en tunnel som adkomst ned til uttaket. Forslaget ble forkastet, og det ble bestemt at adkomst skulle oppnås med veg i dagen [8].



Figur 6: Venstre: Oversikt skogsbilveg [66]. Høyre: Utklipp av adkomstveg fra Navisworks.

Vegen er totalt 918 meter lang og første strekning følger eksisterende skogsbilveg. Resten av strekningen er anlagt i ny trasé som blant annet beveger seg gjennom en bratt skjæring før den går over i en gammel fylling langs elven. Vegen er primært utbygd for å transportere maskinelt utstyr ned til kaiområdet for å arbeide på utløpet. Senere vil veien bli brukt til enkelte arbeider/inspeksjoner ved utløpsområdet. [9]. Veien vil også kunne anvendes av friluftsfolk og fiskere som ønsker å komme til området nedstrøms for kraftverket med bil.

Adkomstvegen ble i utgangspunktet ansett som en grei jobb uten store vanskeligheter. Prøver tatt til og med eksisterende skogsbilveg viser til faste friksjonsmasser. Løsmassene vurderes som stabile og faste masser uten fare for utrasning. Etter skogsbilvegen har det ikke vært mulighet for å ta prøver da prøvemaskiner ikke har kommet til. Det ble gjort antakelser for videre prosjektering der det i skjæringen ble påregnet dårlig stabilitet ved tynt løsmassedekke. Det ble avgjort å sikre med støttemur ved topp bergskjæring for å opprettholde totalstabiliteten [10]. De bergtekniske

arbeidene for skjæringen ble klassifisert til pålitelighetsklasse 2 og vanskelighetsgrad middels ihht. Eurokode 7 [9].

Situasjon etter arbeidsstart har vist seg å være mer krevende. Utbedringen av eksisterende skogsbilveg har vist seg å ha mindre stabile løsmasser enn først antatt. Entreprenøren rapporterte om sig fra pel 120 til 150, som i følge rapport skyldtes et vannførende lag i en skjæring som er ugunstig for løsmassene i området [11]. I ettertid er det derfor utført nye vurderinger av geotekniker fra Norconsult for utførelsen av den første strekningen. Etter nye undersøkelser og vurderinger ble det bestemt å utføre masseutskiftning med velgradert sprengstein i tillegg til en fiberduk (klasse 4) mellom fyllmasser og eksisterende løsmasser [11].

For strekning gjennom skjæring (pel 650 – 780) var det større løsmassemengde enn ventet. Figur 7 dokumenterer løsmasser med vertikal dybde inntil 6m. Dette har resultert i tung sikring av løsmasser med jordnagling og geonett [12].



Figur 7: Bilde av skjæring som viser dybde på løsmasser. [12]

Vegen skulle etter planen være ferdig november 2019. Merarbeid med skjæringen har tidsmessig kostet prosjektet en sesong. Dette har ikke gitt direkte konsekvenser for ferdigstilling av prosjektet, da det er lagt inn buffer for slike situasjoner. Det har imidlertid tatt bort bufferen fra annet arbeid i prosjektet. Dykkerarbeid ved utløpet skulle hatt oppstart sommeren 2020, men dette er utsatt til 2021. Ved opptreden av ytterligere problemer på vegen eller i annet arbeid, kan det medføre at hele prosjektet blir forsinket [8].

### *Kostnad og fremdrift*

Her fremkommer i grove trekk faktiske fremdrifts- og kostnadsestimat fra Skanska. Estimatenes er hentet inn i etterkant av tunnelprosjektering og gjelder frem til nedstrøms gjennomslag som befinner seg på ca. pel 780:

*Tabell 1: Hovedaktiviteter veg i dagen (Vedlegg M-2: Aniksdal, Mads).*

<b>Aktivitet</b>	<b>Tid</b>
Skogrydding og etablering av luningsplass	Mars 19 – 12.04.19
Etablering av veg	Mai 2019
Fiskeperiode 2019 (Stans arbeid)	01.06.19 – 05.08.19
Etablering av kjørbar veg frem til pel 650	05.08.19 – 02.09.19
Stopp i arbeidene i avvente på prosjektering	02.09.19 – 17.09.19
Levering av materiell til løsmassesikring	18.09.19 – 24.09.19
Løsmassesikring, uttak av berg og etablering av veg frem til pel 780 (vinterstengt 2 uker)	25.09.19 – 20.03.2020
Etablering av betongmur	Ikke startet
<b>Estimert total tid for 5 dagers uke, minus fiskeperiode, stans for prosjektering og vinterstengt</b>	<b>Uker: 39</b> <b>Dager: 195</b>

Frem til pel 780 har vegen en estimert kostnad i størrelsesorden 12 MNOK (Vedlegg M-2: Aniksdal, Mads).

### *Helse, miljø og sikkerhet*

Utbyggingen av vegen langs den populære lakseelven har medført et stort inngrep i terrenget. Vegen er 918 meter lang, og beveger seg i problemområdet gjennom en svært krevende skråning, se Figur 8. Arbeid i problemområdet med ustabile løsmasser og bratt helning har resultert i at flere stein- og løsmasseras har gått ut i elven. Entreprenør har også opplyst at det til tider har vært vanskelig å tilstrekkelig dekke til enkelte salver, noe som har forårsaket at sprengrester (stein, plast og udetonert sprengstoff) har havnet i elven [12].

Helse og sikkerhet er i varetatt ved hjelp av kontinuerlig oppfølging og vurdering av situasjonen. Ingeniørgeolog har gjennomført flere befaringer og utarbeidet notater for å sikre helse og sikkerhet for arbeidet med vegen.



*Figur 8: Bilde av vegskjæringen i området pel 650 til pel 780 (problemområdet). Innringet vises ras som har gått ut i elven. Bilde tatt av Skanska.*

## 2 Teoretisk grunnlag

Dette kapitlet tar for seg generell teori om tunneldriving, aktuell geologi, og bergklassifisering.

Definisjon på en tunnel:

En tunnel er definert som en underjordisk eller undersjøisk passasje for trafikk, transport eller overføring av noe. I denne oppgaven er det en tunnel som skal lede anleggstrafikk for adkomst [13].

### 2.1 HMS i bergarbeid

Bergarbeid beskrives som:

*«Alle former for brytning av berg, inkludert arbeid med kontroll, rensk og sikring av berget. I tillegg omfattes lasting og transport av sprengt stein innenfor arbeidsplassen i forbindelse med: bygging av tunneler og bergrom for jernbaneprosjekter, veiprosjekter, kraftverk, parkeringshus, sjakter og andre bergrom.»* [14]

I utførelse av bergarbeid er det viktig med god HMS-struktur for å ivareta et godt arbeidsmiljø hvor fagarbeidere og funksjonærer kan jobbe trygt og trives. At arbeidstaker skal kunne forlate arbeidsplassen i like god psykisk og fysisk fatning som ved ankomst, er en populær visjon innad i flere organisasjoner [14].

For å kunne oppnå et sikkert arbeidsmiljø under jord er det viktig å hele tiden utvikle den generelle kompetansen og kunnskapen om sikkerhet tilknyttet arbeidsplass, arbeidsutstyr og arbeidsoppgaver. Byggherren har det overordnede ansvaret for at prosjektet gjennomføres på en slik måte at kravene til sikkerhet, helse og arbeidsmiljø tilfredstilles på arbeidsplassen. Risikoforhold som er forårsaket av byggherrens planer skal alltid kartlegges på forhånd av prosjektet [14].



Et byggeprosjekt er et dynamisk prosjekt som hele tiden forandrer størrelse og form. For arbeidstakeren betyr dette at nye farer stadig oppstår. God risikostyring kjennetegnes ved kontinuerlige analyser og evalueringer av nye faremomenter, som til slutt resulterer i nye, eller utbedrede sikkerhetstiltak på arbeidsplassen. Både før og under prosjektet skal det utføres systematisk helse-, miljø- og sikkerhetsarbeid. Dette innebærer blant annet utarbeidelse og oppfølging av:

- HMS-plan
- Beredskapsplan
- Arbeidsmiljøtiltak
- Rapporteringssystem for avvik, uhell og andre uønskede hendelser.

Risikostyring og systematisk HMS-arbeid tilstreber alltid en proaktiv tilnærming i den forstand at farer og uønskede hendelser skal identifiseres og håndteres på forhånd, før de opptrer. Det er på denne måten man unngår ulykker [14].

## 2.2 Tunnelgeologi

### 2.2.1 Oppsprekning

Sprekker er diskontinuiteter i bergmassen med millimeter til centimeters tykkelse. Utviklingen til sprekker vil være forskjellige for de ulike bergartene [15]. Riss, stikk, sprekker og slepper er detaljoppsprekninger som gjennomsetter bergmassen. Man skiller mellom primært og sekundært dannede sprekker. Primært dannede sprekker kommer fra naturlige påkjenninger og danner ofte spesielle mønstre. Disse blir gjerne kalt detaljsprekkemønstre. Sekundært dannede sprekker oppstår som følge av påkjenninger i bergmassen fra menneskelig aktivitet [16].

Sprekker sees ofte i sammenheng med detaljstabilitet og beskrives etter orientering (strøk og fall), sprekkeavstand, ruhet, utholdenhet og innhold av sleppemateriale [16].

### 2.2.2 Svakhetssoner

En svakhetsone er en sone der det er lavere fasthet i berget enn omkringliggende bergmasse. Tykkelsen på en svakhetsone kan variere fra centimeter til flere hundre meter [15]. I dagen vil svakhetssonene gi seg til kjenne ved markerte kløfter og/eller depresjoner i topografien. Ved studering en svakhetsson i topografien vil det være vanskelig å gi noe mer enn en generell vurdering. I tunneler og bergrom vil det være lettere å si noe om egenart og størrelse til sonen. Svakhetssoner må beskrives med hensyn til størrelse, oppbygning, leirinnhold og sidebergets karakter, og kan deles inn i to hovedtyper. De to hovedtypene for svakhetssoner er «svake bergartslag» og «tektoniske bruddsoner» [16].

#### *Svake bergartslag*

Svake bergartslag er kort forklart bergarter som er svakere enn omliggende bergarters styrke, og må sees i forhold til sidebergarters styrke. Svake bergarter kan være primært dannet med høyt innhold parallellorienterte mineraler eller med svak mineralkornbinding. Svakere bergarter kan også forekomme på grunn av forvitringprosesser [16].

#### *Tektoniske bruddsoner*

Tektoniske bruddsoner er et resultat av tektoniske spenninger og bruddsonen kan karakteriseres ved at det har foregått en bevegelse langs den. Man deler vanligvis sonene inn i strekk- og skjærbruddsoner, men når dannelsen ikke er entydig klarlagt betegnes de som spaltesoner og knusningssoner. Spaltesone er karakterisert som relativt uoppsprukket og uforvitret sideberg med en definert tykkelse. Knusningssoner er karakterister ved at de har gradvis overgang fra tydelig oppknust berg via små slepper og stikk til helt sideberg. Knusningssonene kan variere i utseende,

materialinnhold og stabilitetsmessig vanskelighetsgrad. Det bør derfor gjøres en oppdeling av undergrupper for disse [16].

### 2.2.3 Spenningsbølger i fjell

Rystelser er seismiske bølger som forplanter seg gjennom et materiale. Egenskapene til berget er avgjørende for hvordan bølgene forplanter seg, og vil spres og dempes ulikt gjennom forskjellige lagdelinger, sprekker og grunnvannstand. Vanlig forplantningshastighet for berg variere fra 4000 til 6000 m/s [17].

Det er generelt tre typer bølger som opptrer ved fjellsprenning [17]:

- P-bølger, produserer vekselvis trykk- og strekkspenning. Forplantes i bølgens forplantningsretning.
- S-bølger, skjærbølger som svinger normalt på bølgenes utbredelsesretning.
- Overflatebølger.

Det er flere parametre som blir målt ved fjellsprenning, men som mål for skaderisikoen på byggverk er det parametere svingehastighet som blir benyttet. Svingehastighet er hastigheten partikkelen har når den passerer likevektstilling målt i mm/s. Altså hastigheten til en partikkel i berget skapt av en vibrasjon [17].

### 2.2.4 Grunnvann

Grunnvann er alt vann som strømmer gjennom eller oppbevares under grunnvannspeilet i bergarter og løsmasse [18]. De fleste bergarter i Norge er tette og vannet vil strømme mellom sprekker og i små kanaler. Bergarter eller løsmasse som kan føre vann kalles akvifer. I Norge har vi derfor stort sett bergarter som er sprekkeakviferer, da vannet ikke strømmer gjennom bergarten [19]. Kretsløpet til grunnvann starter ved nedbør. Når det regner føres vannet ned i berggrunnen og under grunnvannspeilet. Permeabiliteten til grunnmassene bestemmer hvor fort vannet transporteres gjennom massene, og mesteparten av vannet vil til slutt ende opp i havet. Herfra vil vannet fordampe opp i atmosfæren og kretsløpet er dannet [18].

Tunnelarbeid blir ofte utført under grunnvannspeilet og vannet kan føre til flere problemer. Lekkasje fremme på stuff kan gjøre det vanskelig å fortsette videre arbeid før tiltak er utført. Dette kan i noen tilfeller være tidkrevende prosesser. For slepper og knusningssoner kan grunnvann føre til utvasking og gi alvorlige stabilitetsproblemer. Store lekkasjer kan føre til endring av grunnvannsnivået og gi setningsskaper på konstruksjoner og nærmiljø. Under ladeprosessen kan innlekkasje skylle sprengstoffet ut av ladehullene. Det er derfor viktig å ha kjennskap til problematikken og vite hvilke tiltak som kan iverksettes for god tunneldrift [18].

### 2.2.5 Stabilitetsproblemer

Tunneler bygges i ulike bergmasser med varierende forhold til strukturer, oppsprekning, svakhetssoner, bergspenninger, spenningsnivå og vannforhold. Forholdene kan ha stor variasjon over bare noen meter i berget. Dette gjør klassifiseringen av stabilitetsproblemer i tunneler vanskelig. Stabilitetsproblemene kan allikevel deles inn i fire hovedtyper [16].

#### *Utfall av masser*

Utfall av masser på grunn av dets tyngde, og/eller mangel på heft Dette skjer vanligvis i soner med lav spenning, ved fremstikkende hjørner og i svakhetssoner. Vannforhold kan også ha betydning ved sprekkevannstrykk eller reduksjon av friksjon [16].

#### *Avskalling*

Avskalling i form av sprak skjer hvis tangentialstyrken i deler av konturen overskrider bergmassens styrke. Avgjørende faktorer vil være spenningsforhold og materialstyrke, og vann kan ha innflytelse på materialstyrken [16].

#### *Utpressing av masse*

Utpressing av masse fra svakhetssoner eller svake bergarter. Avgjørende faktorer vil være materialeegenskapene, spenningssituasjonen og vannforholdene. Utpressing skyldes enten svelletrykk i svelleleire når den kommer i kontakt med vann, eller bergtrykkets effekt på svak bergmasse (skviseberg). For skviseberg kan vann også føre til at indre friksjon reduseres i den oppknuste massen [16].

#### *Utvasking av masser*

Utvasking av masser fra svakhetssoner eller lettsmuldrende bergarter. Inntreffer når svakhetssonen er vannførende eller når svakhetssonen kommer i direkte kontakt med vannførende sprekke med høyt trykk i kontur [16].

## 2.3 Tunneldriving

### 2.3.1 Konvensjonell driving

Konvensjonell driving utføres ved boring og sprengning og er den dominerende byggemetoden for tunnel i Norge. Metoden er fleksibel og er egnet i alle bergarter. I Norge har det blitt utviklet en metode som kalles «Norwegian tunneling method». Da berget i Norge stort sett er av kvalitet der berget benyttes som hovedkonstruksjonsmateriale, kan fremdrift og stabilitetssikring vurderes forløpende. Metoden bygger på et «design as you go» prinsipp, og er svært fleksibelt [20]. Metoden går i korte trekk ut på at man utfører sondering. Ved behov gjennomføres forinjeksjon med tettende masser for å redusere innlekkasje. Det vil så drives tunnel i sprengningssekvenser. Typisk sondering/forinjeksjon gjøres 20-30 m foran stuff, med følgende tre salver med sekvenslengde på ca. 5 m. Lengden av salven vil være avhengig av stedlige forhold og krav til rystelser [21].

### 2.3.2 Syklus for tunneldriving

#### *Sondering/forinjeksjon*

Det bores hull rundt tunneltverrsnittet i vifteform 20-30 m foran stuff. Sonderingsboringen vil gi en indikasjon på videre forhold i berget. Injeksjon vurderes ut ifra forhold og lekkasje fra berget. Injeksjon gjøres med sement som pumpes inn i fjellet for å tette sprekker [21].

#### *Boring og lading*

Boring gjøres som oftest med tunnelborerigg med størrelse egnet for tunnelens tverrsnitt. Vanlig borehullslengde er 5,2 m og antall hull varierer ut ifra størrelse på profil. Etter boring lades hullene med sprengstoff [21].

#### *Sprengning:*

Sprengning tilpasses fjellets tilstand og omkringliggende miljø. Salven sprenges som oftest ved bruk av intervalltennere. Intervalltennere gjør at ikke alt sprenger samtidig og har en forsinkelse mellom 0 – 6 sekunder med NONEL tennere. Man ønsker å lage et kutt som åpner salven først, slik at massene og trykket har en vei å gå. Om nødvendig kan man gå ned på salvelengde eller dele opp salven [21].

#### *Lufting*

Etter sprengt salve vil det legges seg skytegasser i tunnelen. Det er viktig at disse luftes ut før videre arbeid fortsetter [21].

### *Lasting*

Etter sprengt salve må massene transporteres ut til tipp eller andre steder på anlegget. Dette gjøres som oftest med dumpere og lastere [21].

### *Rensk og sikring*

Etter at berget er sprengt vil det være løse masser langs konturen. Disse må renskes bort, noe som blir gjort maskinelt med pigg eller for hånd med spett. Blokker og sprekker i fjellet må så sikres med bolter. Ofte sprutes det etterpå med fiberarmert sprøytebetong [21].

### *Oppmåling*

Før ny syklus starter må det som oftest utføres måling av stikker for å verifisere riktig fremdriftsretning [21].

## 2.3.3 Tunnelsprengning

Ved tunnelsprengning vil fremdriftsretningen alltid stå loddrett på angrepsflaten, stoffen, og man har kun en fri flate som salven kan brytes ut mot. En tunnelsalve er dermed mye kraftigere innspenst enn ved sprengning i dagen hvor man har flere frie flater. Dette krever at man lager et innhugg (en kutt) i stoffen som resten av salven kan bryte mot [22].

For fremdriften ønsker man størst mulig inndrift samtidig som man ønsker minst mulig rensk, overfjell og skade på gjenstående kontur. Sprengbarheten er avhengig av sprengstofftyper og bergets egenskaper. Det skilles mellom god, middels og dårlig sprengbarhet. Faktorer for bergets egenskaper er anisotropi, densitet, lydshastighet og avsetningens oppsprekning. Etter at drivingen er påbegynt er det viktig at sprengningsplanen optimaliseres. Alle faktorer er med på å påvirke totalkostnader og sluttproduktet [22].

## 2.3.4 Forskjæring og påhuggsflate

En forskjæring er en vertikal anleggsflate med tilstrekkelig overdekning til at en tunnel kan drives på konvensjonelt vis. Overdekning bør være minst halvparten av tunnelens spennvidde, dermed er det som oftest ikke behov for ekstra tiltak ved sprengning og sikring. Det kan allikevel utføres forskjæring med overdekning ned til 1-2m. Dette krever mer planlegging av drive- og sikringsplan. Kvaliteten på bergmassen vil i alle tilfeller være avgjørende [23].

Det er mest gunstig at påhuggsflaten er loddrett og står normalt på tunnelens senterlinje. Flaten bores og sprenges med særlig omtanke å for unngå ekstra sikring med eksempelvis bolting og sprøytebetong. Dette kan gjøres ved nøyaktig boring og skånsom lading, som kortere hjelpehull mellom ladede hull eller sømboring [23].

Sikring av berget kan gjøres på flere måter. Ved påhugg under grunnvannstand kan injeksjon være aktuelt. Det vil uansett forhåndssikres med bolter forbundet med armering og sprøytebetong. Dette gjøres som oftest med 6m lange, fullt innstøpte Ø 32 mm kamstålbolter utenfor sprengningsprofilet. Disse stikker ut minst 0,5 m fra overflaten og blir forbundet med armering som så dekkes med sprøytebetong. Mengden bestemmes utifra oppsprekking og bergmassekvalitet. Minstekrav er en rast med bolter fra vederlag til vederlag bundet med bergbånd eller Ø 16 mm kamstål, sprøytet med fiberfri betong [23].

For sprengning på påhugg er det to hovedregler som gjelder for bore- og salveplan. Korte og delte salver, samt skånsom sprengning mot kontur. Det er også mulig å starte med driving av en mindre pilot, for så å strosse resten av tverrsnittet [23].

## 2.4 Sprengstoff og tennmidler

### 2.4.1 Tunnelsprengstoff

For tunnelsprengning er det idag stort sett bulksprengstoff som blir brukt. Før dagens system var det «ammoniumnitrate-fuel oil», eller ANFO, sammen med mekanisk ladeutstyr som ble brukt. Fra å gå fra patronert sprengstoff effektiviserte ANFO ladeprosessen og drivehastigheten økte. ANFO er et effektivt sprengstoff og hadde også et betydelig lavere prisnivå enn andre sprengstoffet, noe som gjorde sprengstoffet til enerådende. Flere ulemper ved sprengstoffet som mye røyk, giftige gasser og dårlig vannbestandighet gjorde at man måtte finne et alternativt sprengstoff uten disse negative egenskapene. I 1995 introduserte Dyno Nobel et nytt bulkemulsjonssystem kalt SSE-systemet beregnet for tunnelsprengning og annen sprengning under jord. Sprengstoffet går under navnet Slurry og er det sprengstoffet som stort sett blir brukt under jord i dag [22].

### 2.4.2 SSE-systemet (Slurry)

SSE står for Site Sensitized Emulsion, som vil si at sprengstoffet gjøres følsomt på stedet. Emulsjonen består av en saltløsningsfase og en oljefase. Disse blandes sammen til en «vann i olje» emulsjon og vil i denne formen ha en tetthet på ca. 1,4 kg/l. I denne formen klassifiseres stoffet som 5.1 oksiderende stoff ihht. ADR bestemmelsene, som vil si at stoffet ikke er underlagt samme lagrings- og transportbestemmelser som konvensjonelt sprengstoff [24].

Systemet består av en ladeenhet, to lagringstanker og pumper for emulsjonsmatrisen og sensibiliseringsmiddelet. Ved lading vil systemet stå fremme på stoff og det er først når stoffene pumpes inn i borhullet at det blandes og blir et sprengstoff. Her dannes gassblærer, noe som fører til lavere tetthet (0,90 kg/l – 1,20 kg/l [24]) og følsomheten på emulsjonsmatrisen øker [22].

#### *Strengladning*

I tillegg til forbedret miljø under jord og god vannbestandighet, er dette sprengstoffet universelt og kan brukes i alle hullene i en tunnelsalve. For at dette skal være mulig må man oppnå ønsket ladningskonsentrasjon i de ulike delene av salven. Konturhullene trenger eksempelvis lavere ladningskonsentrasjon enn strossehullene. Dette blir løst ved å bruke teknikken strengladning som går ut på at ladeslangen trekkes ut av hullet automatisk ved hjelp av en mekanisk retraksjonshastighet. Pumpekapasitet og retraksjonshastighet bestemmer mengden sprengstoff som legges i en sammenhengende streng i borehullet. For hull med lavere ladningskonsentrasjon er det lagt inn en forsinkelse i bunnen av hullet som sørger for at det ligger igjen en bunnladning sammen med tennpatronen. Tennpatronen sammen med tenner stikkes inn i enden av ladeslangen



og blir skjøvet ut sammen med sprengstoffet når ladingen begynner, og vil på denne måten være i bunnen av hullet sammen med en eventuell bunnladning [22].

#### 2.4.3 Nonel LP

Nonel LP er et tenningsystem designet spesielt for tunneldrift. LP-systemet skal gi tilstrekkelig forsinkertid mellom sprengningsintervallene til at fjellet kan bevege seg fremover uten å stoppe opp. Tennerne har individuell forsinkelse og initiering skjer momentant. Systemet har 33 intervallnumre fra 0 til 6000ms. Initiering av Nonel-systemet blir vanligvis gjort med ringkoblet detonerende lunte. Dette gjøres ved at Nonel-slangene samles i bunter på maks 20 stk pr. bunt og bindes sammen med detonerende lunte [22].

#### 2.4.4 Elektronisk tenning

Elektronisk tenning er et svært modulerbart tenningsverktøy. Her vil en forprogrammert elektronisk chip styre sprengningssekvensen. Dermed kan skytebas selv bestemme når ladningene skal detoneres for best tilpasset sprengning. Et slikt tenningsystem er aktuelt for sprengninger med spesielle krav til kontur, rystelse og fragmentering. Systemet er i dag dyrt om det sammenlignes med eldre tenningsystem. Ledningen i elektronisk tenning er koblet opp mot et elektronisk tenningsystem som har forprogrammert forsinkelsestid [25]. Det er tilknyttet fordeler resultatmessig og med tanke på miljøutslipp ved bruk av denne metoden. Bruk av elektronisk tenning for en tunnelsalve minsker plast i tunnelrøysa med ca. 50% i henhold til NFFs tekniske rapport nr.19 «Elektroniske tennere i tunnel» [26].

## 2.5 Bergklassifisering

### 2.5.1 Q-systemet

Q-systemet er utviklet av Norges Geotekniske Institutt (NGI) og er utgitt i 1974. I den tid var det ett betydelig behov for en norsk modell for bergklassifisering og bergsikring. I dag er metoden en av verdens mest kjente for klassifisering av bergmasser og sikringsbehov. Systemet skal være behjelpelig til å beregne stabilitet i fjellhaller og tunneler. Modellen er basert på bruk i norske bergarter, som generelt består av hardt berg med oppsprekninger. Dersom modellen skal brukes for svake bergarter vil det være høyst nødvendig å bruke en annen modell til supplering av Q-systemet [27].

Modellen baserer seg på empiriske metoder og undersøkelser. Dette vil si at det er viktig å observere hvordan berget ser ut i hulrommet. Observasjoner bør utføres av kompetent personell foran på stoffen, og gjerne på nært hold for å få med seg små brudd eller sprekkesystem. Løfteutstyr er anbefalt rundt heng og vederlag for å komme på nært hold, slik at de minste detaljene vises [27].

For Q-systemet er det tre hovedfaktorer som er vesentlig for resultatet, hvorav disse består av flere mindre parametere. Spenningsforhold, oppsprekkingsgrad og friksjonsforhold langs sprekken er hovedparameterne. For oppsprekkingsgrad, eller blokkstørrelsen, er det sprekken som dimensjonerer denne parameteren. Dette vil da være sprekkenes orientering eller avstand mellom hverandre. Friksjonsforhold langs sprekken er bestemt av en kombinasjon mellom ruhet, fylling og tykkelse på sprekke. Spenningsforhold er i stor grad avhengig av fjelldybde, anisotropi og tektoniske forhold [27].

For utregningen av Q-verdi inngår følgende parametere [27]:

RQD = Oppsprekkingsfaktor (Rock Quality Designation)

J<sub>n</sub> = Tall for sprekkesett

J<sub>r</sub> = Sprekkeruhetstall

J<sub>a</sub> = Tall for sprekkefylling

J<sub>w</sub> = Sprekkevannstall

SRF = Spenningsfaktor (Stress Reduction Factor)

I tillegg til bergmassekvaliteten (Q-verdien) er det to andre faktorer som er avgjørende for dimensjonering av sikring i tunneler. Disse faktorene er sikkerhetskravet og spennvidden/høyden

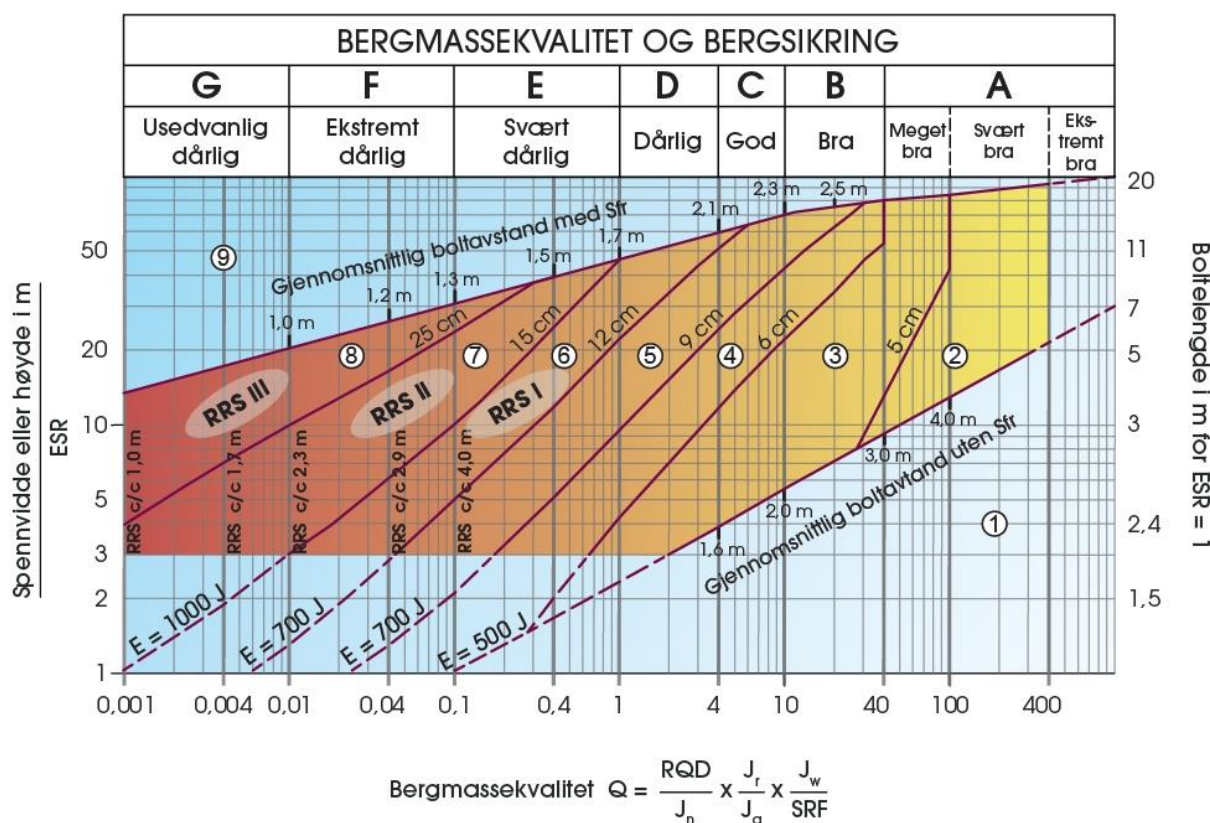
i tunnelen. Generelt vil sikringsbehovet øke med økende spennvidde og økende høyde på veggene. Sikkerhetskravet vil avhenge av anleggets formål. En veggtunnel eller en kraftstasjon vil begge trenge et høyere sikkerhetsnivå enn en vanntunnel eller gruve [27].

Spennvidden (eller veggshøyden) dividert med ESR gir den "ekvivalente dimensjonen" på følgende måte [27]:

$$\frac{\text{Spennvidde/Høyde}}{\text{ESR}} = \text{Ekvivalent dimensjon}$$

### Bergsikringsdiagram

Sikringsdiagrammet gir opplysninger om anbefalt bolteavstand, boltelengde og tykkelse på sprøytebetonglag. Diagrammet angir også dimensjonering av armerte sprøytebetongbuer i tilfeller hvor dette skulle være aktuelt. For å lese av diagrammet trenger man Q-verdi og ekvivalent dimensjon for bergrommet [27].



Figur 9: Bergsikringsdiagram Q-systemet. [27]

### Veggsikring

Sikringsdiagrammet gjelder i første omgang fra vederlag til vederlag. Sikringsomfanget for veggene er vanligvis mindre for høye og moderate Q-verdier ( $Q > 0,1$ ). Når Q-metoden benyttes for veggsikring, brukes veggshøyden i stedet for spennvidde, og den faktiske Q-verdien justeres ved hjelp av tabellen nedenfor [27]:

Tabell 2: Omregning av faktiske Q-verdier til Q-verdier for veggsikring [27]

I bergmasser med god kvalitet	$Q > 10$	Multipliser Q-verdiene med en faktor på 5.
I bergmasser med middels kvalitet	$0,1 < Q < 10$	Multipliser Q-verdiene med en faktor på 2,5. I tilfeller med høye spenninger i berget bruk den faktiske Q-verdien
I bergmasser med dårlig kvalitet	$Q < 0,1$	Bruk faktisk Q-verdi

Den justerte Q-verdien brukes deretter direkte i bergsikringsdiagrammet for bestemmelse av veggsikring [27].

### 2.5.2 Sprekkerose

En sprekkerose er et verktøy som brukes for å kartlegge sprekkesystemer i et berg. Den brukes for å danne et grunnlag for hvor det er best å orientere en tunnel eller en fjellhall. Teorien tilsier at underjordsdrift skal planlegges slik at drivingen ikke går parallellt med sprekkesystem. Bruk av en sprekkerose kan finne ut eventuelle problemområder som følge av orienteringen av underjordsdriften. Dersom det er funnet en problematisk orientering må det gjøres en vurdering i forhold til drivemåte og sikringsmetoder [16].

## 2.6 Sikringsmetoder

Sikringsinstallasjoner skal sørge for trygg bruk av tunneler gjennom prosjektert levetid. Uansett bergmassekvalitet ønsker en å utnytte bergets evne som bærende element. Sikringen skal forsterke eller supplere bergmassens bæreevne, slik at berget i samvirke med sikringen oppnår den nødvendige bærekapasiteten og permanent stabilitet [28]. Sikringsmetoder som; bolting, sprøytebetong, injeksjon, forbolting, armerte sprøytebetongbuer og full utstøpning blir beskrevet nærmere i dette kapitlet.

### 2.6.1 Bolting

Sikring med bolter er den mest brukte og billigste metoden til sikring ved de fleste fjellforhold, og har vært tatt i bruk i konvensjonell tunneldriving siden 60-tallet. Fjellbolting anses for å være en rask, økonomisk og praktisk sikringsmetode. Sikringsmetoden reduserer bevegelse i fjellet ved at det tvinges til å støtte seg selv, da boltene binder sammen diskontinuiteter i fjellet [29].

For at en lokal bergforsterkning i form av bolting skal kunne gi en langtidsstabil situasjon, forutsettes det at den stedlige bergmassen er stivere enn sikringskonstruksjonen. Dette er avgjørende for at boltene skal få tilstrekkelig forankring og kunne stanse deformasjoner [28].

En skiller mellom aktiv og passiv installasjon av bolter. Aktive bolter forspennes slik at sikringen virker øyeblikkelig. I dagligtalen blir aktive bolter ofte kalt for arbeidssikring. Disse skal sikre arbeidsforholdene foran på stoff frem til permanent sikring er etablert. Passiv eller permanent sikring, er installasjoner som skal sikre tunnelen ut hele levetiden. Passive bolter forspennes ikke, og boltene blir først satt i funksjon når bergmassen deformeres. Hvis boltene er for «spente» når berget deformeres kan dette føre til brudd [30].

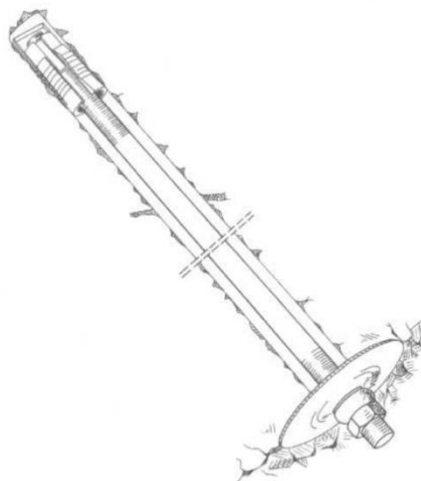
Under boring og installasjon kan man velge å følge et forhåndsbestemt mønster eller bolte sporadisk. Ved sporadisk bolting sikres ustabile enkeltblokker og diskontinuiteter. Ved systematisk bolting følges et forhåndsbestemt mønster basert på bergforholdene og deformasjoner [28].

### 2.6.2 Forskjellige boltetyper

Bergforhold og hvor raskt det er behov for sikring er avgjørende for valg av boltetype. Det er vanlig å benytte stålbolter, men ved strenge krav til bestandighet i f.eks. undersjøiske tunneller og fosforholdig berggrunn kan glassfiberbolter tas i bruk. Man kan dele de ulike boltetyper inn i tre kategorier; endeforankrede bolter, fullt innstøpte bolter og kombinasjonsbolter [30].

### *Endeforankrede bolter*

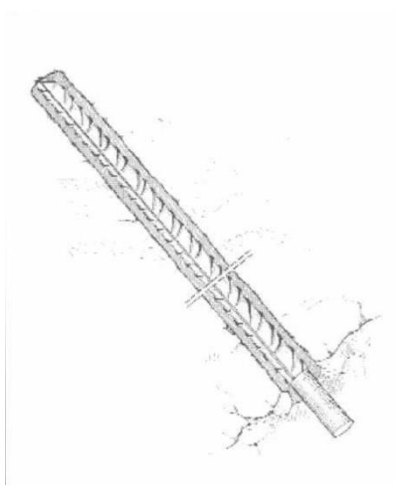
Forankres i berget med mørtel, ekspanderende hylse eller polyesterpatron. Forspennes ved å trekke muttern til underlagsplaten. Brukes når det er behov for rask (aktiv) sikring foran på stuff. Boltene kan ettergyses for å bli godkjent som permanent sikring [30].



*Figur 10: Endeforankret bolt. [30]*

### *Fullt innstøpte bolter*

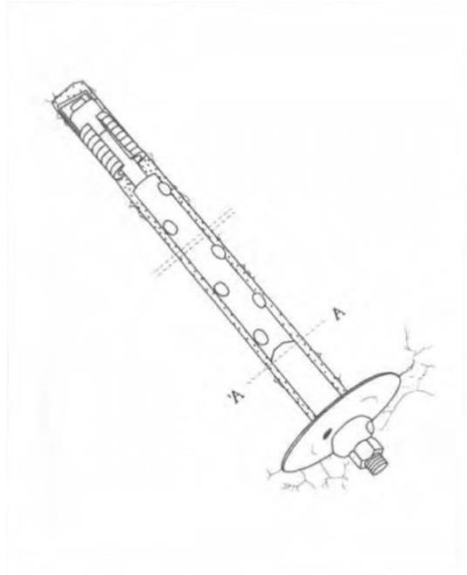
Brukes til ettersikring og systematisk bolting for å låse fast stabiliteten i fjellet. Før montering gyses hullene med ekspanderende forankringsmørtel før boltene skyves inn. Boltene forspennes ikke. Sikringssystemet er passivt, og boltene blir først satt i funksjon når fjellet deformeres og gir tøyninger i boltene. I Norge brukes normalt sementbasert mørtel som innstøpningsmiddel, men polyester kan også benyttes. Mørtelen gir økt korrosjonsvern, og gir god fylling av hulrom og omstøpning rundt bolt [31].



*Figur 11: Fullt innstøpt bolt. [30]*

### *Kombinasjonsbolter*

Denne bolttypen kan både endeforankres og innstøpes. Hensikten med en kombinasjonsbolt er å kunne bruke den samme boltene som arbeidssikring og permanent sikring. Kombinasjonsbolter er godt egnet der man ønsker å forspenne boltene før innstøping. Med kombinasjonsbolter får man med seg de gode egenskapene fra begge de foregående boltekategoriene [32].



*Figur 12: Kombinasjonsbolt. [30]*

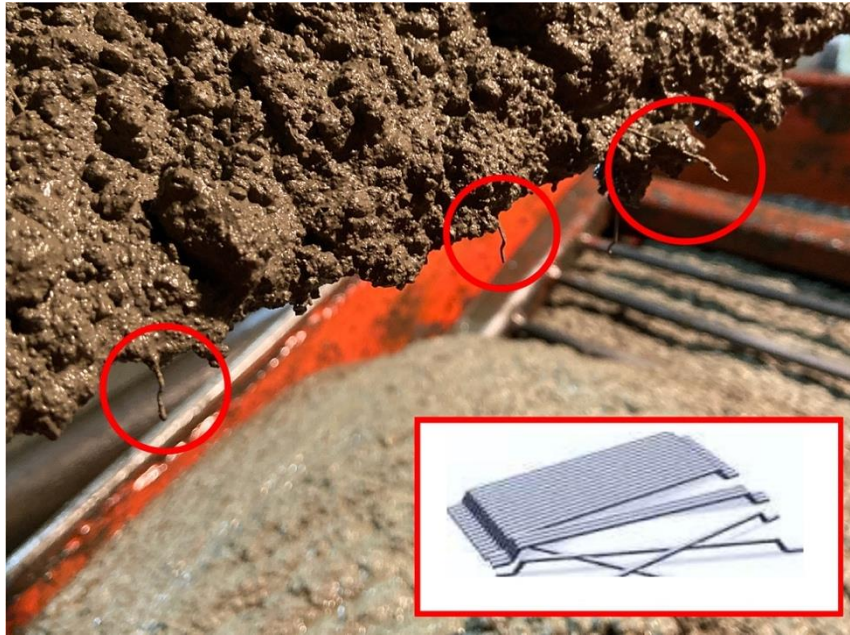
### 2.6.3 Sprøytebetong

Sprøytebetong (eller sprutbetong) er betong som blir sprøytet på tunnelkonturen ved hjelp av trykkluft. Siden utviklingen av nyere tunneldrivemetoder som «New Austrian tunneling Method» og «Norwegian Tunneling Method» har sprøytebetong blitt et viktig verktøy for utførelse av undergrunnsanlegg som tunneler. Få prosjekter hvor det benyttes konvensjonell drivemetode gjennomføres i dag uten bruk av sprøytebetong [29].

I dag er det to metoder for utførelse av sprøytebetong. Våtsprøyting og tørrsprøyting. Ved våtsprøyting blir en ferdig betongblanding fra betongbil tømt over i en lomme på en egen sprøytebetongbil, og derfra pumpet ut i et rør som ender i et munnstykke hvorfra betongblandingen sprutes ut. Munnstykket håndteres av en operatør ved hjelp av hydraulikk. Ved tørrsprøyting blir tørrstoffene sement og tilslag ført fram til munnstykket hvor vannet blir tilsatt. Tørrstoffene ledes også her frem ved hjelp av trykkluft. I begge tilfellene tilsettes en akselerator i sprøyte-munnstykket slik at betongen herder og fester seg raskere til overflater. I Norge er våtsprøyting den dominerende metoden. Fordelen med våt- kontra tørrsprøyting er høyere kapasitet, bedret arbeidsmiljø, og bedre egnet fibertilsetning [33].

Sprøytebetong benyttes til både arbeidssikring og permanent sikring, og kan påføres både før og etter bolting. Stålfiberarmering er i dag standard i omtrent all sprøytebetong som benyttes til sikring av berg. Normal dosering av stålfiber ligger rundt 20-40 kg/m<sup>3</sup> med fiberlengder mellom 30 og 40 mm. Som alternativ er mikroplastfiber på vei inn i dagens marked. Plastfibrene har lavere egenvekt og bedre bestandighet i aggressive miljøer som f.eks. undersjøiske undergrunnsanlegg [28].





Figur 13: Viser fiberarmert sprøytebetong. Egenprodusert illustrasjon.

Bæreevnen til sprøytebetongen korrelerer med fiberdoseringen [34]. Et mål på bæreevnen er energiabsorpsjonskapasiteten, og avhengig av bergkvalitet settes det krav til energiabsorpsjonsklasser. E500, E700, og E1000 er eksempler på energiabsorpsjonsklasser og forteller om hvor mye energi (Joule) et prøvestykke kan oppta før en deformasjon på 25 mm oppstår [35].

Bruken av sprøytebetong i moderne tunneldriving har resultert i kortere byggetid, økonomisk lønnsomhet og sikrere arbeidsforhold, og har i stor grad erstattet tilfeller hvor man tidligere ville benyttet betongutstøping [33].

#### 2.6.4 Injeksjon

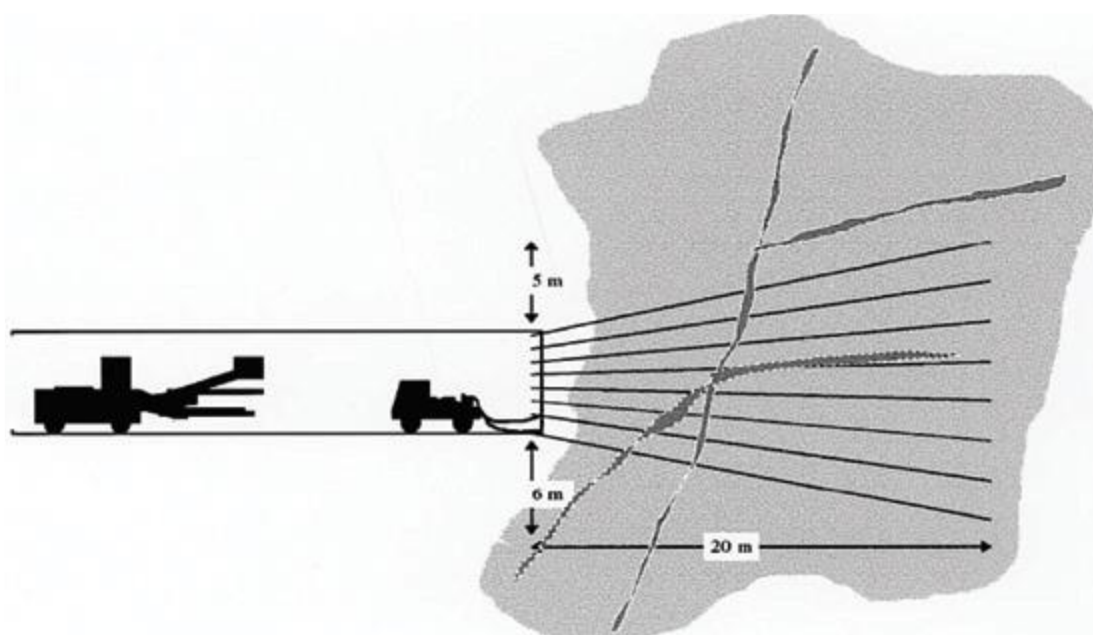
Injeksjon utføres for å hindre eller redusere vanninntregning i tunnelrommet. Tunnelbygging kan føre til at grunnvannet over tunnelen senkes, og inntrenging av grunnvann er et kjent problem. En svensk undersøkelse konkluderte i 2002 med at korrosjon av boltestål minimeres om forinjeksjon utføres slik at borehullene er tørre ved monteringen av bolter. Tetting av tunneler anses derfor for å være et av de viktigste bidragene for å sikre maksimal levetid [36].

Injeksjon utføres ved at det sonderbores 20 – 50 hull i vifteformasjon foran stoff. Typiske hullenger er på 18-24 meter. Hullene vinkles ut slik at injeksjonshullene ligger 5 – 8 meter ut fra prosjektert tunnel (Se Figur 14). Grunnet hullengde og viftemønsteret får man også en pekepinn på hvordan foranliggende berg ser ut. Dette er verdifull informasjon som kan være med på å avdekke f.eks. svakhetssoner [37].

De borede hullene injiseres med sementløsning under stort trykk slik at sementmassen trenger inn og fyller alle sprekker i berget foran det området som skal sprenges. Trykket som det injiseres med må tilpasses omgivelsene og grunnvannsnivå. For en vellykket jobb er det viktig at matetrykket overgår det stedlige vanntrykket [37].

Ved systematisk injeksjon injiseres hele tunnelstrekningen med nødvendige overlapp. Det er vanlig å utføre injeksjon etter hver tredje salvelengde. Erfaringer fra driving i skifrig og tett oppsprukket berg har vist at utførelsen av systematisk forinjeksjon har bidratt til bedret stabilitetssituasjon og mindre behov for arbeidssikring frem til permanent sikring er installert. Bergforsterkningseffekten ved injeksjon er en positiv bieffekt siden injeksjon først og fremst utføres for å opprettholde kravene til tett tunnel [28].

Injeksjon er en dyr og tidkrevende prosess. Og hvis man først har bestemt seg, er det viktig at utførelsen skjer etter beste evne. Ved etterinjeksjon får man ikke benyttet like stort trykk og oppnår aldri et like godt resultat. Etterinjeksjon benyttes kun som nødløsning for å redusere lokale innlekkasjer når forinjeksjonen ikke har vært vellykket [20].

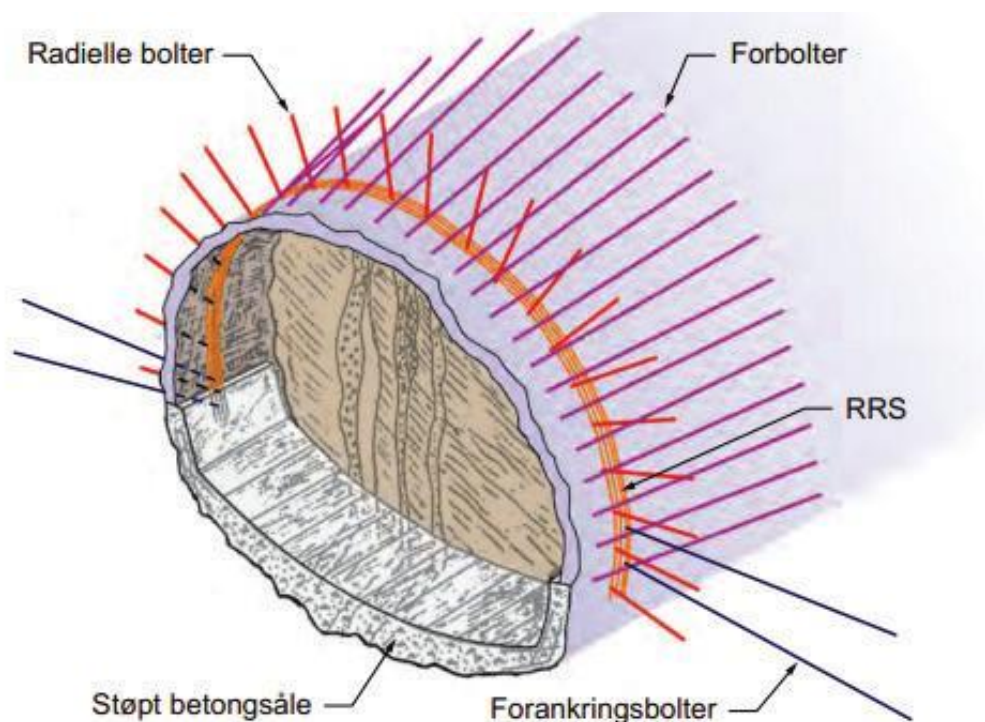


Figur 14: Illustrasjon av forinjeksjonsprinsippet. [38]

### 2.6.5 Forbolter

Forbolting brukes i situasjoner med lav bergoverdekning og dårlig bergkvalitet. Forbolting er også vanlig å utføre på tunnelpåhugg. Formålet er å bevare prosjektert tverrsnitt etter beste evne til man får etablert permanent sikring som f.eks. radielle bolter og sprøytebetong. Siden forbolting sees på som en midlertidig sikringsanordning, regnes den ikke inn i den permanente sikringen. Det stilles derfor ikke krav til korrosjonsbeskyttelse på boltene. Normalt benyttes ordinære kamstålbolter som gyses for å gi godt samvirke mellom bolt og berg. Ved krevende forhold kan det være aktuelt å benytte andre typer bolter [28].

For å kunne ta opp spenninger forårsaket av spenningsavlastet berg er det viktig at boltene forankres ordentlig i bakkant før neste salve skytes. Til forankring av forbolter er det vanlig å benytte fiberarmert sprøytebetong og radielle bolter. Dersom store deler av henet forboltes bør man vurdere armerte sprøytebetongbuer som forankring i bakkant [20].



Figur 15: Illustrasjon for utførelse av forbolter. [28]

### 2.6.6 Armerte sprøytebetongbuer

I situasjoner hvor det er behov for tung bergsikring er armerte sprøytebetongbuer en tids- og kostnadseffektiv løsning, og benyttes i stadig flere tilfeller hvor en tidligere hadde benyttet full betongutstøping. Metoden har sine begrensninger i soner med mektig svelleleire, og i situasjoner hvor hele profilet må gjenbygges etter ras [20].

Buene består av kamståljern og kan dekke hele eller kun deler av tunnelkonturen. Jernene holdes sammen av tverrstykker, og monteringen av buene skal alltid kombineres med radielle bolter som skal inngå i den permanente sikringen. Det er viktig at buene dimensjoneres etter antatt belastning [28].



*Figur 16: Viser armeringsbuene før og etter spruting. [39]*

### 2.6.7 Full utstøping

Full utstøping er en av de tyngste sikringsmetodene og er mest aktuell ved gjenbygging av profil etter ras, store blokkeutfall, mektige svelleleiresoner og soner med mye vann. Full utstøping med membran er vanlig praksis i moderne veitunneler som stiller strenge krav til både berg- og trafikk sikkerhet. Ved full utstøping etableres en betongbue for å ta opp trykkspenninger fra bergmassen. Behov for armering og tykkelse vurderes i hvert enkelt tilfelle avhengig av tunnelgeometri og belastning [28].

Til utførelsen benyttes et støpeskjold i fullprofil. Før dette kan fraktes inn må det installeres arbeidssikring og sålen må planeres. Metoden er tidkrevende, og støpeskjoldet kan vanligvis fjernes etter 6 – 7 timer etter avsluttet støp. Betongtykkelse skal være 30 – 40 cm som et minimum [28].



Figur 17: Full utstøping. Støpeskjoldet kan påmonteres på f.eks. dumper. [40]

## 2.7 Vannhåndtering

Fokus på stedlig vannhåndtering er viktig når en skal bygge tunnel. Myndighetene og forurensningsloven setter strenge krav til kvaliteten på vannet som slippes tilbake til resipient. ”Tålegrensen” til resipienten, samt utformingen av renseanlegg, må kartlegges og dimensjoneres ut ifra beregninger og erfaringstall. Det er ingen standard for utforming av renseanlegg, og det må på hvert anlegg gjøres en grundig vurdering av bidragene til den totale vannmengden som skal behandles i renseanlegget. Erfaringer tilsier at man unngår flere problemer ved å ha god hydraulisk kapasitet på renseanlegget, og at det her er lite å spare på innsnevring [41].

### 2.7.1 Miljøpåvirkning

Tunneldrift vil medføre forurensninger til resipienten i anleggsperioden. De viktigste påvirkningsfaktorene vil være [42]:

- Suspendert stoff (SS)
- Nitrogen fra sprengstoffrester
- pH
- Oljeforbindelser
- Plastrester fra sprengstoff

Faktorene utdypes i avsnittene under.

#### *Suspendert stoff*

Tunnelriggen krever mye vann til kjøling av borkrone og fjerning av borkaks. Som et resultat av dette blir det dannet mye finknust stein og steinstøv. Fiskeførende elver karakteriseres som sårbare resipienter, hvor det er viktig å ha fokus på partikkelkonsentrasjonen i vannet som slippes ut. Utslipp av spisse, nålformede partikler kan skade fisk og andre dyr som puster med gjeller. Aktuelle rensemeter for å redusere SS er sedimentering, flotasjon, og filtrering [42].

#### *Nitrogen*

Tunnelvann vil også inneholde rester av uomsatt sprengstoff som medfører utslipp av nitrogen til resipienten, ofte i form av ammonium og nitrat. Emulsjonssprengstoffet slurry har et nitrogeninnhold på 26,2 %, hvorav 7 – 15 % vanligvis forblir uomsatt etter sprengingen og kan finnes igjen i tunnelvannet. Tilførsel av nitrogen kan gi oppblomstring av alger og andre organismer. Det finnes ikke praktiske anvendbare, fungerende rensemeter for nitrogen og er generelt en lite aktuell problemstilling [42].

#### *pH*

Store forbruk av alkaliske sementprodukter til sprøytebetong og injeksjon medfører at tunnelvannet periodevis har svært høy pH, gjerne i størrelsesorden 11 – 12,5. Høye pH-verdier

kan gi direkte effekter på fisk og andre vannlevende organismer. Den europeiske innlandsfiskekommisjonen, EIFAC, har gjort følgende vurderinger [43]:

Tabell 3: Viser effektene av ulike pH-verdier på fisk. [43]

pH	Effekter på fisk
5 – 9	Normalt ingen skadelige effekter.
9,0 – 9,5	Sannsynligvis skadelig for laksefisk og abbor over lengre tids eksponering.
9,5 – 10,0	Dødelig for laksefisk over lengre tids eksponering, fisken er motstandsdyktig ovenfor slike pH-verdier i korte perioder. Kan være skadelig for enkelte fiskearters utviklingsstadier.
10 – 10,5	Laksefisk og mort kan være motstandsdyktige i korte perioder, men fisken dør ved lengre tids eksponering.
10,5 -11,0	Laksefisk dør i løpet av kort tid. Under lenger eksponeringstid dør også andre fiskearter.
11,0 -	Alle fiskearter dør i løpet av kort tid.

I Tabell 3 regnes en eksponeringstid på mindre enn 48 timer som kort. Det er nødvendig at tunnelvannet pH justeres ved tilsetting av syre eller karbondioksid. Dette er prosesser som krever hyppig oppfølging og som må foretas sent i renseprosessen.

#### *Oljeforbindelser*

Tunnelvannet kan være forurenset av oljer, diesel, rensmiddel og spill fra utstyr og maskiner. Utslipp av olje kan selv i små konsentrasjoner gjøre stor skade på resipienten. Oljefilm på vannoverflaten gir godt synlig forurensning. Oljen kan gi missmak på fisk, da fisk kan ta opp stoffer gjennom huden. Store utslipp kan gi merkbart oksygensvinn i små resipienter, som kan betyr slutten for dyre- og planteliv da disse avhenger av oksygen. Aktuelle rensemetoder for olje kan være hydrosyklon, separator, filtrering, eller flotasjonsbasseng [44].

#### *Plast*

Ved sprengning med NONEL tenning vil rester av detonasjonslunter og fiber ved prelltape ligge igjen i røysa. Slippes dette ut til resipient kan fisk som får i seg plast kan kveles eller sulte i hjel da plasten tetter fordøyelsessystemet. Nedbryting av plast tar flere hundre år, og er svært uønsket i resipienten [45].

Bruk av elektronisk tenning vil resultere i mindre plastrester [46]. Plast kan renses ut ved hjelp av filter eller hydrosyklon i renseanlegg. I tilfeller hvor massene benyttes til utfylling i vann må massene skylles før bruk [45].



## 2.8 Massehåndtering

Massehåndtering er en oppgave som krever mye logistikk. Det handler om å få fraktet massen bort fra uttaket til hvordan massen skal håndteres i ettertid. Her er det forskjell på om det umiddelbart tas i bruk, lagres eller om det kjøres på deponi. For en tunnel er det viktig å ha en plan for hva som må gjøres med tunnelsteinen etter driving. Det krever planlegging av transport, tid, lagring og maskinbruk [47].

### 2.8.1 Deponi

Kjøring av massen til deponi betyr i praksis at massen blir satt ut av prosjektet og flyttet til et lokalt område for videre lagring eller deponi. Massene må med tanke på flere forhold håndteres i henhold til plan – og bygningsloven. I konvensjonell tunneldriving vil det ofte være rene steinmasser og slam fra renseanlegget. Det kreves en plan som bestemmer hvilket areal som skal brukes for tipp og hvordan slammet skal håndteres [47].

### 2.8.2 Mellomlager

Et mellomlager brukes for å oppbevare massene midlertidig slik at det eventuelt kan brukes videre eller at det ventes med å transportere de videre. Sortering av massene er derfor en viktig prosess som bestemmer bruksområdet i ettertid. Dersom dette gjøres riktig kan massene bli en produksjonsbuffer som gjør at entreprenør har større sikkerhet for fyllmasser. En del av mellomlagring er behandling av forurensede masser. Rensede masser kan eventuelt gjenbrukes [47].

### 2.8.3 Lokale løsninger

God planlegging kan legge til rette for at massene umiddelbart kan tas i bruk lokalt. Dette gjør at det kreves mindre tilkjørte masser og utnyttelsen blir bedre for prosjektet. I tunneldriving kan for eksempel sprengstein brukes direkte til å skape en annen løsning som en vei, fylling eller annet [47].

### 3 Metodedel

Dette kapitlet tar for seg totalprosjekteringen av adkomsttunnel frem til utløpet på kraftverket.

#### 3.1 Prosjektering av tunnel

Hensikten med tunnelen er å kunne frakte materiell og utstyr ned til prosjektert kaiområde, slik at arbeid kan utføres på uttaket. Ved valg av tunneltrasé må det være fokus på at utstyr og materiell kommer frem, og at det er nok arbeidsrom til å utføre arbeidet. Det må også gjøres vurderinger for bergkvalitet og stabilitet for drivingen.

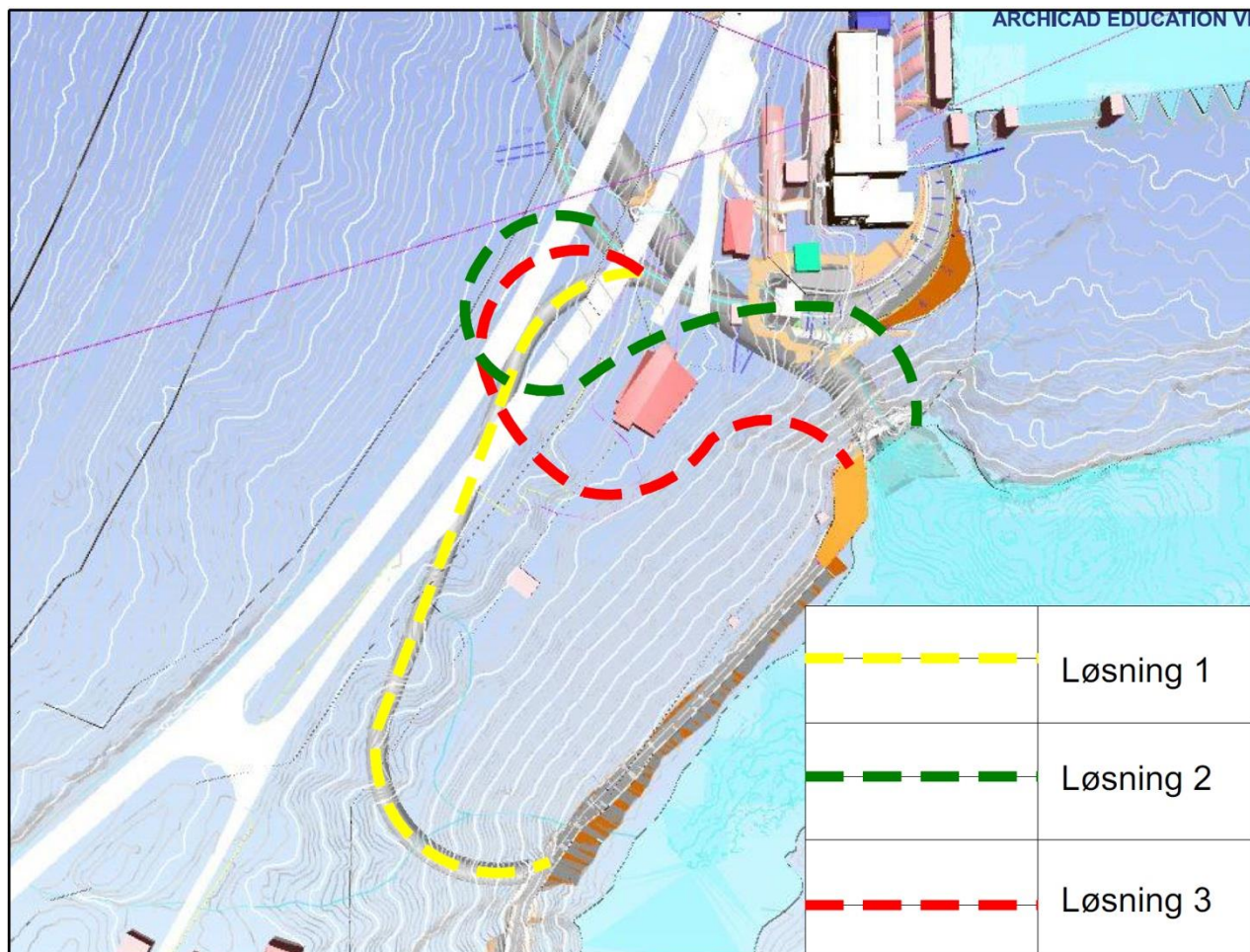
På vegne av prosjekterende har SINTEF utført borbarhetstesting av bergartsprøver i egen rapport [48]. Testresultatene viste til middels borbarhet i snitt. Erfaring fra Skanska på arbeidet som er utført sier at berget er godt egnet til tunneldriving [46]. For prosjekteringen av tunnelen vil dette få betydning for valg rundt boring, salvelengder og sikringsmetoder. Det må også gjøres vurderinger til overdekning da det i området befinner seg en gammel tipp og tunneler fra nåværende kraftverk.

For arbeidet som skal utføres på utløpet vil en større mobilkran bli dimensjonerende for tunnelen. Her stilles det hovedsakelig krav til størrelse på tverrsnitt og svingradius, men det bør også gjøres en vurdering på helningen av tunnelen.

En større utfordring til prosjekteringen vil være gjennomslaget nedstrøms i tunnelen. Ved gjennomslag gjøres det vanligvis forarbeid i sonen hvor gjennomslag vil skje. Dette gjøres ved å etablere en skikkelig forskjæring slik at berget blir stabilt ved gjennomslaget. Her vil det være vanskelig å komme til med maskinelt utstyr som kan utføre denne jobben.

### 3.1.1 Valg av tunneltrasé

For å velge hvor tunnelen skal gå, er det funnet tre løsninger som vil vurderes. Dette er gjort ved å se på en 3D-modell av hele anlegget og terrenget i programmet Navisworks. Figur 18 viser traseen for de ulike løsningene. Den ønskede løsningen vil være den som er mest gjennomførbar og skaper minst risiko med tanke på kostnader, miljø, fremdrift og helse og sikkerhet.



Figur 18: Skisse av løsninger.

### *Vurdering av løsning 1*

Løsning 1 ligger på øst-siden av anlegget i dag. Påhugget vil være ca. 40 meter innenfor eksisterende påhugg til adkomsttunnelen for kraftanlegget. Den går i retning øst mot anleggsveien i dagen. Ved anvist gjennomslag østside er det fra befaring observert berg i dagen. For tunneldriving er dette gunstig. Det vil måtte planlegges hvordan det skal dannes gjennomslag ved elven. Helningen er på ca. 1:10 og lange horisontalradiuser vil være gunstige for driving og transport av maskiner i tunnelen. Etablering av kai vil i dette tilfellet ha god plass, da det vil bli laget en veg nedenfor gammel fylling langs elven til utløpet.

### *Vurdering av løsning 2*

Løsning 2 vil først gå i østlig retning før den svinger tilbake og ender opp oppstrøms for utløpet. Påhugget vil være ca. 40 meter innenfor eksisterende påhugg til adkomsttunnelen for kraftanlegget. Ved gjennomslag er det berg i dagen. Posisjonen forskjæringen vil være i nærhet av demningen. Det må prosjekteres for potensiell flom og hvordan vanngjennomstrømningen blir under demningen. Helningen for løsningen vil bli bratt, ca. 1:7, dersom lengden ikke økes. Dette er vanskelig for drivingen og transport av nødvendige maskiner til etablering av kai. Kurvaturen til tunnelen vil til tider bli svært krapp. I nærheten av utløpet ligger eksisterende kraftverk. Her vil det blir trangt og det vil kreve høy nøyaktighet for planlegging og presisjon under driving. Det vil være relativt lite areal til etablering av kai, og eventuelt arbeid må utføres nært utløpet.

### *Vurdering av løsning 3*

Løsning 3 er den mest direkte løsningen. Da vil tunneltraséen svinge seg ned mot nedstrømsside av utløpet. Påhugget vil bli etablert ca. 50 meter inne i eksisterende adkomsttunnel til kraftverket. Dette for å øke lengden på tunnelen og skape slakere helning. Nedstrøms gjennomslag vil gå ut i berg med svært nær tilknytning til gammel fylling. Dette kan gi problemer med stabilitet og tunnelsprengning ved utløpet. I tillegg vil etablering av kai for mobilkran gjøres svært trangt. Helningen for denne løsningen er ca. 1:5, noe som er vanskelig å drive tunnel i. Kurvaturen vil være svært krapp og veldig vanskelig å manøvrere med mobilkran.

## Tabell for vurdering av løsninger

Tabell 4: Vurdering av løsninger for tunneltrasé.

Grunnlag	Løsning 1	Løsning 2	Løsning 3
Påhugg	God	God	God
Gjennomslag ved Namsen	God	Trangt	Krevende og trangt
Helning	God 1:10	Ok 1:7	Vanskelig 1:5
Svingeradius	40 meter, god	20 meter, dårlig	20 meter, dårlig
Lengde	Ca. 230 meter.	Ca. 150 meter.	Ca. 130 meter.
Vanskeligheter	Sikring ved gjennomslag Namsen	Trangt ved gjennomslag Namsen. Den ligger oppstrøms og må planlegges i forhold til flom. Problem med trasé tilknyttet eksisterende kraftverk.	Trangt ved gjennomslag og fare for tilknytting til gammel fylling.
Endringer som må bli gjort.	-	Må ha lenger lengde for å ha god nok radius og helning, samt ha ett mindre tverrsnitt for å bevare avstand til eksisterende kraftverk.	Må ha lenger lengde for å ha god nok radius og helning.
Vanskelighetsgrad:	<i>Middels</i>	<i>Krevende</i>	<i>Krevende</i>

### *Befaring knyttet til tunnelprosjektering 11.03.20*

Hensikt med befaringen denne dagen var å se på påhugg ved start og gjennomslag for de ulike løsningene. Målet var å studere bergflatene, løsmasser, skråningshelning, tilknyttede strukturer og eventuelle visuelle svakheter.

#### *Løsning 1*

Skråningen har en helning på 1:1,5 meter til dagens fjellskjæring. Denne helningen er svært bratt og vil være en viktig faktor for prosjektert utførelse av tunneldriving i nærheten av skråning. Skråningen ender opp i elven Namsen og sannsynlighet for utglidninger anses som stor.

Observasjoner av vei i skjæring som drives i dag, viser til flere ras ut i elven. Observert berg i området etter dagens veiskjæring viser fast berg og bekrefter at NGU sine berggrunnskart for området stemmer. Figur 20 viser at det ved gjennomslag er en bergknaus med større mektighet av oppsprekninger enn berget observert i kraftverkstunnelene. Det er ikke gjort observasjoner av problematisk løsmasse ved gjennomslag. Skog og jord danner øverste lag mot dagen og jorden er ca. 0,5 meter dyp. Ved knaus er det observert berg i dagen.



*Figur 19: Bilde av skråning med fyllingen og uttaket i bakkant.*



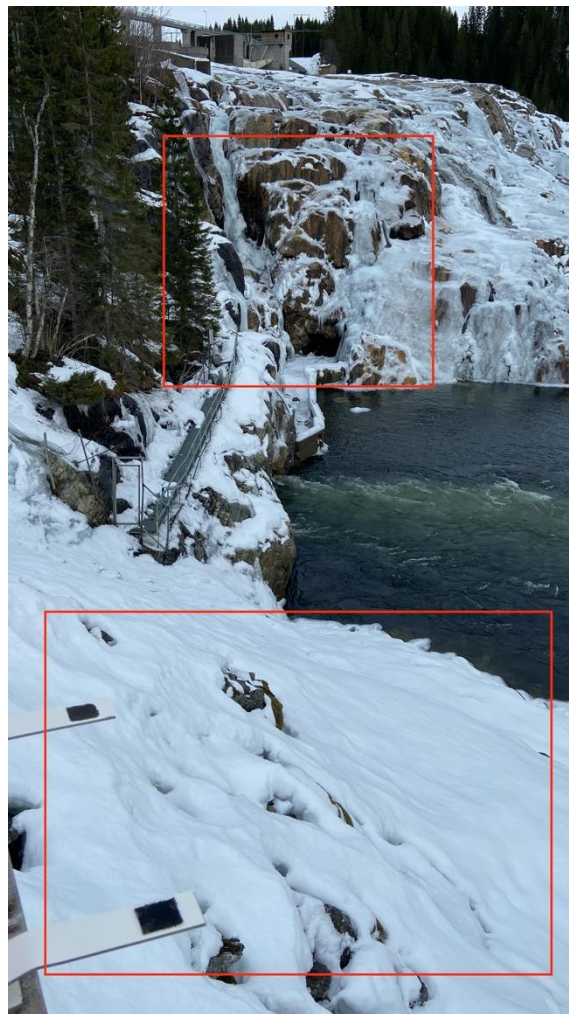
*Figur 20: Overside (venstre) og underside (høyre) knaus.*

### Løsning 2

For løsning 2 vil tunnelen komme ut på høyre side av utløpet (se øverste firkant på Figur 21) under dammen. Her er det observert rent berg uten løsmasser, noe som tyder på at det er mulig å drive seg helt ut. Nærmere inspeksjon av berget ble vanskelig da det ikke var mulig å komme til. Det som er verdt å merke seg er at det ikke vil være noe naturlig oppstillingsområde for maskiner. Dette må lages til i elven og kan by på en utfordringer.

### Løsning 3

Løsning 3 vil komme ut på venstre side av utløpet (se nederste firkant på Figur 21). Her er det ikke mulig å se berg. Dette kommer av at skråningen er en gammel fylling fra tidligere arbeid med større steiner. Det er vanskelig å bestemme hvor dypt fyllingen går uten sonderingsutstyr. Det vil bli trangt å etablere arbeidsplass, men man kan benytte større deler av skråningen.

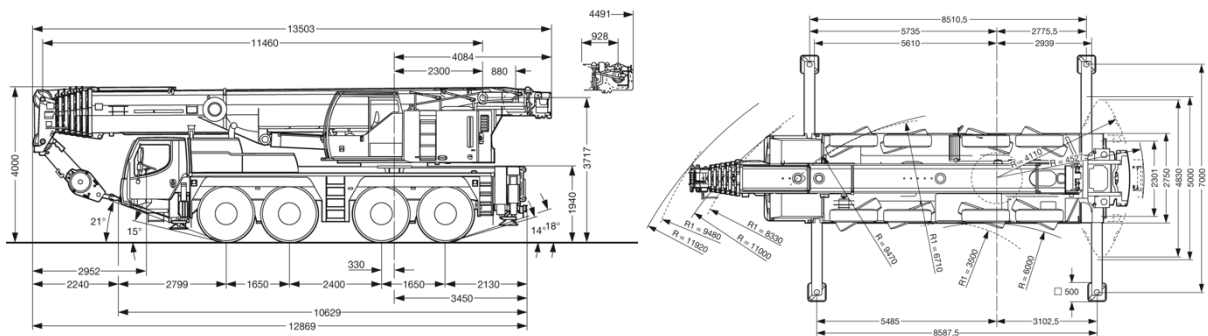


Figur 21: Bilde som viser gjennomslag for løsning 2 og 3.

### 3.1.2 Prosjektering tverrsnitt

Tunneltverrsnittet må primært dimensjoneres etter hva tunnelen skal brukes til, men kostnader og fremdrift vil også være viktige faktorer. Når det kommer til kostnader, er det ikke alltid et lite tverrsnitt vil lønne seg. Valg av minimumsstørrelse kan f.eks. resultere i at lasteren må frakte røysmassene ryggende helt ut. Dette siden et mindre tverrsnitt vanskeliggjør samarbeid med laster og lastebil fremme på stuff.

Kranen som skal brukes opplyses av entreprenør å være en 100 tonn kran. For dimensjonering brukes kranen Liebherr LTM 1100-4.2. Denne har målene LxBxH – 13503mmx2750mmx4000mm [49]. Det må også tas høyde for sving i tverrsnittet.



Figur 22: Liebherr LTM 1100-4.2 målsatt. [49]

For god fremdrift forutsettes det bruk av 3-boms borerigg under drivingen, og kombinasjon av laster og lastebil for lastning fremme på stuff. «Kostnadsgrunnlag for vannkraft» utviklet av Norconsult opplyser at det kan benyttes laster kombinert med lastebil på tverrsnitt større enn 35 m<sup>2</sup> [50].



### 3.1.3 Prosjektering av tunneltrasé

Basert på vurderingene rundt løsninger i 3.1.1 og befaring, er løsning 1 den mest aktuelle løsningen. Videre prosjektering vil dermed omhandle denne traseen.



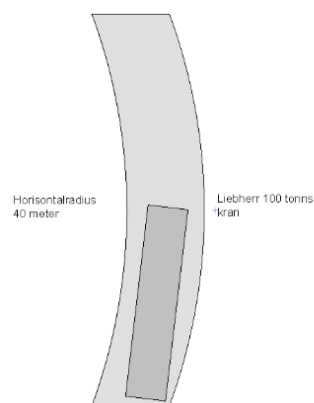
Figur 23: Skisse av løsning 1.

Tunnelen prosjekteres ved at løsningen skisseres inn i Gemini med utgangspunkt i profillinjer for eksisterende adkomsttunnel. Deretter vil vurderingen som følger i dette kapittelet danne grunnlaget for hvordan selve profillinjen vil gå. Når profillinjen er ferdig tegnet, vil den bli overført til programmet Navisworks for finjustering opp mot 3D-modell av terreng og eventuelle hindringer.

Profillinjen vil starte fra eksisterende profillinje ved adkomsttunnel for kraftverket. Dermed vil de første meterene i profillinjen i praksis ikke være drivemeter. Lengden dette utgjør er derfor omtrent halve bredden til tverrsnittet for eksisterende adkomsttunnel. Dette tilsvarer 3 meter i tillegg til lengdejustering for vinkelen mellom profillinjen.

Ved oppstrøms påhugg bør første salvelengde sannsynligvis deles opp slik at sprengning ikke medfører ustabilitet. Dette er en vurdering som utføres på stedet.

Minste horisontalradius vil bli bestemt med grunnlag i største maskinutstyr, som i dette tilfellet er mobilkranen. Beregninger og figurer viser at en minste horisontalradius på 40 meter er egnet. Dette vises på Figur 24, som er tegnet i ArchiCad. Kranen har en minste svingradius på 8,33 meter [49]. Dette gir da god sikkerhetsmargin.



Figur 24: Illustrasjon av 100 tonns mobilkran.

Driving av tunnelen skal utføres i nærheten av en steinrøys mellom nedstrøms gjennomslag og kaiområdet ved utløpet. Her er det en gammel fylling som må tas hensyn til under driving. Det vil være hensiktsmessig å trekke tunnelen noe lenger inn i berget enn om det hadde vært synlig berg i dagen. Dette for å øke sikkerhetsmarginen med tanke på dybde til fast berg og rystemer.

Helningen på tunnelen er viktig da hele tunnelen drives på synk. Det er ikke ideelt for driving og transport at den blir for bratt. Dersom tunnelen blir for bratt, kan det være mer gunstig å drive en lengre tunnel.

Basert på befaring knyttet til tunnelprosjekteringen er det observert berg i dagen der Figur 23 angir at gjennomslag og forskjæring ved elven skal være. Det er lagt inn radius på 40 meter, slik at svingen fra tunnelen mot fylling til kaiområdet blir slak nok. Gjennomslaget er lagt inn slik at den går ut vinkelrett på høydekurvene. Figur 25 og Figur 26 viser til hvor det vil bli etablert forskjæring.



*Figur 25: Området for gjennomslag og etablering av forskjæring før vegskjæring. Privat bilde.*

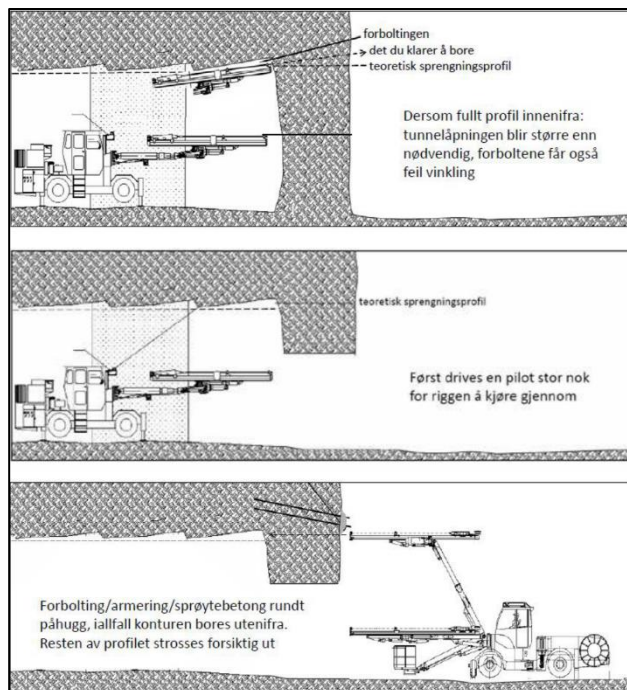


*Figur 26: Området for gjennomslag og etablering av forskjæring etter vegskjæring. Foto av Skanska.*

### 3.1.4 Gjennomslag og etablering av forskjæring

Utførelsen av forskjæring og gjennomslag ved elven er en krevende operasjon som må gjennomføres med alternativ metode i forhold til det som er normalt. Dersom forskjæring skal legges innen 0 – 200 meter fra kaiområdet vil maskiner til boring og sprengning ikke kunne flyttes ned på forhånd. Eneste mulighet for å frakte ned tungt maskineri er med helikopter. Dette er både dyrt og vanskelig, og anses som lite gjennomførbart. I dette tilfellet kreves det da at gjennomslag og forskjæring etableres innenfra og ut.

Statens Vegvesen beskriver metode for gjennomslag innenfra og ut i «V520 Tunnelveiledning». Metoden beskriver et tilfelle der det skal drives ut i forskjæringsflate som er sprengt og rensket, men mangler forbolting, sikring og betong rundt tunnelprofilet. For et best mulig resultat bør det drives en kort pilot i gjennomslaget, stor nok til at boreriggen kommer gjennom. Der kan boreriggen utføre resterende sikring og forbolting. Når all sikring er utført med nødvendig betong rundt tverrsnittet, kan resten av tverrsnittet strosses [23].



Figur 27: Illustrasjon for «driving innenfra og ut» av Statens Vegvesen. [23]

Avvik fra denne veiledningen er at forskjæringen i dette prosjektet er i en bratt skråning. Det vil være muligheter å renske for vegetasjon rundt forskjæringen, men sprengnings- og sikringsmuligheter på forhånd er minimale. Omfanget av arbeidet som kan gjøres på forskjæring før gjennomslag må bestemmes på stedet. Avviket må tas høyde for i prosjekteringen.

## 3.2 Sprengningsplan

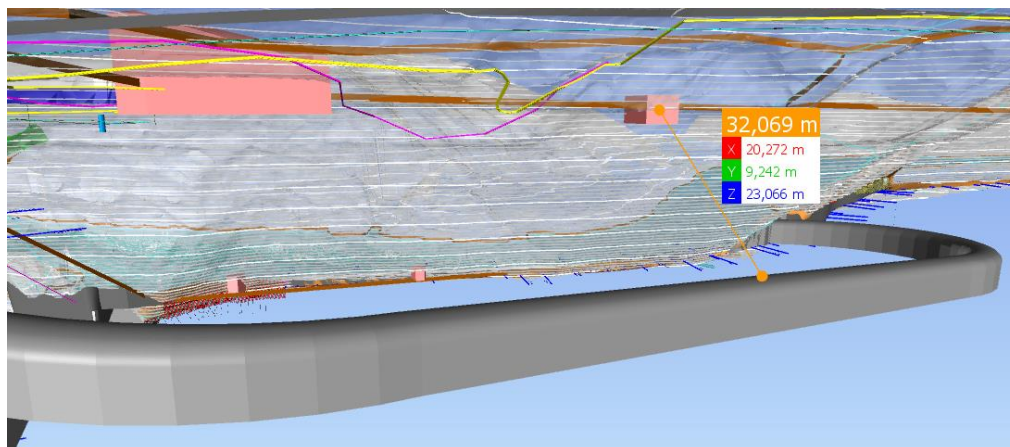
Det er viktig med god planlegging når man går i gang med sprengningsarbeid. Dette for at arbeidet skal være sikkert og samtidig bli utført så effektivt som mulig. Sikkerhet vil alltid være den viktigste faktoren når man utfører arbeid. En god sprengningsplan sørger for god situasjonsforståelse for alle som er inkludert i arbeidet. Under utarbeidelse av sprengningsplanen vil det bli lagt vekt på disse punktene:

- Rystelsesberegning
- Borplan
- Ladeplan
- Tennplan

For teoretisk grunnlag er det hentet inn data fra Orica Mining [22]. Gruppen har tidligere erfaring med programmet Bever Team 3 for utarbeidelse av borplan, ladeplan og tennplan. Gruppen har ikke tilgang til dette programmet på private datamaskiner, og på grunn av covid-19 har gruppen heller ikke tilgang til skolepcer. For utarbeidelse av planene vil derfor tegneprogrammet Archicad 22 bli benyttet. Fordelen med Bever Team 3 er at programmet gjør mye av jobben med hullplassering for deg. Etter at tverrsnittet er definert oppgis hullavstand og forsetning, også plasserer programmet hullene. Dataene kan overføres direkte til boreriggen, hvor denne da får opp et mønster å bore etter. I denne oppgavene blir tegningene laget manuelt i Archicad. Tegningene vil fremstilles noe annerledes, men resultatet er det samme.

### 3.2.1 Rystelsesberegning

Det finnes byggverk i anleggsområdet og det utføres derfor rystelsesberegninger. Nærmeste bygning, som er en kafe/kantine, befinner seg 32m fra tunnel.



Figur 28: Utklipp av tunnel fra Navisworks som viser avstand mellom tunnel og nærmeste bygning.

Rystelsesberegninger blir gjort for å finne total samtidig enhetsladning som kan bli brukt ved sprengningsarbeidet. Formel for enhetsladning er [22]:

$$Q = \frac{v^2 * d^2}{k_v^2}, \text{ der}$$

Q total samtidig enhetsladning, ladingmengde, kg.

v svingehastighet, grenseverdi.

d avstand, meter.

$k_v$  fjellkonstant.

Fremgangsmåten for å bestemme grenseverdi (svingehastighet) for toppverdi av vibrasjoner kommer fra NS 8141 og fastsettes etter formelen [51]:

$$v = v_0 * F_g * F_b * F_d * F_k, \text{ der}$$

$v_0$  ukorrigert toppverdi av vertikal svingehastighet fastsatt til 20 mm/s.

$F_g$  grunnforholdsfaktor som tar hensyn til grunnforhold der byggverket står.

$F_b$  byggverksfaktor som er avhengig av type og utfoming av byggverk.

$F_d$  avstandsfaktor som tar hensyn til avstand mellom vibrasjonskilde og målepunkt.

$F_k$  kildefaktor som tar hensyn til egenskaper ved vibrasjonskilden.

Beregning for bestemmelse av grenseverdi,  $v$ :

Tabell 5: Bestemmelse av grenseverdi.

Faktor	Begrunnelse	Verdi
$v_o$	Fastsatt til 20 mm/s	20
$F_g$	Berg - gneis	3,5
$F_b$	$k_b * k_m * k_f$ , byggfaktor – 1 * Materialfaktor – 1 * Fundamenteringsfaktor – 0,8	0,8
$F_d$	Avstand mellom sprengning og bygg = 32 m	1,0
$F_k$	Sprengning	1,0
Grenseverdi for toppverdi av vibrasjoner, $v$		56 mm/s

Beregning for bestemmelse av ladningsmengde,  $Q = \frac{v^2 * d^2}{k_v^2}$ :

Tabell 6: Bestemmelse av ladningsmengde,  $Q$ .

Faktor	Begrunnelse	Verdi
$v$	Beregnet i Tabell 5	56
$d$	Avstand 32 m	32
$k_v$	Vanlig, tette bergarter (gneis) 80-200 [52]	200
Total samtidig ladningsmengde		80,3 kg

### 3.2.2 Borplan

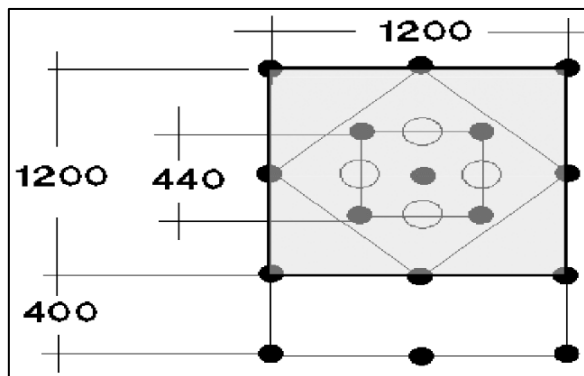
Borplan inneholder alle data for hvordan en salve skal borres. I planen inngår hulldybde, hullavstand og forsetning for alle typer hull i salven. Hulldybde bestemmes utifra sprengbarheten til berget, arbeidets størrelse og utstyret som blir brukt.

I salven skilles det mellom følgende hullgrupper:

- Kuttet
- Liggerhull
- Konturhull
- Innerkonturhull
- Strosshull, nedover
- Strosshull, horisontalt

### Kutten

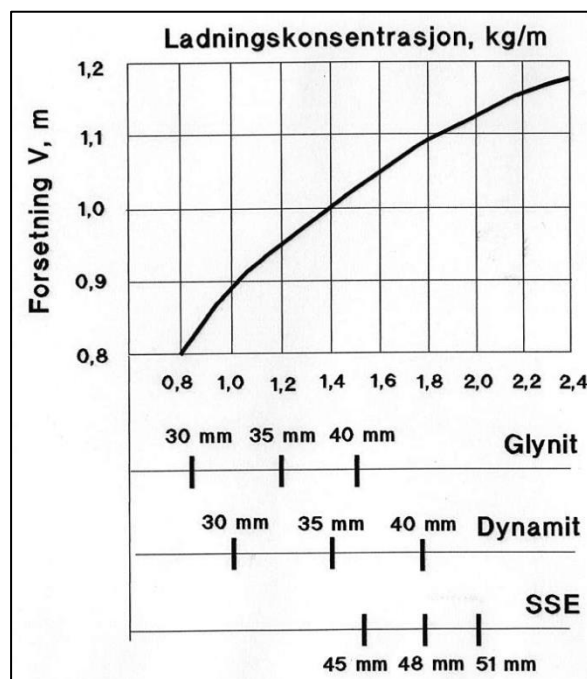
Kutten kan i praksis utformes på flere forskjellige måter. Dette blir ofte styrt utifra hvilket utstyr man benytter. I dag er boreriggene så bra at parallellhullskutt stort sett alltid blir brukt. Her borres det opp større grovhull rundt ladehullene. Det borres normalt 4 stk grovhull, med hull for lading fordelt rundt disse [22].



Figur 29: Eksempel kutt. [22]

### Resterende hullgrupper

For resterende hull i salven er det ladningskonsentrasjonen i hullene som bestemmer forsetning for hullavstand. Ladningskonsentrasjonen blir bestemt ut ifra hullstørrelsen på hullene [22]. Figur 30 viser ladningskonsentrasjon for ulike sprengstoffer og hullstørrelser. Ved å følge diagrammet finner man anbefalt forsetning ( $V_b$ ). Denne verdien brukes så videre for å bestemme praktisk forsetning ( $V_p$ ), hullavstand og uladet del for de ulike hullgruppene. Dette vises i Tabell 7.



Figur 30: Diagram for bestemmelse av forsetning  $V_b$ . [22]

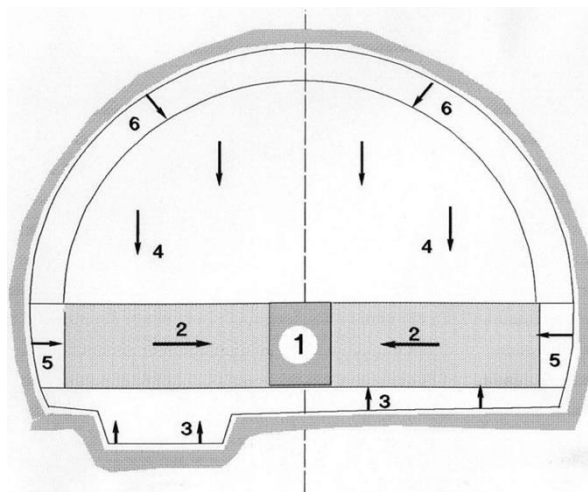
Tabell 7: Bestemmelse av forsetning og hullavstand fra  $V_b$ . [22]

Hullgruppe	Forsetning, $V_p$	Hullavstand, E
Liggerhull	$1,0 \times V_b$	$0,9 \times V_b$
Konturhull	$0,8 \times V_b$	$0,8 \times V_b$
Innerkonturhull	$1,0 \times V_b$	$1,1 \times V_b$
Strosshull, nedover	$1,1 \times V_b$	$1,2 \times V_b$
Strosshull, horisontalt	$0,8 \times V_b$	$1,0 \times V_b$



### 3.2.3 Ladeplan

Ladeplan angir anvendt sprengstoff og ladningsmengde for de ulike hullene i salven. Brytningsforløpet er med på å bestemme hvilke hull som tilhører hvilken hullgruppe og retning på forsetning. Figur 31 viser brytningsforløpet til en vanlig norsk tunnelsalve. Her er det lagt opp slik at det kan lades nede og oppe samtidig med separate ladeslanger [22].



Figur 31 Rekkefølge brytningsforløp. Piler indikerer retning for forsetning. [22]

Ettersom hullstørrelsen bestemmer hvilken ladningskonsentrasjon som kan oppnås, ønskes det å utnytte dette best mulig. For kontur og innerkontur vil det være fastlagte restriksjoner for hvordan disse skal lades for å etterlate en god kontur. Resterende hull må optimalisere salven på den måten at best mulig resultat oppnås til lavest mulig kostnad. Minimere antall borede hull vil som oftest sørge for dette, noe som kan bli gjort ved å bruke høyeste mulige sprengstoffmengde. Det må benyttes tennpatron for initiering i alle hull. Under vises en tabell med oversikt over standard verdier for bunnladning og fyllingsgrad for de ulike hullgruppene [22]:

Tabell 8: Anbefaling for bunnladning, fyllingsgrad og uladet del fra Vb. [22]

Hullgruppe	Bunnladning	Uladet del	Fyllingsgrad
Kutt	0,5 Kg	0,5 m	100 %
Liggerhull	0,5 Kg	0,2 x Vb	100 %
Konturhull	0,5 Kg	0,5 x Vb	25 %
Innerkonturhull	1,0 Kg	1,0 x Vb	50 %
Stross, nedover	0,5 Kg	1,3 x Vb	100 %
Stross, horisontalt	0,5 Kg	0,8 x Vb	100 %

### 3.2.4 Tennplan

Tennplan forklarer hvordan salven skal antennes og hvilke produkter som skal benyttes. Dette må gjøres ut ifra hvordan brytningsforløpet er lagt opp, og rekkefølgen må legges opp slik at berget brytes enklest mulig. Hvis det er utført rystelsesberegninger skal ikke øvre totale ladningsmengde overstiges.

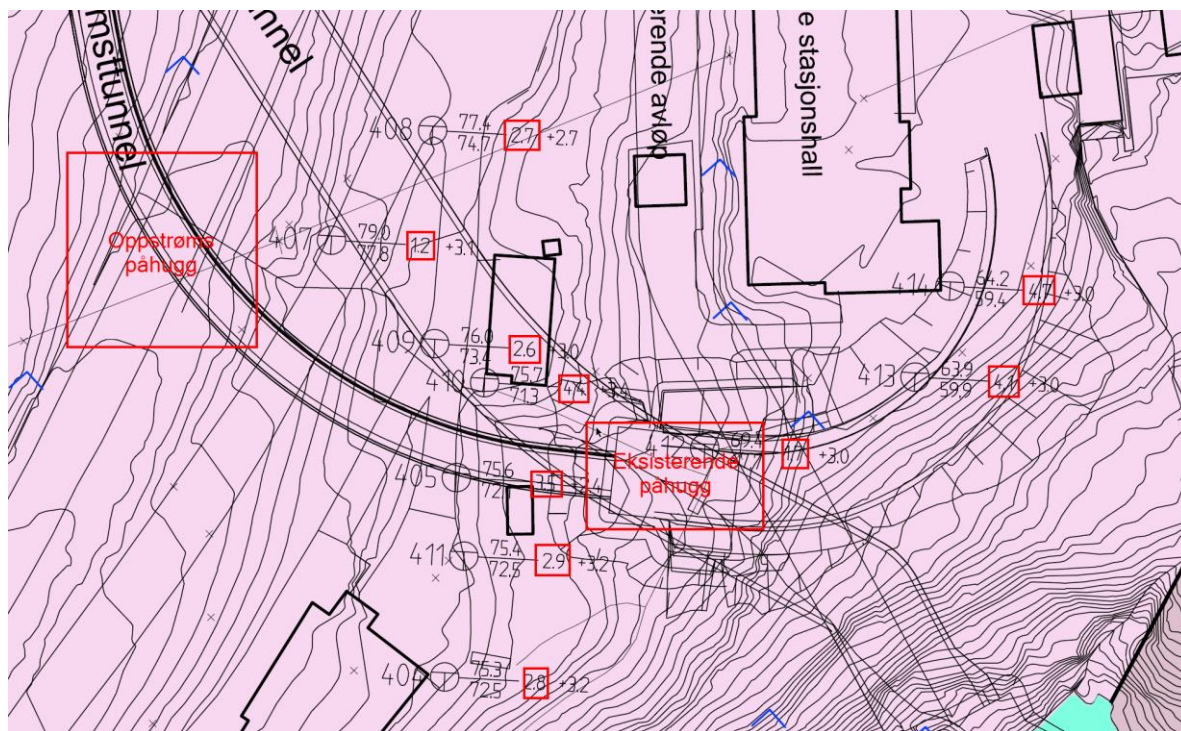
### 3.3 Sikring

#### 3.3.1 Forventet sikringsbehov

Til kartlegging av bergmassekvalitet og sikringsbehov er Q-systemet tatt i bruk. Avsnittene under er utarbeidet for å kunne gi tilløp til bruk av Q-systemet og fastsetting av dets parametre. Resultatene fra Q-systemet presenteres i resultatdelen til oppgaven.

#### 3.3.2 Overdekning

Overdekningen påvirker i stor grad spenningsforholdene i tunnelen, og mangel på solid overdekning er et vanlig problem når påhugg skal etableres. For kartlegging av løsmassemektigheten rundt oppstrøms påhugg er det benyttet data fra «Rapport 09 Supplerende grunnundersøkelser» [53]. I grunnundersøkelsen er det utført en rekke totalsonderinger i forbindelse med utbyggingen av kraftverket. Borpunktene som berører påhuggsområdet er vist i Figur 32. Verdier og snittverdi er presentert i Tabell 9.

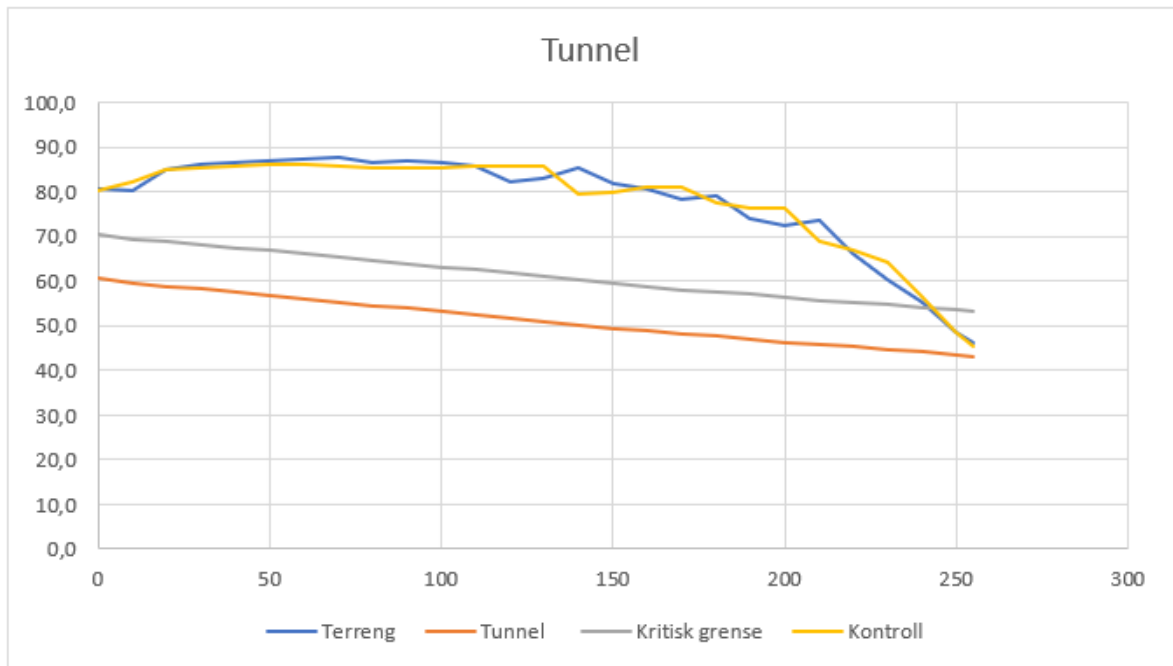


Figur 32: Totalsonderinger oppstrøms påhugg. Oppstrøms og eksisterende påhugg, samt måleverdier er innringet. [53]

Tabell 9: Resultater fra totalsonderinger oppstrøms påhugg. [53]

<b>Borpunkt</b>	<b>Boret i løsmasser (m)</b>
404	2,8
405	3,5
406	1,3
407	1,2
408	2,7
409	2,6
410	4,4
411	2,9
412	1,7
413	4,1
414	4,7
<b>Snittverdi</b>	<b>2,9 m</b>

Figur 33 viser til en rekke målinger gjort digitalt i Naviswork og plottet i Excel. Tallene viser avstand fra tunnelheng til topp terreng (løsmassemektighet inngår ikke). Kritisk grense er satt til min. 10 meter overdekning over tunnelheng på bakgrunn av data om løsmassemektighet (opp til 4,7 m), og erfaringstall om kryssende tunneler i eksisterende kraftstasjon. Krav fra teknisk regelverk om at overdekning skal være større enn tunneldiameter har også inngått i fastsettelsen av kritisk grense [54].



0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
20,0	20,9	26,1	27,9	28,9	30,2	31,2	32,2	31,9	33,2	33,5	33,2	30,6	32,3
140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	255	
35,0	32,2	32,0	31,1	31,6	27,0	26,2	27,7	20,7	15,7	11,1	4,9	3,0	

Figur 33: Diagram for overdekning. Avlesninger angitt ved profilnummer.

Eksisterende tunnelsystem befinner seg i foten av en 30-40 meter høy og bratt skråning. Skanska opplyser at de valgte å etablere eksisterende påhugg relativt dypt grunnet løsmassemekktigheten i området. Herav ble det under utførelsen av de første pilotsalvene ikke møtt på større problemer knyttet til manglende overdekning eller anisotrope spenningsforhold [46].

Ettersom oppstrøms påhugg vil bli etablert ca. 50 m inni i eksisterende adkomsttunnel forventes det heller ikke her utfordringer knyttet til mangel på overdekning eller spenningsanisotropi. Etter påhugg vil tunnelen ha beskjeden til liten bergoverdekning (maksimalt 35 m), og det forventes ikke stabilitetsutfordringer knyttet til store bergspenninger og sprakeberg. Fra ca. P-242 og til gjennomslag drives det under kritisk grense, og sannsynligheten for stabilitetsutfordringer grunnet manglende overdekning vurderes her som stor. Dette er omtalt i kapittel 3.1.4.

Overdekningen har innflytelse på Q-parameteren SFR (spenningsfaktor). SFR beskriver forholdet mellom bergspenninger og bergartstyrken omkring i et bergrom [27]. Før et anleggsarbeid starter kan SFR fastsettes ved hjelp av erfaringer om overdekning og topografiske egenskaper fra samme region.

### 3.3.3 Grunnvann

Gneis og gabbro er sprø og massive bergarter, hvor eventuelle vannlekkasjer ventes å følge gjennomgående sprekker i bergmassen. Driftpersonell ved eksisterende kraftverk opplyser at det tidvis kommer tilsig av vann inn i eksisterende kraftstasjon, særlig i perioder med regn/snøsmelting [3].

I nasjonal grunnvannsdatabase (GRANADA) er det ikke kartlagt eller indikert løsmasse- eller fjellbrønner i prosjektområdet. Det forventes ikke problemdannende innlekkasjer under drivingen.

Grunnvann har innflytelse på Q-parameteren  $J_w$  (sprekkevannstall).

### 3.3.4 Detaljoppsprekking og foliasjon

Da terrenget i dagen stort sett er dekket av løsmasser, er kartleggingen av sprekkesystemer og foliasjonsretning gjort i eksisterende kraftstasjonshall og nedenfor eksisterende overløp (Figur 35). Foliasjonsretningen varierer en del, men har gjennomgående orientering NØ-SV. Graden av foliasjonen i eksisterende kraftstasjon er svakt til middels utviklet, mens fossen nedstrøms overløp har mer tydelig utviklet foliasjon. Dette kan skyldes at dagberg i større grad er utsatt for erosjon, forvitring og temperatursvingninger [3].

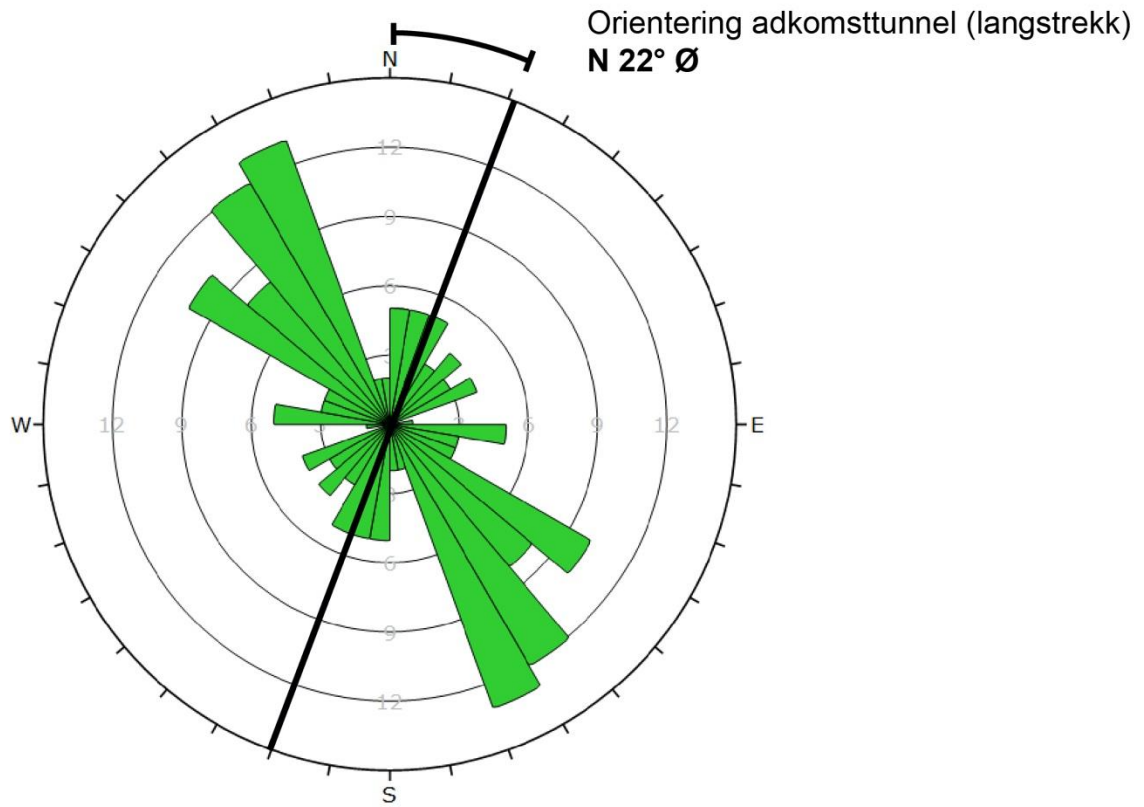
Kartlagte sprekkeretninger er presentert i sprekkerose (Figur 34). Sprekkeorienteringen varierer, men hovedtrendene er vist i Tabell 10.

Tabell 10: Viser hovedtrender i kartlagt oppsrekking av bergmasser. [3]

Sprekkesett	Strøk	Fall	Kommentar
1	N 300-340 Ø	40-70 mot SV og 70-85 mot NØ	Gjennomsettende sprekker, lengde stedvis flere titalls meter. Sprekkeavstand 0,4-1 m. Plane, middels ru og lite omdannet sprekkeflater. Stedvis observert sprekkebelegg med kloritt/epidot/kalk/kvarts.
2	N 0-40 Ø	70-85 Mot V og 55-85 mot Ø	Sammenfaller ofte med foliasjonsretningen. Stedvis gjennomsettende med sprekkeavstand 0,5-2 m. Lite omdannet.
3	Varierer men hovedtrend N 0-40 Ø	15-30	Flattliggende sprekker med variende strøk og fallvinkel. Sprekkeavstand er 0,2 m og oppover, som bølger en del. Ofte mindre utholdene enn sprekkesett 1 og 2, men opptrer hyppigere og har kortere sprekkeavstand. Lite omdannet.

Bergmassen i eksisterende kraftstasjon er gjennomsett av to til tre sprekkesett. Berget er observert til å være lite til moderat oppsprukket, og det er kartlagt 5 – 15 sprekker pr. m<sup>3</sup>. Orienteringen av tunnelens langstrekk sammenfaller med foliasjonsretningen i området, sprekkesett 2 og tildels 3. Sprekkesett 2 og 3 er små og lite utholdende sett i forhold til dominerende sprekkesett 1. Ved lav overdekning kan sprekkesettene kombinert med foliasjonsretningen skape problemer [3].

Detaljoppsprekking og foliasjon har stor innflytelse samtlige Q-parametere og resultatet som helhet. RQD (oppsprekkingsfaktor), J<sub>n</sub> (tall for sprekkesett), J<sub>r</sub> (sprekkeruhetstall), J<sub>a</sub> (tall for sprekkefylling), og til dels J<sub>w</sub> (sprekkevannstall) er parametre som berøres.



Figur 34: Viser sprekkerose for sprekker i dagen og i eksisterende kraftstasjon [3]. Langstrekk fra P-50 til P-170 er tegnet inn.



Figur 35: Flyfoto over nedstrøms overløp for kartlegging av foliasjonsretning. [3]



### 3.3.5 Svakhetssoner

Det er ikke observert lineamenter eller større depresjoner i terrenger ovenfor planlagt tunnel som kan indikere opptreden av svakhetssoner [3]. Overskyvningsgrensen mellom de to opptredende dekkekompleksene i området går heller ikke gjennom utbyggingsområdet. Se Figur 2.

### 3.4 Vann- og massehåndtering

Tunnelvann fra produksjonen skal samles opp og renses før det slippes ut i resipienten Namsen. Rensingen foregår i eget renseanlegg. Det eksisterende renseanlegget på Nedre Fiskumfoss har en total kapasitet på 120 m<sup>3</sup>/døgn. Forutsetningen som er lagt til grunn for beregningene er vist under [45]:

- Ën tunnelrigg (3 boms)
- Vannforbruk ved boring – 300 l/min eller 18 m<sup>3</sup>/time
- En times boring pr. salve – 21 m<sup>3</sup> vann pr salve
- 3,5 – 4 salver pr. døgn – 75 m<sup>3</sup> vann/døgn
- Ingen innlekking fra dagsone
- Tillegg på 60% for innlekkasje og vannforbruk ved sikring med sprøytebetong – **120 m<sup>3</sup>/døgn.**

#### 3.4.1 Grenseverdier og rensetiltak

På forhånd av prosjektet ble det søkt til daværende Nord-Trønderlag fylkeskommune (nå Trønderlag fylkeskommune) angående utslipp til Namsen. Følgende krav til ferdig renset vann som slippes ut i Namsen er utarbeidet av Norconsult og presentert i utslippssøknaden for prosjektet [45]:

- Suspendert stoff (SS) < 200 mg/l
- Totale hydrokarboner (THC) < 5 mg/l
- pH [6,5 – 8,5]

I det etterfølgende gis en kortfattet beskrivelse av valgte rensetiltak og anordninger for å tilfredsstille kravene.

#### *Fordrøyningsbasseng*

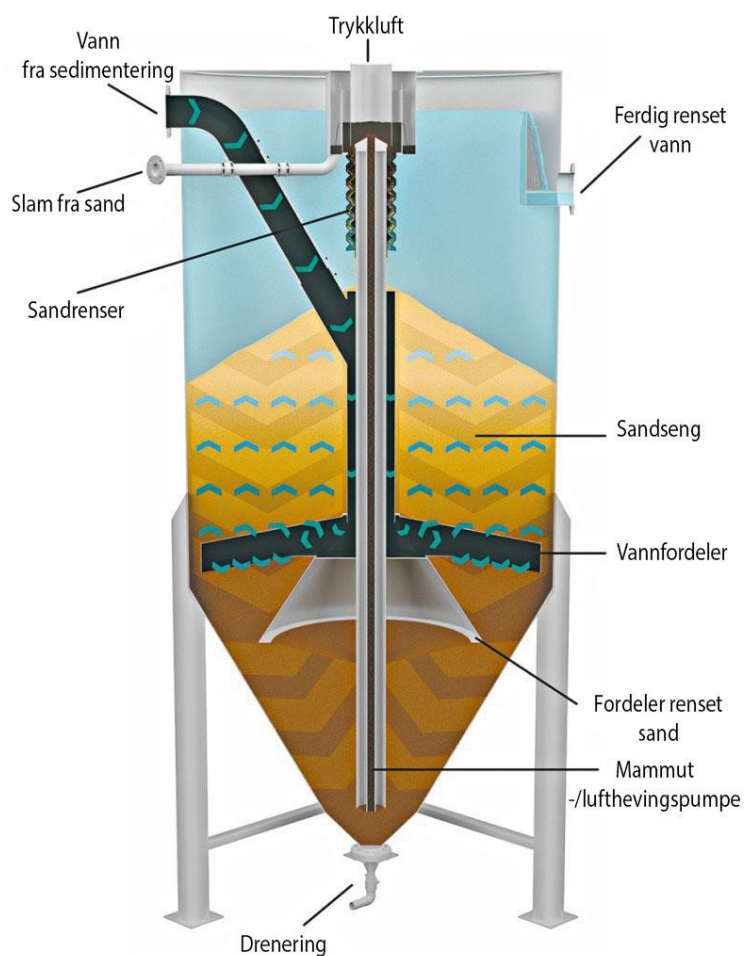
En forutsetning for stabil drift på flere av renseanordningene er hydraulisk utjevning slik at belastningen blir jevnest mulig. En forutsetning for stabil drift på flere av renseanordningene er hydraulisk utjevning slik at belastningen blir jevnest mulig. Mengde og sammensetning av vannet som ankommer renseanlegget kan variere stort, og erfaringer tilsier at det vil kunne opptre vannføringer som overskrider kapasiteten. Fordrøyningsbasseng vil tas i bruk for å flate ut disse belastningstoppene. Volumet på fordrøyningsbassenget bør utgjøre 15 – 25 % av beregnet døgntilrenning.

### *Mekanisk rensing*

Mekanisk rensing utføres i sedimenteringsbassenger, og anvendes for å redusere mengden suspendert stoff i vannet. Vannet ankommer på toppen av bassenget, og på tiden vannet bruker på å passere, bunnfeller både slam og partikler. Klarfasen som danner seg i toppsjiktet kan dermed renne over kanten på motsatt ende av bassenget. Alternativt kan et fellingskjemikalie som f.eks. kitosan tilsettes før vannet ankommer basseng. Kjemikaliet vil føre til at partikler flokker seg og synker fortere til bunns. Størrelsen på bassenget er vesentlig for renseseffekten. Et større basseng vil gjøre at vannet bruker lengre tid på å passere, og vil dermed gi økt effekt [42].

## Sandfilter

Normalt vil sedimenteringen etterlate seg et vann som inneholder ca. 400 mg SS/l. Et sandfilter med kontinuerlig spyling vil utgjøre neste steg i renseprosessen, og anvendes for rensing av suspendert stoff og plast. Gjennom et sentralt innløpsrør fordeles vannet ut i nedre del av sandsengen. Vannet blir filtrert og renses etter hvert som vannet føres opp gjennom sanden. Det rensede vannet føres så ut på toppen av filteret. Se Figur 36. Ved kontinuerlig spyling slipper man å bytte sand, da denne renses under drift. Dette er en stor fordel sett i forhold til tradisjonelle sandfiltre hvor driften må stanses, og sanden byttes/renses [41].

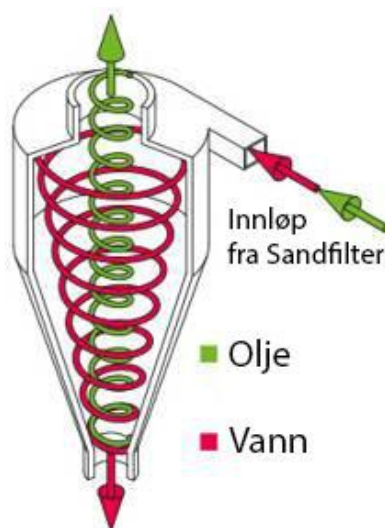


Figur 36: Prinsippkisse for kontinuerlig sandfilter. [40]. Figuren er navnsatt.

### Hydrosyklon

Etter sedimentering og filtrering er vannet tilstrekkelig rensert for suspendert stoff. Vannet inneholder fortsatt oljefraksjoner da disse er lettere enn vann, og vanskelig å filtrere ut. En hydrosyklon bruker sentrifugalkrefter til å skille to væsker fra hverandre, og egner seg godt til fjerning av oljefraksjoner. Vannet pumpes tangentielt inn på toppen av syklonen som er utformet som en konus. Vannet, som er tyngst, vil rotere langs yttersidene og bevege seg mot det nedre utløpet. Vannet danner primærvirvelen, se rød virvel Figur 37. De lettere oljefraksjonene, vil bevege seg mot midten av syklonen og videre opp mot det øvre utløpet. Olfefraksjonene danner sekundærvirvelen, se grønn virvel Figur 37. [55]

Hvis vannet mot formodning skulle inneholde små plastrester når det ankommer hydrosyklon, vil plastrestene separeres og følge sekundærvirvelen ut. Dette siden plastrester, på samme måte som olje, har lavere egenvekt enn vann. [44]

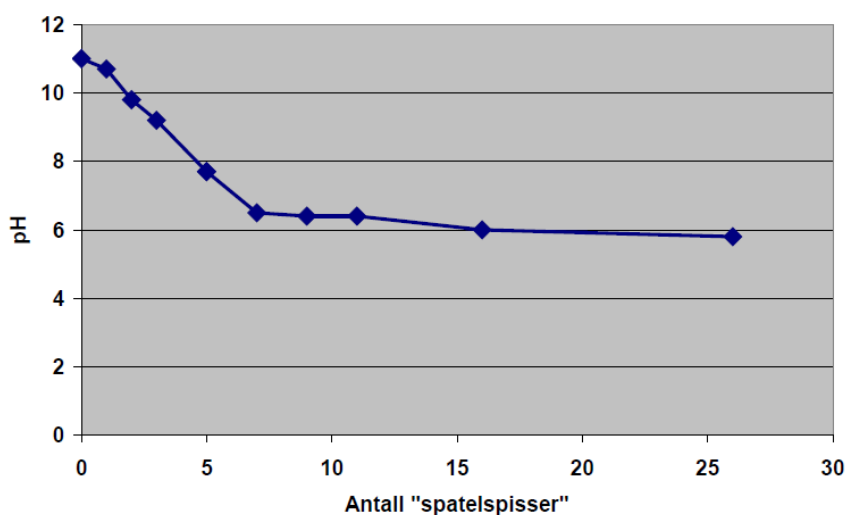


Figur 37: Prinsippskisse hydrosyklon for oljeutskilling. [56]. Figuren er navnsatt.

### *pH-justering og etterpolering*

pH i tunnelvann befinner seg vanligvis på den basiske siden, og avhenger av aktiviteten som foregår med sementbaserte tetningsmidler og sprøytebetong. For justering av pH blandes CO<sub>2</sub>-gass inn i vannet. CO<sub>2</sub> produserer en svak syre, karbonsyre (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), når den løses i vann. Karbonsyre er også kjent som kullsyre, og finnes blant annet i brus. Tilførsel av CO<sub>2</sub> vil altså redusere vannets pH [57].

Effekten av tilsatt gass avtar med avtagende pH. Figur 38 illustrerer for betongpåvirket anleggsvann med pH lik 11 at pH reduseres relativt rask med økt tilsetning av CO<sub>2</sub> før man når er terskel ved omtrent pH lik 6,4. Figur 38 illustrerer for betongpåvirket anleggsvann med pH lik 11 at pH reduseres relativt raskt med økt tilsetning av CO<sub>2</sub>, før man når en terskel ved omtrent pH lik 6,4 [58].



Figur 38: Endring av pH til 200mL betongpåvirket anleggsvann som funksjon av økt tilførsel av CO<sub>2</sub> i form av tørris dosert på spatelspisser. Tilsatt under turbulent omrøring med magnetrører. [58]

Dette reduserer sjansen for overdosering, som kan resultere i at det slippes ut vann med for lav pH. Dette til forskjell fra pH-justering med saltsyre, der feil dosering raskt kan resultere i utslipp med svært lav pH. Det er til fordel at pH-justering med CO<sub>2</sub> foregår sent i renseprosessen etter at vannet er renset for partikler. Høyt partikkelinnhold vil resultere i høyere CO<sub>2</sub>-forbruk, og kan i tillegg tette utløpet for gassen. pH-justeringen foregår i et basseng som er delt opp i 3 seksjoner [57]:

- Innløpsdel hvor vannet roer seg ned.
- Trykkammer hvor det tilsettes av gass.
- Etterpoleringsdel hvor vannet roer seg ned. Måling og dokumentasjon av pH.

### 3.4.2 Massehåndtering

Det er nødvendig å ta hånd om masser som følge av tunneldrivingen. På prosjektet i dag er det etablert et mellomlager mellom Namsen og E6. Mellomlageret har en kapasitet på på 1-2 døgns uttak av stein, inntil ca. 3000 m<sup>3</sup> steinmasser, og har sikker avstand på 5-8 m fra elven for å forhindre utvasking av finstoff [45].

Som nevnt i kapittel 2.8 er det flere metoder for håndtering av tunnelmasser. Hvilken metode som benyttes for massehåndtering vil variere fra prosjekt til prosjekt. Etterspørsel og behov for tunnelstein i nærområdet vil ha mye å si for hva entreprenør velger å gjøre med massene. Tunnelmassene kan også bli benyttet som fyllmasser i forbindelse med vegbygging langs elven. Dette stiller strenge krav til vask av massene for å forhindre utvasking av finstoff til resipient.

### 3.5 Kostnadsberegning

Det er vesentlig for sammenligningen at det utføres en kostnadsberegning for tunnelen. Beregningene blir utført i Microsoft Excel. Bakgrunnsdata for kostnadsberegningen er hentet fra en doktorgrad av Shokrallah Zare fra 2007, som har samlet gjennomsnittskostnader for norsk konvensjonell tunneldriving [59]. Det er antatt at metoder i norsk tunneldriving ikke har forandret seg mye siden 2007, og det er derfor ikke justert for økt effektivitet. Prisene er justert med Statistisk sentralsbyrås «Byggekostnadsindeks for veglegg» [60]. Det er prisjustert fra 2004, rapportens publiseringsdato, frem til dagens prisnivå. Prisindeksen som er brukt er «fjelltunnel». I tillegg til kostnadsmodellen fra Zare er det valgt å bruke NVEs «Kostnadsgrunnlag for vannlegg» for å beregne forskjæring nedstrøms [50].

For tunneldrivingen er kostnadsmodellen basert på en 3 km lang vegtunnel. Derfor må tallene som hentes ut vurderes nøye, da anleggstunnelen til dette prosjektet vil være vesentlig kortere. Tallene som er plottet i Excel er avlesninger fra tabell som er justert etter antatte endringer i driving av en kortere tunnel. Faktumet at rapporten fra Zare er utarbeidet for vegtunnel kan føre til avvik. Derfor er enkelte kostnader utelatt fra kostnadsberegningen.

Lastekostnader for kostnadsberegningen skal gjennomføres med hensyn til en mellomstor hjullaster og lastebil. Det er antatt ca. 600 meter til tipp.

NVEs rapport gir erfaringsbaserte tall på kostnader av en forskjæring [50]. Disse tallene blir benyttet, men det vil bli tillagt et korreksjonstall for krevende arbeid og ekstra sikring, som tar høyde for avvikene fra standard etablering av forskjæring og påhugg. Denne faktoren vil være kvalifisert gjetning for justering av kostnad.



### 3.6 Tidsberegning

I bygg- og anleggsbransjen er tid en viktig faktor som har stor innflytelse på avgjørelser og beslutninger rundt et prosjekt. For å danne et godt sammenligningsgrunnlag opp mot adkomstveien vil det være nødvendig å utføre en tidsberegning for å gi et estimat på hvor lang tid arbeidet med adkomsttunnelen vil ta.

For tidsberegning pr. salvesyklus er «Rapport 2B-95 Prognoser konvensjonell tunneldrift» tatt i bruk. Rapporten er utarbeidet av Professor Odd Johannessen ved NTH. I fremgangsmåten inngår en rekke diagramavlesninger [61]. Resultatene fra rapporten er plottet i Microsoft Excel, og presenteres i 4.6. Det er brukt erfaringsverdier fra Skanska på sprøytekapasitet og tider for opp- og nedrigging (Vedlegg M-1: Andersen Huso).

Det må påpekes at rapporten er utgitt i 1995 (sist revidert i 1996). I dag besitter ingeniører og tunnelarbeidere mer kompetanse, og arbeider med mer moderne utstyr og maskiner enn hva de gjorde på 90-tallet. Det er grunn til å tro at den konvensjonelle drivemetoden har blitt effektivisert siden publiseringen av anvendt rapport, og dermed at utregnet tidsforbruk for tunnelarbeidet muligens ville vært lavere i dag. Det bes om at leser er oppmerksom på dette da nyere rapport eller en faktor for korrigering ikke ble funnet.

## 4 Resultater

I dette kapittelet samles og presenteres resultater fra foregående kapitler.

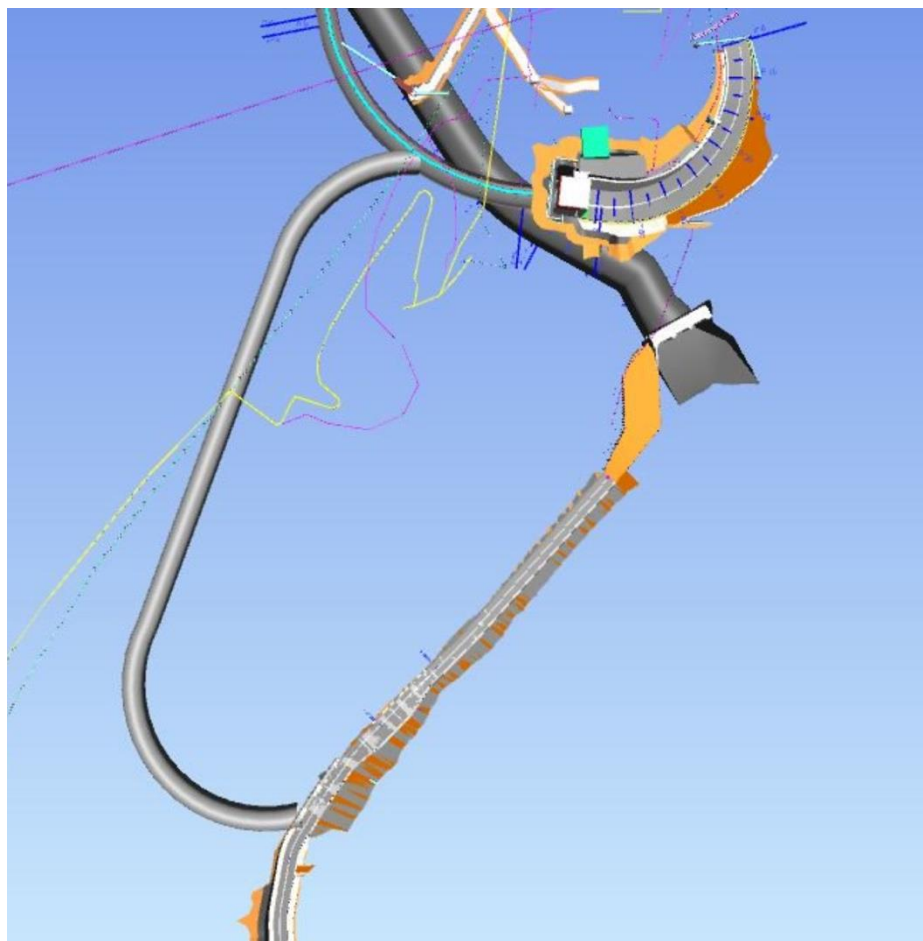
### 4.1 Prosjektering av tunnel

Tegninger produsert til prosjektering av tunnel ligger vedlagt som vedlegg B.

#### 4.1.1 Valg av tunneltrasé

Etter vurdering av alle tre løsninger i 3D-modell og under befarings, blir løsning 1 ansett som den mest gjennomførbare traseen. Selv om løsning 1 er den lengste tunnelen fører dette til mindre fall. Tunnelen vil ikke komme i konflikt med eksisterende tunneler eller gammel fylling. Den siste strekningen hvor det må drives innenfra og ut omtales i kap 4.1.4.

Figur 39 viser valgt tunneltrasé modellert inn i Navisworks.

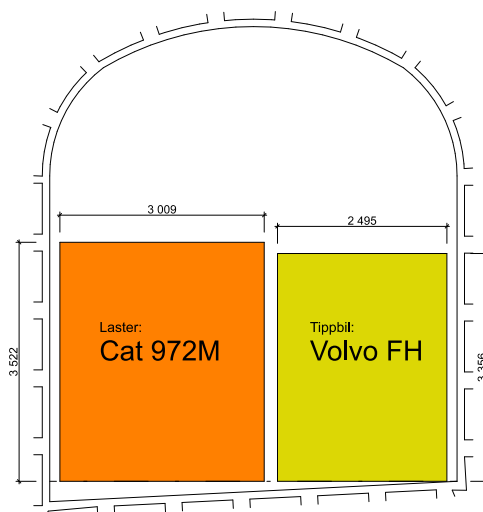


Figur 39: Endelig tunneltrasé vist med lys gråfarge.

#### 4.1.2 Prosjektering tverrsnitt

Tverrsnittet til eksisterende adkomsttunneler på prosjektet ligger i størrelsesorden kravet satt til tunnelen som skal prosjekteres ned til utløpet. Som utgangspunkt til mål på tverrsnitt er det derfor tatt utgangspunkt i eksisterende tverrsnitt.

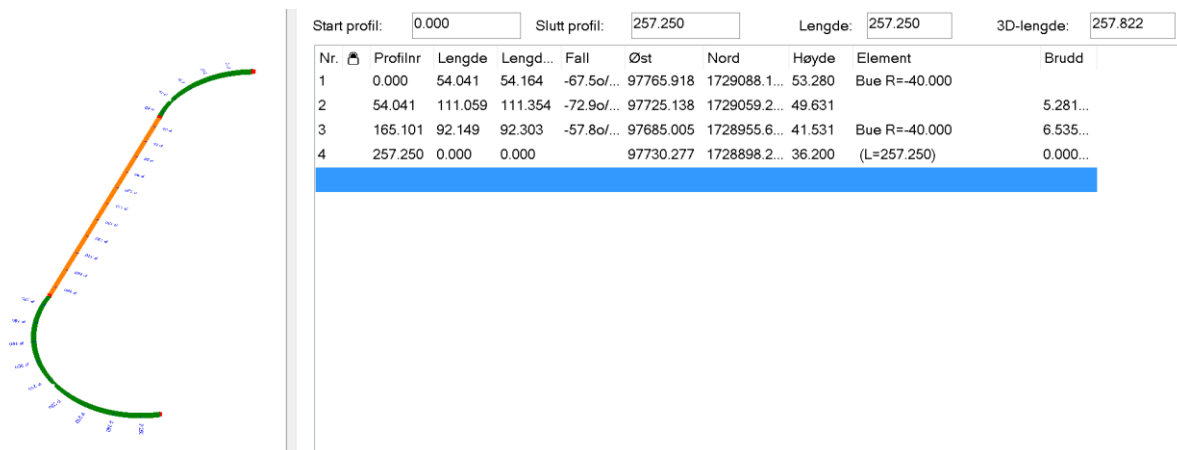
Tunnelens såle er prosjektert med 5% fall mot venstre for å lede vann til denne siden. Fall mot venstre er valgt fordi tunnelen på synk har venstreorientert kurvatur. Da vil et fall denne veien gi naturlig krumning for kjøretøy. Bredden på tunnelen på 6 m er godt innenfor satte dimensjonerende krav. Det gjør det også mulig å få plass til laster og tippbil fremme på stuff, noe som vil redusere lastetiden og gjøre tunneldrivingen mer effektiv.



Figur 40: Tverrsnitt med laster og tippbil. [74] [75]

### 4.1.3 Prosjektering av tunneltrasé

Tunnelprosjekteringen er gjennomført og data er vist på Figur 41. Modellen er produsert i Gemini Terrain 15. Endelig tegning med stikningspunkter og nødvendig informasjon er vedlagt som vedlegg B-4.



Figur 41: Data fra tunnelprosjektering.

Endelig lengde for profillinje er teoretisk 257 m. Profillinjen begynner i senter for eksisterende adkomsttunnel. Det vil si at det er effektivt ca. 253 drivemeter. Nøyaktig skjæringsflate for nedstrøms gjennomslag kan påvirke faktisk lengde ytterligere. Nedstrøms vil tunnelen komme ut på ca. pel 780 på profillinje for veg i dagen. Resterende vegstrekning i fylling mellom pel 780 og pel 918 vil bli lik for veg i dagen og tunnel.

Horsionalradius er satt til 40 meter i begge kurvaturene i forhold til krav satt i 3.1.3. Endelig helning er henholdsvis på 6,8 % i første kurvatur, 7,3 % i langstrekket og 5,8 % for siste kurvatur. Dersom sprekkevannstallet blir veldig lavt, kan dette medføre vanskeligheter ved driving.

#### 4.1.4 Gjennomslag og etablering av forskjæring

##### *Sonderboring og geologisk kartlegging*

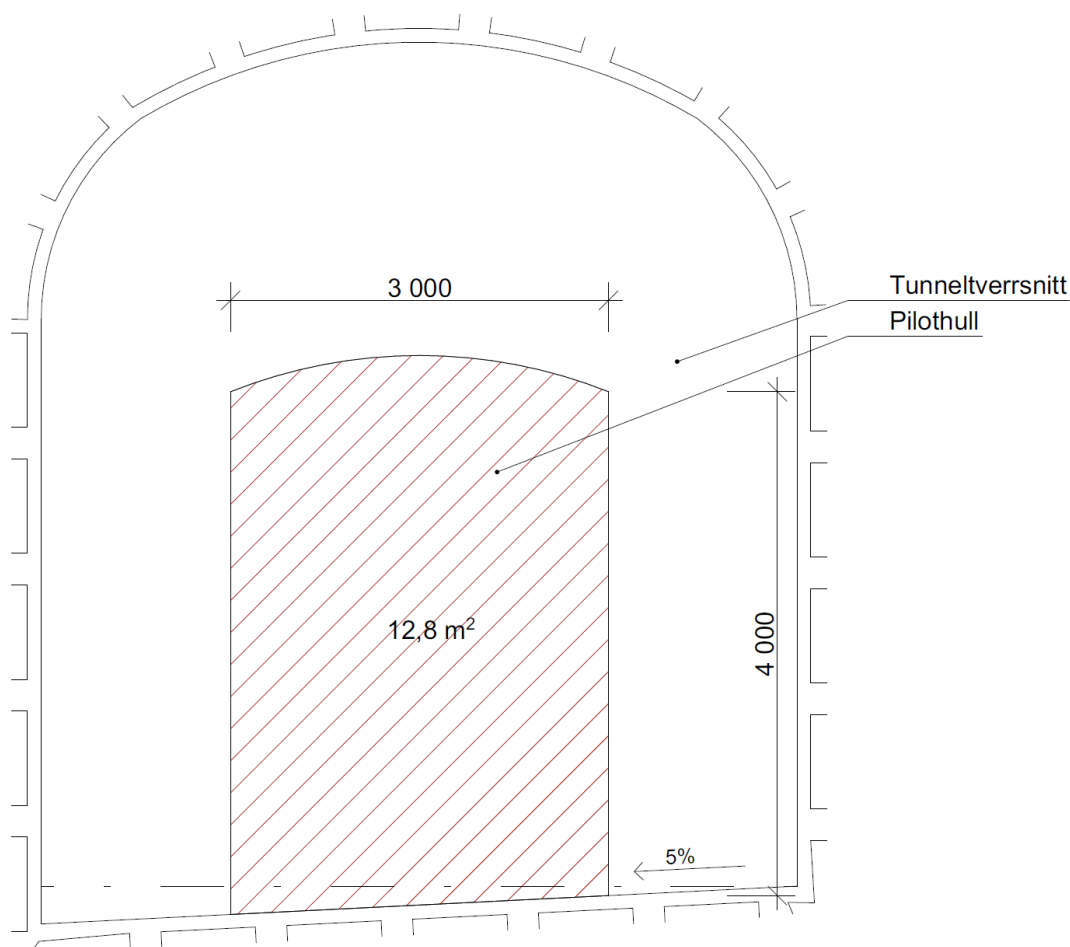
P-242 antas å være området hvor det ikke lenger er tilstrekkelig overdekning. På profilpunktet er overdekningen målt til 10 m, og man vil herfra drive under kritisk grense. Hvis ingeniørgeologer på forhånd ikke har klart å kartlegge foranliggende berg, vil det bli nødvendig å gjøre dette foran på stuff. Fra stuff vil det bli gjort sonderboringer, antakelig i flere omganger, for å kartlegge videre grunnforhold. Hvis grunnforholdene viser seg å være dårligere enn antatt, kan dette medføre et opphold på flere dager i produksjonen.

##### *Sikring av berg*

Når foranliggende berg er tilstrekkelig kartlagt, kan man starte å sikre området fremfor stuff. Omfanget av sikringen vil bli bestemt av ingeniørgeologer basert på resultatene fra sonderboringer. Imidlertid antas det at sikring vil bestå av forbolter og injeksjon, men tyngre sikring kan også bli aktuelt.

### Utførelse av pilothull

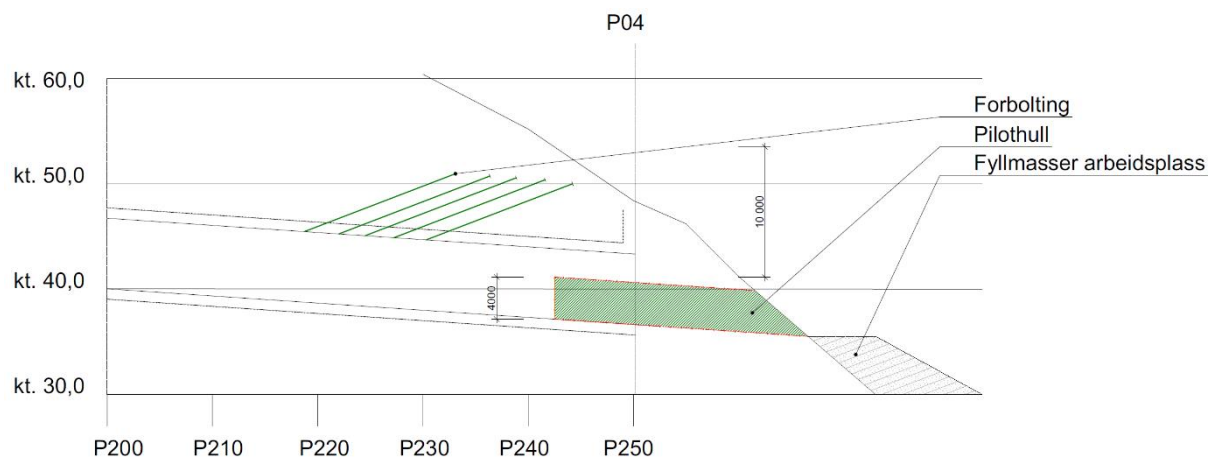
Fra P-242 og ut i dagen forutsettes det at det drives en pilottunnel for å få best mulig resultat. Det nødvendige utstyret som trengs for etablering av forskjæringen vil være dimensjonerende for pilottunnelen. Det er tatt utgangspunkt i at det brukes en to-boms rigg for å drive pilottunnel. På Figur 42 er det dimensjonert etter en Boomer E2 og teknisk informasjon er hentet fra «Boomer E1/E2 series technical specification» [62]. Det antatte arealet til pilothullet er videre i oppgaven det som blir brukt til kostnadsestimat for forskjæring i 4.5.



Figur 42: Illustrasjon av tverrsnitt pilothull.

Det er antatt at det for hele strekningen vil foregå forbolting og injeksjon. Ved behov utføres tyngre sikring i form av armerte sprøytebetognbuer eller utstøping. Det antas også forsiktig sprengning med bruk av elektronisk tennsystem, og oppdelte salver ved behov.

Figur 43 viser tenkt utførelse av pilothull i skråningen der tunnelen vil komme ut, og hvor gjennomslag vil bli etablert. Punkt P04 viser til flate hvor forskjæringen antas å bli etablert. Plasseringen av forskjæringsflaten kan variere stort avhengig av løsmassemektigheten i området. Ved opptreden av større løsmassemektighet enn antatt, må det vurderes å flytte forskjæringsflaten lenger bak for å ivareta totalstabiliteten.



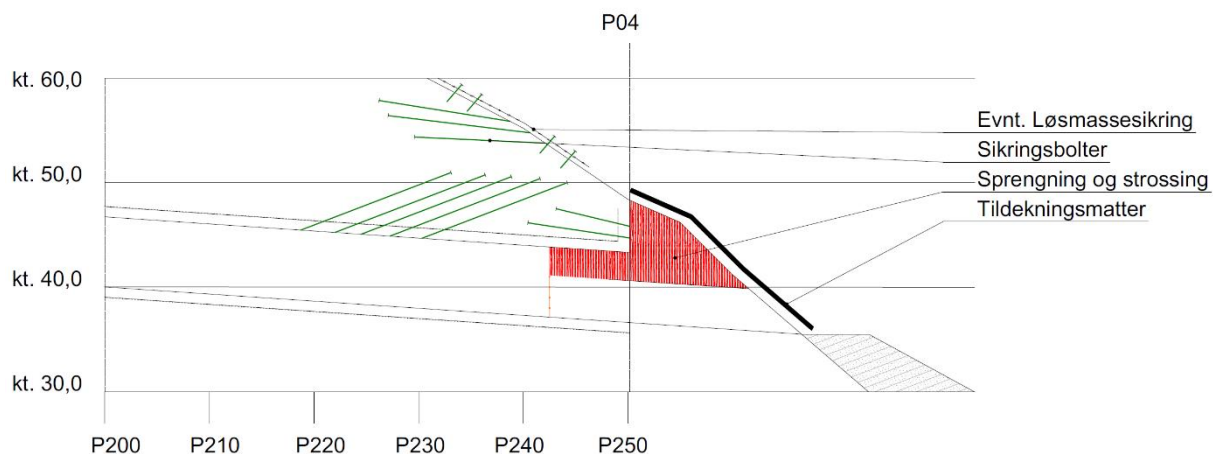
Figur 43: Illustrasjon til utførelse av pilothull.

#### *Etablering av arbeidsplass og sikring av området*

Det vil være nødvendig å etablere en arbeidsplass ved ankomst ut i dagen etter nedstrøms gjennomslag. Masser som benyttes til utfylling av arbeidsplassen må vaskes på forhånd for å minimere utslipp til elven. Før arbeidet med forskjæringen kan starte vil det være nødvendig med nye geologiske vurderinger om hvorvidt området må renskes og/eller sikres. Rensk med gravemaskin, og sikring med bolter og sprøytebetong antas å bli nødvendig. Ved mye vegetasjon og løsmasser bør det vurderes jordnagling og geonett.

### *Eablering av forskjæring og strossing*

Når området er sikret kan etableringen av forskjæringen begynne. Her vil det sannsynligvis være nødvendig med bruk av pallrigg. Det forutsettes at salver tildekkes på en slik måte at man unngår at stein og sprengrester havner i elven. Etter at forskjæring er etablert og sikret, kan pilottunnelen strosses ut til fullt tverrsnitt. Figur 44 viser tenkt utførelse av arbeidet.



*Figur 44: Illustrasjon til utførelse av sikring og strossing.*

For å forhindre allmenn ferdsel i tunnelen vil det til slutt bli etablert en betongport. Konstruksjonen vil også bistå totalstabiliteten rundt gjennomslaget.



#### 4.1.5 Kommentar til prosjektering av tunnel

Grunnlaget for prosjekteringen er gruppens kunnskap om tunneldriving og ingeniørgeolgoi, samt forundersøkelser utført av Norconsult ved prosjektet. Funksjonærer fra Skanska har vært behjelpelige i prosessen.

Etableringen av oppstrøms påhugg anses å kunne gjennomføres uten store problemer. Drivingen frem til P-242 vurderes som enkel til middels vanskelig. Dimensjonerende krav til helning og horisontalradius regnes å kunne tilfredsstilles uten problemer. Med valgt tverrsnitt oppnår man god utnyttelse av maskiner, og dermed en høy inndrift.

Under intervju med prosjektleder på Nye Nedre Fiskumfoss kom det frem usikkerhet rundt dybde av gammel fylling, og om dette kan skape problemer med overdekning for tunnel [8]. Gammel fylling anses som å ikke være noe problem da tunnelen ligger et godt stykke innenfor byggverk over fyllingen. Fyllingen kan ikke være dypere enn dette bygget, og da må overdekning for tunnel være tilstrekkelig. Dette kommer frem fra Figur 28.

Fra P-242 og ut må det beregnes inn stor usikkerhet. Plasseringen av forskjæringsflate avhenger av at antagelser for grunnforhold stemmer. Hvis løsmassemektheten i området ved ankomst viser seg å være større, kan dette medføre at forskjæringsflaten må plasseres lenger inn i skråningen. I korte trekk vil dermed størrelsen og sikringsomfanget på forskjæringsflaten øke ved opptreden av mer ugunstige forhold enn antatt.

## 4.2 Sprengningsplan

Tegninger produsert til sprengningsplan er vedlagt som vedlegg C.

### 4.2.1 Rystelsesberegning

Fra rystelsesberegninger er «total samtidig ladningsmengde» vesentlig videre i sprengningsplanen.

*Total samtidig ladningsmengde = 80,3 kg*

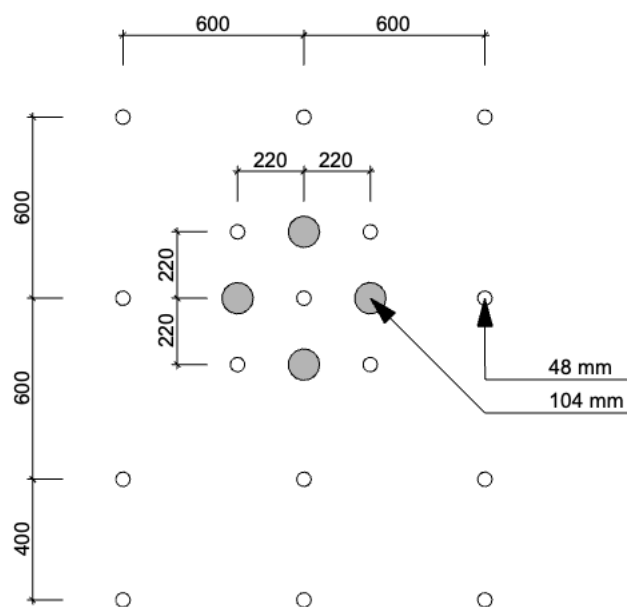
Denne ladningsmengden antas å være stor i forhold til størrelsen på tunnelen som skal drives. For videre planlegging av sprengningsplan trenger ikke øvre ladningsmengde å tas i betraktning, men undersøk største totale ladningsmengde etter at tenningsplan er ferdig.

### 4.2.2 Borplan

Tunnelen som skal bygges er 38,2 m<sup>2</sup> og berget viser til middels/gode driveforhold. Arbeidets størrelse er i medium skala og ønskes utført effektivt. En 3-bomsrigg vil gi ønsket hullengde på 5,2 m og god fremdrift. Det vil bli benyttet 48 mm borstål for alle ladehull og 104 mm borstål for grovhull i kutten.

#### *Kutten*

Kutten vil bli konstruert på mål etter eksempel vist i kapittel 3.2.2.



Figur 45: Målsatt tegning av kutten.

### *Resterende hullgrupper*

Resterende hullgrupper vil bli beregnet ut ifra forsetning som blir bestemt ved hullstørrelse. Dette indikerer oppnåelig ladningskonsentrasjon for de ulike sprengstoffene. For tunnelen skal det benyttes Slurry (SSE) som sprengstoff. Ved å se på Figur 30, vil hullstørrelse 48 mm oppnå en ladningskonsentrasjon på 1,8 kg/m og ha en anbefalt forsetning  $V_b = 1,1$  m.

Tabell 11: Forsetning og hullavstand ved  $V_b = 1,1m$ .

<b>Hullgrupper</b>	<b>Praktisk forsetning</b>	<b>Hullavstand</b>
Liggerhull	$1,0 * 1,1 = 1,1m$	$0,9 * 1,1 = 0,99m$
Konturhull	$0,8 * 1,1 = 0,88m$	$0,8 * 1,1 = 0,88m$
Innerkontur	$1,0 * 1,1 = 1,1m$	$1,1 * 1,1 = 1,21m$
Strosshull, nedover	$1,1 * 1,1 = 1,21m$	$1,2 * 1,1 = 1,32m$
Strosshull, horisontalt	$0,8 * 1,1 = 0,88m$	$1,0 * 1,1 = 1,1m$

I endelig borplan er det lagt vekt på kontur og innerkontur. Forsetning og hullavstand er blitt optimert for disse hullgruppene. Forsetning for liggerhullene er beregnet ut ifra laveste hull på sålen med helning 5 %. Kuttet er sideforskjøvet for å unngå en ekstra rekke med 3 strosshull. Sideforskyvning mot venstre velges på grunn av større forsetning mot såle på denne siden, og høyere ladningskonsentrasjon i kutthullene vil på denne måten bli bedre utnyttet. Borplan består av totalt 67 hull, inkludert 4 grovhull.

#### 4.2.3 Ladeplan

SSE-systemet vil bli benyttet til sprengningsarbeidet. Ved 48 mm ladehull kan man oppnå en ladningskonsentrasjon på 1,8 kg/m. Dette blir fullt utnyttet for alle hull bortsett fra innerkontur og kontur hvor lavere sprengstoffmengde kreves for å etterlate en finere kontur. Det er lagt inn bunnladung for alle hulltyper, men i praksis for denne ladeplanen er det kun innerkontur- og konturhullene hvor denne mengden vil ha påvirkning. Dette ettersom resterende hull fylles 100% inntil uladet del. I alle hull anvendes Nobel Prime 15x150mm som tennpatron for initiering av sprengstoffet.

Hovedprodukter:

- Nobel Prime 15 x 150 mm
- Civic Control – Slurry (bulk)

Tilleggsprodukter ved behov:

- Eurodyn 2000 papirpatroner – 30 x 380 mm
- Kemix A rørledninger – 22 x 1000 mm
- Magnasplit 2 – gul – 22 x 1000 mm

For ladningsberegninger er det blitt laget et regneark i Excel. Her fylles alle hvite ruter inn med kjent informasjon, og ut kommer nødvendige ladningsberegninger.

Ladeskjema									
Tetthet, kg/m <sup>3</sup>	Hullengde, m	Hulldiamter, mm	Kvadrat, m <sup>2</sup>	Anbefalt forsetning, Vb					
1000	5,2	48	38,2	1,1					

Hulltype	Farge	Antall hull	Uladet, m	Bunnladung		Streng %	Streng kg/m	kg pr. hull	kg totalt
				kg	m				
Kutt		16	0,5	0,5	0,28	100	1,81	8,50	136,08
Liggerhull		7	0,22	0,5	0,28	100	1,81	9,01	63,08
Konturhull		19	0,55	0,5	0,28	25	0,45	2,48	47,09
Innerkonturhull		12	1,1	1	0,55	50	0,90	4,21	50,52
Strosshull, nedover		6	1,43	0,5	0,28	100	1,81	6,82	40,93
Strosshull, horisontalt		3	0,88	0,5	0,28	100	1,81	7,82	23,45
Totalt		63							361,15
Spesifikk ladning, kg/m <sup>3</sup>	1,82								

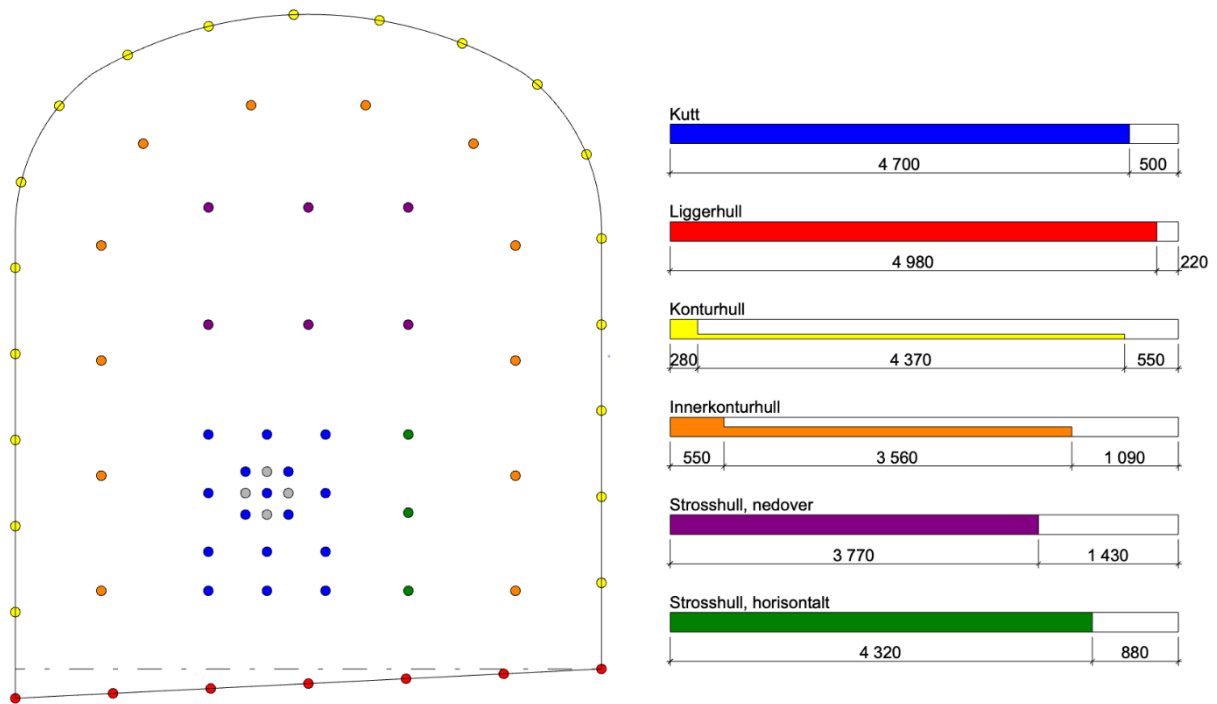
Figur 46: Ladeskjema med utførte beregninger.

De mest aktuelle dataene fra skjemaet vil være total ladningsmengde og spesifikk ladning.

Total ladningsmengde: 361,15 kg

Spesifikk ladning: 1,82 kg/m<sup>3</sup>

Figur 47 viser ladeplan for standard 5,2m salve med fordeling av type hull og oppbygning med bunnladning, pipeladning og uladet del. Alle hull følger gitte anbefalinger fra Tabell 8.



Figur 47: Ladeplan med oppbygning av alle hulltyper.

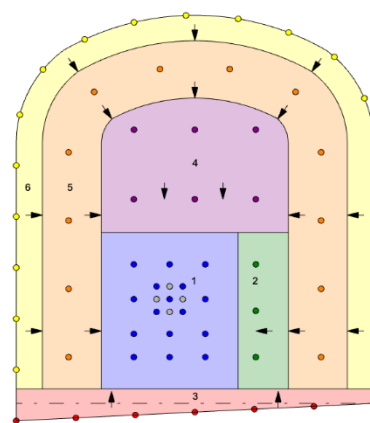
#### 4.2.4 Tennplan

Standard tennplan bygges på tennsystemet Nonel-LP.

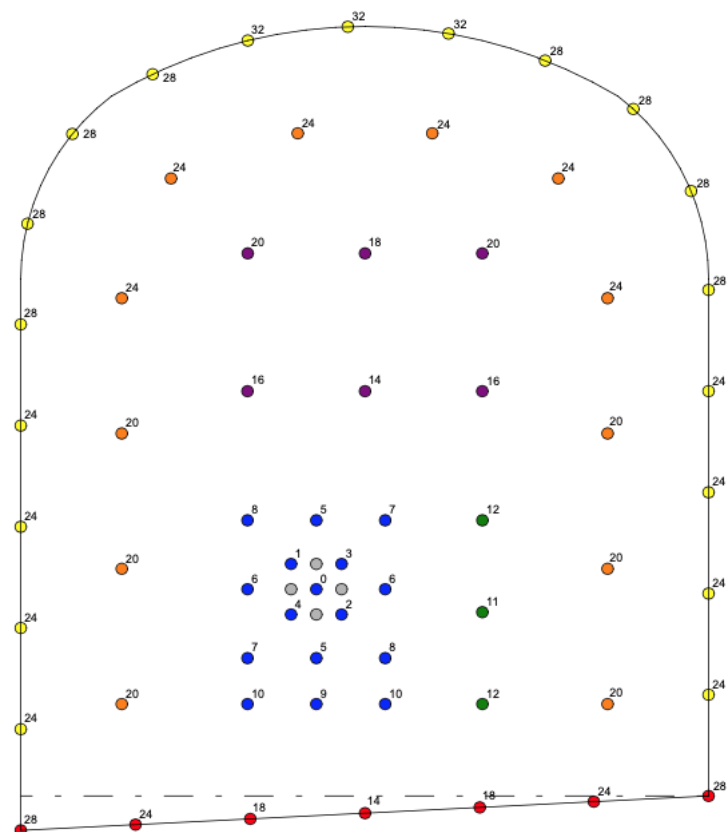
Hovedprodukter:

- Nonel-LP
- Fenghette
- Svartkruttlunte

Tennplanen er lagt opp etter brytningsforløpet vist i Figur 48.



Figur 48: Brytningsforløp for standard tunnelsalve.



Figur 49: Tennplan for standard tunnelsalve.

Figur 49 viser tennplan med forsinkelse for alle tennere. Planen er laget for standard 5,2 m tunnelsalve og har tennerintervallene 0 – 3200 ms. Fra rystelsesberegning ble øvre totale samtidige ladningsmengde beregnet til 80,3 kg. I denne tennplanen har tennernummer 2400 ms flest hull og høyeste ladningsmengde. Utregning av total ladningsmengde:

$$(4,21 * 6) + (9,01 * 2) + (2,48 * 8) = 63,12 \text{ kg}$$

Tennernummer 2400 ms er innenfor rystelsesberegninger for øvre totale samtidige ladningsmengde.

Ved delt eller kortere salvelengde må tennplan tilpasses. For gjennomslag nedstrøms vil det være aktuelt å vurdere elektroniske tennere for å dempe rystelser mest mulig.

#### 4.2.5 Kommentar til sprengningsplan

Sprengningsplan er laget etter teori hentet fra Orica Mining. Denne teorien er generell for tunneler og derfor er det blitt tatt kontakt med en produksjonsleder på tunneldriving hos Skanska for tilbakemelding på sprengningsplanen [63]. Her kom det fort frem at spesifikk ladning på 1,82 kg/m<sup>3</sup> kan se ut til å være noe lav. Erfaringstall fra Skanska gir spesifikk ladning på 2,6 kg/m<sup>3</sup> for tunnelprofiler på rundt 40 m<sup>2</sup>. Skanska mener uansett at salven ville komme ut. Grunnen til at denne sprengningsplanen gir lavere spesifikk ladning enn Skanska sine erfaringstall, kan være at beregningsmetodene brukt i planen er tilpasset tunneler med større tverrsnitt.

Selv om tilbakemelding sier at spesifikk ladningmengde er lav, vil det ikke bli gjort noen endringer for planen da denne er laget fra ren teori. Før sprengningsplanen endres eller forkastes bør den testes. Det er ikke ukjent at det i mange tilfeller overlades for å sikre at hele salven kommer ut.

Ved gjennomslag bør det vurderes bruk av elektroniske tennere. Dette bør gjøres med tanke på både rystelser og miljø. Elektroniske tennere gir mindre rystelser, og dette vil kunne gi et bedre gjennomslag. For miljø ønskes det minst mulig utslipp i elven. Elektroniske tennere resulterer i både mindre sprengstein og mindre plast i elven.

## 4.3 Sikring

### 4.3.1 Q-metoden

Til kartlegging av bergmassekvalitet og sikringsbehov er Q-systemet tatt i bruk. Q-verdien beregnes ved hjelp av følgende modell:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$$

Under følger begrunnelse for valg av parameterverdier, tabeller er hentet fra håndboken «Bruk av Q-systemet» utgitt av NGI. Fastsatte verdier og utregnede Q-verdier er samlet i Tabell 12.



### RQD / Tall for sprekkesett $J_n$

Bergmassen i eksisterende kraftstasjon er gjennomsatt av to til tre sprekkesett. Berget er observert til å være lite til moderat oppsprukket og det er kartlagt 5 – 15 sprekker pr. m<sup>3</sup>.

1 RQD = Oppsprekkingsfaktor (Rock Quality Designation)			RQD
A	Svært dårlig	(> 27 sprekker per m <sup>3</sup> )	0-25
B	Dårlig	(20-27 sprekker per m <sup>3</sup> )	25-50
C	Middels	(13-19 sprekker per m <sup>3</sup> )	50-75
D	God	(8-12 sprekker per m <sup>3</sup> )	75-90
E	Utmerket	(0-7 sprekker per m <sup>3</sup> )	90-100

Merk: i) Der RQD er rapportert eller målt til  $\leq 10$  (inklusive 0), brukes verdien 10 for å bestemme Q-verdien  
ii) RQD-intervaller på 5, dvs. 100, 95, 90, osv., er tilstrekkelig nøyaktige

Figur 50: Bestemmelse av RQD. [27]

RQD-verdien vil variere fra 50 (middels) til 100 (utmerket).

2 $J_n$ = Tall for sprekkesett		$J_n$
A	Massivt, ingen eller få sprekker	0,5-1,0
B	Ett sprekkesett	2
C	Ett sprekkesett pluss tilfeldige sprekker	3
D	To sprekkesett	4
E	To sprekkesett pluss tilfeldige sprekker	6
F	Tre sprekkesett	9
G	Tre sprekkesett pluss tilfeldige sprekker	12
H	Fire eller flere sprekkesett, tilfeldig og sterkt oppsprukket "sukkerbitberg", osv.	15
J	Knust berg, jordaktig	20

Merk: i) For tunnelkryss, bruk  $3 \times J_n$   
ii) For påhug, bruk  $2 \times J_n$

Figur 51: Bestemmelse av tall for sprekkesett. [27]

Ved opptreden av to sprekkesett settes  $J_n$  til 4, og ved 3 sprekkesettes settes verdien til 9.

Sprekkeruhetstall,  $J_r$  / Tall for sprekketrylling,  $J_a$

3 $J_r =$ Sprekkeruhetstall		$J_r$
a) Bergveggkontakt, og b) Bergveggkontakt før skjærbevegelsen har gått 10 cm		
A	Diskontinuerlige sprekker	4
B	Ru eller ujevn, bølgete	3
C	Glatt, bølgete	2
D	Glidespeil, bølgete	1,5
E	Ru, ujevn, plan	1,5
F	Glatt, plan	1
G	Glidespeil, plan	0,5

Figur 52: Bestemmelse av sprekkeruhetstall. [27]

Sprekkeruhetstallet settes til 1,5 (plane, middels ru).

4 $J_a =$ Tall for sprekketrylling		$\Phi_r$	$J_a$
a) Bergkontakt (ingen mineraltrylling, bare belegg)			
A	Sammenvokste sprekker med harde mineraler som kvarts eller epidot.		0,75
B	Uomvandlede sprekketryllinger, bare overflateoksidasjon.	25-35°	1
C	Svakt omvandlede sprekketryllinger. Uoppbløtelig mineralbelegg, sandpartikler, oppknust berg uten leir.	25-30°	2
D	Siltig eller sandig sprekketrylling, litt leir (ikke svellende).	20-25°	3
E	Oppbløtelig leirbelegg med lav friksjon, f.eks. kaolinit eller glimmer. Også kloritt, talk gips, grafitt osv. og små mengder svulleleire.	8-16°	4

Figur 53: Bestemmelse av tall for sprekketrylling. [27]

Tall for sprekketrylling settes til 2 (lite omdannet).

Begge verdier er fastsatt med bakgrunn fra Tabell 10.

### *Sprekkevannstall, $J_w$*

Det forventes ikke problemer knyttet til innsig av vann. Sprekkevannstallet settes hovedsakelig til 1,0. Ved stor nedbørmengde eller snøsmelting forventes det større innsig. Ved ugunstige forhold settes verdien til 0,8.

5 $J_w =$ Sprekkevannstall		$J_w$
A	Tørre bergrom eller mindre innsig (fuktig eller noen få drypp)	1,0
B	Middels innsig, av og til utvasking av sprekefyllinger (mange drypp/"regn")	0,66
C	Vannstråler eller høyt trykk i kompetent berg med ufylte spreker	0,5
D	Stort tilsig eller høyt trykk, betydelig utvasking av sprekefyllinger	0,33
E	Usedvanlig høy innstrømming eller vanntrykket avtar med tid. Forårsaker utvasking av materialer og kanskje utrasinger	0,2-0,1
F	Usedvanlig høy innstrømming eller vanntrykket fortsetter uten merkbar reduksjon. Forårsaker utvasking av materialer og kanskje utrasinger	0,1-0,05

*Figur 54: Bestemmelse av sprekevannstall. [27]*

### Spenningsfaktor, SFR

Spenningsstilstanden forventes etter påhuggområdet å være nær isotropisk. Mot slutten hvor det drives med avtagende overdekning, antas det spenningsavlastet berg. En må her forvente seg problemer knyttet til spenningsstilstanden. For gunstige forhold settes SRF til 1,0, og ved ugunstige forhold settes verdien til 2,5.

6 SRF = Spenningsfaktor (Stress Reduction Factor)			SRF	
<b>a) Svakhetssoner som krysser tunnelen eller bergrommet, som kan føre til at bergmasse løsner</b>				
A	Hyppig opptreden av svakhetssoner som inneholder leire eller kjemisk forvitret berg, avspent berg (uansett dybde), eller lange seksjoner med inkompetent (svakt) berg (uansett dybde). For skvising, se 6L og 6M		10	
B	Flere skjærsoner innenfor en kort seksjon i kompetent avspent sideberg (uansett dybde)		7,5	
C	Enkeltstående svakhetssoner med eller uten leire eller kjemisk forvitret berg (dybde ≤ 50 m)		5	
D	Ukonsoliderte, åpne sprekker, mange sprekker eller "sukkerbit", osv. (uansett dybde)		5	
E	Enkeltstående svakhetssoner med eller uten leire eller kjemisk forvitret berg (dybde > 50 m)		2,5	
Merk: i) Reduser disse SRF-verdiene med 25-50 % hvis svakhetssonene bare påvirker men ikke krysser den underjordiske åpningen				
<b>b) Kompetent, hovedsakelig massivt berg, spenningsproblemer</b>				
		$\sigma_c / \sigma_1$	$\sigma_0 / \sigma_c$	
			<b>SRF</b>	
F	Lave spenninger, nær overflaten, åpne sprekker	>200	<0,01	2,5
G	Middels spenninger, gunstige spenningsforhold	200-10	0,01-0,3	1
H	Høye spenninger, svært tett struktur. Vanligvis gunstig for stabiliteten. Kan også være ugunstig for stabiliteten, avhengig av retningen på spenningene sammenliknet med sprekke dannelse/svakhetsplan*	10-5	0,3-0,4	0,5-2 2-5*
J	Moderat avskalling etter > 1 time i massivt berg	5-3	0,5-0,65	5-50
K	Avskalling og bergslag etter noen minutter i massivt berg	3-2	0,65-1	50-200
L	Intens bergslag og umiddelbar dynamisk deformasjon i massivt berg	<2	>1	200-400

Figur 55: Bestemmelse av spenningsfaktor (SFR). [27]

## Sikkerhetskrav

7 Type underjordsanlegg		ESR
A	Midlertidige gruveåpninger osv.	ca. 3-5
B	Vertikale sjakter*: i) sirkelformede seksjoner ii) rektangulær / firkantet seksjon * Avhenger av formålet. Kan være lavere enn angitte verdier.	ca. 2,5 ca. 2,0
C	Permanente gruveåpninger, vanntunneler for vannkraft (unntatt fallrør med høyt trykk), vannforsyningstunneler, pilotstunneler, drivinger og innganger til store bergrom.	1,6
D	Mindre vei- og togstunneler, trykkammer, tilkomsttunneler, kloakktunneler, osv.	1,3
E	Kraftstasjoner, lagringsrom, vannbehandlingsanlegg, større vei- og togstunneler, sivilforsvarskammer, portaler, kryssinger, osv.	1,0
F	Underjordiske atomkraftverk, togstasjoner, offentlige anlegg og sportsanlegg, fabrikker osv.	0,8
G	Svært viktige bergrom og tunneler med lang levetid, $\approx 100$ år, eller uten tilgang for vedlikehold.	0,5

Figur 56: Bestemmelse av ESR-verdi. [27]

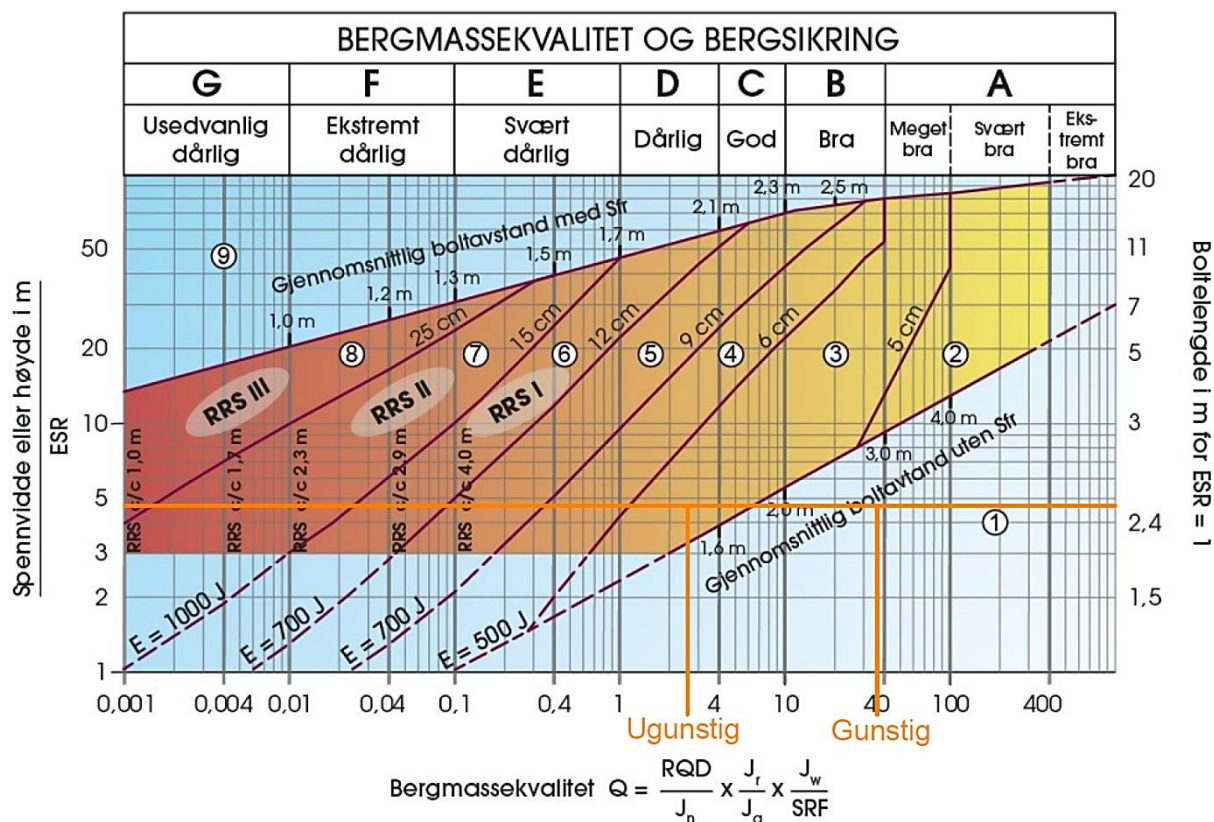
Under «type underjordsanlegg» kvalifiserer tunnelen til klasse D: «Mindre vei- og togstunneler, trykkammer, tilkomsttunneler, kloakktunneler, osv.». ESR-verdien er dermed satt til 1,3.

Tabell 12: Samletabell for Q-systems parametere. Inndata for dimensjonering av sikring i heng og vederlag.

Parameter	Verdi	
	Gunstig	Ugunstig
RQD	50	100
Jn	4	9
Jr	1,5	
Ja	2	
Jw	1	0,8
SRF	1	2,5
<b>Q-verdi (formel)</b>	<b>37,5</b>	<b>2,7</b>
ESR (sikkerhetskrav)	1,3	
Spennvidde tunnel	6 m (fra målsatt tegning)	
<b>Ekvivalent dimensjon</b>	<b>4,62</b>	

### 4.3.2 Dimensjonering av permanent sikring i heng og vederlag

Utregnede Q-verdier og ekvivalent dimensjon fra Tabell 12 er brukt i bergsikringsdiagrammet. Avlesningen er vist i Figur 57, og resultatene er presentert i Tabell 13.



Figur 57: Avlesning i bergsikringsdiagram for dimensjonering av sikring i heng og vederlag.

Tabell 13: Resultater fra Q-systemet (sikring i heng og vederlag).

Driveforhold	Bergmassekvalitet	Sikringsklasse og nødvendig sikring
Gunstig	B, Bra	Sikringsklasse 1: Usikret eller spredt bolting. Boltelengde: 2,5 m. Bolteavstand: > 2,5 m.
Ugunstig	D, Dårlig	Sikringsklasse 3: Systematisk bolting, fiberforsterket sprøytebetong, 5-6 cm. Boltelengde: 2,5 m. Bolteavstand: 1,9 m

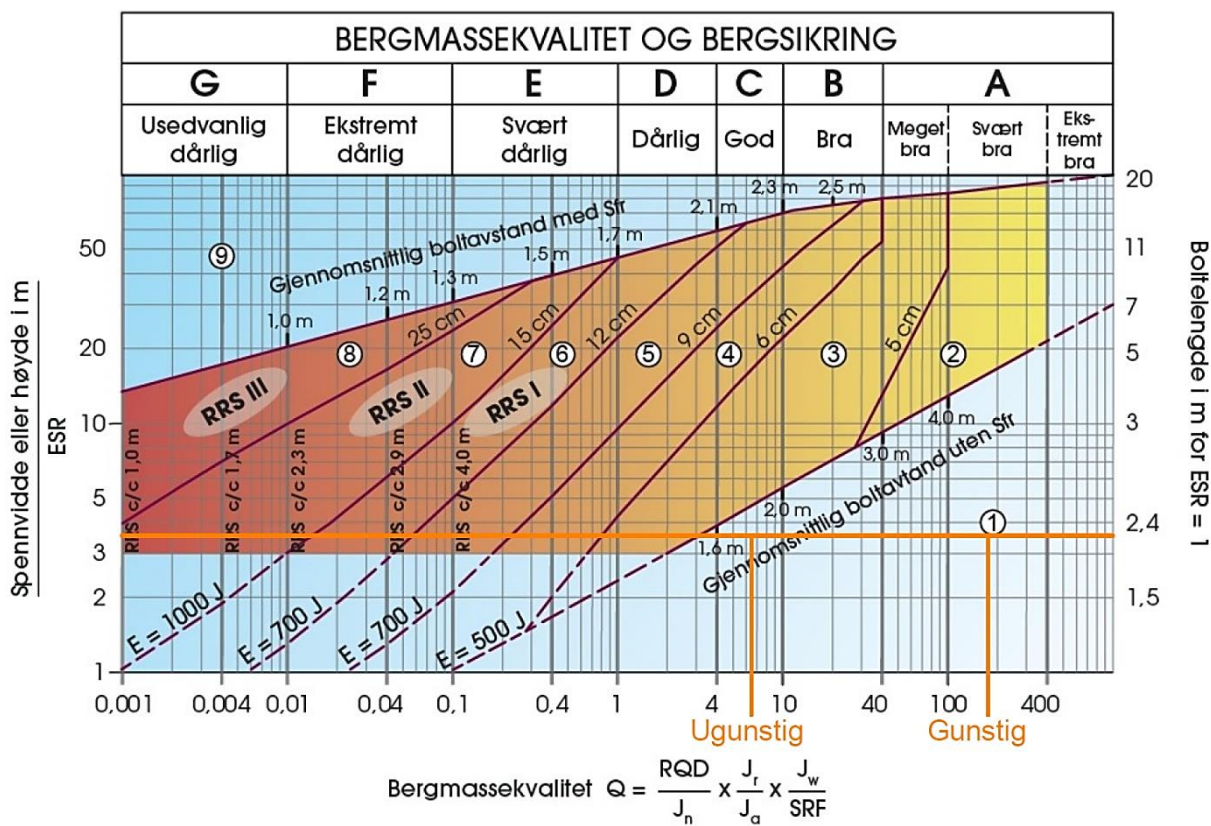
### 4.3.3 Dimensjonering av permanent veggsikring.

For dimensjonering av veggsikring må Q-verdiene justeres. Dette gjøres iht. Tabell 2. Tabell 14 viser omregnede Q-verdier og ekvivalent dimensjon, som nå regnes ut vha. vegghøyden istedenfor spennvidden.

Tabell 14: Inndata for dimensjonering av veggsikring.

Bergkvalitet	Faktisk Q-verdi	Omregnet Q-verdi
Gunstig	37,5	187,5
Ugunstig	2,7	6,7
Spennvidder og sikkerhetskrav til Berganlegg (ESR)		
Vegghøyde	4,5 (fra målsatt tegning)	
ESR	1,3	
Ekvivalent dimensjon	3,5	

Verdiene brukes direkte i diagrammet for å fastlå nødvendig veggsikring. Avlesningen er vist i Figur 58, og resultatene er presentert i Tabell 15.



Figur 58: Avlesning i bergsikringsdiagram for dimensjonering av veggsikring.

Tabell 15: Resultater fra Q-systemet (vegsikring).

Driveforhold	Bergmassekvalitet	Sikringskategori
Gunstig	A, svært bra	1, usikret eller spredt bolting. Boltelengde: 2,4 m. Bolteavstand: > 2,5 m.
Ugunstig	C, god	1, usikret eller spredt bolting. Boltelengde: 2,4 m. Bolteavstand: 2,2 m.

For utarbeidet sikringsplan, se:

Vedlegg D-1: Sikringsplan gunstige forhold og Vedlegg D-2: Sikringsplan ugunstige forhold.



#### 4.3.4 Kommentar til permanent sikring

Resultatene fra Q-systemet kvalifiserer til «bra» bergmassekvalitet i henget under gunstige forhold, og «dårlig» bergmassekvalitet under ugunstige driveforhold. Bergmassekvaliteten langs veggene er «svært bra» ved gunstige forhold, og «god» ved ugunstige.

Nødvendig permanent sikring ventes å bestå av rensk, bolter og fiberarmert sprøytebetong. Bergsikringsdiagrammet tar ikke for seg dimensjonering av arbeidssikring, da dette utføres av entreprenør etter behov. Det anbefales å ta i bruk kombinasjonsbolter som arbeidssikring, da disse kan gyses i etterkant og godkjennes som permanent sikring. Ved systembolting eller ytterligere sporadisk bolting anbefales fullt innstøpte kamstålbolter. I heng og vederlag anbefales det at sprøytebetong alltid inngår som en del av sikringen, selv om sikringskategori 1 tilsier at dette ikke er nødvendig. Dette på grunn av krav til arbeidssikkerhet og tekniske installasjoner i tunnelen. I den permanente sikringen stilles det ikke krav til energiabsorpsjonsklasse for sprøytebetongen. Det anbefales fremdeles at det benyttes en E400 resept.

Siden det er umulig å fullstendig forutsi de geologiske forholdene bør resultatene betraktes som en prognose på hvordan sikringsomfanget kan forløpe seg. Entreprenør vil under driving ha en "design as you go" tilnærming for utforming av en trygg stabilitetssituasjon, og modellen vil oppdateres fortløpende med ferske undersøkelser fra stuff.

Ved opptreden av svakhetssoner vil det i tillegg til bolter og sprøytebetong kunne bli behov for tyngre bergsikring i form av forbolter og fiberarmerte sprøytebetongbuer, eventuelt full utstøpning ved opptreden av svelleleire. Behov for reduserte salvelenger og delt tverrsnitt må også vurderes i slike områder.

For prognosen er parameterne fastsatt etter beste evne basert på forundersøkelser og observasjoner i eksisterende bergrom.

## 4.4 Vann- og massehåndtering

### 4.4.1 Vannhåndtering

Renseanlegget vil ha en renskapasitet på 120 m<sup>3</sup>/døgn. Anlegget skal rense tunnelvannet inntil det kan dokumenteres at det ikke lenger er nødvendig. Følgende grenseverdier skal tilfredsstilles.

- Suspendert stoff (SS) < 200 mg/l
- Totale hydrokarboner (THC) < 5 mg/l
- pH [6,5 – 8,5]

Utformingen av rensanlegget er vist på Vedlegg E-1: Renseanlegg, og består av følgende rensanordninger:

1. Fordrøyningsbasseng (hydralisk utjevning)
2. Sedimentering (suspendert stoff)
3. Sandfilter med kontinuerlig spyling (suspendert stoff og plast)
4. Buffertank (trykkutjevning for innløpspumpe hydrosyklonanlegg)
5. 3-trinns hydrosyklon anlegg (olje- og evt. plastutskilling)
6. pH-justering med CO<sub>2</sub>-gass (bestående av tre seksjoner: innløpsseksjon, trykkammer, og etterpolering)

### 4.4.2 Massehåndtering

Valgt metode for massehåndtering for oppgaven er å legge tunnelsteinen på eksisterende mellomlager og bruke et deponeringsfirma som håndterer massene. Det må derfor brukes et kostnadsestimat for dette under kostnadsberegning.

### 4.4.3 Kommentar til vann- og massehåndtering

Det forutsettes at rørverk, bassenger og renseutstyr frostsikres. Det skal være mulig å måle slamnivået i bassenger, slik at disse tømmes ved behov. Vannhåndtering er en vital del av tunneldriften, og nedetid pga. frost og/eller slamopphopning vil kunne skape store forsinkelser og dermed tap i produksjonen.

Anlegget skal ha god adkomst for drift og kontroll. Det skal legges opp til to prøvestasjoner for vannkvalitet, en oppstrøms og en nedstrøms. Prøvepunktet oppstrøms skal tjene som referanse. Entreprenør skal daglig kontrollere og sikre effektiviteten av rensanlegget og påse at grenseverdiene ikke overskrides. Byggherre skal overvåke og dokumentere belastningen på resipienten og resipientens utvikling over hele prosjektperioden. Overvåkningen vil utføres av uavhengig faginstusjon.

## 4.5 Kostnadsberegning

Samlet kostnad for tunnel inkludert forskjæring er beregnet til kr 7 208 218,-. Der forskjæringen utgir en kostnad på kr 886 234,-. Det legges på 15 % i antatt fortjeneste for en riktig sammenligning opp mot vegen. Samlet kostnad for tunnelen er beregnet til kr 8 289 451,-. Beregninger er presentert i Vedlegg F-1: Kostnadsberegning.

Driveforholdene og sikringstiltak som er benyttet er hentet fra tidligere undersøkelser i oppgaven. Tall fra Q-systemet samsvarer med de ulike løsningene som er benyttet i kostnadsgrunlaget fra Zare [59].

Transportkostnader er redusert til antatte verdier denne tunnallengden vil medføre. Derfor er blant annen utkjørings-, vei-, og tippekostnader vesentlig lavere enn det tabellverdier angir for lengre tunneler.

Lønnskostnader er økt med korreksjon for tunnallengde. Dette fordi det vil koste mer å sette inn drivet for en kort tunnel. Verdien er basert på en forlengelse av graf fra diagram.

Kostnader for sikringstiltak er hentet fra grafiske fremstilling i rapporten, med grunnlag i valgt tverrsnitt. Det sammenlignes derfor ikke med boltemengde og sprøytebetongmengde fra kapittel 4.6. Det er skilt mellom gunstig og ugunstige sikringstiltak. Det er angitt for hvor stor del av tunnelen de ulike sikringsklassene brukes.

Korreksjon for uforutsette kostnader er satt til 15%. Dette er ligger vanligvis på ca 10%, men det er valgt å benytte en høyere verdi med tanke på driving i nærhet av skråning og elven.

For forskjæringskostnader er det antatt ca. 15 meter driving av pilothull med 12,8 m<sup>2</sup> tverrsnitt, som vist i 4.1.4. Det er tatt høyde for ca. 50 m<sup>3</sup> bergmasser ved pallsprengning etter gjennomslag og strossing ut til fullt tverrsnitt.

Gjennomslag på tunnelen gjøres innenifra og ut, uten forberedt forskjæringsflate. Som korreksjon mot gjennomslag i forberedt forskjæring brukes verdien 2. Dette baseres på kvalifisert gjetning da dette er utfordrende arbeid som krever mye tung sikring

Deponering av tunnelstein legges til for å gjøre total kostnadssum mer realistisk. Det er vanskelig å finne kilder på dette da det er avtalebasert og individuelt for hvert prosjekt. Siden dette er en bacheloroppgave som ikke skal fysisk utføres, er det gitt ett estimat.

Prisjusteringen for begge kilder er hentet fra SSB [60]. Zares rapport [59] er prisjustert fra 2004 til 2019 og NVEs rapport [50] er prisjustert fra 2015 til 2019.

#### 4.5.1 Kommentar til kostnadsberegning

Summen er ett kostnadsestimert som skal benyttes i sammenligningsgrunnlaget. Den totale summen vurderes som sannsynlig og kr 21 000,- pr. meter stemmer godt overens med det grove kostnadsoverslaget i figur 2.4.1 på side 79 til NVEs kostnadsgrunnlag [50]. Overslaget fra dette diagrammet gir ca. kr 19 500,- pr. meter.

Kostnad på etablering av forskjæring ved elven er beregnet til kr 886 234,-. Det er svært vanskelig å gi ett nøyaktig estimert på dette, men den høye kostnaden viser til et krevende arbeid.

## 4.6 Tidsberegning

Totalt tidsforbruk er beregnet til 77 døgn. Beregningene er presentert i Vedlegg G-1: Tidsberegning.

For beregning av arbeidskapasitet pr. døgn er det valgt 12/9 skiftordning. Ettersom man ved nedstrøms gjennomslag ikke kommer til med maskinelt utstyr på forhånd, vil ikke vekseldrift være aktuelt. Antall skiftlag er dermed satt til tre. Med disse forutsetningene oppnår man en arbeidskapasitet på 20 timer pr. døgn foran på stuff.

Ferdighetsnivå til skiftlagene og antall bommer på tunnelriggen er vesentlige faktorer for bestemmelse av fremdriften. Det forutsettes bruk av 3-bomsrigg, som betjenes av skiftlag med gjennomgående høye ferdighetsnivåer.

Permanent sikring vil, som tidligere nevnt i kapittel 4.3, bestå av bolter og sprøytebetong. For beregning av tidsbruk til sikring, er utregning for antall bolter pr. salve vist på eget regneark i vedlegget. For sprøytebetong er volumet for et 5 cm tykt lag i heng avlest fra vedlegg D-1 og D-2.

Tunnelen er totalt 253 m lang. Det er lagt inn 2 reduserte salvelengder ved oppstrøms påhugg og 6 i buffer i tilfelle møte med ugunstige forhold. Total lengde med reduserte salvelengder er dermed satt til 20 m. For resten av drivingen er det fulle salvelengder på 5 m.

Ved nedstrøms gjennomslag er det større usikkerhet rundt tidsberegningen, da det er vanskelig å forutsi eksakt hvor lang tid de forskjellige arbeidsoperasjonene vil ta og hvilke problemer man eventuelt vil støte på. Sikring, driving og strossing baserer seg på erfart tidsforbruk på tilsvarende arbeidsoperasjoner. Resterende arbeid er i stor grad avhengig av grunnforhold og baserer seg på kvalifisert gjetning. Det er lagt inn tid for prosjektering og geologisk kartlegging underveis i arbeidsoperasjonene. Etablering av betongport kan, hvis man anser det som nødvendig, gjennomføres senere i prosjektet. Totalt tidsforbruk for gjennomslag til og med etablering av betongport er satt til 59 dager.

#### 4.6.1 Kommentar til tidsberegning

I møte med dårligere berg enn antatt eller innlekkasjer kan det bli behov for tyngre sikringsmetoder eller injeksjonsarbeid. Dette er tidkrevende arbeidsoperasjoner som kan resultere i at tidsforbruket avviker fra hva som er beregnet. Det påpekes stor usikkerhet ved beregninger gjort for gjennomslag, etablering av forskjæring og betongport. Det er verdt å nevne at det er tatt hensyn til krevende forhold og at kvalifisert gjetning ikke baserer seg på beste mulige utfall.

## 5 Sammenligning/diskusjon

I dette kapitlet blir vegen (dagens løsning) sammenlignet og diskutert med tunnelen (prosjektert løsning). Kapitlet skal danne tilløp for konklusjon på problemstilling.

### 5.1 Kriterier og vektlegging

For å avgjøre hvilken løsning som er best egnet, legges det til grunne gitte kriterier. Kriteriene er kostnad, miljø, fremdrift og helse og sikkerhet. Hvert kriterie vil bli diskutert for begge løsningene for så å bli vektet ihht. til Tabell 16.

Kostnad og fremdrift blir vektet ut ifra lineær modell som gjenspeiler prosentvis forskjell med denne formelen [64]:

$$Poeng = makspoeng * \left(1 - \frac{gjeldende\ verdi - gunstigste\ verdi}{gunstigste\ verdi}\right)$$

Kvalitetskriterier blir vektet ut ifra gruppens subjektive meninger.

Tabell 16: Kriterier med vektning.

Kriterier	Vekting [%]
Kostnad	50
Miljø	20
Fremdrift	15
Helse og sikkerhet	15

## 5.2 Kostnad

Tabell 17: Poengfordeling for kostnad.

Løsning	Kostnad	Poeng
Tunnel	8,3 MNOK (gunstigste verdi)	50
Veg	~ 12 MNOK	27,7

Det inngår fortjeneste i begge kostnadene. Forskjellen mellom prosjektert pris for tunnel, og prisoverslag for utført veg er 3,7 MNOK. Siden det i kostnadsberegningen er korrigert for uforutsette kostnader, anser gruppen det som forsvarlig å sammenligne de to kostnadene.

## 5.3 Miljø

### *Terrenginngrep*

Vegen i dagen har medført et stort inngrep i terrenget langs Namsen. Terrenginngrepet er en lang strekning med vegbane og grøfter. Her utføres fjerning av vegetasjon, utskifting – og tilførsel av masser. Inngrepet er godt synlig, og vil prege naturbilde for fiskere og friluftsfolk som ferdes i området nedstrøms for kraftverket. Før var det mulig å nå elven til fots, nå kan man også kjøre ned med bil.

Ved tunnel unngår man de bratteste problemområdene der vegen i dag går. Tunnelen vil fremdeles ha ett inngrep i strekningen fra nedstrøms gjennomslag frem til kaiområdet. Her vil gjennomslaget og vegen som blir fylt opp være godt synlig. Denne strekningen er uansett den samme som ved veg i dagen. Tunnelen vil føre til ett mindre synlig terrenginngrep.

### *Utslipp til resipient*

Grunnet flere bormeter pr. drivemeter har tunnelbygging et vesentlig høyere vannforbruk sett i forhold til vegbygging. I tunnel brukes også vann til flere formål som bla. nedslag av støv og vask av råsprengte flater for å oppnå god sprøytebetongheft. Men til tross for et større forbruk er vannhåndteringen i tunneldrift kontrollert og lukket. Mesteparten av anleggsvannet pumpes ut av tunnelen, og blir rensert før det slippes tilbake i resipient. Miljøutslippet fra dette anses som minimalt og er pålagt strenge krav omtalt i 4.4.

Ved vegbygging er det vanskeligere å samle opp anleggsvannet som brukes ved boring og sprengning. Dette vil da vanligvis renne ned i grunnen. I tilfellet med vegløsningen har anleggsvannet i de bratte partiene rent ut i elven.



Det er observert stein- og løsmasseras i elven som følge av sprengning ved vegskjæringen. Entreprenør har opplyst at det har vært vanskelig å tilstrekkelig dekke til enkelte salver. Som følge av dette har det havnet sprengrester i elven.

Selv om utslippene er vanskelig å dokumentere med tall, er det stor grunn til å tro at løsningen med vegen har gitt flere sporadiske utslipp til resipienten i form av stein, løsmasser, vegetasjon og sprengrester. I sammenligningen mellom de to løsningene er utslipp forårsaket av tunneldrift lettere å dokumentere, og i mye større grad under kontroll. Ved etablering av forskjæring og nedstrøms gjennomslag er det antatt at noe stein havner i elven. I sum antas det at en løsning med tunnel ville ha gitt mindre utslipp til resipienten Namsen.

#### *Sprengningsarbeid i dagen*

Sprengningsarbeid i dagen medfører mye støy. Arbeidet med vegskjæringen har resultert i mye sprengning i dagen over lengre tid. For tunnelen vil det bli utført sprengning i dagen ved etablering av forskjæring og nedstrøms gjennomslag. På dette punktet vil løsningen med tunnel påvirke miljø og omgivelser i mindre grad enn veg i dagen.

*Tabell 18: Poengfordeling for miljø.*

<b>Løsning</b>	<b>Miljø</b>
Tunnel	20
Veg	10

## 5.4 Fremdrift

Vegen i dagen var planlagt å være ferdig i november 2019. Dette tilsvarer rundt et halvt år med effektiv produksjon når stans pga. fiskeperiode og ytterligere prosjektering ikke regnes med. Faktisk produksjonstid er i dag over et år der den krevende vegskjæringen er overstått, men det gjenstår fortsatt noe arbeid nærme utløpet. Det kan diskuteres hvor store konsekvenser forsinkelsen på veggen vil få. Forlengningen har pr. nå ikke gitt utslag på ferdigstillelse av prosjektet, men mye arbeid er blitt forskjøvet og kan skape problemer ved ytterligere forsinkelser. Forlengningen av arbeidet på veggen kan dermed gi ringvirkninger da bufferen for annet arbeid er tatt bort.

Tidsberegning gjort på tunnelen viser til 77 dager produksjonstid. Opphold for geotekniske vurderinger er inkludert i beregningen. Det er mye usikkerhet rundt gjennomføringsgrad og tidsberegning for nedstrøms gjennomslag med påfølgende arbeid. Tidsberegningen for gjennomslaget anses som raus og tar høyde for vanskelige forhold med mye rensk og tung sikring. Det er allikevel vanskelig å vite dette sikkert, da dette ikke er noen standard drivejobb.

For å avgjøre hvilken løsning som er best fremdriftsmessig, tas det utgangspunkt i hvor sikker fremdriftsplanen for løsningen er. Veggen var planlagt å ta et halvt år. Faktisk tid har overgått et år. Tunnelen er planlagt å ta i underkant av 3 måneder. Her er tunneldriving frem til nedstrøms gjennomslag tidsmessig sikkert arbeid, men det er usikkerhet rundt fremdrift på gjennomslag. Selv om det er mye usikkerhet, ansees løsningen som gjennomførbar og fremdriften vektet ved regning for en objektiv vurdering.

Tabell 19: Poengfordeling for fremdrift.

Løsning	Dager	Poeng
Tunnel	77 (gunstigste verdi)	15
Veg	195	0

## 5.5 Helse og sikkerhet

Veg- og tunnelbygging deler mange av de felles arbeidsoperasjonene som bla. boring, sprengning, lasting og transport. Likevel byr arbeid under jord på et mye mer krevende og risikabelt arbeidsmiljø, hvorav blokkfall foran på stoff anses som den største risikoen. Under bygging av tunnel finnes det bare en vei ut, og dermed bare en vei for evakuering ved ras, brann og eksplosjoner. Overnevnte arbeidsoperasjoner produserer rikelig med borstøv, skyttergasser og eksos. Grunnet begrensede ventilasjonsmuligheter i tunnelen for fjerning av forurensninger, puster arbeidere under jord vanligvis luft av dårligere kvalitet.

For byggingen av veiskjæringen i svært krevende terreng foregår det arbeid langs bratte partier med stor løsmassemekthet. Faren for skred på begge sider av vegen er i de bratteste og mektigste partiene stor, og det må utføres tungt sikringsarbeid i ulendt terreng. Ettersom nedbør og temperatur i stor grad er med på å påvirke risikoen for ras og hvordan løsmassene opptrer, må utførende personell hele tiden tilpasse seg det skiftende klimaet i området.

Tunneldriving er i dag sikrere enn noen gang tidligere, men det er fortsatt stor risiko knyttet til arbeidet. Ulykker med blokkfall på stoff og langtidseffekter på personell forårsaket av et mer krevende arbeidsmiljø gjør at det er forbundet mindre risiko til vegbygging.

Tabell 20: Poengfordeling for helse og sikkerhet

Løsning	Poeng
Tunnel	5
Veg	15

## 6 Innovasjon og utvikling

Til utførelsesplanen for tunnelen i oppgaven, vil nedstrøms gjennomslag være det største usikkerhetsmomentet. «V520 Tunnelveiledning» fra Statens Vegvesen viser metode for gjennomslag ut i forskjæring som er halvveis klargjort ved at den mangler nødvendig sikring [23]. I denne oppgaven kommer tunnelen ut i sone hvor forskjæringsflate ikke kan blir forberedt fordi maskiner ikke kommer til. Mangel på erfaring og metode på dette skaper usikkerhet for gjennomføringen. I dette kapittelet vil det bli tatt for seg tanker rundt innovasjon og utvikling til temaet «driving innenifra og ut, uten forberedt forskjæringsflate».

Spesielle arbeidsoperasjoner som inngår ved driving innenifra og ut:

*Sonderboring* for å kartlegge videre grunnforhold. Dette kan gjøres for å oppdage slepper, løsmasser og hvor langt det er ut i dagen.

*Forbolting* i en skjerm rundt kontur som blir utført systematisk for de siste salvene før gjennomslag. Dette vil stabilisere fjellet og forsterke gjennomslagsflaten.

*Injeksjon* anvendes hovedsakelig for å forhindre inntrengselen av vann, men som bieffekt forsterker også metoden foranliggende berg. Sementløsningen fyller slepper og binder sammen andre diskontinuiteter i berget, og bidrar dermed til å forbedre totalstabiliteten. Bolter vil også få mer hold. Siden det sjeldent oppstår vanninntrengning i gjennomslagsområder, kan det her vurderes å optimalisere sementløsningen opp mot bergforsterkningseffekt.

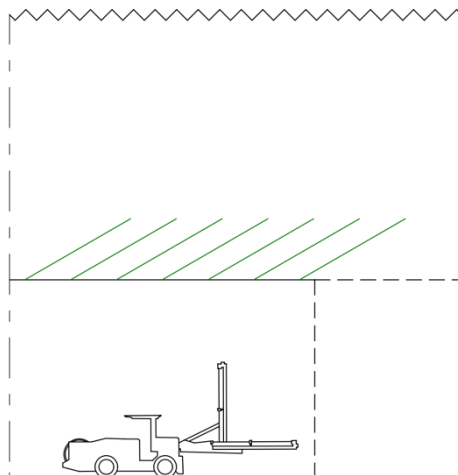
*Pilottunnel.* Ved gjennomslag ut i skråning vil overdekning alltid avta mot null. Når man nærmer seg gjennomslagsområdet kan man oppnå ekstra overdekning ved å starte på en pilottunnel med mindre tverrsnitt. Når gjennomslag er utført og man har ankommet dagen, kan man strosse piloten ut til fullt tverrsnitt.

*Gjennomslagssalve i flere retninger.* I tilfeller hvor det drives ut i skråning med avtagende overdekning, vil den siste strekningen bestå av spenningsavlastet berg uten selvbærende egenskaper. Resultater fra sonderboringer vil avdekke lengden på denne strekningen. En løsning for gjennomslag kan her være å sprengne den siste salven i flere retninger. De horisontale, vertikale og skrå ladehullene vil muliggjøre sprengning av det svake berget fremfor, i en og samme salve. Som et ideelt resultat vil man dermed ankomme dagen med tilstrekkelig overdekning, og en råsprengt forskjæringsflate. I dagen kan det deretter utføres nødvendig rensk og sikring på forskjæring. Skulle det stå igjen fjellknauser fra gjennomslagssalven, kan disse sprenges bort i dagen.

I det etterfølgende presenteres tre scenarier hvor arbeidsoperasjonene anvendes i ulik grad.

### *Scenario 1: Loddrett berg i dagen*

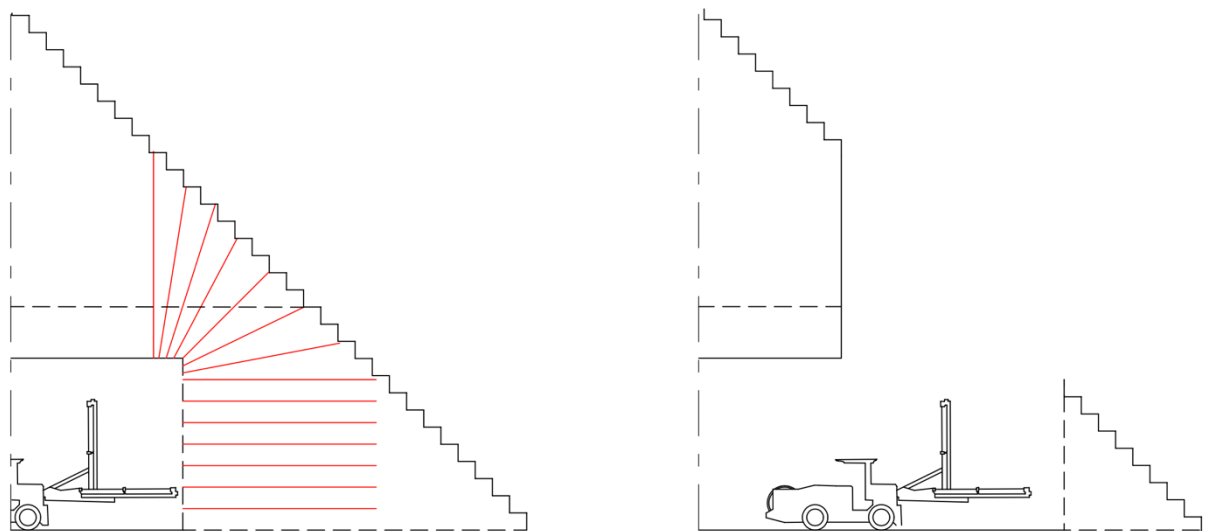
Her er det gjennomslag ut i loddrett berg med tilstrekkelig overdekning og uten tildekning av løsmasser. Det er gunstig å komme ut i en loddrett bergflate, men uten skikkelig sikring og forbolting vil ikke området rundt kontur, spesielt over heng, være stabilt. Det kan dermed oppstå skader på berget rundt gjennomslaget eller i verste fall oppstå ras fra bergflaten. For å løse dette må det sikres innenifra. Dette blir gjort ved at det settes bolter i en skjerm rundt kontur med vinkling mellom 30-45 grader, systematisk for hver salvelengde når gjennomslag nærmer seg f.eks. de siste 10-15 meterne.



*Figur 59: Driving ut loddrett berg ved forbolting.*

### Scenario 2: Skråning med berg i dagen

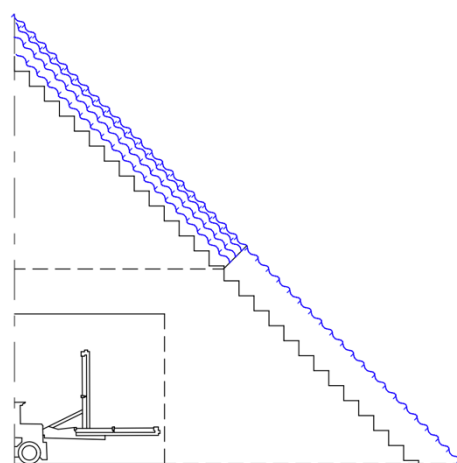
I dette scenarioet drives det gjennomslag ut i en skråning med berg i dagen. Det skal benyttes pilothull og gjennomslagssalve i flere retninger for å håndtere overdekningen som følge av helning.



Figur 60: Driving ut i skråning av berg ved pilottunnel og gjennomslagssalve i flere retninger. Venstre figur illustrerer boring i flere retninger. Høyre figur illustrerer gjennomslaget etter sprengning.

### Scenario 3: Skråning med løsmassemektighet

Her er det gjennomslag ut i en skråning, hvor det på forhånd er observert løsmasser. Samtlige av overnevnte arbeidsoperasjoner vil også her bli nødvendig, hvorav pilottunnel for å ekstra overdekning og gjennomslagssalve i flere retninger er vesentlig for gjennomføringen. Grunnet løsmassemektighet kan det være gunstig å drive den siste strekningen og gjøre gjennomslaget på vinteren når det er minusgrader og tele i bakken. Når porevannet fryser vil fastheten og hardheten til løsmassene øke. Dette vil øke stabiliteten til løsmassene i skråningen og hindre ras av masser i overkant av tunnelåpningen når gjennomslaget er utført. Etterpå må massene i overkant sikres permanent.



Figur 61: Løsmassedekke som holdes stabilt ved tele.

## 7 Konklusjon

På bakgrunn av resultatene fra prosjektering av tunnelen, og tilgjengelig informasjon om vege i dagen har gruppen kommet frem til følgende konklusjon. Tunnel anses for dette prosjektet å være den beste løsningen for adkomst frem til utløpet på kraftverket.

Tabell 21: Resultat av poengfordeling fra sammenligning.

Løsning	Kostnad, 50%	Miljø, 20%	Fremdrift, 15%	Helse og sikkerhet, 15%	Totalt
Tunnel	50	20	15	5	<b>90</b>
Veg	27,7	10	0	15	<b>52,7</b>

Tabell 21 presenterer poengfordeling for vektlagte kriterier i sammenligningen mellom de to løsningene. Resultatverdier for kostnad og fremdrift er utregnet med poengformel, og tunnelen kommer best ut på begge kriteriene. Poengverdier for miljø, og helse og sikkerhet er utarbeidet på oppbygd kunnskap gjennom oppgaven. For miljøkriteriet kommer tunnelen best ut. Dette spesielt grunnet et mer diskret terrenginngrep og bedre utslippshåndtering. På kriteriet helse og sikkerhet kommer vegbygging generelt best ut, grunnet et mindre krevende og sikrere arbeidsmiljø.

Utslagsgivende faktorer for valg av tunnel har vært det krevende terrenget som har vanskeliggjort grunnundersøkelser på forhånd. Dette har medført opptreden av vesentlig dårligere grunnforhold enn først antatt. Grunnet den sårbare resipienten har også muligheten til å i større grad kontrollere utslipp veid tungt i tunnelens favør. I kommende prosjekter hvor grunnforhold og topografi vaskeliggjør byggingen av veg, og dets nødvendige forundersøkelser i tilsvarende grad, bør det vurderes tunnel. Ved å gå inn i berget unngår man å bli påvirket av løsmasser og bratte skrånninger i like stor grad som i dagen.

## 8 Litteraturliste

- [1] Statens Vegvesen, «Sprengningsterminologi, Bergsprengningskurs,» 2011. [Internett]. Available: [https://www.vegvesen.no/\\_attachment/221685/binary/420824](https://www.vegvesen.no/_attachment/221685/binary/420824). [Funnet 2 Mai 2020].
- [2] Statens Vegvesen, «Tunnelordliste,» 2012. [Internett]. Available: <https://www.vegvesen.no/vegprosjekter/ryfast/Fakta/Tunnelordliste>. [Funnet 13 Mai 2020].
- [3] Norconsult, «R05 Ingeniørgeologisk rapport,» NTE, Trondheim, 2018.
- [4] Norges Geologiske undersøkelse, «aps.ngu.no,» 2020. [Internett]. Available: [http://aps.ngu.no/pls/utf8/geoenhet\\_SokiDb.Vis\\_enhet?p\\_id=148139&p\\_spraak=N](http://aps.ngu.no/pls/utf8/geoenhet_SokiDb.Vis_enhet?p_id=148139&p_spraak=N). [Funnet 02 Mars 2020].
- [5] G. Raade, «Store Norske Leksikon,» 29 januar 2020. [Internett]. Available: <https://snl.no/gneis>. [Funnet 12 mai 2020].
- [6] Yr, «Værdata Gartland,» [Internett]. Available: <https://www.yr.no/nb/historikk/tabell/5-73550/Norge/Tr%C3%B8ndelag/Grong/Gartland?q=2013>. [Funnet 7 Mai 2020].
- [7] K. A. Rosvold, «Namsen,» 13 Desember 2019. [Internett]. Available: <https://snl.no/Namsen>. [Funnet 7 Mai 2020].
- [8] M. Aniksdal, Interviewee, *Vedlegg I-2: Intervju med Mads Aniksdal*. [Intervju]. 17 april 2020.
- [9] Norconsult, «NNFF - Ingeniørgeologisk prosjekteringsnotat for anleggsveg til utløp,» NTE Energi AS, Trondheim, 2019.
- [10] Norconsult, «Adkomstveg ned til utløp - Geoteknisk vurderingsnotat,» NTE Energi AS, 2018.
- [11] Norconsult, «Vurdering av sig i løsmasseskjæring ved anleggveg,» NTE Energi AS, Trondheim, 2019.
- [12] Norconsult, «Vurderingsnotat av sikringstiltak ved adkomstveg til utløpstunnel,» NTE Energi AS, Trondheim, 2019.



- [13] R. Hugsted og R. S. Nordahl, «SNL,» 4 November 2019. [Internett]. Available: <https://snl.no/tunnel>. [Funnet 04 Mars 2020].
- [14] NFF, «Håndbok nr.10: Sikkerhet ved arbeid i tunneler og bergrom,» NFF, Oslo, 2016.
- [15] Norsk Bergmekanikkgruppe, Håndbok ingeniørgeologi - berg, Trondheim: Tapir forlag, 1985.
- [16] B. Nilsen, Ingeniørgeologi-Berg Grunnkurskompendium, Trondheim: NTNU - Institutt for geologi og bergteknikk, 2016.
- [17] J. Moger, «Fjellsprenningsteknikk: Sprengning med restriksjoner,» NTNU, Trondheim, 1998.
- [18] O. Sabri, «Vann i fjell,» NTNU, Byggingeniør - Anleggsteknikk, Trondheim, 2019.
- [19] Norges geologiske undersøkelse, «NGU,» 5 5 2020. [Internett]. Available: <https://www.ngu.no/emne/grunnvann-i-fjell>. [Funnet 5 5 2020].
- [20] Jernbanekompetanse, «Tunnel/Driving og sikring,» 17 04 2015. [Internett]. Available: [https://www.jernbanekompetanse.no/w/index.php?title=Tunnel/Driving\\_og\\_sikring&pr](https://www.jernbanekompetanse.no/w/index.php?title=Tunnel/Driving_og_sikring&pr). [Funnet 12 03 2020].
- [21] A. Grendal, T. Johansen, K. Boge, Aas-Jakobsen og Geovita, «Konvensjonelle drivemetoder,» KVVU OSLO-NAVET, Oslo, 2014.
- [22] A. Fauske og I. Hauknes, «Sprengningsteknikk under jord,» Orica Norway AS, Drammen, 2017.
- [23] Statens Vegvesen, «V520 Tunnelveiledning,» Vegvesenet, Oslo, 2020.
- [24] Dyno Nobel ASA, «Titan SSE Systemet - under jord,» Dyno Nobel ASA, Oslo, 2005.
- [25] O. Sabri, «Tennmidler notater,» NTNU, Byggingeniør - Anleggsteknikk, Trondheim, 2019.
- [26] NFF - Norsk Forening for Fjellsprenningsteknikk, «Elektronisk tennere i tunnel - Teknisk rapport nr.19,» NFF, Oslo, 2019.
- [27] Norges Geotekniske Institutt, Håndbok - Bruk av Q-systemet, 2. red., Oslo: NGI, 2015.

- [28] NFF, Håndbok nr.5 - Tung Bergsikring, Oslo: NFF, 2008.
- [29] C. Mehra, D. P. Saritha og M. Kumar, «Shotcrete in tunnels,» International Journal Of Engineering And Computer Science, Manani, 2016.
- [30] Statens vegvesen, «Håndbok V224: Fjellbolting,» Vegdirektoratet, Oslo, 2014.
- [31] MAPEI, «Sementbasert forankringsmørtel til galvaniserte bolter,» MAPEI, 2015.  
[Internett]. Available: [https://www.betomur.no/file/filer-fra-uni-okonomi/pdb\\_zinkbolt-no.pdf](https://www.betomur.no/file/filer-fra-uni-okonomi/pdb_zinkbolt-no.pdf). [Funnet 17 Februar 2020].
- [32] Pretec, «Kombinasjonsbolt - NC-bolt,» Pretec, 2020. [Internett]. Available: <https://pretec.no/produkt/nc-bolt/>. [Funnet 26 Februar 2020].
- [33] R. Hugsted, «Sprøytebetong,» 15 Februar 2009. [Internett]. Available: <https://snl.no/spr%C3%B8ytebetong>.
- [34] Norsk betongforening, «Sprøytebetong til bergsikring,» NBF, Oslo, 2015.
- [35] Ø. Bjøntegaard, «Fibervirkning, spesielt i sprøytebetong,» Vegdirektoratet, Oslo, 2008.
- [36] L. B. S. B. Windelhed Kjell, «Cementingjutna bultars beständighet/Durability of cement grouted rock bolts,» 2002.
- [37] Statens Vegvesen, «Injeksjon,» 22 12 2016. [Internett]. Available: <https://www.vegvesen.no/fag/teknologi/tunneler/bygging-og-sikring/injeksjon>. [Funnet 11 mai 2020].
- [38] NFF, «Håndbok 06: Praktisk berginjeksjon for underjordanlegg,» NFF, Oslo, 2010.
- [39] Statens Vegvesen, «Arbeid foran stuff og stabilitetssikring i vegg-tunneler,» Vegdirektoratet Teknologidivisjonen, Oslo, 2010.
- [40] Leiblein, Leiblein, 2020. [Internett]. Available: <https://www.leiblein.de/en/products/flowsand-filter.html>. [Funnet 8 Mai 2020].
- [41] NFF, «Teknisk rapport 09: Behandling og utslipp av driftvann fra tunnelanlegg,» NFF, Oslo, 2009.

- [42] NFF, «Behandling og utslipp av driftsvann fra tunnelanlegg - Teknisk rapport nr.9,» NFF, Oslo, 2009.
- [43] EIFAC, «Water Quality Criteria for European Freshwater Fish,» EIFAC, Roma, 1968.
- [44] DNV GL, «Håndtering av produsert vann - Erfaringer fra norsk sokkel,» Norsk olje og gass, Stavanger, 2015.
- [45] Norconsult, «Utslippsøknad Nedre Fiskumfoss kraftverk,» NTE, Trondheim, 2018.
- [46] H. Flatland, Interviewee, *Vedlegg I-1: Intervju med Helge Flatland*. [Intervju]. 10 Mars 2020.
- [47] L. E. Paulsrud, «vegvesen.no,» 31 Oktober 2018. [Internett]. Available: [https://www.vegvesen.no/\\_attachment/2487131/binary/1294889?fast\\_title=Entrepren%C3%B8r+-+Erfaringer+og+utfordringer+med+masseh%C3%A5ndtering.pdf](https://www.vegvesen.no/_attachment/2487131/binary/1294889?fast_title=Entrepren%C3%B8r+-+Erfaringer+og+utfordringer+med+masseh%C3%A5ndtering.pdf). [Funnet 20 Februar 2020].
- [48] SINTEF, «Bestemmelse av borbarhetsegenskaper 18021IG,» SINTEF, Trondheim, 2018.
- [49] Crane Norway, «Crane Norway,» 04 2017. [Internett]. Available: <https://cranenorway.com/wp-content/uploads/Crane-Norway-LTM-1100-42.pdf>. [Funnet 28 04 2020].
- [50] Norconsult, «Kostnadsgrunnlag for vannanlegg,» i *Kostnadsgrunnlag for vannanlegg*, K. E. Stensby, Red., Oslo, NVE, 2015, p. 79.
- [51] Standard Norge, «NS 8141:2001,» Standard Norge, Oslo, 2001.
- [52] O. Sabri, «Rystelse ekstra tabell og figur,» NTNU.
- [53] E. R. Aksel Lynum, «Supplerende grunnundersøkelser,» Norconsult, Trondheim, 2018.
- [54] Teknisk regelverk, «Veileder for valg av tunnelkonsept,» 2020. [Internett]. Available: [https://trv.jbv.no/wiki/Veileder\\_for\\_valg\\_av\\_tunnelkonsept](https://trv.jbv.no/wiki/Veileder_for_valg_av_tunnelkonsept). [Funnet 10 Mars 2020].
- [55] A. L. Lydersen, «Hydrosyklon,» 2017. [Internett]. Available: [snl.no/hydrosyklon](http://snl.no/hydrosyklon). [Funnet 4 Mai 2020].

- [56] «Siliva sand and hydrocyclone,» 4 April 2019. [Internett]. Available: <https://www.jxscmachine.com/new/hydrocyclone-silica-sand-processing/>. [Funnet 4 Mai 2020].
- [57] Statens Vegvesen, «pH-regulering av tunnel-drivevann med CO<sub>2</sub>-gass,» Vegdirektoratet, Oslo, 2013.
- [58] R. o. Einarsen, «Forprosjekt - CO<sub>2</sub> for justering av betongpåvirket anleggsvann.,» Vegdirektoratet, Oslo, 2006.
- [59] S. Zare, «Drill and blast tunneling costs,» NTNU, Trondheim, 2007.
- [60] Statistisk sentralbyrå, «Statistisk sentralbyrå,» 2020. [Internett]. Available: <https://www.ssb.no/priser-og-prisindekser/statistikker/bkianl>. [Funnet 20 Februar 2020].
- [61] P. O. Johannessen, «TUNNELDRIFT - PROGNOSE Konvensjonell drift,» NTH, Trondheim, 1996.
- [62] Epiroc, «Epiroc,» Mai 2019. [Internett]. Available: <https://www.epiroc.com/en-no/products/drill-rigs/face-drill-rigs/boomer-e>. [Funnet 05 Mai 2020].
- [63] R. Johanson, Interviewee, *Vedlegg I-3: Intervju med Runar Johanson*. [Intervju]. 23 april 2020.
- [64] Anskaffelser.no, «[www.anskaffelser.no](http://www.anskaffelser.no),» 11 mai 2020. [Internett]. Available: <https://www.anskaffelser.no/anskaffelsesprosessen/anskaffelsesprosessen-steg-steg/avklare-behov-og-forberede-konkurransen/spesifikasjoner-krav-og-kriterier/tildelingskriterium/evalueringsmodellar/relative-poengmodellar>. [Funnet 14 Mai 2020].
- [65] MyPowel, *Gemini Terrain 15*, Oslo: Powel, 2019.
- [66] Google, «Google Earth,» 2018. [Internett]. Available: <https://earth.google.com/web/>. [Funnet 8 Mai 2020].
- [67] Norgeskart, «Norgeskart,» [Internett]. Available: [norgeskart.no](http://norgeskart.no). [Funnet 12 mai 2020].
- [68] K. Windelhed, B. Lagerblad og B. Sandberg, «Cementingjutna bultars beständighet/Durability of cement grouted rock bolts,» SveBeFo, 2002.

- [69] NTNU, «Rock bolting and pull out test on rebar bolts,» Institutt for geovitenskap og petroleum, Trondheim, 2014.
- [70] P. H. Olsen, «Namsen,» SNL, 13 Desember 2019. [Internett]. Available: [https://storage.googleapis.com/snl-no-media/media/24051/standard\\_smaablank-han-hun-pho2012\\_K2E2855.JPG](https://storage.googleapis.com/snl-no-media/media/24051/standard_smaablank-han-hun-pho2012_K2E2855.JPG). [Funnet 13 Mars 2020].
- [71] PAAL, «Trønderlags laksemotor,» 13 6 2018. [Internett]. Available: <https://lakseelver.no/nb/news-2018/trondelags-laksemotor>. [Funnet 13 Mars 2020].
- [72] O. Sabri, «Prosjektering av anlegg i berg,» NTNU, Byggingeniør - Anleggsteknikk, Trondheim, 2019.
- [73] NFF, «The Principles of Norwegian Tunneling,» NFF, Oslo, 2017.
- [74] CAT, 10 Mai 2020. [Internett]. Available: [https://www.cat.com/en\\_US/products/new/equipment/wheel-loaders/medium-wheel-loaders/1000029183.html](https://www.cat.com/en_US/products/new/equipment/wheel-loaders/medium-wheel-loaders/1000029183.html). [Funnet 13 Mai 2020].
- [75] Volvo, «www.volvo.com,» 10 Mai 2020. [Internett]. Available: [http://segotn12827.rds.volvo.com/STPIFiles/Volvo/ModelRange/fh62tr3la\\_gbr\\_eng.pdf](http://segotn12827.rds.volvo.com/STPIFiles/Volvo/ModelRange/fh62tr3la_gbr_eng.pdf). [Funnet 13 Mai 2020].
- [76] R. Hugsted, «Sprøytebetong,» SNL, 30 April 2019. [Internett]. Available: <https://snl.no/spr%C3%B8ytebetong>. [Funnet 15 Mars 2020].

## 9 Vedlegg

*Vedlegg A-1: Plakat*

*Vedlegg A-2: Artikkel*

*Vedlegg B-1: Studenttunnelen*

*Vedlegg B-2: Tunneltverrsnitt*

*Vedlegg B-3: Lengdesnitt*

*Vedlegg B-4: Profilnummerering*

*Vedlegg B-5: Pilothull*

*Vedlegg B-6: Strossing*

*Vedlegg B-7: Tverrsnitt pilothull*

*Vedlegg C-1: Borplan*

*Vedlegg C-2: Ladeplan*

*Vedlegg C-3: Tennplan*

*Vedlegg C-4: Brytningsforløp*

*Vedlegg D-1: Sikringsplan gunstige forhold*

*Vedlegg D-2: Sikringsplan ugunstige forhold*

*Vedlegg E-1: Renseanlegg*

*Vedlegg F-1: Kostnadsberegning*

*Vedlegg G-1: Tidsberegning*

*Vedlegg I-1: Intervju med Helge Flatland*

*Vedlegg I-2: Intervju med Mads Aniksdal*

*Vedlegg I-3: Intervju med Runar Johanson*

*Vedlegg M-1: Andersen, Huso*

*Vedlegg M-2: Aniksdal, Mads*

# Prosjektering av adkomsttunnel: Sammenligning mot problematisk veg i krevende terreng

*Calculation of Accesstunnel: Comparison Against a Problematic Road in Difficult Terrain*

Under utførelsen av adkomstveg frem til uttaket på Nye Nedre Fiskumfoss Kraftverk ble entreprenør møtt med større løsmassemengde enn først antatt av konsulent. Avviket resulterte i et vesentlig økt sikringsbehov, hvorav prosjekterte verdier for tid og kostnader ble overgått. Oppgaven går ut på å prosjektere en alternativ adkomsttunnel frem til uttaket, for så å sammenligne denne med vegen. Kostnad, fremdrift, miljø og helse og sikkerhet er de faktorene som vil veie tyngst i sammenligningen. Målet med oppgaven er at svarene kan gi en overføringsverdi som kan gjøre kommende avgjørelser for valg av fremdrift i krevende terreng mer reflekterte.

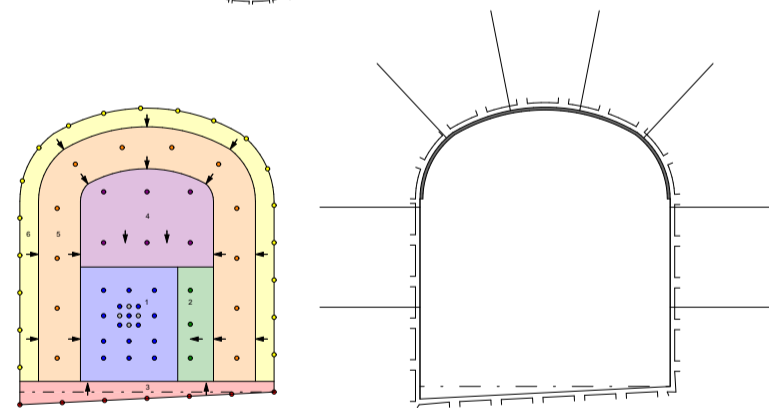
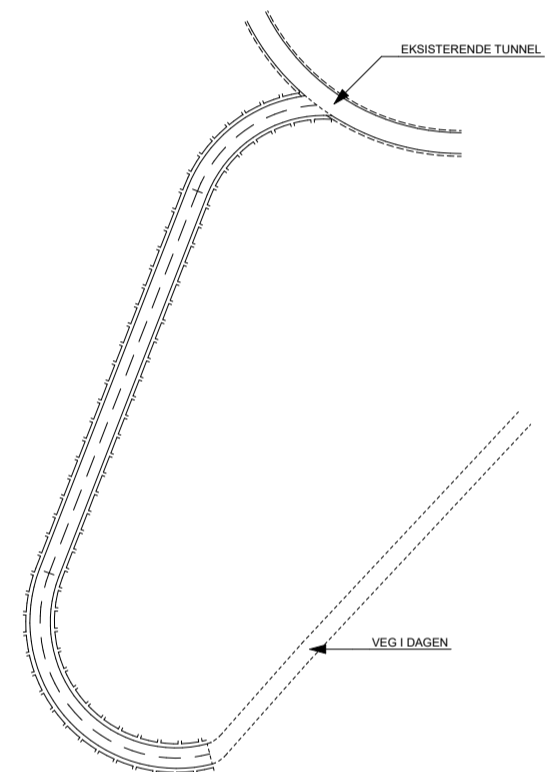


(Vegen i dagen. Foto: Skanska)

## I oppgaven inngår bla.:

- Valg av tunneltrase
- Driving innenifra og ut i krevende terreng
- Sprengningsplan
- Borplan
- Ladeplan
- Tennplan
- Rystelsesberegning
- Bergklassifisering med Q-systemet
- Anbefaling til permanent sikring
- Vannhåndtering
- Tidsberegning
- Kostnadsberegning

Adkomsttunnelen vil ha påhugg inne i eksisterende adkomsttunnel for kraftverket. Beregnet lengde er 253m og tunnelen vil bli drevet på synk med 17 meter høydeforskjell fra start og slutt. Grunnet det krevende terrenget vil man ikke ha mulighet til å komme til rundt nedstrøms gjennomslag. Det vil her bli nødvendig å drive innenifra og ut. Utfordringene rundt nedstrøms gjennomslag er også tema for innovasjonsdelen til oppgaven.



Gruppen kan til slutt konkludere med følgende:

*"Tunnel anses for dette prosjektet å være den beste løsningen for adkomst frem til utløpet på kraftverket"*

Prosjektnr.: 2020-01

Studenter: Are Berstad  
Juel Petter Bergseth  
Magnus Smestad Aamodt

Intern veileder: Omar Sabri

Ekstern veileder: Skanska ved Bjørn Tollefsen

# Studenter undersøkte bygging av tunnel som alternativ til veg i dagen

Vegbygging i krevende terreng kan medføre store kostnader. I hvilke tilfeller vil det være gunstig med tunnel?



En gruppe studenter ved NTNU har, etter forslag fra Skanska, undersøkt om driving av tunnel kan være et gunstigere alternativ enn å bygge en veg i dagen. Oppgaven er utført i forbindelse med utbygging av adkomstveg til utløpet ved Nye Nedre Fiskumfoss Kraftverk ved Namsenvassdraget.

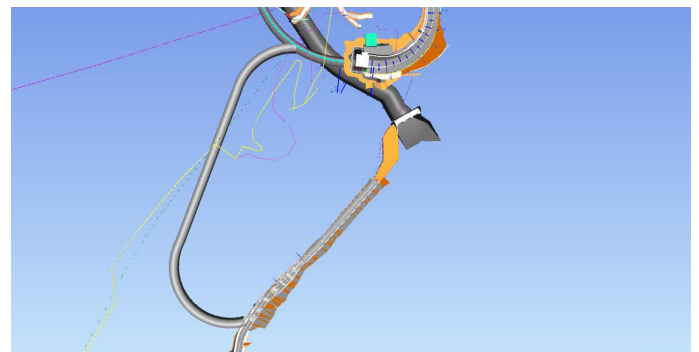
Det nye kraftverket skal øke energiproduksjonen fra 105 GWh til 382 GWh. Derfor er det nødvendig å utvide eksisterende utløpstunnel. Som følge av planlagt utvidelse er det bygget en anleggsveg til utløpet. Spesielt for vegen er at den går gjennom en bratt vegskjæring med stor løsmassemektighet. Dette har resultert i at vegarbeidet har tatt lengre tid og kostet mer enn beregnet. I tidlig planleggingsfase la Skanska frem et forslag om å bygge tunnel, som ikke ble videreført.

Studentgruppen har prosjektert og gjort beregninger for tunnel og har dannet et godt sammenligningsgrunnlag. Kriteriene som vil være utgjørende er kostnad, fremdrift og HMS.

I løpet av oppgaven oppstod det en utfordring. For å etablere et gjennomslag ved elven er det nødvendig å drive tunnel innenfra og ut i en forskjæring som ikke er klargjort. Dette gjorde at det ble nødvendig å tenke nytt. Resultatet av nytenkingen ble en metode som gruppen anser som gjennomførbar.



Faktaboks	
Tunnel	Veg
Lengde: 253 m Kostnad: 8,3 MNOK Tid: 77 dager	Lengde: 780 m Kostnad: 12 MNOK Tid: 195 dager

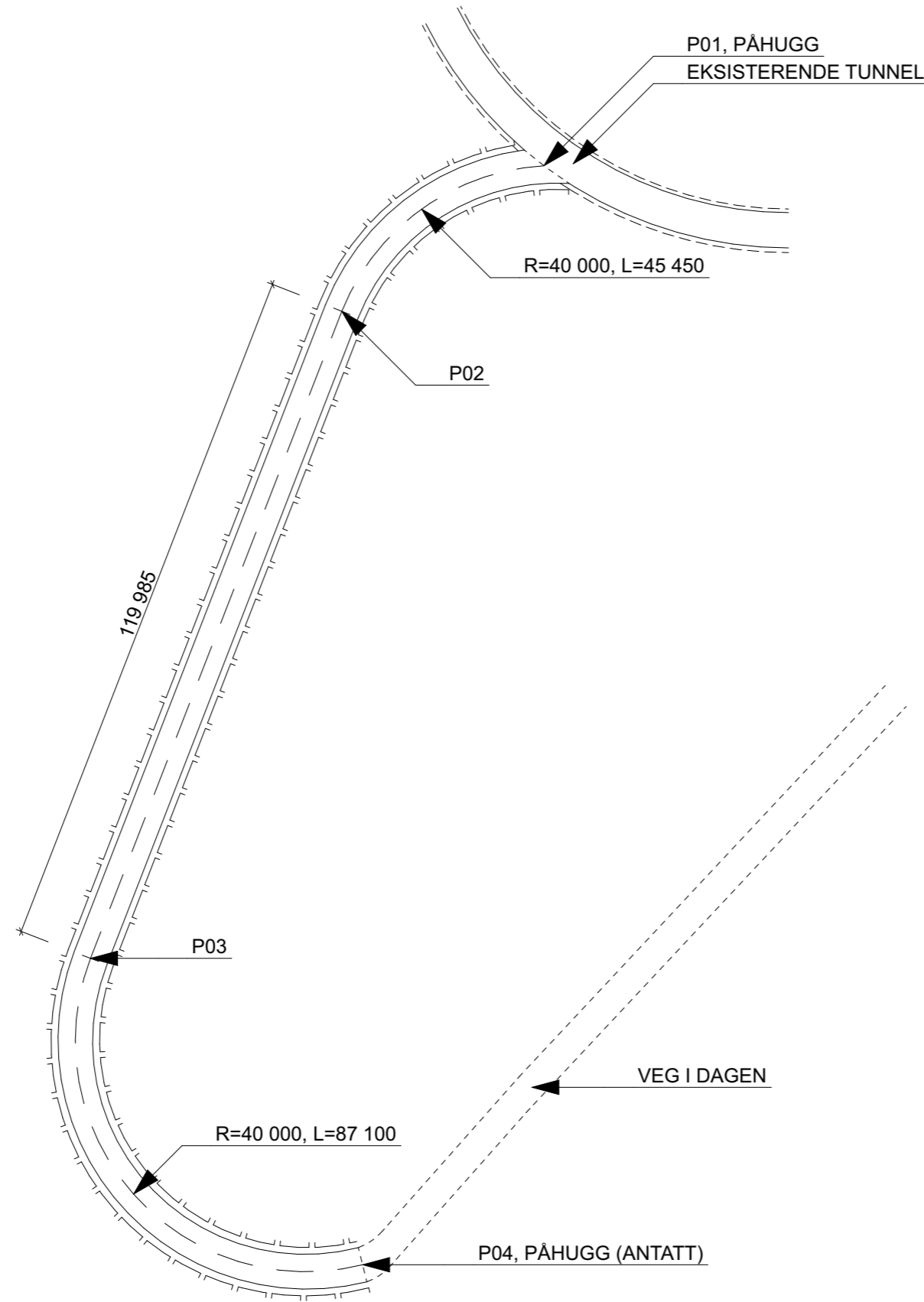


Det som kan videreføres fra denne oppgaven er hvilke faktorer som gjør tunneldriving gunstigere enn vegbygging. Tunnel bør vurderes ved områder med stor løsmassemektighet og bratte skråninger, og der nødvendige grunnundersøkelser ikke kan gjøres. Fordelen med tunnel er at det er mulig å velge et mer gjennomførbart trasévalg. Da er det mulig å redusere uforutsette kostnader sammenlignet med for eksempel en utfordrende vegskjæring. Med hensyn til miljø mener studentgruppen at en tunnel vil medføre et mindre synlig terrenginngrep og gi større kontroll på utslipp.


Basert på beregningene ville tunnelen medført en stor kostnads- og tidsbesparelse. I tillegg ville tunnelen laget et langt mindre synlig terrenginngrep og hatt laverre utslipp til lakselven Namsen. På grunn av dette anser studentgruppen tunnelen å være en bedre løsning som adkomst til utløpet enn vegen.

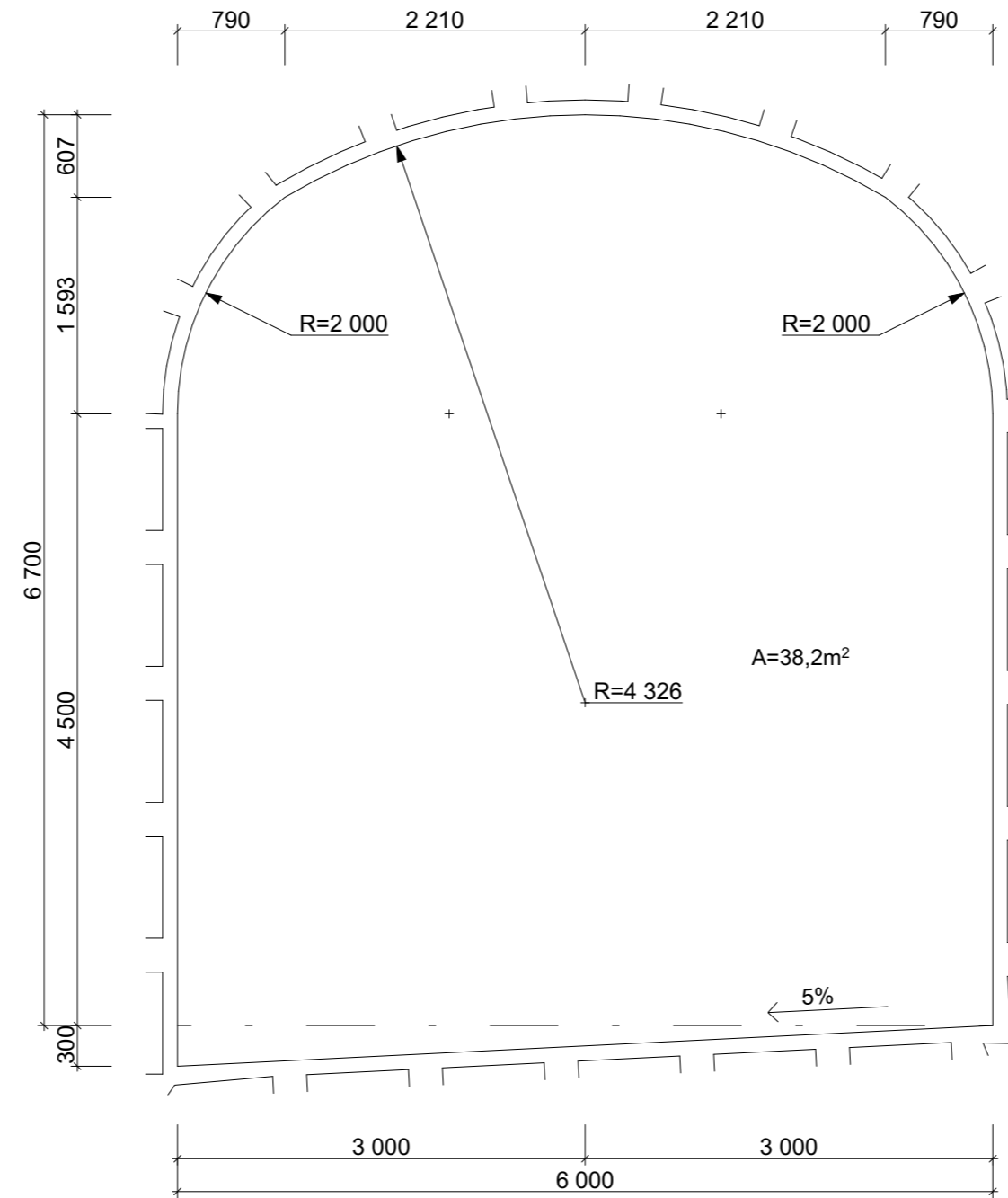
I særskilte tilfeller med krevende terreng og løsmasser har gruppen kommet frem til at det er gunstig å drive tunnel.



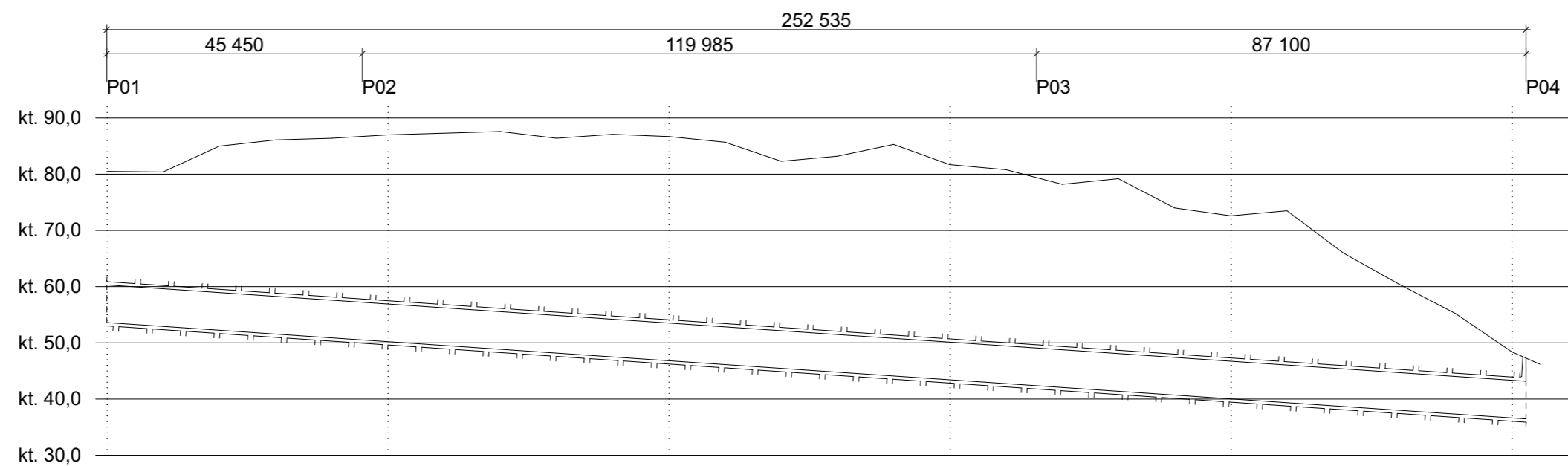


STIKNINGSPUNKTER			
PKT.	X	Y	Z
P01	97762,315	1729087,984	53,276
P02	97725,138	1729059,221	49,631
P03	97685,005	1728955,667	41,531
P04	97730,277	1728898,295	36,200

Prosjekt: <b>Bacheloroppgave gruppe 1</b>	 N
Tiltakshaver: <b>Skanska Norge AS</b>	
Prosjekterende: <b>Bachelorgruppe 1</b> Anleggsteknikk Arkitekt Christies gate 2 Trondheim	Målestokk <b>1:1000</b>
Type tegning: <b>Studenttunnelen</b>	Dato <b>10.05.2020</b>
	Tegningsnr. <b>B-1</b>

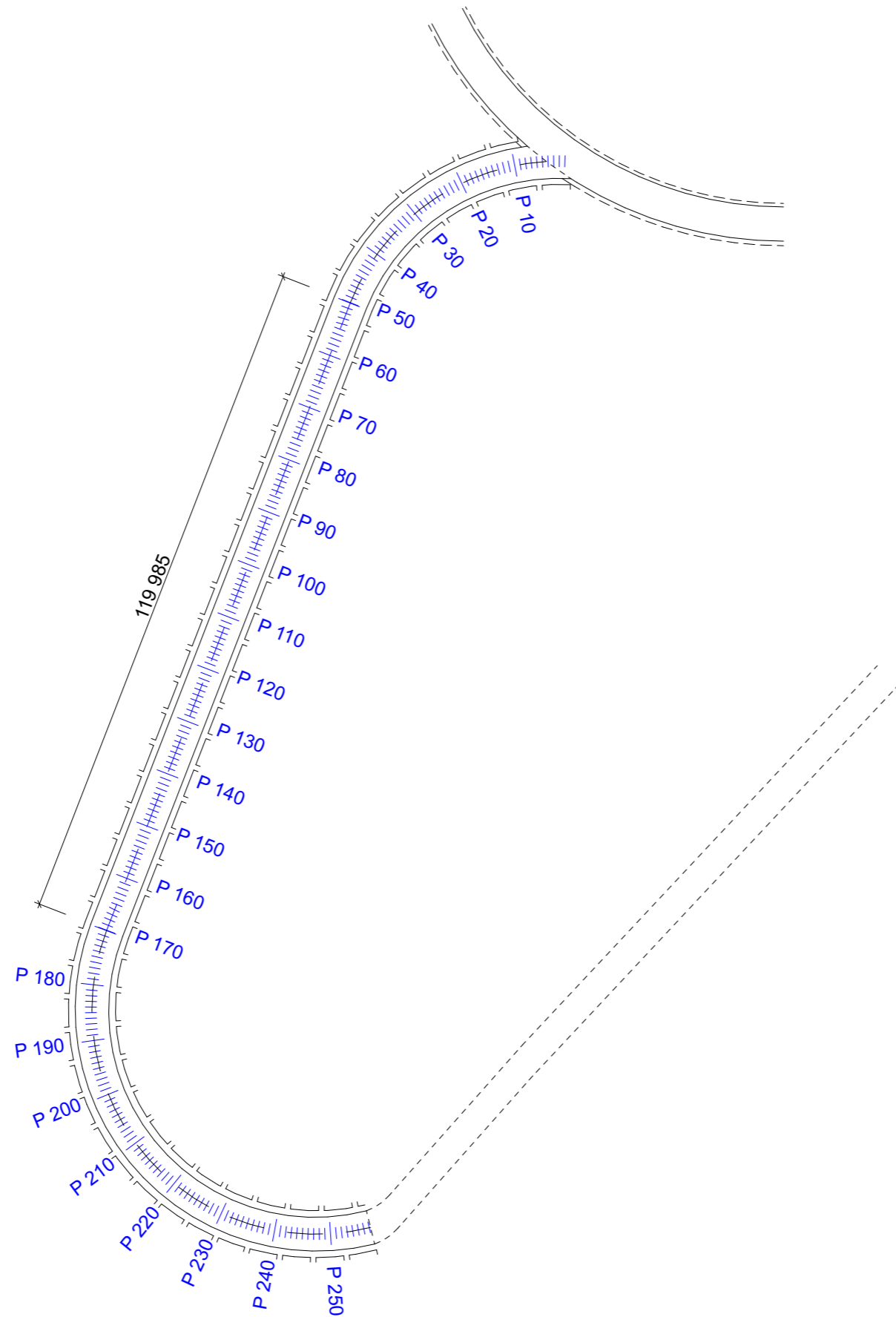


Prosjekt: <b>Bacheloroppgave gruppe 1</b>	
Tiltakshaver: <b>Skanska Norge AS</b>	Gnr/Bnr 40/38
	Sign.
Prosjekterende: <b>Bachelorgruppe 1</b> Anleggsteknikk Arkitekt Christies gate 2 Trondheim	Målestokk 1:50
	Dato 10.05.2020
Type tegning: <b>Tunneltverrsnitt</b>	Tegningsnr. B-2




STIKNINGSPUNKTER			
PKT.	X	Y	Z
P01	97762,315	1729087,984	53,276
P02	97730,007	1728898,348	36,214
P12	97726,371	1729063,073	49,904
P13	97685,021	1728955,768	41,538

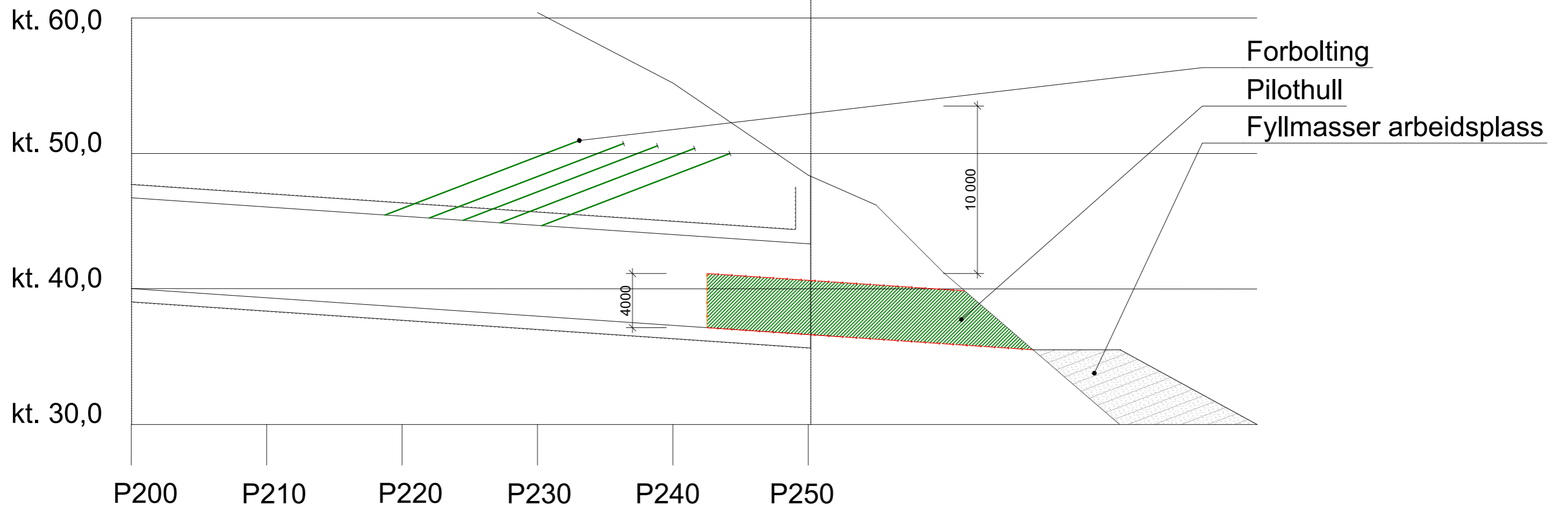
Prosjekt: <b>Bacheloroppgave gruppe 1</b>		
Tiltakshaver: <b>Skanska Norge AS</b>		Gnr/Bnr <b>40/38</b>
		Sign.
Prosjekterende: <b>Bachelorgruppe 1</b> Anleggsteknikk Arkitekt Christies gate 2 Trondheim		Målestokk <b>1:1000</b>
		Dato <b>10.05.2020</b>
Type tegning: <b>Lengdesnitt</b>		Tegningsnr. <b>B-3</b>



STIKNINGSPUNKTER			
PKT.	X	Y	Z
Pel 10	97755,972	1729087,497	52,605
Pel 20	97746,485	1729084,424	51,930
Pel 30	97738,112	1729079,013	51,254
Pel 40	97731,263	1729071,773	50,579
Pel 50	97726,394	1729063,063	49,904
Pel 60	97722,907	1729053,695	49,197
Pel 70	97719,318	1729044,361	48,467
Pel 80	97715,790	1729035,004	47,738
Pel 90	97712,161	1729025,686	47,008
Pel 100	97708,550	1729016,360	46,279
Pel 110	97704,911	1729007,046	45,550
Pel 120	97701,256	1728997,738	44,820
Pel 130	97697,692	1728988,394	44,091
Pel 140	97694,048	1728979,082	43,361
Pel 150	97690,501	1728969,732	42,632
Pel 160	97686,902	1728960,402	41,903
Pel 170	97682,953	1728951,218	41,247
Pel 180	97680,564	1728941,515	40,669
Pel 190	97680,834	1728931,536	40,090
Pel 200	97683,421	1728921,911	39,512
Pel 210	97688,317	1728913,228	38,933
Pel 220	97695,228	1728906,049	38,355
Pel 230	97703,684	1728900,783	37,776
Pel 240	97713,180	1728897,774	37,198
Pel 250	97723,121	1728897,249	36,619

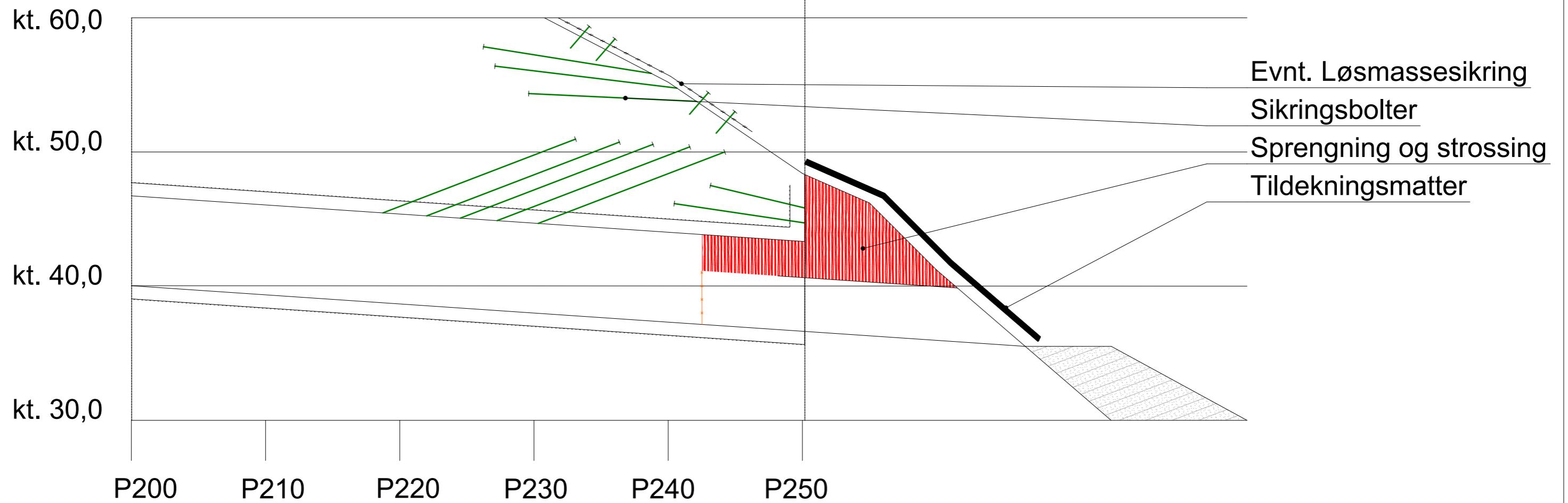
Prosjekt: <b>Bacheloroppgave gruppe 1</b>	 N
Tiltakshaver: <b>Skanska Norge AS</b>	Gnr/Bnr <b>40/38</b>
	Sign.
Prosjekterende: <b>Bachelorgruppe 1</b> Anleggsteknikk Arkitekt Christies gate 2 Trondheim	Målestokk <b>1:1000</b>
	Dato <b>10.05.2020</b>
Type tegning: <b>Profilnummerering</b>	Tegningsnr. <b>B-4</b>

P04

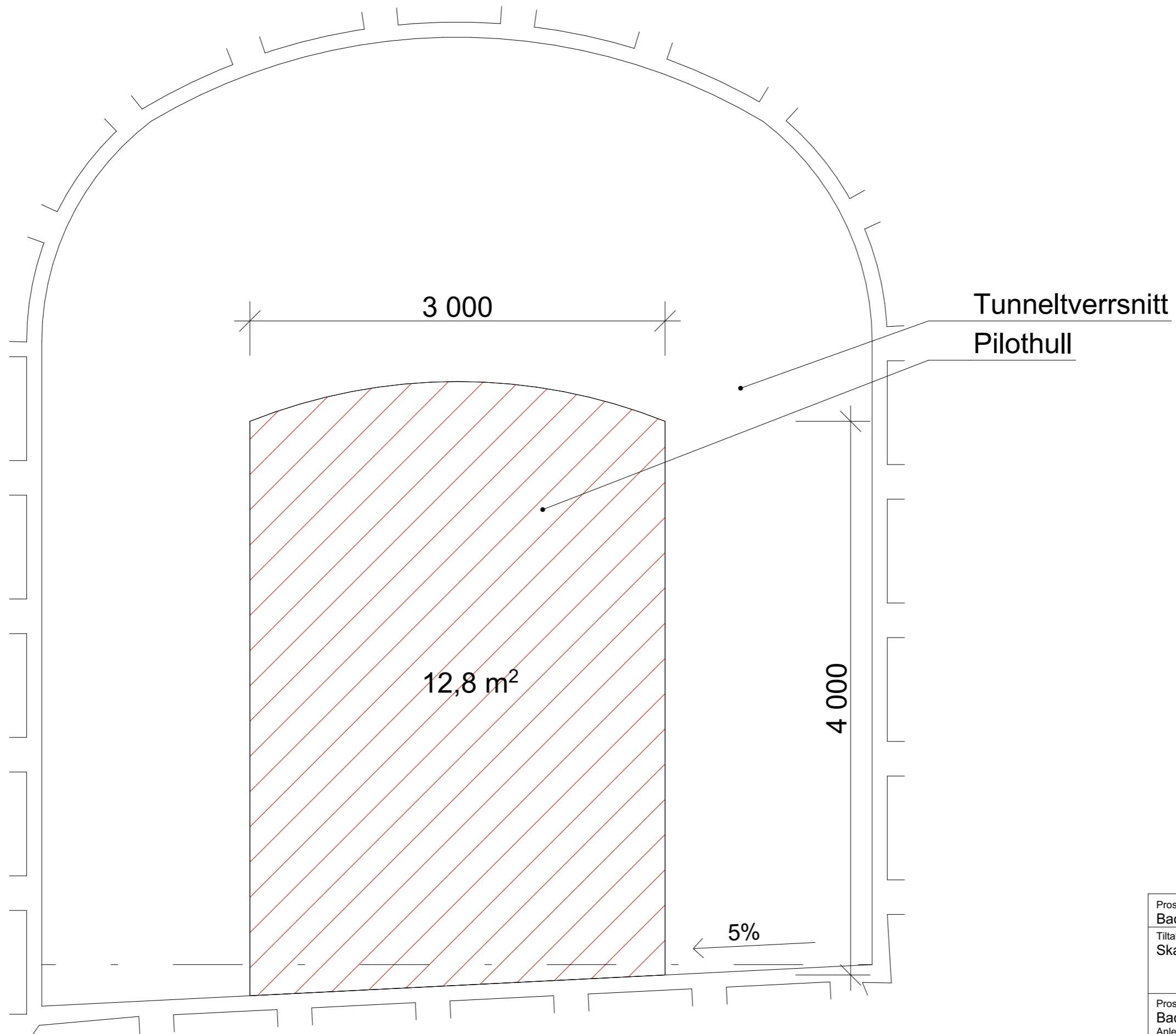


Prosjekt: Bacheloroppgave gruppe 1	
Tiltakshaver: Skanska Norge AS	Gnr/Bnr 40/38
	Sign.
Prosjekterende: Bachelorgruppe 1 Anleggsteknikk Arkitekt Christies gate 2 Trondheim	Målestokk 1:300
	Dato 16.05.2020
Type tegning: Pilothull	Tegningsnr. B-5

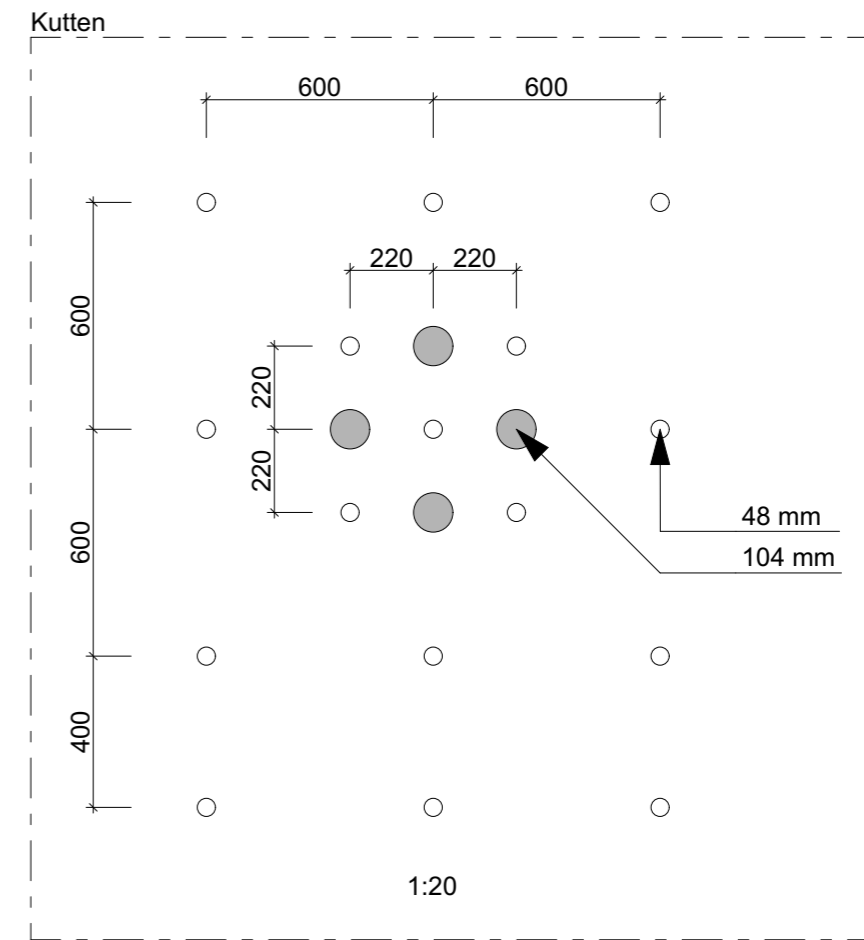
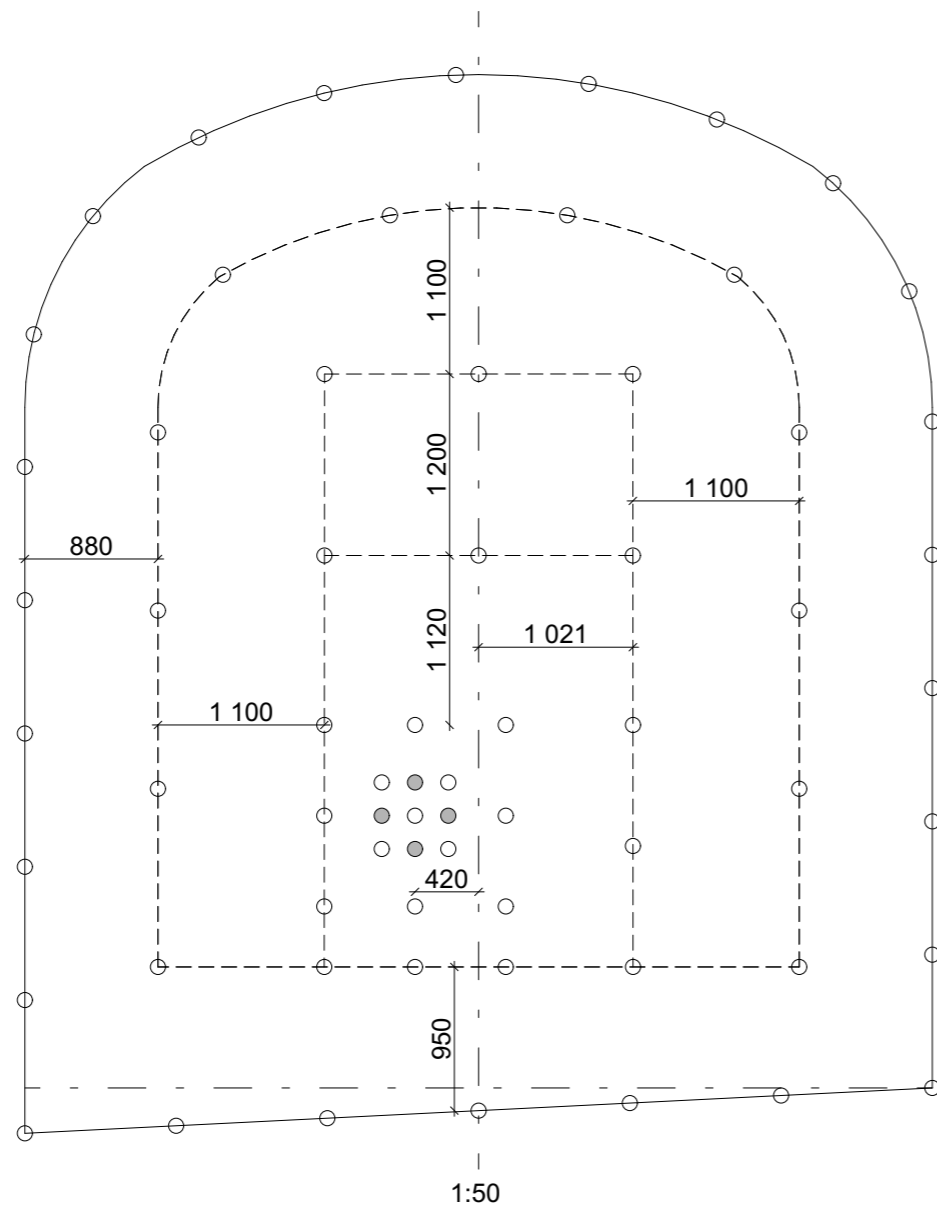
P04



Prosjekt: Bacheloroppgave gruppe 1	
Tiltakshaver: Skanska Norge AS	Gnr/Bnr 40/38
	Sign.
Prosjekterende: Bachelorgruppe 1 Anleggsteknikk Arkitekt Christies gate 2 Trondheim	Målestokk 1:300
	Dato 16.05.2020
Type tegning: Strossing	Tegningsnr. B-6

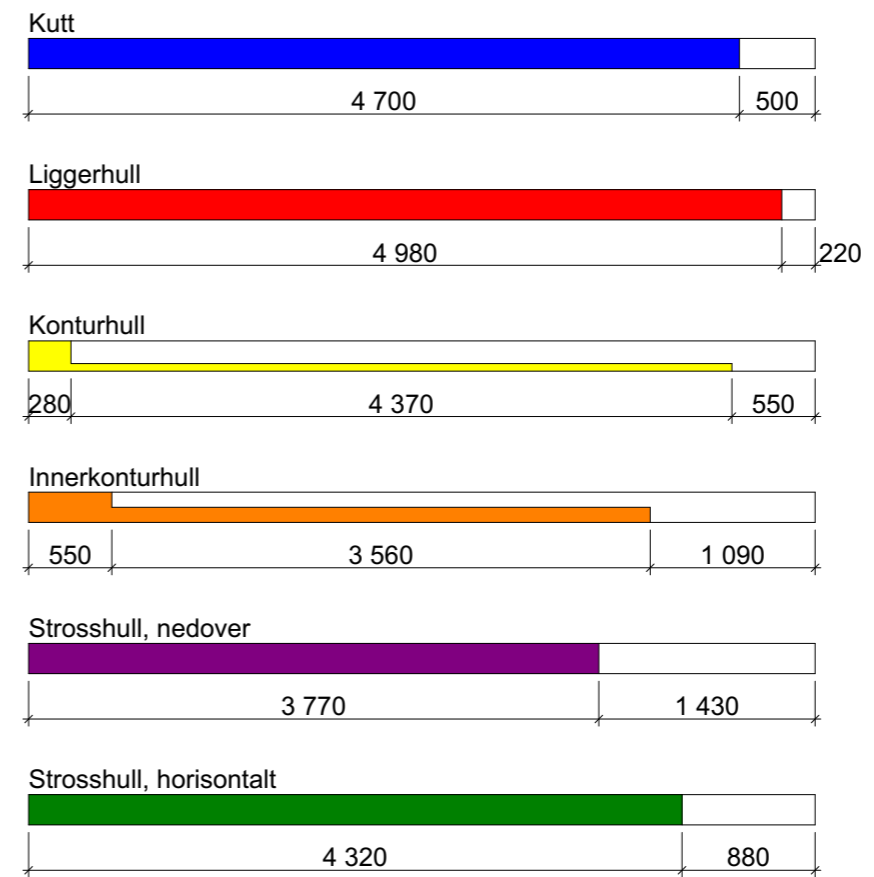
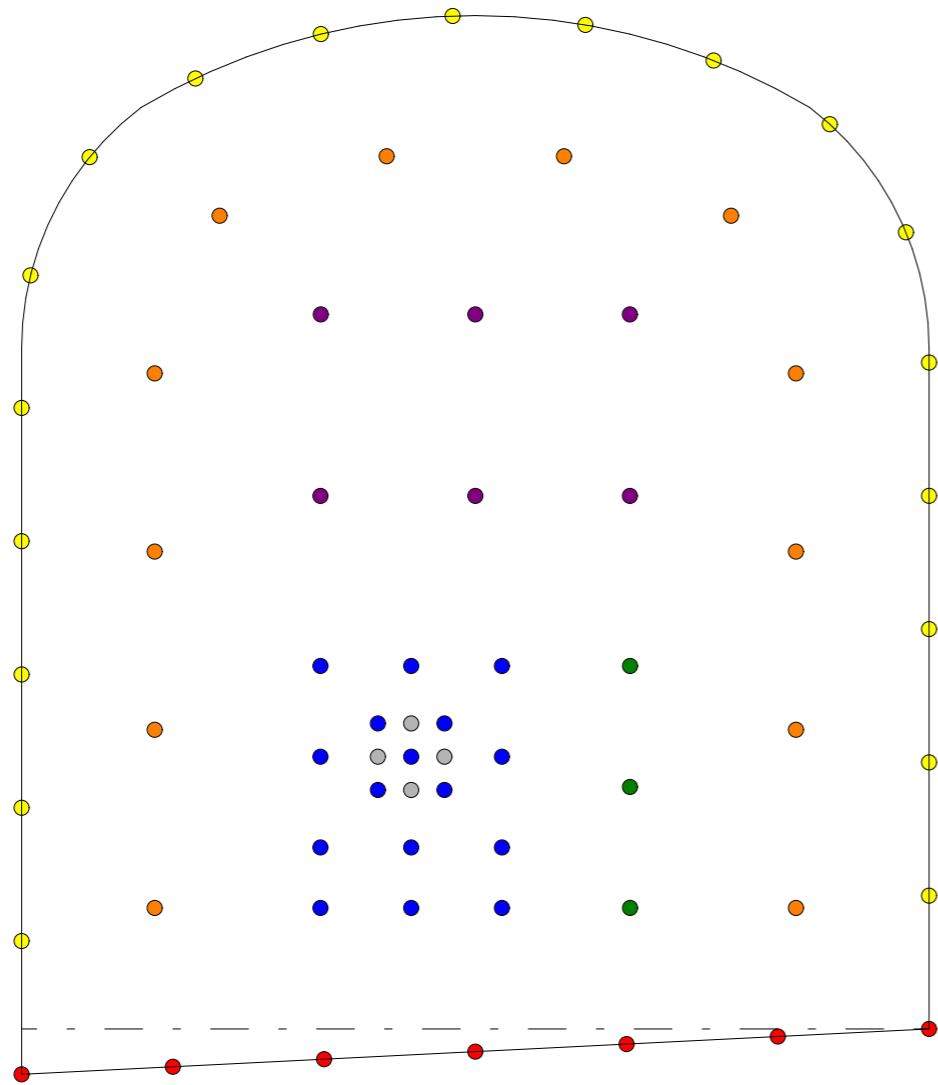


Prosjekt: Bacheloroppgave gruppe 1	
Tiltakshaver: Skanska Norge AS	Gnr/Bnr 40/38
	Sign.
Prosjekterende: Bachelorgruppe 1 Anleggsteknikk Arkitekt Christies gate 2 Trondheim	Målestokk 1:30
	Dato 14.05.2020
Type tegning: Tverrsnitt pilothull	Tegningsnr. B-7

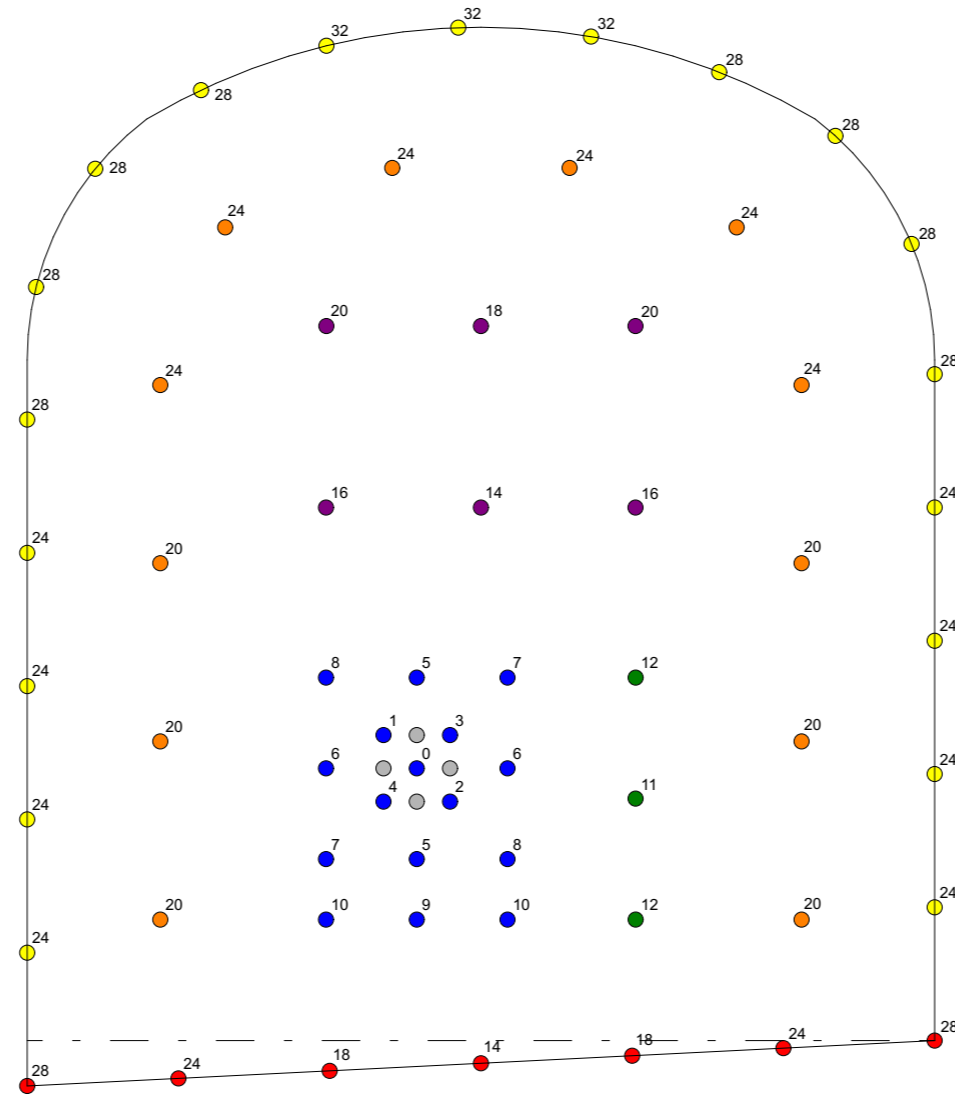


Prosjekt: <b>Bacheloroppgave gruppe 1</b>	
Tiltakshaver: <b>Skanska Norge AS</b>	Gnr/Bnr 40/38
	Sign.
Prosjekterende: <b>Bachelorgruppe 1</b> Anleggsteknikk Arkitekt Christies gate 2 Trondheim	Målestokk 1:20, 1:50
	Dato 29.04.2020
Type tegning: <b>Borplan</b>	Tegningsnr. C-1

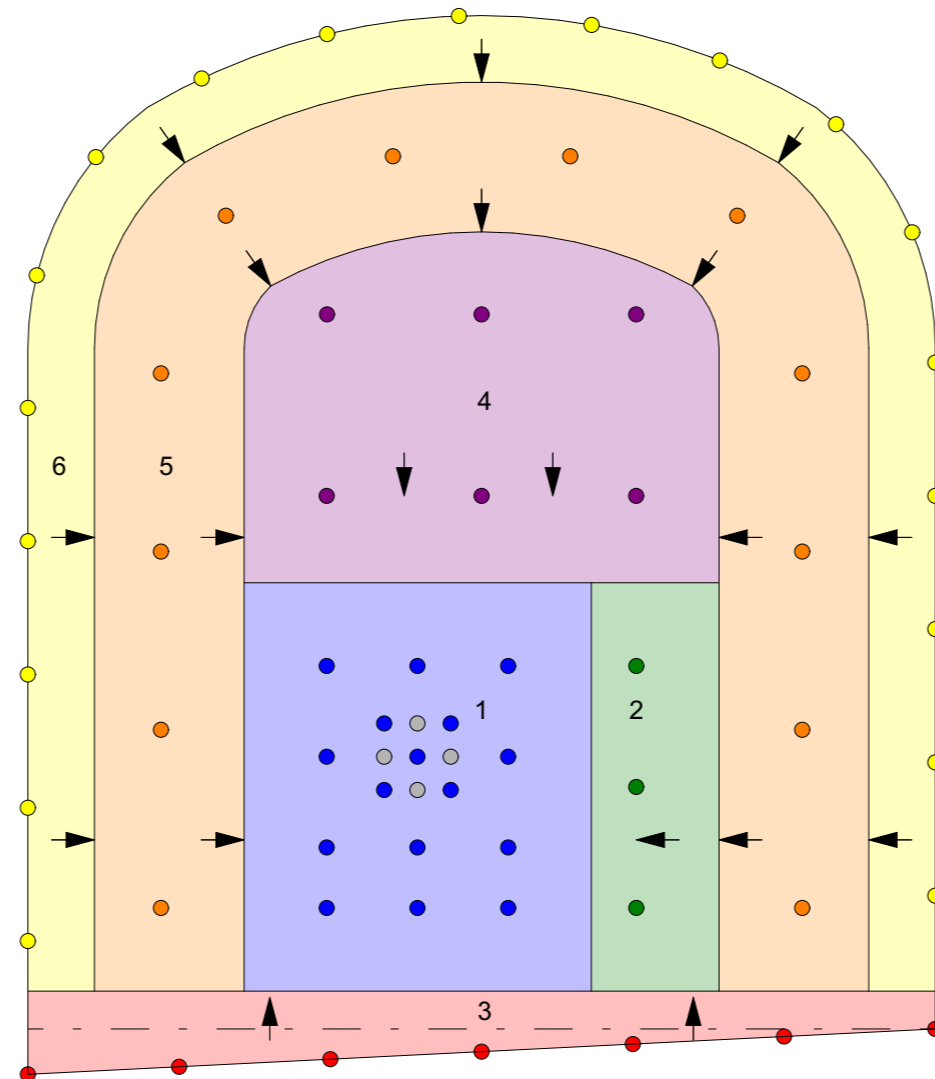




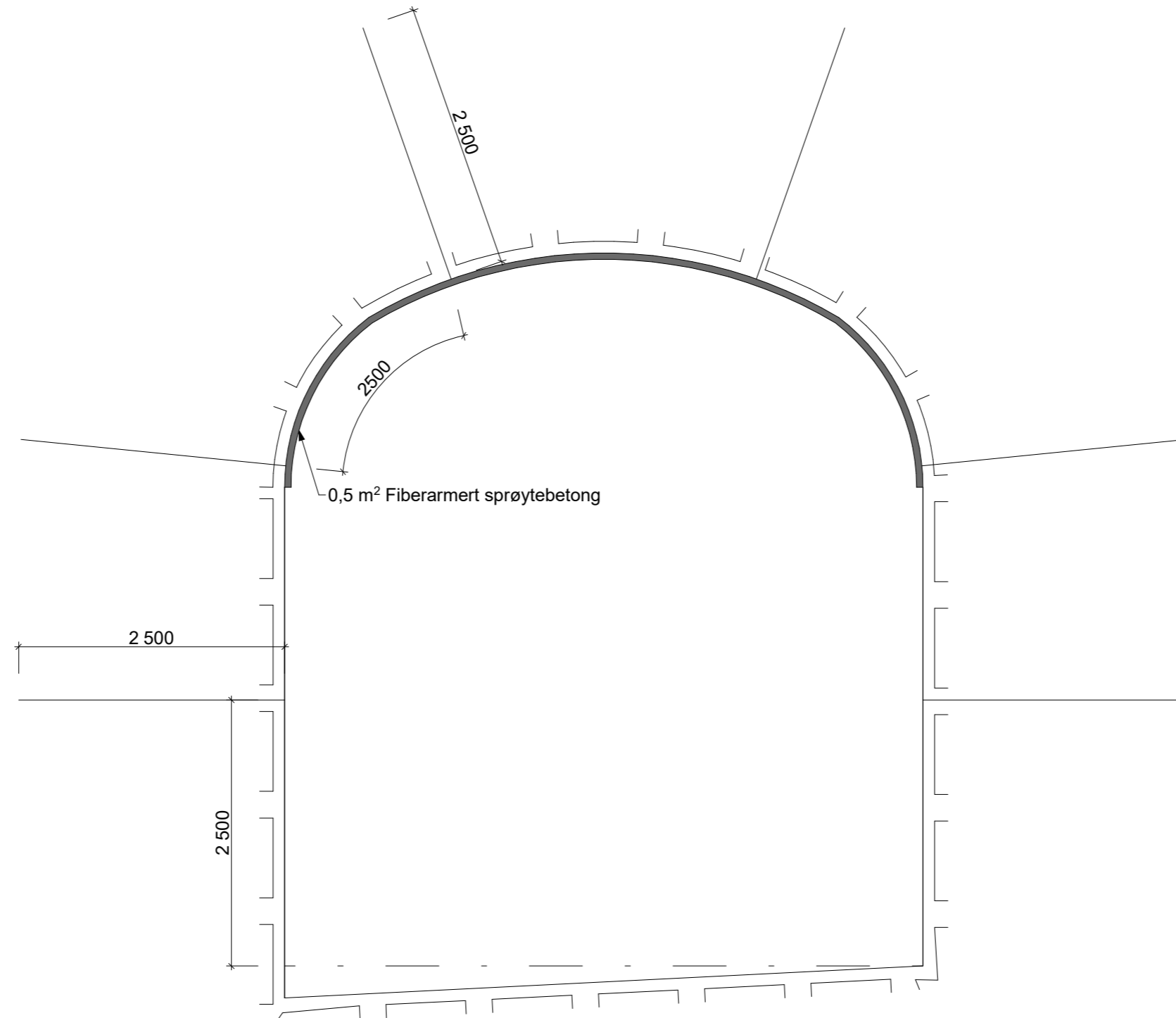
Prosjekt: <b>Bacheloroppgave gruppe 1</b>	
Tiltakshaver: <b>Skanska Norge AS</b>	Gnr/Bnr 40/38
	Sign.
Prosjekterende: <b>Bachelorgruppe 1</b> Anleggsteknikk Arkitekt Christies gate 2 Trondheim	Målestokk 1:50
	Dato 29.04.2020
Type tegning: <b>Ladeplan</b>	Tegningsnr. C-2



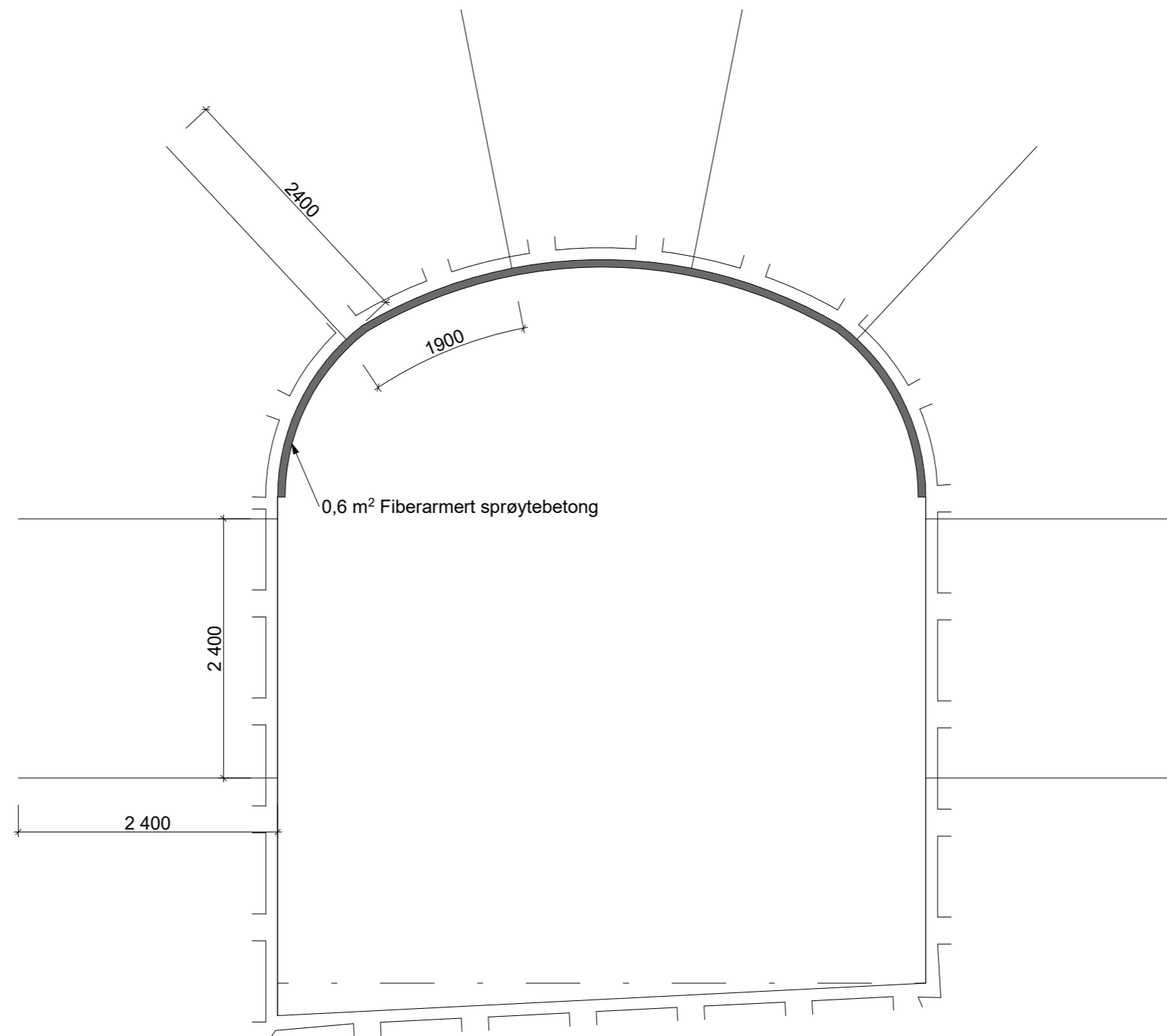
Prosjekt: <b>Bacheloroppgave gruppe 1</b>	
Tiltakshaver: <b>Skanska Norge AS</b>	Gnr/Bnr 40/38
	Sign.
Prosjekterende: <b>Bachelorgruppe 1</b> Anleggsteknikk Arkitekt Christies gate 2 Trondheim	Målestokk 1:50
	Dato 29.04.2020
Type tegning: <b>Tennplan</b>	Tegningsnr. C-3



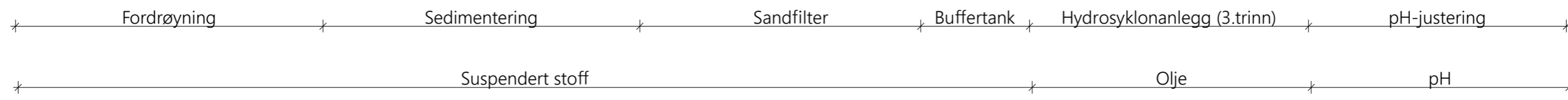
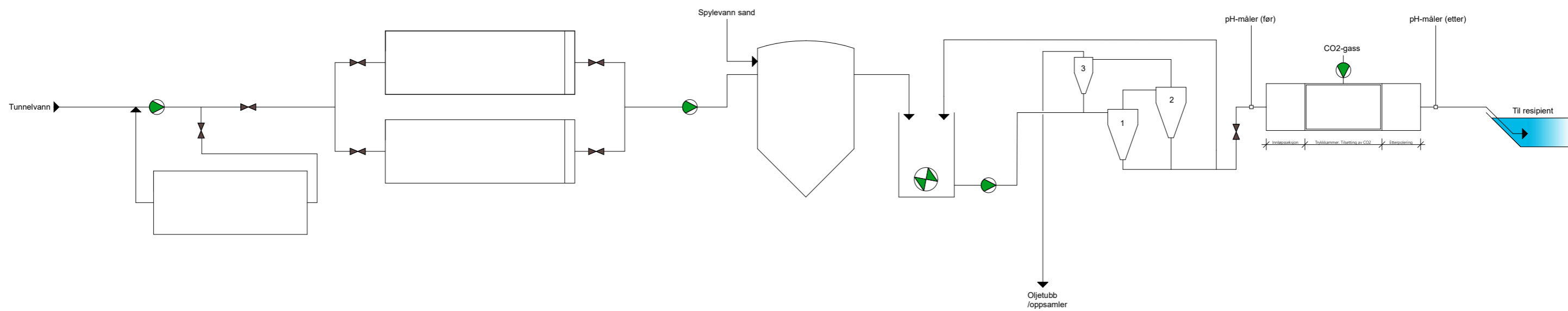
Prosjekt: <b>Bacheloroppgave gruppe 1</b>	
Tiltakshaver: <b>Skanska Norge AS</b>	Gnr/Bnr 40/38
	Sign.
Prosjekterende: <b>Bachelorgruppe 1</b> Anleggsteknikk Arkitekt Christies gate 2 Trondheim	Målestokk 1:50
	Dato 29.04.2020
Type tegning: <b>Brytningsforløp</b>	Tegningsnr. C-4






Prosjekt: <b>Bacheloroppgave gruppe 1</b>	
Tiltakshaver: <b>Skanska Norge AS</b>	Gnr/Bnr <b>40/38</b>
	Sign.
Prosjekterende: <b>Bachelorgruppe 1</b> Anleggsteknikk Arkitekt Christies gate 2 Trondheim	Målestokk <b>1:50</b>
	Dato <b>10.05.2020</b>
Type tegning: <b>Sikringsplan gunstige</b>	Tegningsnr. <b>D-1</b>



Prosjekt: <b>Bacheloroppgave gruppe 1</b>	
Tiltakshaver: <b>Skanska Norge AS</b>	Gnr/Bnr 40/38
	Sign.
Prosjekterende: <b>Bachelorgruppe 1</b> Anleggsteknikk Arkitekt Christies gate 2 Trondheim	Målestokk 1:50
	Dato 10.05.2020
Type tegning: <b>Sikringsplan ugunstige forhold</b>	Tegningsnr. D-2



-  Reguleringsventil
-  Pumpe
-  Rørverk

Prosjekt: <b>Bacheloroppgave gruppe 1</b>	
Tiltakshaver: <b>Skanska Norge AS</b>	Gnr/Bnr <b>40/38</b>
	Sign.
Prosjekterende: <b>Bachelorgruppe 1</b> Anleggsteknikk Arkitekt Christies gate 2 Trondheim	Målestokk <b>1:35</b>
	Dato <b>10.05.2020</b>
Type tegning: <b>Renseanlegg for tunnelvann</b>	Tegningsnr. <b>E-1</b>

## Vedlegg F-1: TUNNELKOSTNADER

Informasjon om kostnadsberegningen:			
Formål: Tittel	av	Forfatter/ Utgivere	Dato
For tunnelkostnader: Drill and blast tunneling costs - Doctoral Theses	av	Shokrallah Zare	2007
For forskjæring: Kostnadsgrunnlag for vannkraft	av	NVE og NorConsult	2016
For prisjustering: Byggekostnadsindeks for veganlegg	av	SSB	2019
Utarbeidet av Are Berstad			

Poster	Parameter	Verdi	Enhet
<b>Faste Kostnader</b>			
Lastebil			Volvo FH
<b>Lastekostnad</b>	<b>c_l</b>	<b>350,00</b>	<b>NOK/m</b>
Utkjøringskostnad	c_h	800,00	NOK/m
Veikostnad	c_r	80,00	NOK/m
Tippekostnader	c_tip	110,00	NOK/m
<b>Samlede utkjøringskostnader</b>	<b>c_ht</b>	<b>990,00</b>	<b>NOK/m</b>
Ventilasjon	c_v	400,00	NOK/m
Elektriske anlegg	c_el	200,00	NOK/m
Vann	c_w	350,00	NOK/m
Diverse kostnader	c_m	260,00	NOK/m
<b>Øvrige kostnader</b>	<b>c_a</b>	<b>1210,00</b>	<b>NOK/m</b>
Lønn	c_lab	2400,00	NOK/m
Korreksjon for boret lengde	k_la	1,00	
Korreksjon for tunnallengde	k_La	1,30	
<b>Korrigert lønnskostnad</b>	<b>c_la</b>	<b>3120,00</b>	<b>NOK/m</b>
<b>Nisjer</b>	<b>c_n</b>	<b>100,00</b>	<b>NOK/m</b>

<b>Kostnader som varierer med bergart</b>			
Bergart			Diorittisk gneis
Tverrsnittareal		38	m2
<b>Lengde på gunstig sikringstiltak</b>		<b>151,8</b>	<b>m</b>
<b>Lengde på ugunstig sikringstiltak</b>		<b>101,2</b>	<b>m</b>
Utlastingsmetode			Trackless
Borbarhet			Middels
Sprengbarhet			Middels-God
Profil			Hellende

<b>Boring, sprengstoff og rensk</b>			
Borehullsdiameter		48,00	mm
Boret lengde		5,20	m
Total borekostnad	c_d	1300,00	NOK/m
Sprengstofftype			Emulsjon, 5% Dynamitt
Sprengstoffkostnad	c_eb	850,00	NOK/m
Korreksjon for boret lengde	k_le	1,01	
Korreksjon for dynamittandel	k_de	1,00	
Korrigert sprengstoff kostnad	c_e	858,50	NOK/m
Rensk	c_sb	160,00	NOK/m
Korreksjon for boret lengde	k_ls	0,95	
Korrigert rensk kostnad	c_s	152,00	NOK/m
<b>Sum boring, sprengstoff og rensk kostnad</b>	<b>c_dt</b>	<b>2310,50</b>	<b>NOK/m</b>

<b>Bergsikring</b>			
Sprøytebetong gunstig, klasse 2		1000	NOK/m
Bolter gunstig, klasse 1		1100	NOK/m
<b>Sum bergsikring gunstig, klasse 1+2</b>		<b>2100</b>	<b>NOK/m</b>
Sprøytebetong ugunstig, klasse 2		1100	NOK/m
Bolter ugunstig, klasse 3		1830	NOK/m
<b>Sum bergsikring ugunstig, klasse 2+3</b>		<b>2930</b>	<b>NOK/m</b>

<b>Utrekning</b>			
Sum delkostnader	c_t	8080,50	NOK/m
Normalkostnad (inkl. sikring)		2659662,5	NOK
Korreksjon for uforutsette kostnader	k_u	1,15	
Korreksjon for prisnivå fjelltunnel (2004 - 2019 SSB)	k_p04	1,74	
<b>Totale normalkostnader (inkl. sikring)</b>		<b>5321985</b>	<b>NOK</b>
<b>Total normalkostnader per. meter (inkl. sikring)</b>		<b>21036</b>	<b>kr/m</b>

<b>Tunnelkostnad u/ forskjæring</b>	<b>kr 5 321 985</b>
-------------------------------------	---------------------

Poster	Parameter	Verdi	Enhet
<b>Data forskjæring m/portal</b>			
Bergart			Diorittisk gneis
<b>Pilothull tverrsnitt</b>		<b>12,80</b>	<b>m2</b>
<b>Resterende strossing tilbake + ekstra forskjæring</b>		<b>50,00</b>	<b>m2</b>
<b>Lenge av pilothull</b>		<b>15</b>	<b>m</b>
<b>Pilothull m3</b>		<b>192</b>	<b>m3</b>
<b>Strossing og palling m3</b>		<b>750</b>	<b>m3</b>
Utlastingsmetode			Trackless
Borbarhet			Middels
Sprengbarhet			God
Profil			Hellende

<b>Kostnader forskjæring m/portal med NVE Kostnadsgrunnlag 2.6.1</b>			
<b>Sprengning, opplasting og transport til tipp</b>		<b>350</b>	<b>kr/m3</b>
Sprengning, opplasting og transport til tipp for pilothull		67200	NOK
Sprengning, opplasting og transport til tipp for strossing		262500	NOK
<b>SUM kostnad sprengning, opplasting og transport for strossing</b>		<b>329700</b>	<b>NOK</b>
<b>Masseflytting</b>		<b>70</b>	<b>kr/m3</b>
Kostnader masseflytting		65940	NOK

<b>Utrekning av kostnader forskjæring m/portal</b>			
<b>Totale kostnader utan korreksjoner</b>		<b>395640</b>	<b>NOK</b>
Korreksjon for krevende arbeid og ekstra sikring *	k_vng	2	
Korreksjon for prisnivå (2015-2019 SSB)	k_p15	1,12	
<b>Total kostnader med korreksjoner</b>		<b>886233,6</b>	<b>NOK</b>

<b>Deponering av tunnelstein bort fra prosjektområdet</b>			
<b>Total antall m3 sprengt stein</b>		<b>9794</b>	<b>m3</b>
<b>Antatt kostnad for deponering av tunnelstein</b>		<b>1000000</b>	<b>NOK</b>

<b>Infoboks:</b>			
* Denne posten er lagt til en grov korreksjon for tung bergsikring som betongmur, bolter og sikringsnett.			

<b>Tunnelkostnad m/ forskjæring og deponering</b>	<b>kr 7 208 218</b>
---	---------------------

Antatt fortjeneste	k_for	1,15
<b>Total kostnad m/fortjeneste</b>		<b>kr 8 289 451</b>

# Vedlegg G1: Tidsberegning

Rapport 2B-95 Tunneldrift Prognoser konvensjonell drift  
 Forfattere: Krister Jacobsen, Svein Skeide, Pål Egil Rønn, og Professor Odd Johannessen  
 Utarbeidet av: Juel Petter Bergseth

Post	Parameter	Verdi	Enhet	Kommentar
<b>Boring</b>				
Tunneltverrsnitt	As	38	m2	
Ferdighetsnivå		Høyt		
Sprengbarhet		Middels		Sintef rapport
Borhulldiameter	d_l	48	mm	
Antall hull basis salvelengde	a_b	67	stk	
Boret lengde	l_b	520	cm	
Korreksjon boret lengde	k_bl	1,025		
Antall hull eks grovhull	a_h	63	stk	
Diameter grovhull	d_g	104	mm	
Antall grovhull	a_g	4	stk	
Bormaskiner type		Atlas Copco 1440		
Bormaskiner antall	a_m	3		
Borbarhet	DRI	45		Sintef rapport
Borsynk 45 mm borhull	b_48	185	cm/min	
Korr. Borsynk for d1 i forhold til 45 mm	k_l	100	%	
Borsynk d_1	$\frac{b_{48} * k_l}{k_l}$	b_l	185	
Korreksjon borsynk grovhull	k_g	43	%	
Borsynk d_g	$\frac{b_{48} * k_g}{k_l}$	b_g	79,6	cm/min
Boretid	$\frac{l_b * a_h}{b_l * a_m}$	t_h	59,0	min
Boretid grovhull	$\frac{l_b * a_g}{a_b * a_m}$	t_g	10,3	min
Flyttid pr. hull	f_f	0,75	min/hull	
Flyttid	$\frac{f_f * (a_h + 2 * a_g)}{a_m}$	t_f	17,8	
Stangkjøting	f_st	0	min	
Tid til stangkjøting	t_st	0	min	
Fjellets sliitasjegenskaper		Lav		
Kronebyttefaktor	f_k	0,01		
Tid til kronebytte	$\frac{f_k * l_b * (a_h + a_g)}{100 * a_m} * 1,5$	t_k	1,7	min
Samtidighetsfaktor	f_sa	0,09		
Ekstra til pga. manglende samtidighet	t_sa	7,8	min	
Nødvendig boretid	$t_h + t_g + t_f + t_{st} + t_k + t_{sa}$	T_b	96,7	min
Antall ladelinjer		2	stk	
Tidsbestemmende ladetid	T_l	34	min	
Riggetid boring, lading og skyting	T_rb	14	min	
Tilfeldige tapstider boring, lading og skyting	$(T_b + T_l + T_{rb}) * 0,111$	T_tb	16,1	min
<b>Sum boring, lading, og skyting</b>	<b>I</b>	<b>160,8</b>	<b>min</b>	
<b>Ventilasjonspause</b>				
<b>II</b>		<b>18,0</b>	<b>min</b>	
<b>Lasting</b>				
Lastemaskintype		Cat 972		
Transporttype		Lastebil		
Brutto lastekapasitet	L	128	vfm3/h	
Overmassefaktor	f_o	1,175		
Brytning	b_r	90,00	%	
Virkelig faste kubikkmeter pr.salve	$\frac{A_s * l_b * f_o * b_r}{100 * 100}$	v	209,0	vfm3
Lastetid pr. salve.	$\frac{v}{l} * 60$	T_u	98,0	min
Riggetid lasting og utkjøring	T_ri	13	min	
Tilfeldige tapstider lasting og utkjøring	$(T_u + T_{ri}) * 0,111$	T_tl	12,3	min
<b>Sum lasting</b>	<b>III</b>	<b>123,3</b>	<b>min</b>	
<b>Rensketid</b>				
<b>VI</b>		<b>21,5</b>	<b>min</b>	
<b>Sikring</b>				
Antall bolt / salve	aEb	15	stk	Se utregning neste ark
Bolteboretid	b_t	45	min	
Boltemonteringstid	t_bm	45	min	
Sprøytebetong / Salve		2,5	m3	5 cm i heng
Sprøytetid per kubikk		4	min/m3	Erfaringstall Skanska
Nedrigg / Opprigg		30	min	Erfaringstall Skanska
Tid til sprøytebetong		40	min	
<b>Tid til sikring</b>	<b>V</b>	<b>100,0</b>	<b>min</b>	
<b>Tidsforbruk pr. salvesyklus</b>	<b>I + II + III + IV + V</b>	<b>423,5</b>	<b>min</b>	

<b>Tidsforbruk pr. salvesyklus</b>	<b>07:03:32</b>
	hh:mm:ss

P-4 til P-242		
Skiftordning	12/9	
Antall skift	3	stk
Lengde på skift	10	timer
Kapasitet	20	timer/døgn
Fremdrift	2,8	salver/døgn
Salvelengde	5	m
Redusert salvelengde	2,5	m
Lengde med normal salvelengde	218	m
Lengde med redusert salvelengde	20	m
Total lengde	238	m
Salver	44	stk
Salver med redusert lengde	8	stk
Antall salver totalt	52	stk
<b>Tidsforbruk fra P-0 til P-240</b>	<b>18</b>	<b>døgn</b>

P-242 til P-257		
Sonderboring og geologisk kartlegging	3	døgn
Sikring av berg	1	døgn
Driving av pilot	3	døgn
Etablering av oppstillingsplass	3	døgn
Rydding av vegetasjon og sikring av berg	3	døgn
Etablering av forskjæring	30	døgn
Stosse ut pilotthull	2	døgn
Etablering av betongport	14	døgn
<b>Tidsforbruk fra P-240 til P-252</b>	<b>59</b>	<b>døgn</b>

<b>Totalt Tidsforbruk</b>	<b>77</b>	<b>døgn</b>
---------------------------	-----------	-------------



## Bestemmelse av antall bolter per salve

Tunneldata		
Tunnellengde	238,0	m
Gunstig sikring	60 %	
Ugunstig sikring	40 %	
Lengde gunstig sikring	142,8	m
Lengde ugunstig sikring	95,2	m
<b>Antall salver</b>	<b>52,0</b>	<b>stk</b>
Lengde heng	8,3	m
Lengde vegger	9,00	m

Bolteavstand (Q-systemet)		Boltemønster	Område		
Heng/vederlag					
Gunstig	2,5	m	2,5x2,5	6,3	m <sup>2</sup>
Ugunstig	1,9	m	1,9x1,9	3,6	m <sup>2</sup>
Vegger					
Gunstig	2,5	m	2,5x2,5	6,3	m <sup>2</sup>
Ugunstig	2,2	m	2,5x2,5	4,8	m <sup>2</sup>

Område som skal boltes		
Heng/vederlag	Område	
Gunstig	1188,7	m <sup>2</sup>
Ugunstig	792,4	m <sup>2</sup>
Vegg	Område	
Gunstig	1285,2	m <sup>2</sup>
Ugunstig	856,8	m <sup>2</sup>

Antall bolter		
Heng/vederlag	Antall	
Gunstig	190	stk
Ugunstig	220	stk
Vegg	Antall	
Gunstig	206	stk
Ugunstig	177	stk
<b>Tot. antall bolter</b>	<b>792</b>	<b>stk</b>

<b>Antall bolter / salve</b>	<b>15</b>	<b>stk</b>
------------------------------	-----------	------------

## VEDLEGG I-1

### Intervju med Helge Flatland, funksjonær i Skanska

**Dato:** tirsdag 10.mars 2020

**Sted:** Nye Nedre Fiskumfoss kraftverk

#### *Bakgrunn:*

Mye av tiden gruppen tilbrakte på prosjektet gikk med på å forhøre oss med veiledere og forskjellige funksjonærer angående utfordringene rundt oppgaven. Det var særlig én person alle anbefalte oss å ta kontakt med om tunneldriving, og det var Helge Flatland.

#### *Formål intervju:*

- Innhente informasjon om bergkvalitet og driveforhold i området
- Samle ideer knyttet til utfordringene rundt drivingen av tilkomsttunnelen

### **Spørsmål**

Kan du fortelle litt om deg selv?

*”Anleggskarrieren min startet når jeg var 16 år, i 1975. Frem til jeg fylte 18 år og fikk lov til å jobbe i tunnel, arbeidet jeg med sveis og vedlikeholdt bla. skuffene maskinene på anlegget. Jeg begynte senere som stoffarbeider hos Selmer (i dag Skanska) i 1977, og ble skyterbas tre år senere i 1980. Har arbeidet 33 år i produksjonen, før jeg i 2010 gikk over som funksjonær. Har vært på Nye Nedre Fiskumfoss siden oppstarten av prosjektet.”*

Helge forklarer senere om tiden i Singapore og Hellas, hvor han arbeidet som tunnelarbeider. I Singapore benyttet de ANFO. Skyterlaten til sprengstoffet forårsaket helseskader på flere tunnelarbeidere. Det var også stor risiko for forsaker forbundet med bruk av sprengstoffet.

Hva tror du om vår løsning? Har du noen tips?

*”Den ser gjennomførbar ut. Det var slik de skulle gjort det fra starten av! På slutten der hvor det er lav overdekning bør det tas spesielle hensyn til rystelser, og dere bør gå over til elektronisk tenning. Det er veldig stor forskjell på elektronisk og NONEL når det kommer til rystelser. Sann som jeg ser det er det gjennomslaget på slutten som blir den store utfordringen siden man ikke kommer til med maskiner. En løsning når man ankommer berg med svært lav overdekning er å starte og bore vertikalt med tunnelriggen, for å ta ut en slags forskjæring. Man kan så drive ut i dagen med en pilottunnel, før man strosser seg tilbake og sikrer forskjæringen. Det er ikke noe problem og foreta rensk innenifra, så lenge det ikke er for mye løsmasser.*

*Ellers bør dere ha en møte-/snunisje sann cirka på midten. Og siden dere driver tunnelen på synk er det også viktig å ha en pumpesump, slik får man pumpet vannet ut av tunnelen opp til rensenanlegget. Det er strenge utslippskrav på dette prosjektet.”*

Hvordan tror du tunnelen blir å drive? Med tanke på kartlagte depresjoner i topografien og sprekkerose?

*”Jeg tror neppe det vil bli noen store utfordringer før man ankommer det siste partiet. Nå er det jo tatt ut noen tusen kubikk med sprengstein både fra dette prosjektet, og forrige. Det har vært gode driveforhold hele veien, og vi har dannet oss et godt bilde av den lokale bergkvaliteten. Vi har kun hatt ett tilfelle med større innlekkasjer, og ny stasjonshall ligger nesten parallelt med største sprekesett uten problemer. Men man må alltid være forberedt på dårlig berg, og dere skal tross alt ut i en krevende skråning.”*

# Intervju med prosjektleder Mads Aniksdal, Skanska

**Dato:** 17. april 2020

**Sted:** Telefonsamtale

*Bakgrunn intervjuobjekt:*

Mads Aniksdal har jobbet i Skanska siden 2014 og er prosjektleder ved utbyggingen av Nye Nedre Fiskumfoss. Han har fulgt prosjektet hele veien fra tidlige forhandlinger og møter med byggherre og konsulent.

*Formål intervju:*

- Innhente informasjon rundt planleggingsfasen og situasjonen til adkomstveg ned til utløp.
- Finne ut i hvor stor grad en tunnel ble vurdert fra byggherres side og hvordan det ble lagt frem fra Skanska.

## Spørsmål

*Bakgrunn*

Utdannelse Mads Aniksdal?

- Byggingeniør på Høgskolen i Gjøvik
- 2-årig master Project Management på NTNU i Trondheim

Når ble du med i prosjektet Nye Nedre Fiskumfoss og hvor tett har du fulgt opp prosjektet siden?

- Vært med hele veien fra start. Var også med i møter med byggherre og konsulent på idemyldringsstadiet, hvor Skanska kom med forslag og delte sin kompetanse.

*Adkomstveg til uttaket*

Hvordan var planleggingsfasen for adkomstveg ned til utløp?

- Det var byggherre og konsulent som sto for planleggingen av vegen fra E6 og ned til uttaket. Skanska hadde større fokus på selve utbyggingen av kraftverket og hadde ikke innspill under planleggingen av vegen.

Hvor omfattende var forhåndsarbeidet og undersøkelsene til adkomstvegen?

- Det ble generelt utført få grunnundersøkelser. Dette pga. at det var vanskelig å komme til med utstyr for utførelse av prøver. Konsulent og byggherre sto bak undersøkelsene og «styrte showet». Mads anbefaler å ta kontakt med konsulent for mer informasjon om forundersøkelser.

Hvor utfordrende ble arbeidet ansett som?

- Entreprenør var kun på befaring for vegen. Fra Entreprenørens ståsted bra vegen ansett som bratt, men gjennomførbart. Entreprenør tok ikke på seg ansvar for risiko fra traubunn og ned.

Når ble arbeidet mer krevende enn antatt?

- Det var i skjæringen prosjektet ikke var forberedt på hva som skjedde. Her måtte man ta en fot i bakken og planlegge videre fremdrift på nytt.

Har forlengningen av arbeidet hatt konsekvenser for resten av prosjektet?

- Forlengningen av arbeidet med skjæringen har kostet prosjektet en sesong. Dykkerarbeid ved uttaket skulle etter planen ha oppstart våren 2020. Dette er utsatt til januar 2021. Forlengningen har pr. nå ikke hatt noen konsekvenser. Det var lagt inn en buffer for en slik situasjon. At forlengningen skjedde ved skjæringen har tatt bufferen bort fra andre typer arbeid, som uforutsette hendelser ved dykningsarbeidet på uttaket. Det kan dermed gi ringvirkninger til senere arbeid.

Hvordan var kravene i forhold til miljø og elven, knyttet til adkomstvegen?

- Dette var ikke et tema under diskusjonene Skanska deltok i. Det skal i utgangspunktet ikke være utslipp i Namsenelven. Mads anbefaler å ta kontakt med konsulent for svar på dette.

Foreslo Skanska å bygge tunnel i stedet for å anlegge veg i dagen?

- Ja

*Hvis ja:*

Hvordan ble dette gjort?

- Det ble lagt frem forslag om tunnel muntlig under tidlige forhandlingsmøter. Her ble det lagt frem forslag om to traseer, hvor vårt forslag var et av dem. Det andre forslaget var tunnel forbi skjæringen. Tilbudene ble kun lagt frem muntlig med overslag i møte med byggherre.

Finnes det noe skriftlig tilbud på dette og er dette noe vi kan se?

- Nei

Hvordan vurderte byggherre tilbudet?

- Ved kjapt overslag ble tunnel ansett som dyrere enn vegen. Byggherre forkastet dermed forslaget og gikk videre med vegen i dagen.

Tror du de hadde vurdert det i dag?

- Dette er et komplekst spørsmål med mye usikkerhet. Hadde man hatt prisestimat på høyde med prisen man har i dag ville nok BH vurdert tunnel.

*Annet*

Hva synes du om tunnelforslaget til bachelorgruppen?

- Synes forslaget med traseen virker gjennomførbart. Det største usikkerhetsmomentet ligger mest sannsynlig i om man faktisk driver tunnelen i fjell, da man ikke vet hvor dyp den gamle fyllingen er. Ved ny gjennomgang av tegninger mener Mads at det bør gå greit, men at det bør bli kartlagt hvor dypt fyllingen går.

Kan du gi et kostnadsestimat på tunnelen?

- For drivingen alene kan man regne med ca. 18 000,- kr pr. meter. Ved regning av 3 bolter pr. meter som koster rundt 2000,- kr pr. stk. og sprutebetong havner man et sted mellom 20 000,- – 30 000,- kr pr. meter.
- Med forskjæring og diverse installasjoner gjør Mads et overslag på at tunnelen vil kost 7 millioner kroner.
- Tror dermed at veg vil bli billigere.

Hvordan kostnadsberegne vegen? Kan vi få generelle priser fra Skanska?

- Vegen er kostnadsberegnet for «Landbruksveg klasse 4». Skanska har gitt meterpris fra traubunn og opp, og denne ligger på ca. 1000,- – 1500,- kr.
- Sprengningsarbeid, sikring og ekstra masser kommer som tillegg

Kan vi få generelle priser fra Skanska?

- Mads vil kontakte byggherre og finne ut hva vi kan få. Han ser for seg at det skal være mulig å gi avrundede priser for både før og etter ekstraarbeid.

# Intervju med produksjonsleder Runar Johanson, Skanska

**Dato:** 23. april 2020

**Sted:** Telefonsamtale

*Bakgrunn intervjuobjekt:*

Fagbrev som forskalingsnekker og tunneldriver, og har praktisert begge grenene i flere år før videreutdanning på fagskolen. I dag jobber Runar som produksjonsleder på tunnel og følger opp flere prosjekter.

*Formål intervju:*

- Få innspill til bacheloroppgavens ferdige sprengningsplan.
- Fungerer den i praksis?

## Referat fra intervju

Tunnelen er 38,2 m<sup>2</sup> og vi har kommet frem til at det trengs 361 kg sprengstoff til en vanlig salve. Dette gir spesifikk ladning på 1,82 kg/m<sup>3</sup>. Høres dette riktig ut?

- Kommentar:  
Det høres lite ut. Spesifikk ladning på tunnelen vi driver på dette prosjektet (Bergensbanen) er opp mot 3,0 kg/m<sup>3</sup>. Den høye spesifikke ladningen kommer også av at vi har strenge rystelseskrav her, som gjør at vi må bore flere hull.


*Jeg sender sprengningsplanen slik at han kan se den*

- Kommentar:  
Det ser ut som at det er litt få hull her.

Jeg forklarer at vi har brukt veiledningsdokument fra Orica Mining og regnet oss frem til alle verdier fra den

- Kommentar:  
Det er helt sikkert riktig det dere har gjort, men veiledningsdokumentet kan være rettet mot større tverrsnitt. Ved større tverrsnitt har vi erfaringstall på lavere spesifikk ladning. Erfaringstallene våre på tilsvarende tunneler på ordinære prosjekter er ca. 2,6 kg/m<sup>3</sup>. Dere vil nok få ut salven med sprengningsplanen dere har laget, men det skulle nok vært noen flere hull i strossen.

## Vedlegg M-1: Andersen Huso

 Huso, Lars Andersen-Ranberg  
ma. 04.05.2020 10:26  
Til: Juel Petter Bergseth

Hei,


Det tar rundt 4 min/m<sup>3</sup> så kommer 15 min opprigg/nedrigg, for sprøytbetong. Så dette vil være avhengig av hvor mye av profiler som sprutes. For arbeidstunneler sprutes stort sett bare hengen

Når det kommer til injeksjon er det vanskelig å kunne gi noe eksakt svar ettersom dette er ekstremt varierende, med tanke på bergforholdene og innlekasje.

Mvh  
-Lars

## Vedlegg M-2: Aniksdal, Mads

**Nye Nedre Fiskumfoss Kraftverk - studentoppgave**

 Aniksdal, Mads  
ti. 12.05.2020 20:52  
Til: Juel Petter Bergseth; Are Berstad; Magnus Smestad Aamodt

Hei.

Nedenfor er det i grove trekk gitt tids- og kostnadsestimat for veien til utløpet frem til pel 780.  
Ta gjerne kontakt per telefon i morgen ved spørsmål. Det passer best mellom kl. 1200 og 1330.

**Kostnader** for veien til utløpet kan i hovedsak deles inn i følgende:

1. Skogrydding
2. Etablering av vei i traseen til eksisterende skogsbilvei
3. Etablering av vei i jomfruelig terreng
4. Veisikring
5. Midlertidig sikring av løsmasser og uttak av berg mellom pel 650 og 780
6. Permanent sikring av løsmasser med betongmur

Totalt har veien en estimert kostnad i størrelsesorden 12 MNOK frem til pel 780.

**Fremdrift – hovedaktiviteter**

Aktivitet	Start	Stopp
Skogrydding og etablering av luningsplass	Mars 2019	12.04.2019
Etablering av vei (oppstart og tilrettelegging)	Mai 2019	Mai 2019
Fiskeperioden 2019	01.06.2019	05.08.2019
Etablering av kjørbare vei frem til pel 650	05.08.2019	02.09.2019
Stopp i arbeidene i avvente på prosjektering	02.09.2019	17.09.2019
Levering av materiell til løsmassesikring	18.09.2019	24.09.2019
Løsmassesikring, uttak av berg og etablering av vei frem til pel 780 (vinterstengt 2 uker i februar)	25.09.2019	20.03.2020
Etablering av betongmur	ikke startet	

- [Til info startet tunneldrivingen 04.09.2019. I perioden før ble det benyttet stein fra dagsprengning i påhuggsområdet.](#)

Mvh

**Mads Aniksdal**  
Prosjektleder i Nye nedre Fiskumfoss kraftverk