

Martin Manstad
Andreas Skain

Planlegging og oppfølging av grunnarbeider i Soknedalstunnelen

Planning and Monitoring of Groundworks in
Soknedalstunnelen

Prosjekt nr.: 33-2019

Bacheloroppgave i Bygg og miljø
Veileder: Terje Kjetil Fossheim
Mai 2019

Martin Manstad
Andreas Skain

Planlegging og oppfølging av grunnarbeider i Soknedalstunnelen

Planning and Monitoring of Groundworks in
Soknedalstunnelen

Prosjekt nr.: 33-2019

Bacheloroppgave i Bygg og miljø
Veileder: Terje Kjetil Fossheim
Mai 2019

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

 **NTNU**
Norwegian University of
Science and Technology

Problemdefinering, prosjektbeskrivelse og resultatmål

Bakgrunnen for oppgaven er at oppdragsgiver, AF Anlegg (AFA), ønsker å få målt produksjonen, og utlevert nøkkeltall på brukte ressurser i form av grunnarbeidere og maskiner. De ønsker gjennom oppgaven å sette lys på metoder brukt i planleggingen av et anleggsprosjekt.

Prosjektbeskrivelse:

- Utforme en detaljert fremdriftsplan for grunnarbeider i MS Project for grunnarbeidene i tunnelen.
- Måling av fremdrift med kommentarer pr. 01.04 og 30.04. Måling gjøres ut fra utarbeidet fremdriftsplan.
- Aktiviteter med avvik kommenteres og analyseres med tanke på årsaksforhold.
- Lage en hovedfremdriftsplan som skråstrekkdiagram som supplement til MS Project-planen. Skråstrekkplanen har pelenummer i x-aksen og dato på y-aksen.
- Utarbeide en vurdering og sammenlikning i forhold til disse to planverkene.
- Lage bemanningsplan for maskiner og grunnarbeidere som er linket til fremdriftsplanens hovedaktiviteter. Virkelig og planlagt sammenliknes.
- Utarbeide mengdelister for rør, kummer, pukk og omfyllingsmasse. De skal være linket til sine respektive aktiviteter.
- Utarbeide sluttrapport på følgende hovedtemaer:
 - Maskintimer og grunnarbeidstimer på bunnrensk
 - Maskintimer og grunnarbeidstimer på sprenging av tverrgrøfter og kumutvidelser
 - Maskintimer og grunnarbeidstimer per meter VA-grøft
 - Maskintimer og grunnarbeidstimer per meter trekkerør/kabelkanal
 - Maskintimer og grunnarbeidstimer på planum og forsterkningslag, klart til asfalt

Stikkord fra prosjektet:

- | | |
|------------------|-----------------|
| - Fremdriftsplan | - Tunnel |
| - Fremdrift | - Grunnarbeider |
| - Bemanning | - Erfaringstall |
| - Kapasiteter | - anleggsdrift |
| - Mengdelister | |

Forord

Denne oppgaven er utarbeidet våren 2019 som en avslutning på bachelorprogrammet Bygg og Miljø ved Norges teknisk-vitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim.

På forhånd var studentene inspirert til å bruke oppgaveperioden aktivt for å tilegne seg erfaring og innsikt i en bransje begge skal jobbe i etter endt periode. Således var ønsket å skrive bacheloroppgave ute på prosjekt. Vi vil rette en stor takk til Kenneth Svendsen i AF Gruppen som gjorde dette mulig.

Arbeidet med oppgaven har utviklet våre egenskaper med det å jobbe i team. I tillegg har det gitt en unik innsikt i bransjen og verdifull faglig kunnskap.

Vi vil takke AF Gruppens ansatte i Soknedal for måten de tok oss imot på prosjektet, og for å ha lagt til rette for oss slik at oppholdet ble så bra som det ble. Imøtekommelsen settes stor pris på. Vi takker også for deres tilgjengelighet, for å til enhver tid ha stilt sin tid til disposisjon for veiledning, vurderinger og tilbakemeldinger ovenfor oss og vår oppgave.

En ekstra spesiell takk til Lars Petter Holen og Torbjørn André Schei fra AF Gruppen, for tiden de har viet oss, erfaringene de har delt, og kunnskapen de har formidlet til oss, som våre eksterne veiledere i vår.

Takk også til RISA sin arbeidsledelse for sin samarbeidsvillighet og alle faglige innspill.

Takk til Terje Kjetil Fossheim, vår veileder ved NTNU, for bistand om utforming av denne oppgaven.

Trondheim 19.05.2019



Martin Manstad



Andreas Skain

Abstract

This report is a bachelor thesis written for the Department of Civil and Environmental Engineering at the Norwegian University of Science and Technology (NTNU) in cooperation with AF Gruppen. Through this cooperation AF Gruppen wishes to measure the production of the groundworks in Soknedalstunnelen. The main purpose of this assignment is to prepare key data which puts work hours and machine hours in context with the project progress. Through this report the reader will get insight in the groundworks relevant function and operations.

This study looks at the importance of planning, scheduling and monitoring of the production in a specific construction project. The reader will gain knowledge about the methods a planner could use to design a detailed work schedule, and how these are used in the planning of this particular project. The assignment gives the reader great insight in the conditions and challenges of the project, as well as other problems that may occur for the project planner on this sort of construction planning. The report is based on the different planning tools Gantt-schedule and line-of-balance planning, and a comparison of these will be presented. The relevance of monitoring the project use of resources, quantities and time, and it's affiliation with economic success is heavily emphasized.

The closing report of the tunnel's scope of work documents all the hours used. The hours are divided into man hours and machine hours. The hours are then linked to their respective activities. For each activity, these numbers are recalculated into hours used per meter. These hours are also divided into man hours as well as machine hours based on the machine type. These numbers could be significant in terms of telling the project management how the production is going and to help them take critical decisions which could decrease the cost and increase the value. This data, therefore, may play an essential role in the calculation and planning of similar projects in the future.

Sammendrag

Denne rapporten er en bacheloroppgave utarbeidet for Institutt for bygg- og miljøteknikk ved NTNU i samarbeid med AF Gruppen. AF Gruppen ønsker gjennom dette samarbeidet å få målt sin produksjon på grunnarbeidene i Soknedalstunnelen, og hovedformålet med oppgaven har vært å utarbeide nøkkeltall hvor arbeidstimer og maskintimer settes i sammenheng med fremdriften. Gjennom rapporten vil leseren få innsikt i de aktuelle grunnarbeidenes funksjon og drift.

Rapporten tar for seg viktigheten av planlegging og oppfølging av produksjonen i et anleggsprosjekt. Leseren blir kjent med metoder en planlegger kan bruke i utformingen av en detaljert fremdriftsplan, og hvordan disse er tatt i bruk i fremdriftsplanen for dette prosjektet. Oppgaven gir leseren et godt innblikk i prosjektets rammer, hvilke utfordringer som foreligger og som kan foreligge under planleggingsarbeidet på denne type prosjekt. Rapporten baseres på bruk av planverkene Gantt-diagram og skråstrekkdiagram, og en sammenlikning av disse planverkene anvendelighet med utgangspunkt i dette prosjektet fremkommer. Relevansen til oppfølging av prosjektets ressursbruk, mengdebruk og tidsbruk, og dens sammenheng med økonomisuksess vektlegges sterkt i avhandlingen.

Det er utformet en avsluttende rapport for arbeidene i tunnelen, hvor all timebruk fremkommer i form av grunnarbeidstimer og maskintimer, alle linket til sine respektive aktiviteter. Disse tallene er regnet om til timebruk per meter tunnel for hver aktuell aktivitet, for grunnarbeidstimer og for de ulike maskintypene som er anvendt i aktiviteten. Tallene kan være verdifulle ved å fortelle hvordan prosjektet går underveis og de kan hjelpe anleggsledelsen å gjøre kritiske tiltak for prosjektets verdiskapning. De avsluttende tallene vil også kunne være sentral ved kalkulering og planlegging av kommende prosjekter som ligner.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	i
Abstract.....	ii
Sammendrag	iii
Innholdsfortegnelse.....	iv
Figurliste	vi
1. Innledning.....	1
1.1 Oppgavens rammer	1
1.2 Hva kan oppgaven brukes til?.....	2
2. Prosjektet E6 Soknedal.....	3
2.1 AF Gruppen	3
2.2 Tunnelen	4
3. Grunnarbeider på tunnel	6
3.1 Sprenging av kummerutvidelser og tverrgrøfter.....	6
3.2 Bunnrensk	6
3.3 Anleggsvei	7
3.4 Grøfter med OV og Drens Inkludert Kryssinger	8
3.5 Plastøpte kabelkanaler (OPI-kanal).....	8
3.6 Oppbygging til planum	9
3.7 Installasjon av tekniske bygg	9
3.8 Forsterkningslag inkl. forkiling	10
3.9 Asfaltering av bærelag	11
3.10 Vegdekke	11
4. Fremdriftsplanlegging	13
4.1 utfordringer med fremdriftsplanlegging.....	14
4.2 Prosjektets rammer.....	16
4.3 Mengder og ressurser	16

4.3.1	Mengder i Soknedalstunnelen	19
4.4	Metoder	23
4.4.1	Gannt-diagram	23
4.4.2	Skråstrekplanlegging	23
4.4.3	Erfaringstall	24
4.4.4	Kapasiteter og beregninger.....	24
4.5	Sammenlikning med prosjektets gjeldende framdriftsplan.....	25
4.6	Sammenlikning av Gantt- og skråstrekdiagram.....	26
5.	Innovasjon – Planleggingsverktøyet TILOS	30
6.	Oppfølging og rapportering av ressurser og fremdrift.....	32
6.1	Måling av framdrift 01.04.....	32
6.2	Måling av framdrift 30.04.....	33
6.3	Status per 13.05.....	34
6.4	Prosjektets tid og ressursbruk	35
6.4.1	Sprenging av kumutvidelser og tverrgrøfter	35
6.4.2	Bunnrensk	36
6.4.3	Etablering av langsgående grøfter og anleggsvei	38
6.4.4	Etablering av langsgående kabelkanal/OPI-kanal	39
6.4.5	Oppbygging av planum og forsterkningslag - klart til asfalt	41
7.	Ordforklaringsliste.....	43
8.	Referanser	44
9.	Vedleggsliste	46

Figurliste

Figur 1: Kart over det nye veistrekket. (Kart: Statens Vegvesen)(1)	3
Figur 2: Operasjonell struktur for AF Gruppen.(2)	4
Figur 3: Tverrsnitt av tunnelen.	4
Figur 4: Skisse av bunnrenskarbeider. Av Arild W. Solerød.(1).....	7
Figur 5: Tunnelen like etter bunnrensk.	7
Figur 6: Grøftene pumpes tom for vann før fundament til drens etableres.	8
Figur 7: Plastøpte kabelkanaler. (OPI-kanal)	9
Figur 8: Teknisk bygg installert i nisje.	10
Figur 9: Planlagt vegoppbygning i tunnelen.	11
Figur 10: Illustrasjon av sammenhengen mellom usikkerhet og kostnad. (18)	15
Figur 11: Ukentlig oversikt over planlagt ressursbehov for grunnarbeidene i tunnelen. Arbeidere inkluderer alle som jobber på prosjektet ekskludert lastebilførere. Maskiner inkluderer gravere, dumpere, kommandorigg, hjullastere, dosere, vals og asfaltutlegger.	17
Figur 12: Skisse av tunnelgrøftene.	19
Figur 13: Tabell for trekkekummer.....	20
Figur 14: Mengdeliste for utvalgte tunnelarbeider.	22
Figur 15: Her ser vi avhengigheter mellom aktiviteter i et Gantt-diagram ved hjelp av piler. Ser også av figuren hvordan tilgjengelige kapasiteter enkelt kan linkes til de ulike aktivitetene.....	27
Figur 16: I en skråstrekplan kan vi se at aktivitetene går parallelt og ikke har noen mulighet for å krysse hverandre inne i tunnelen. Vi kan også til en hver tid se hvor i tunnelen de ulike aktivitetene skal befinne seg.	28
Figur 17: Ser her hvordan vi kan markere nåværende fremdrift i et Gantt-diagram ved hjelp av fargelegging.	28
Figur 18: Vi ser her hvordan de blå streken viser faktisk fremdrift på prosjektet underveis, sammenliknet med den planlagte fremdriften i et skråstrekdiagram.	29
Figur 19: Skjema for grunnarbeids- og maskintimer for sprenging av kumutvidelser	36
Figur 20: Skjema for grunnarbeids- og maskintimer for bunnrensk.....	37
Figur 21: Skjema for grunnarbeids- og maskintimer for etablering av langsgående.....	39
Figur 22: Skjema for grunnarbeids- og maskintimer for OPI/Kabelkanal.	40
Figur 23: Skjema for grunnarbeids- og maskintimer for oppbygging av planum	41

1. Innledning

Gjennom denne bacheloroppgaven ønsker AF Gruppen å få målt sin produksjon. Videre skal det resultere i en rapport over brukte kapasiteter og ressurser vedrørende grunnarbeidene i tunnelbyggingen ved sitt vegprosjekt i Soknedal. Oppgaven skal også belyse utfordringer med planlegging og drift av et typisk tunnelprosjekt i Norge, og hvordan disse kan håndteres.

Hovedformålet med oppgaven er å gjøre en vurdering på hvordan de enkelte aktivitetene som inngår i tunnelens grunnarbeider har gått på prosjektet. Den skal kunne sammenliknes med planlagt fremdrift for prosjektet, og eventuelle avvik analyseres og kommenteres med tanke på årsaksforhold. Oppgaven skal kunne gi en oversikt over hvilke metoder som er brukt og hvilke metoder som kan være aktuelle ved planlegging av arbeidsprosesser i anleggsbransjen. Den skal også forklare de aktuelle arbeidsoperasjonenes funksjon og drift. Planlegging av fremdrift skal begrunnes. På samme måte skal kapasiteter i form av grunnarbeidere og maskiner planlegges for alle aktivitetene. Den faktiske ressursbruken skal ukentlig måles og sammenliknes med den planlagte og vil inngå som en viktig faktor i sluttrapporten.

1.1 Oppgavens rammer

Gruppen har gjennom samarbeidspartner AFA fått full tilgang til anlegget hvor de aktuelle arbeidene gjennomføres. For planlegging av fremdrift, ressursbruk og mengdebruk har studentene fått tilgang til tegningsgrunnlag, kontrakter, kalkyler og ansvarlig personell/bedrifter for de ulike aktivitetene. Det skal allikevel nevnes at kalkylen, som skal være det overordnede kravet til fremdrift på et slikt anlegg, ikke er stykket opp nok for å gi grunnlag til en så detaljert fremdriftsplan. Arbeidsprosessene som inngår i oppgaven er i prosjektets overordnede fremdriftsplan satt med en varighetsramme på 19 uker fra gjennomslag på tunnelen den 22.01.2019.

Bacheloroppgavens omfang er av NTNU, Institutt for bygg- og miljøteknikk satt til 20 studiepoeng og ca. 500 timer per student. Disse arbeidene skal utføres fra primo januar og frem til medio mai.

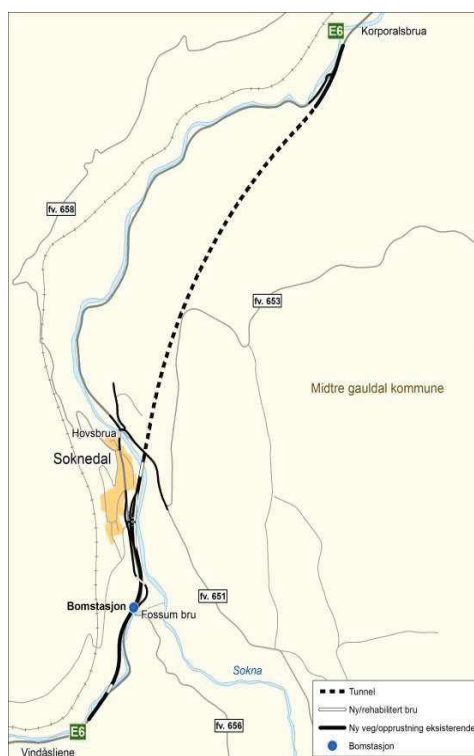
1.2 Hva kan oppgaven brukes til?

Etter omfattende litteratursøk har gruppen funnet tilstrekkelig med kilder knyttet til metoder entreprenører, byggherrer og konsulentfirmaer bruker i planleggingen av prosjekter, både når det kommer til detaljert og mer overordnet fremdriftsplanlegging. Derimot virker det som litteraturgrunnlaget rundt rapporteringer og etterkalkyler i anleggsbransjen er noe begrenset. Det er allikevel kjent at entreprenører i stor grad bruker tall og informasjon utviklet fra tidligere prosjekter aktivt under kalkulering og planlegging av nye.

Tall og vurderinger som kommer frem i denne bacheloren kan bli brukt som erfaringstall for nye prosjekter av samme type. Da kanskje spesielt i prosjekter hvor underentreprenør er hyret basert på medgått tid for brukte ressurser og ikke på anbud, noe som er tilfelle på flere av aktivitetene vi har sett på. Tallene kan også videreutvikles for å fremstille en etterkalkyle som vil kunne vise totale kostnader for de ulike aktivitetene. Dette kan utnyttes ved kalkulering av nye prosjekter.

2. Prosjektet E6 Soknedal

E6 Soknedal-prosjektet startet i 2017 og er en del av Nasjonal Transportplan (NTP) 2014-2023. (1) Prosjektet omfatter etablering av ny to-/trefelts veg mellom Vindåsliene og Korporalsbrua i Midtre Gauldal. Strekningen er bare én av totalt fire parseller i Nye Veiers vegprosjekt E6 Trøndelag, som omfatter ny E6 fra Ulsberg i sør til Melhus i nord. Totalt skal det i 2020 åpnes 6,5 kilometer ny E6 i Soknedal. Av dette 2,9 kilometer i dagen og 3,6 kilometer i tunnel. Den nye strekningen har som mål å redusere reisetiden og bedre trafiksikkerheten. Dessuten vil det bli miljømessige bedringer i Soknedal sentrum som følge av at vegen legges på motsatt side av elva i forhold til sentrum.(1)



Figur 1: Kart over det nye veistrekket. (Kart: Statens Vegvesen)(1)

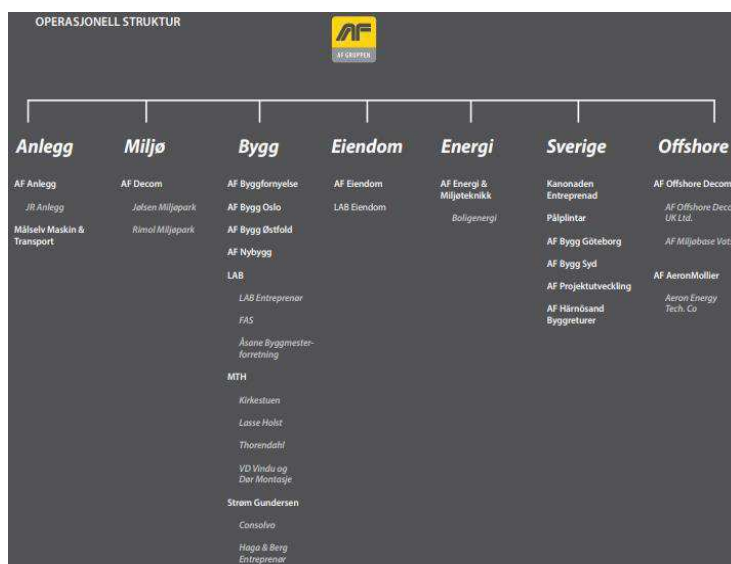
I tillegg skal det etableres et toplanskryss, to E6-bruer, samt 1,7 kilometer lokalvegssystem med to bruer, og kollektivterminal med parkeringsplasser. Totalrammen er ventet å bli på 1,60 milliarder kroner, der 46 prosent vil finansieres med bompenger. Resten er finansiert av statlige midler. Statens vegvesen (SVV) er byggherre og leder prosjektet i samarbeid med AF Gruppen som er hovedentreprenør. De har avtalt en hovedentreprise verdt 993 millioner kroner.(1)

2.1 AF Gruppen

AF Gruppen ASA er et av Norges ledende entreprenør- og industrikonsern med hovedbase ved Helsefyrt i Oslo. Selskapet har ved starten av 2019 om lag 4500 ansatte innenfor virksomhetene anlegg, bygg, eiendom, energi, miljø og offshore.(2)

AF Gruppen ble etablert i 1985, da for å satse på anleggsprosjekter over hele Norge med fokus på å utøve god entreprenørånd. Videre gikk AF inn i olje- og gassmarkedet i 1991 ved å ta et prosjekt i Trollfeltet, som etter hvert tredoblet selskapets omsetning. I 1997 ekspanderte AF inn i bygg- og eiendomsmarkedet ved å fusjonere med Oslos den gang største entreprenørselskap Ragnar Evensen, samt eiendomsselskapet Odin. Videre ble det i 2006 etablert en energivirksomhet, for å utnytte byggkompetansen til det bedre med tanke på energireduksjon

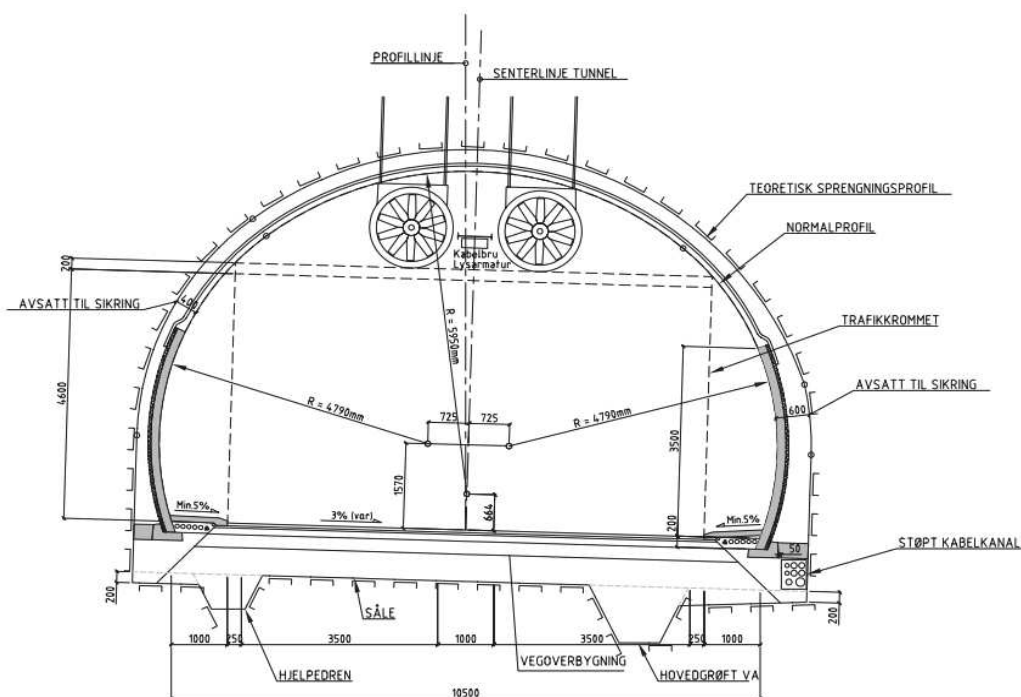
og -produksjon. På starten av 2000-tallet tok AF i bruk erfaringene fra anleggsvirksomheten sin over til en miljøatsing. Raskt ble AF landets største riveaktør, og er i dag verdensledende innen rivning og gjenvinning. Denne virksomheten ble tatt offshore, og utvidet med marine- og riggservicetjenester. Dette resulterte i at offshore ble etablert som et eget virksomhetsområde i 2013.(2)



Figur 2: Operasjonell struktur for AF Gruppen.(2)

AF Anleggs prosjekter er for det meste basert innen samferdsel, infrastruktur og vannkraft. Med sin brede ekspertise innen disse feltene utføres alle typer anleggsprosjekter innunder, så vel som mindre som store komplekse oppdrag. Hovedsakelig er offentlige og kommunale etater kunder på prosjektene, samt større industriselskaper.(2)

2.2 Tunnelen



Figur 3: Tverrsnitt av tunnelen.

Soknedalstunnelen har lengde på omtrent 3,6 kilometer og omfatter altså over halve strekningen av den nye vegparsellen. Portal sør er 82 meter og befinner seg ved pælenummer 28200 (pr.28200), mens portal nord er 41,5 meter og befinner seg ved pr.31750. I tillegg til vegbanen skal det utvides for nisjer inne i tunnelen. Dette innebærer havarinisjer for hver 250 meter, samt to snunisjer og fire nisjer for tekniske bygg. Tunnelen bygges med tunnelklasse C og tunnelprofil T10,5. Tunnelklassen er bestemt basert på trafikkmengde og tunnellengde i figurer gitt i Statens vegvesens håndbok N500 Vegtunneler. Trafikkmengden angis i den årsdøgnetrafikk (ÅDT), som er forventet 20 år fram i tid. I tilfelle Vindåsliene – Korporalsbrua er ÅDT ifølge Statens vegvesen i 2014 målt til ca. 5000, med dimensjonerende ÅDT ca. 7500.(1)

3. Grunnarbeider på tunnel

Den 22.01.2019 fikk prosjektet gjennomslag på tunnelen. Det vil si at sprengningsarbeidet gjennom fjellet er ferdig. Etter gjennomslag er neste fase av tunnelbyggingen å gjøre etterarbeider på tunnelen, dette innebærer også grunnarbeider. På dette tidspunktet ble det beregnet at det ligger igjen om lag 50 000 m³ med sprengstein i tunnelen, altså en gjennomsnittlig høyde på en meter da tunnelens areal ligger på om lag 50 000 m². Det som inngår i grunnarbeidene gruppen har jobbet med er sprengning av kummer og tverrgrøfter, rensk av resterende sprengmasser, etablering av grøfter og kabelkanaler, samt oppbygging av vei.

3.1 Sprenging av kummerutvidelser og tverrgrøfter

Kummerutvidelser sprenges for å gjøre klart til etablering av kummer for overvann (OV) og drens i grøftene, da i all hovedsak sandfangkummer for drens. Sprenging av kummerutvidelser kan tas sammen med hovedsalve for tunnelen eller som egen operasjon.(3) Tverrgrøfter sprenges for OV og drens, samt kabelkanaler som skal føres under vei mellom langsgående grøfter.

Sprenging av kummerutvidelser og tverrgrøfter er etter gjennomslag de eneste gjenstående sprengningsarbeidene i tunnelen. Det skal i henhold til kontrakt utføres 127 kummerutvidelser i tunnelen. Antall meter tverrgrøfter som sprenges skal ettermåles for prosjektet og er ikke bestemt i kontrakt.(3) Disse arbeidene gjennomføres før rensk av tunnelen da sprengmasser fra disse operasjonene også må renskes ut. Arbeidene gjennomføres på dette prosjektet parallelt med bunnrensk og er til enhver tid et stykke foran rensken. Arbeidene med sprenging gjennomføres på natt så det ikke kolliderer med bunnrenskarbeidet som foregår på dagtid. Arbeidene utføres fra sør til nord i tunnelen.

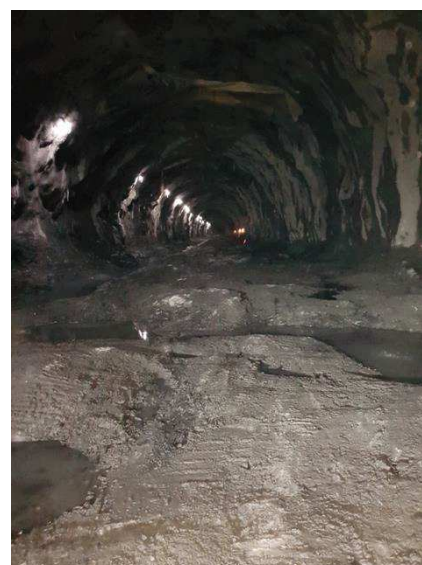
3.2 Bunnrensk

Bunnrensk eller knølrensk er utrenskingen av masser som utgjør den midlertidige kjørebane under anleggsdriften i tunnelen. Disse massene skal fjernes når den endelige kjørebane eller en mindre omfattende anleggsvei skal etableres. Massene som ligger her er sprengstein fra sprengningsarbeidet i tunnelen som ikke er blitt ført ut under selve anleggsdriften.(4)



Figur 4: Skisse av bunnrenskarbeider. Av Arild W. Solerød.(1)

Bunnrenskens omfang på denne tunnelen ligger som tidligere nevnt på rundt 50 000 m³. Arbeidene med dette skal gjennomføres ved hjelp av dumpere, gravemaskiner, doser og hjullaster. Massene skrapes frem ved hjelp av doser og gravemaskin, lastes i dumpere av hjullaster, kjøres ut og tippes på mellomlager av A40 dumpere og A30 dumpere til tipp på Hovsmoen 7,5 km fra påhugg nord på tunellen. Det er ventet at omlag 13 500m³ sprengstein vil være gjenliggende på mellomlager når bunnrensk er ferdig. Arbeidene utføres fra sør til nord i tunnelen.



Figur 5: Tunnelen like etter bunnrensk.

3.3 Anleggsvei

Etablering av anleggsvei er en nødvendighet for at arbeider med blant annet grøftene i en tunnel skal kunne komme i gang. Anleggsveien bygges av stedlig knuste masser med dimensjon 22-180mm. Grunnen til at en ny anleggsvei etableres fremfor å la sprengmassene fra anleggsdriften ligge er at en slik anleggsvei består av et mye mindre volum masser og vil være mindre til hinder for de kommende grøftearbeidene. Etableringen av anleggsvei kan utføres så lenge bunnrensk er i forkant. Arbeidet med anleggsvei skal i utgangspunktet foregå fra sør mot nord i tunellen, men det må medregnes at det kan bli aktuelt å legge fra nord mot sør dersom arbeider fra sør vanskeliggjør etableringen av anleggsveien etter at bunnrensk er ferdigstilt.

3.4 Grøfter med OV og Drens Inkludert Kryssinger

Alle vannlekkasjer som oppstår i en tunell skal føres ut ved hjelp av et drens-system. Drens-system etableres over planum for tunnelen i en hovedgrøft på den ene siden av tunnelen og en hjelpegrøft på den andre. Vannlekkasjene inn til tunnelen skal samles ved hjelp av en avskjæring som fører vannet ned til grøftene. Denne monteres i tunnelen senere. System for overvann i tunnelen skal etableres i et separat system i den ende hvor tverrfallet i tunnelen heller. Kummer skal etableres for både OV- og drens-systemene, og det stilles krav til at avstand mellom sandfangkummer i drens-system ikke skal overstige 80 meter.(5)

Grøfter skal graves ned til traubunnen slik at fundament for drens-system kan etableres. Drens-system skal monteres så nært traubunnen at det effektivt får samlet opp vann fra traubunnen. Omfylling over OV- og drens-system utføres i henhold til Statens vegvesens manualer.(5) For dette prosjektet skal grøftene isoleres minimum 500 m inn fra tunnelåpning for å sikre mot frost i OV- og drens-system. Dette gjøres ved å blåse et lag med lettklinker på toppen av grøfta. Lettklinkeren både leveres og utføres av LECA.



Figur 6: Grøftene pumpes tom for vann før fundament til drens etableres.

Arbeider med grøfter, OV og drens, inkludert montering av kummer, påstartes så fort anleggsveien er kommet et stykke inn i tunnelen. Deretter skal disse arbeidsoperasjonene drives parallelt gjennom hele tunnelen med mindre fremdriften ikke følges og anleggsvei må prioriteres grunnet andre kritiske arbeidsoperasjoner.

3.5 Plasstøpte kabelkanaler (OPI-kanal)

En OPI-kanal er en innstøpt kabelkanal som beskytter kablene som skal føres gjennom tunnelen fra alle mekaniske påkjenninger. Denne typen kabelkanaler gjør at alle typer kabler kan føres i samme grøft. Dessuten gir det mulighet for etablering av tomme kanaler til senere bruk på en sikker og enkel måte. Sett for ulike størrelser og føringer kan produseres, og kanalene blir ofte plasstøpt uarmert og med plateforskaling utformet på anlegget. Denne måten å bygge kabelkanaler på gjør det uproblematisk å bruke grove masser til omfylling rundt kanalene.(6)

De plasstøpte OPI-kanalene som skal etableres i tunnelen har krav om minimum betongkvalitet B35. De skal inneholde 2 x 75mm, 5 x 110mm og 1 x 160 mm trekkerør. Det er i kontrakten fastsatt at det skal etableres 3468 meter med denne typen kabelkanal. Før OPI-kanalen etableres må grøfter være lukket og underlaget til kanalen rettet av. Dette gjør at arbeidene med OPI-kanalen, som skal følge anleggsvei og grøfter parallelt, kan starte noen dager etter arbeidene med grøftene. Arbeidene vil pågå fra sør mot nord i tunnelen. «Etter tunnelen er ferdig utrustet skal det minimum være to ledige trekkerør med dimensjon 110 mm og tre ledige trekkerør med dimensjon 40 mm, for fremtidig bruk.»(7, s. 59)



Figur 7: Plasstøpte kabelkanaler. (OPI-kanal)

3.6 Oppbygging til planum

Oppbygging til planum er fyllingen av drenerende masser til det punktet i veioverbyggingen hvor det første forsterkningslaget starter. I en tunnel skal denne oppbyggingen gå til det teoretiske planum slik at tunnelens veioverbygging etableres riktig i henhold til høyder. Det gis krav til minimum 3 % helning mot grøfter for planumsoppbyggingen.(5)

Planumsoppbyggingen i tunnelen er avhengig av at grøftene er ferdigstilt i de strekk hvor oppbyggingen skal begynne. Det er antatt ut fra teoretisk knøl at gjennomsnittlig tykkelse for oppbyggingen vil ligge på 0,5 meter. Arbeidet vil være avhengig av graden på nedknusing i anleggsveien da noen av disse massene kan bli liggende dersom nedknusingen ikke er for stor. Ved lav nok nedknusing vil anleggsveiens øverste lag skrapes og videre oppbygging til planum utføres. Dersom nedknusingen er for stor, må anleggsveien ryddes ut og nye masser føres inn for planumsoppbyggingen.

3.7 Installasjon av tekniske bygg

I tunneler er det i henhold til SVVs håndbok N500 Vegtunneler pålagt med tekniske bygg. Disse skal kunne huse nødvendige antall tekniske rom etter behov, samtidig som de skal håndtere eventuelle fremtidige utskiftninger eller utvidelser. Rommene skal på grunn av brannkrav bygges i betong, og hvert enkelt rom skal være brannceller. Alle de tekniske

rommene skal ha direktelinje til en vegtrafikksentral. I tillegg skal de være utstyrt med en varsellampe, som ved en ulykke eller annen hendelse som medfører stengning av tunnelen, aktiveres automatisk. Noen typiske rom i tekniske bygg:(5)

1. Nettastasjon (Trafo)
2. Lavspenning tavlerom
3. Nødstrøm/UPS/SRO
4. Batterirom
5. Radio og nødnett
6. Mobil



Figur 8: Teknisk bygg installert i nisje.

I Soknedalstunnelen skal det totalt være fire tekniske bygg. Disse leveres og monteres av ElementPartner AS. Byggene skal stå ved pr. 28550, pr. 29500, pr. 30550 og pr. 31550. Disse nisjene må avrettes og klargjøres på forhånd for å gi monterende aktør best mulig forhold ved ankomst.

3.8 Forsterkningslag inkl. forkiling

Forsterkningslaget er det nederste laget i vegfundamentet. Dets funksjon er å ta opp trafikkbelastningene og fordele de på undergrunnen på en slik måte at det ikke oppstår deformasjoner som senere kan ende i ujevnheter i vegens overflate. Laget bygges med kult (knust og sortert sprengstein) eller grus, og legges slik at nedknusing under utførelse forhindres. Materialene kan være resirkulerte fra oppgraving eller andre arbeider fra samme prosjekt, gitt at de tilfredsstillt krav innen renhet, gradering og knusningsgrad, samt mekaniske egenskaper. Tykkelsen på forsterkningslaget gis i en dimensjoneringstabell i Statens vegvesens håndbok N200, etter vurderinger av trafikkmengde, grunnforhold og bæreevne.(8)

E6 + ramper og tilknytting eks. E6
 Vegmodell 14 000, (14 100), 14 300, 27 100, 40 000, 67 000, 67 100, 67 200, 67 300 og 67 400
 Undergrunn fjellskjæring (grunnsprengt berg), steinfylling T1; grus, sand T2 > 850 mm, tunnel (grunnsprengt berg)
 1:10



Figur 9: Planlagt vegoppbygning i tunnelen.

Består forsterkningslaget av grove, åpne masser, legges et tynt forkilingslag på toppen for å sikre tilfredsstillende stabilitet. Laget legges med knust asfalt eller stein, og skal inneholde minimalt med finstoff.(8)

I Soknedalstunnelen er vegoverbygningen som vist på figur 9. Forsterkningslaget, delt i øvre og nedre, utgjør med forkilingen til sammen 740 millimeter tykkelse. Massene som brukes i forsterkningslagene kjøpes da kvaliteten på fjellmassene på prosjektet ikke er god nok. Den knuste asfalten til forkilingen må også bestilles. Fordi det i tunnelen bygges på ikke-telefarlige masser, er det ikke nødvendig med frostsikringslag. Forsterkningslaget legges derfor rett på planum fra sør til nord.

3.9 Asfaltering av bærelag

Bærelaget er delen av veioppbygningen som kommer over forsterkningslaget, og dermed det øverste laget under vegdekket. Dets hovedfunksjon er å ta opp spenninger som oppstår grunnet ringtrykket på veien. Lagets tykkelse beregnes ved å ta hensyn til trafikkgruppe og antall ekvivalente 10 tonns aksler per felt i dimensjoneringsperioden.(8)

Bærelaget i tunnelen utføres i Ag 16 (asfaltert grus) med tykkelse 120mm. Før arbeidet kan starte må forsterkningslagene være lagt og avrettet. Arbeidene vil pågå fra sør mot nord i tunnelen.

3.10 Vegdekke

Vegdekket er den øverste delen av vegoverbygningen og består som oftest av et bindlag og et slitelag. Bindlagets hovedfunksjon er å fordele lastene fra veien ned på bærelaget. Det består ofte av asfalt med lavere kvalitet enn det som er brukt i slitelaget. Slitelaget er det øverste laget

i veien og er derfor bygd opp av asfalt med høy kvalitet. Slitelaget skal motstå de mekaniske påkjenningene som påføres veien, skape friksjon for kjøretøy, redusere veitrafikkstøy og være tett slik at overflatevann føres ut i grøftene. Slitelag og bindlag velges av hensyn til veiens ÅDT i åpningsåret.(8)

Vegdekket i Soknedalstunnelen består av bindlag Ab 11pmb (asfaltert betong, polymermodifisert bitumen) og slitelag Ska 16pmb (skjelletasfalt). Bindlaget utføres med tykkelse 40mm og slitelaget med tykkelse 50mm. Etablering av slitelag er ikke medregnet i vår fremdriftsplan da disse arbeidene vil foregå etter at tunnelen er innredet. Det vil sannsynligvis legges et lag med sand etter at bindlaget er etablert for å beskytte laget frem til slitelag etableres.

4. Fremdriftsplanlegging

God fremdriftsplanlegging er fundamentalt for å sikre god drift i et prosjekt. I kontrakter mellom byggherre og utførende entreprenør er bestemmelsene i standardene, om ikke annet er avtalt, *NS 8407 Alminnelige kontraktsbestemmelser for totalentrepriser* og *NS8405 Norsk bygge- og anleggskontrakt* ofte anvendt. Standardene tar for seg forpliktelser og kjøreregler mellom partene. Ifølge NS 8405 skal entreprenøren utarbeide og presentere en fremdriftsplan for egne arbeider innen seks uker etter kontraktsinngåelsen, med mindre noe annet er avtalt mellom byggherre og entreprenør.(9) Planen skal oversiktlig vise hovedaktivitetene på prosjektet, samt andre aktiviteter som er tilknyttet dem med en avhengighet. Disse andre aktivitetene gjelder også arbeid som utføres av side- og underentreprenører.(9)

Byggherre skal med jevne mellomrom informeres om fremdriftens status av entreprenør, opp mot planen. Oppstår det avvik som vil påvirke fremdriftsplanen, skal entreprenøren varsle byggherre, og dersom faktisk fremdrift fraviker fra den eksisterende fremdriftsplanen i så stor grad at den ikke er hensiktsmessig å rapportere opp imot, har byggherren mulighet til å be entreprenør om en revidert fremdriftsplan.(9)

En fremdriftsplan har ikke utelukkende den funksjon å gi oversikt over perioden og dens hovedaktiviteter med tanke på tid. Fremdriftsplanlegging trekkes vel så mye frem som en suksessfaktor for å oppnå effektiv kontroll på penger og ressurser.(10) Å drifte en byggeplass er kostbart. Det vil således være av interesse å korte ned byggetiden og leietider for maskiner, utstyr og rigg for å redusere kostnader. Med god planlegging vil man derfor med større sikkerhet anslå tidene, og på den måte ha konsekvent kontroll på prosjektøkonomien.

Et større anleggsprosjekt vil i løpet av perioden ha mange tverrfaglige aktører som skal utføre arbeider som er et annet arbeid avhengig. Et eksempel på en slik avhengighet er at flere arbeidsoppgaver skal utføres på et begrenset område, der de ulike aktørene må forholde seg til hverandre logistikkmessig. Et annet eksempel er at aktiviteter ikke kan starte før en annen er ferdig, såkalt slutt-start-avhengig. Et slikt tilfelle, der foregående aktivitet ikke er ferdig til neste aktør skal inn, vil føre til økonomiske konsekvenser i form av betalt ventetid. God planlegging vil derfor være avgjørende for å sikre flyt i samspillet mellom entreprenørene på prosjektet.(11, 12)

I tillegg legger en god fremdriftsplan grunnlaget for andre planer. Informasjonen den gir om når materialer trengs på byggeplass, er til hjelp for å utforme en innkjøpsplan der fristene for

leveransene står. Det samme kan sies om ressursene ellers i prosjektet, som maskiner og mannskap.(11, 13)

Når planleggingen er satt, må det følges opp kontinuerlig over den perioden planen gjelder for. I et hvert komplekst prosjekt må man belage seg på at det oppstår avvik fra det planlagte. Det gjelder det å få oversikt over avvik tidlig. Både årsak og størrelse, slik at man kan iverksette korrektive tiltak og revidere planene i god tid. Sånn sett er oppfølgingen av fremdriften i et prosjekt verdifullt.(13)

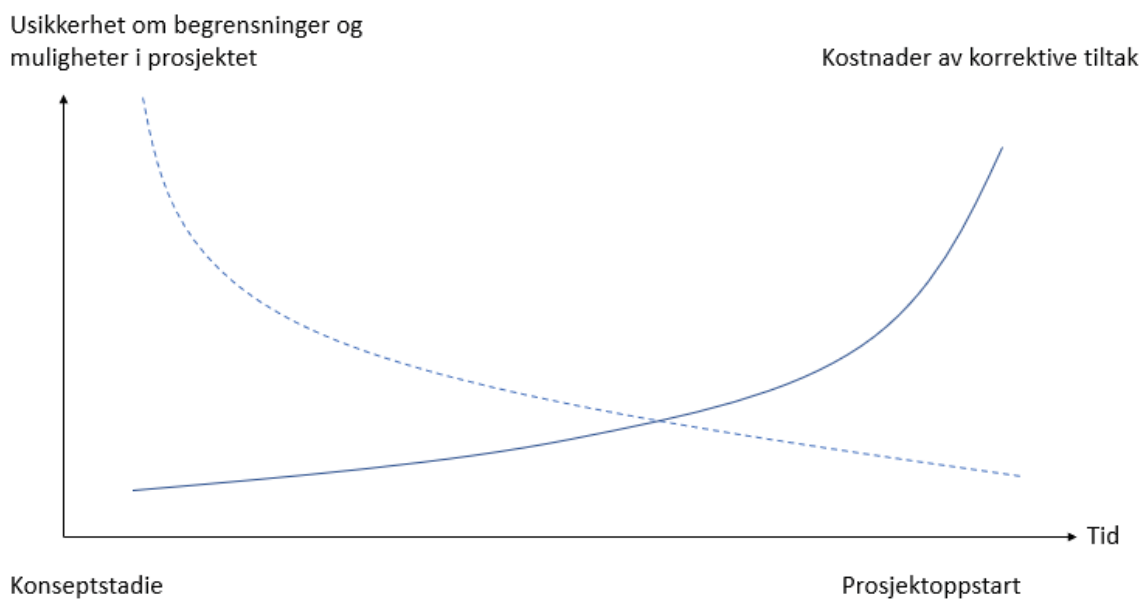
4.1 utfordringer med fremdriftsplanlegging

Et tilbakevendende problem i planleggingsfasen er samspillet mellom byggherre og entreprenør. I mange byggeprosesser kan byggherre mangle eller vise liten forståelse for hvordan en byggeprosess skal utføres fra entreprenørens side. Det blir tatt avgjørende beslutninger for sent, slik at prosjekterende og utførende får mindre tid til å detaljplanlegge arbeidet og/eller produsere tegningsgrunnlag. En annen utfordring er om ikke entreprenørene blir inkludert i planleggingen tidlig nok av byggherre. Risikoen ved dette er ikke-optimale løsninger for entreprenør, som kunne vært forhindre ved dialog mellom partene. Risiko er definert som en usikker hendelse eller tilstand som, om den inntreffer, har en positiv eller negativ effekt på et prosjekts mål.(14, 15)

Et prosjekt inneholder et stort tegningsgrunnlag fra prosjekterende aktør. Fra entreprenørs side vil det være viktig å få tegningsgrunnlaget innen rimelig tid. Ikke utelukkende for å få organisert sine ansatte og ressurser, men også for at man tidsnok kan sende det i retur om det ikke skulle være tilstrekkelig, eller er utfordrende å forstå. I et tilfelle der entreprenør ikke får grunnlaget før ankomst på prosjektet, og det i tillegg er utfordrende, vil det oppstå kostbar svikt i produksjonsflyten. Dette vil være problematisk for alle parter. Kommunikasjon er i det hele tatt stikkordet i denne sammenhengen.(12, 15)

Usikkerhet er et uttrykk for mangel på informasjon for å ta en beslutning som sikrer at ønsket tilstand realiseres.(16) Sitter man med all relevant informasjon tilgjengelig, oppstår det derfor ingen usikkerhet. I motsatt fall vil usikkerheten være stor om informasjonsgrunnlaget er dårlig eller ufullstendig. Som figur 10 viser er usikkerheten i et prosjekt størst i en tidlig fase. Da er

mengden tilgjengelig informasjon minst. Denne mengden vil imidlertid øke utover prosjektperioden og dermed avtar usikkerheten.



Figur 10: Illustrasjon av sammenhengen mellom usikkerhet og kostnad. (18)

Selv om økt informasjon reduserer usikkerheten, er det tilnærmet umulig å eliminere all form for usikkerhet i et prosjekt.(16) Noe av grunnen til det, er at en del informasjon blir til underveis som prosjektet skrider frem. Dette gjør det enda viktigere at beslutningene i tidligfasen blir vurdert riktige. Informasjonen som knyttes til prosjektets gjennomføring kalles for *operasjonell usikkerhet*.(17) Denne usikkerheten har prosjektorganisasjonen en viss kontroll over, etter som de i noe grad kan påvirke den. Det vil alltid være et mål å sikre et omforent situasjonsbilde for prosjektorganisasjonen, slik at en kan gjøre treffsikre beslutninger. Etter hvert som prosjektet går vil den operasjonelle usikkerheten gå ned, da man får gjort ulike avklaringer som har betydning på videre arbeid. Dette kan for eksempel være valg av tekniske løsninger.(17)

En annen usikkerhetsparameter er den *kontekstuelle usikkerheten*. Den representerer usikkerheten som framgår av prosjektets grunnbetingelser som omgivelser og stedforhold.(17) Denne anses å være konstant, og vil påvirke gjennom hele prosjektperioden. Faktorer som ligger utenfor prosjektets kontroll kan være politiske prosesser, samarbeid med berørte institusjoner, markedets behov og etterspørsel, teknologisk utvikling og så videre. Dette regnes også som kontekstuell usikkerhet.(18)

4.2 Prosjektets rammer

Grunnarbeidene hadde oppstart i slutten av januar. Derfor hadde enkelte aktiviteter blitt satt i gang før bacheloroppgaven. Disse aktivitetene skulle anslås som om de ikke hadde startet. Av den grunn ble aktivitetene vurdert utelukkende uten målinger og erfaringer basert på hvordan de faktisk gikk på prosjektet. Tidsplanlegging avhenger av hvilke ressurser som er tilgjengelig, og tilgjengelige ressurser ble vurdert og oversendt av ekstern veileder. Tidsrammen for grunnarbeidene på tunnelen er satt av vegprosjektets overordnede fremdriftsplan, som sier totalt 19 uker. Videre er det avtalt med ElementPartner at de skal montere tunnellopets fire tekniske bygg i løpet av uke 13-14 og uke 17-18. Av den grunn er det nødvendig at enkelte arbeider er utført på forhånd, slik at ElementPartner skal kunne gjennomføre arbeidet på planlagt måte. I hovedsak handler det om å legge til rette for nødvendig tilkomst dit arbeidet skal utføres i tunnelen.

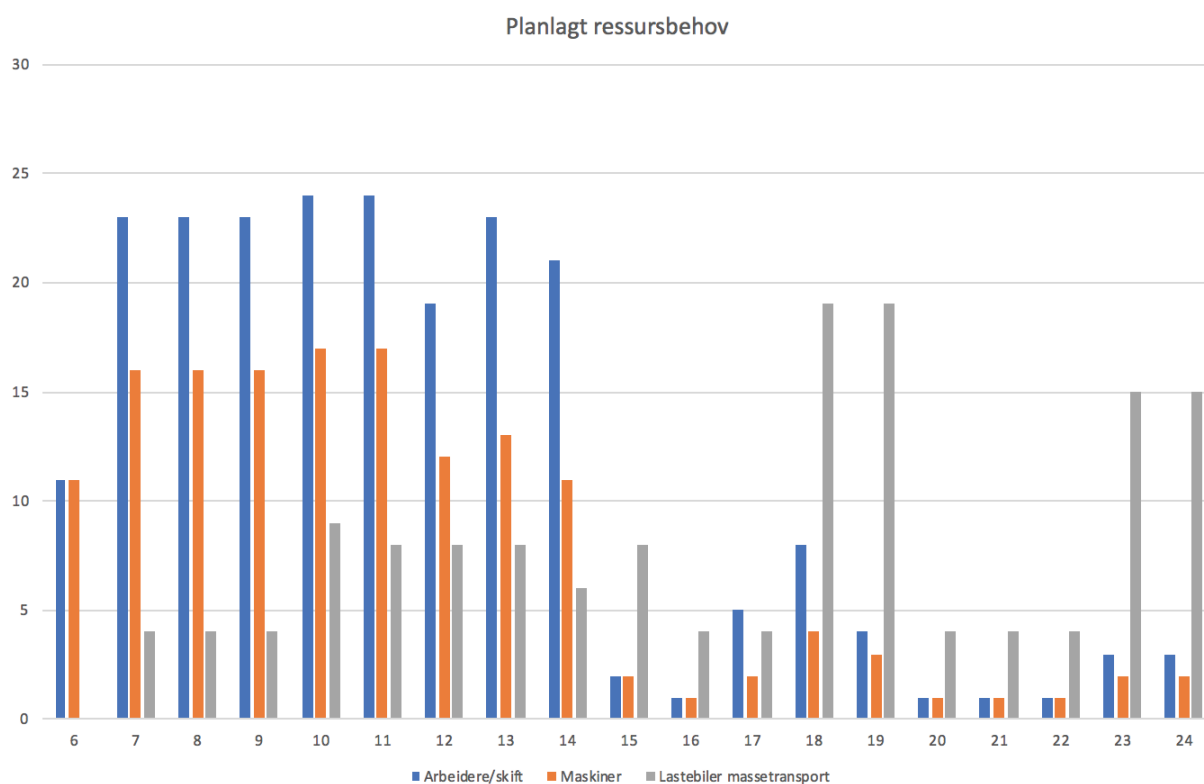
Relasjonen nevnt overfor kalles for en slutt-start-relasjon, og er kanskje den mest brukte relasjonen. Den krever at en forgående aktivitet er ferdig før den neste starter. I tillegg benyttes følgende tre relasjoner: En slutt-slutt-relasjon brukes mellom aktiviteter som skal lukkes på samme tidspunkt. På samme måte har vi start-start-relasjon, der to eller flere aktiviteter skal starte på samme tidspunkt. Den siste er Start-slutt-relasjonen, som er den mest uvanlige relasjonen og opptrer sjeldent i anleggssammenheng. Relasjonen går ut på at en aktivitet må slutte så fort en annen starter.(19)

Rekkefølgen på aktivitetene i en tunnel er til en viss grad gitt, da en veg bygges gradvis i høyden. Under planleggingen er aktivitetenes rekkefølge likevel utfordrende å fastsette. Dette fordi tunneler ikke nødvendigvis drives fra en side til den andre. Ofte vil deler av tunnelen ferdigstilles, mens arbeidene andre plasser ikke trenger å være igangsatt.

4.3 Mengder og ressurser

Ressursplanlegging er en viktig oppgave for prosjektplanleggere. Ved å planlegge behov for alle prosjektaktivitetene blir det enklere å vurdere kostnader, samtidig som organisering på byggeplass underveis blir mer oversiktlig. En annen fordel kan være at reiseplanlegging for arbeidere og nødvendig tilgang på maskiner er fastsatt før prosjektstart.(20) Ved å legge inn tilgjengelige ressurser i en fremdriftsplan blir det enklere for den som styrer driften på prosjektet å eventuelt sjonglere ressurser mellom aktiviteter ved avvik.

En ide gruppen tok i bruk under planleggingen av tunnelarbeidene var å sette opp en plan som over tid viser hvilke ressurser som befinner seg på prosjektet. Denne planen er for grunnarbeidene på tunnelen, men det kan også være en fordel med en slik plan for hele prosjektet.



Figur 11: Ukentlig oversikt over planlagt ressursbehov for grunnarbeidene i tunnelen. Arbeidere inkluderer alle som jobber på prosjektet ekskludert lastebilførere. Maskiner inkluderer gravere, dumpere, kommandorigg, hjullastere, dosere, vals og asfaltutlegger.

Feil og mangler i arbeidsgrunnlag gir ikke bare muligheter til å vinne en tilbudskonkurranse, men kan også være avgjørende for å skape et godt økonomisk resultat i et prosjekt. Dersom byggherre har ført et for lite antall på en kontraktspost, og kontraktsvilkårene gir rett til mengdekontroll, kan prisen nedjusteres på en annen post og prisen på den feilberegnete posten skrur opp. Med dette oppnår man økte enhetspriser og mengdekontrollen vil øke prosjektets dekningsbidrag. Derfor må man alltid undersøke om kontrakten gir rett til mengdekontroll, eller eventuelt setter andre betingelser opp mot kontroll, i de postene byggherren har oppgitt mengder.(12, 13)

«Er det i kontrakten fastsatt at entreprenøren skal foreta mengdekontroll, skal han kontrollere de mengdene som er angitt i beskrivelsen mot de tilsvarende mengder som fremgår av tilbudsgrunnlagets tegninger innen angitt frist som skal være rimelig», heter det i NS 8405.(9, s. 21) Skulle det derimot ikke være angitt noen frist for mengdekontroll fra byggherres side, betyr det ikke at entreprenøren kan vente til sluttoppgjøret med aktuelle krav. I henhold til punkt 22.1 i samme standard plikter entreprenøren å varsle uten ubegrunnet opphold om feil og

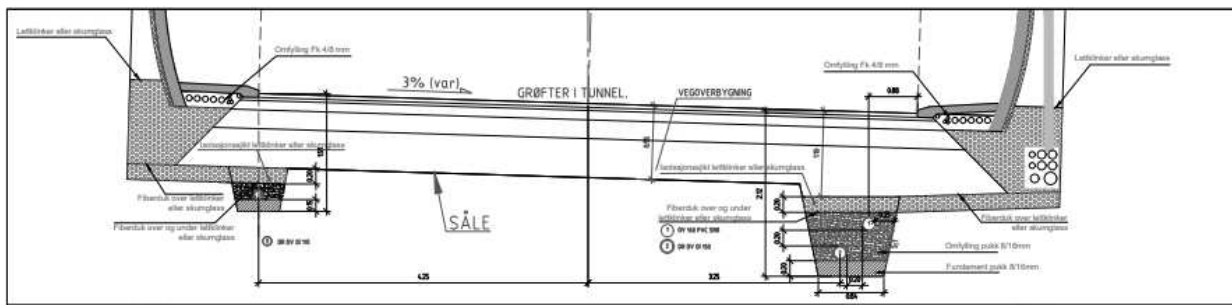
mangler på byggherrens leveranser og andre forhold som entreprenøren senere vil kreve vederlag og fristforlengelse for.(9)

Det er fordelaktig at de som utfører mengdekontroll har teknisk faglig kompetanse. I tillegg bør de være kostnads- og løsningsorienterte. I enhetspriskontrakter er det viktig å ta tak i kontraktens oppgaver tidlig, da det vanligvis foreligger et begrenset underlag ved tidspunktet for kontraktssigneringen. Det må undersøkes om enhetsprisene er satt riktig og dekker oppgavene de omfatter. I en slik kontrakt kan for lave enhetspriser bli et mareritt for prosjektet. Er prisen for lav, øker tapet jo mer en mengde øker.(13)

Mengdelister utarbeides i tilknytning til konkurransegrunnlag og kalkulering, både i tilbudsfasen, samt under utførelse og avvikling av bygg- og anleggsprosjekter. Arbeid med mengdekontroll i sammenheng med en rekalkyle iverksettes umiddelbart etter et prosjekt er blitt registrert. Før tilbudet inngis føres en kontraktgjennomgåelse i henhold til kvalitetsstandard 9001.(12, 21)

Før man rekalkulerer et prosjekt er det nødvendig å få tilstrekkelig oversikt over kostnadene på prosjektet. Så snart man har fått det bør mengdekontrolleringen starte. Slik kan man unngå kalkylefeil som vil få konsekvenser for resultatet. Tidlig avdekking av feil og mangler er fordelaktig da det som regel vil være lettere å begrense kostnadene manglene medfører. Entreprenøren får betalt for mengder der det kan påvises mangler, om kontrakten gir rett til mengdekontroll.(11)

Mengdene entreprenøren fakturerer byggherre for, skal dokumenteres via målebrev. Med mengder som faktureres, skal det følges målinger og/eller annen dokumentasjon som er nødvendig for byggherrens kontroll.(9) Disse målingene eller påvisningene som danner fakturagrunnlaget skal, så snart de nødvendige forutsetningene foreligger, foretas av entreprenøren. Prosedyrer for utarbeidelse av målebrev varierer fra bedrift til bedrift, men det er vanlig at målebrevsansvarlig samler inn nødvendig data, informasjon og dokumenter fra prosjektdeltakere som har bedre innsikt i det arbeidet som skal dokumenteres. Eksempelvis vil formenn, stikkere og andre i felt enkelt kunne registrere produksjon underveis, som målebrevsansvarlig kan bruke som underlag i sitt målebrevsarbeid. Mengder kan også dokumenteres ved hjelp av arbeidsgrunnlagets tegninger eller liknende. Dette kan gjøres i Soknedal ved dokumentasjon av grøfterør.



Figur 12: Skisse av tunnelgrøftene.

4.3.1 Mengder i Soknedalstunnelen

Rør

I henhold til N500 Vegtunneler skal vannlekkasjer håndteres av tunnelens drencsystem som skal føre vannet frostsikkert ut. Lekkasje i heng og vegger skal samles opp og ledes ned til grøft, mens lekkasjer i tunnelsålen skal samles opp ved drenerende masser opp til planumsnivå.(7) Rørene i Soknedalstunnelen leveres av Pipelife Norge AS.

Overvannsrør – OV 160 PVC SN8

For å opprettholde kvalitet og funksjonskrav på vegbanen må overvann håndteres. Det skal håndteres av et separat overvannsystem. Det innebærer alle tiltak som samler opp vannet fra vegen og fører det til naturlig vassdrag eller ledningsnett.(7, 8) Soknedalstunnelens overvann tas opp og fraktes i tunnelens hovedgrøft ved hjelp av overvannsrør. Overvannsrøret følger hovedgrøfta gjennom hele tunnelen. Derfor vil total mengde overvannsrør tilsvare tunnellopets lengde, 3500 meter.

Hoveddrensrør – DR DV Di 150:

Hoveddrensen i tunnelen ligger også i hovedgrøfta. Den følger grøfta gjennom hele tunnellopet. Derfor vil total mengde med hoveddrensrør tilsvare tunnellopets lengde, 3500 meter.

Hjelpedrensrør – DR DV Di 110:

På andre siden av vegbanen i forhold til hovedgrøfta, etableres en hjelpegrøft. I den anlegges et hjelpedrensrør, som følger grøfta gjennom tunnellopet. Derfor vil total mengde hjelpedrensrør tilsvare tunnellopets lengde, 3500 meter.

I tillegg etableres et rør av samme type på tvers av vegen ved hver havarilomme i tunnelen. Det er totalt 14 havarilommer i tunnelen, en for hver 250 meter i tunnelen. Det tverrgående røret har en lengde på ca. 8,3 meter.

$$8,3 \text{ meter} \times 14 = 116,2 \text{ meter}$$

Kummer:

I tunnelen settes forskjellige kummer til ulike oppgaver. I forbindelse med grøftene finnes det sandfangkummer og overvannskummer. For det elektriske anlegget er det to forskjellige typer trekkekummer. Kumtabellen i figur 13 viser at det er totalt 71 TK3-kummer og 99 TK2-kummer i tunnelen, og forskjellene på de to typene i dimensjon.

Kum					Kumbeskrivelse						
Navn	Dim/Bredde	Lengde	Kumtype	Høyde innv. Kum	Kommentar	Navn	Dim/Bredde	Lengde	Kumtype	Høyde innv. Kum	Kommentar
TK99	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp	TK180	700	2 100	TK3 Tunnel	0,90	Flat topp
TK103	700	2 100	TK3 Tunnel	0,90	Flat topp	TK182	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK107	700	2 100	TK3 Tunnel	0,90	Flat topp	TK188	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK108	700	2 100	TK3 Tunnel	0,90	Flat topp	TK189	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK109	700	2 100	TK3 Tunnel	0,90	Flat topp	TK190	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK110	700	2 100	TK3 Tunnel	0,90	Flat topp	TK191	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK111	700	2 100	TK3 Tunnel	0,90	Flat topp	TK192	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK113	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp	TK193	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK114	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp	TK194	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK115	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp	TK197	700	2 100	TK3 Tunnel	0,90	Flat topp
TK119	700	2 100	TK3 Tunnel	0,90	Flat topp	TK201	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK122	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp	TK202	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK124	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp	TK206	700	2 100	TK3 Tunnel	0,90	Flat topp
TK126	700	2 100	TK3 Tunnel	0,90	Flat topp	TK210	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK130	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp	TK211	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK132	700	2 100	TK3 Tunnel	0,90	Flat topp	TK212	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK133	700	2 100	TK3 Tunnel	0,90	Flat topp	TK213	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK134	700	2 100	TK3 Tunnel	0,90	Flat topp	TK214	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK135	700	2 100	TK3 Tunnel	0,90	Flat topp	TK217	700	2 100	TK3 Tunnel	0,90	Flat topp
TK136	700	2 100	TK3 Tunnel	0,90	Flat topp	TK220	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK138	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp	TK221	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK139	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp	TK222	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK140	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp	TK223	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK143	700	2 100	TK3 Tunnel	0,90	Flat topp	TK226	700	2 100	TK3 Tunnel	0,90	Flat topp
TK146	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp	TK229	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK147	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp	TK230	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK148	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp	TK231	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK149	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp	TK232	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK151	700	2 100	TK3 Tunnel	0,90	Flat topp	TK233	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK152	700	2 100	TK3 Tunnel	0,90	Flat topp	TK236	700	2 100	TK3 Tunnel	0,90	Flat topp
TK153	700	2 100	TK3 Tunnel	0,90	Flat topp	TK240	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK154	700	2 100	TK3 Tunnel	0,90	Flat topp	TK241	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK155	700	2 100	TK3 Tunnel	0,90	Flat topp	TK245	700	2 100	TK3 Tunnel	0,90	Flat topp
TK157	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp	TK250	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK159	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp	TK251	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK160	700	2 100	TK3 Tunnel	0,90	Flat topp	TK252	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK164	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp	TK254	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK165	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp	TK255	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK168	700	2 100	TK3 Tunnel	0,90	Flat topp	TK256	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK170	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp	TK258	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK172	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp	TK259	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK173	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp	TK260	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK174	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp	TK261	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK176	700	2 100	TK3 Tunnel	0,90	Flat topp	TK263	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK177	700	2 100	TK3 Tunnel	0,90	Flat topp	TK264	380	1 063	TK2 Tunnel	0,50	Flat topp
TK178	700	2 100	TK3 Tunnel	0,90	Flat topp						
TK179	700	2 100	TK3 Tunnel	0,90	Flat topp						

Merknad:
Trekkekummer skal roteres slik at de følger veglinje

Figur 13: Tabell for trekkekummer.

I forbindelse med vannhåndteringen i tunnelen settes det sandfangkummer og overvannskummer. Det settes totalt 99 overvannskummer, derav 49 stykker i hovedgrøfta og 45 i motsatt grøft. Sandfangkummene er det 71 stk av, 65 i hovedgrøft og 6 i hjelpegrøft.

Pukk

I tunnelen brukes forskjellige størrelser pukk både i grøfter og vegoppbyggingen. I grøftene brukes pukk både som fundament og omfyllingsmasse for vannrørene, mens det i vegen brukes opp mot planum og i forsterkningslagene. Tverrsnittene som det refereres til under i dette kapittelet er hentet fra målinger på arbeidstegningen i vedlegg 7.

For hovedgrøft:

$$\text{Fundament } 8/16\text{mm} = 0,18 \text{ m}^2$$

$$\text{Omfylling } 8/16\text{mm} = 0,62 \text{ m}^2$$

For hjelpegrøft:

$$\text{Fundament 8/16mm} = 0,08 \text{ m}^2$$

$$\text{Omfilling 8/16mm} = 0,12 \text{ m}^2$$

I overslaget regnes tverrsnittet som konstant gjennom tunnelen, selv om det vil være noe annerledes ved kummer og kryssninger. Tverrsnittene multipliseres med tunnellopets lengde for å få totale massemengder for hele tunnelen:

For hovedgrøft:

$$\text{Fundament 8/16mm} = 0,18 \text{ m}^2 \times 3500\text{m} = 630 \text{ m}^3$$

$$\text{Omfilling 8/16mm} = 0,62 \text{ m}^2 \times 3500\text{m} = 2\,170 \text{ m}^3$$

For hjelpegrøft:

$$\text{Fundament 8/16mm} = 0,08 \text{ m}^2 \times 3500\text{m} = 280 \text{ m}^3$$

$$\text{Omfilling 8/16mm} = 0,12 \text{ m}^2 \times 3500\text{m} = 420 \text{ m}^3$$

Tunnelkummene har mer omfattende innbygging. Det brukes også her pukkk 8/16mm i fundament og omfilling, i tillegg til et stykke kult 22/180mm.

$$\text{Fundament 8/16mm} = 0,47 \text{ m}^2$$

$$\text{Omfilling 8/16mm} = 2,60 \text{ m}^2$$

$$\text{Kult 22/180mm} = 0,19 \text{ m}^2$$

Tverrsnittene regnes som gjeldende i kummens lengde 1,18m pluss 0,70m med dekning, til sammen 1,88m per sandfangkum. Multiplisert med antall kummer blir det totalt:

For sandfangkummer:

$$\text{Fundament 8/16mm:} \quad 0,47\text{m}^2 \times 1,88\text{m} = \quad 0,88 \text{ m}^3 \text{ per kum}$$

$$\text{Omfilling 8/16mm:} \quad 2,60 \times 1,88\text{m} = \quad 4,89 \text{ m}^3 \text{ per kum}$$

$$\text{Kult 22/180mm:} \quad 0,19 \text{ m}^2 \times 1,88\text{m} = \quad 0,36 \text{ m}^3 \text{ per kum}$$

$$\text{Fundament 8/16mm:} \quad 0,47\text{m}^2 \times 1,88\text{m} \times 71\text{stk} = \quad 62,48 \text{ m}^3$$

$$\text{Omfilling 8/16mm:} \quad 2,60 \times 1,88\text{m} \times 71\text{stk} = \quad 347,19 \text{ m}^3$$

$$\text{Kult 22/180mm:} \quad 0,19 \text{ m}^2 \times 1,88\text{m} \times 71\text{stk} = \quad 25,56 \text{ m}^3$$

Mengdeliste for utvalgte tunnelarbeider i Soknedalstunnelen				
	TYPE	HVOR	MENGDE	ENHET
RØR	OV 160 PVC SN8	Hovedgrøft	3 500	meter
	DR DV Di 150	Hovedgrøft	3 500	meter
	DR DV Di 110	Hjelpegrøft	3 500	meter
	DR DV Di 110	Tverrgående	116	meter
KUM	Trekkekum TK3	Grøfter	71	stk
	Trekkekum TK2	Grøfter	99	stk
	OV-kum	Hovedgrøft	49	stk
	OV-kum	Hjelpegrøft	45	stk
	SF-kum	Hovedgrøft	65	stk
	SF-kum	Hjelpegrøft	6	stk
PUKK	8/16	Fundament hovedgrøft	630	kubikkmeter
	8/16	Omfilling hovedgrøft	2 170	kubikkmeter
	8/16	Fundament hjelpegrøft	280	kubikkmeter
	8/16	Omfilling hjelpegrøft	420	kubikkmeter
	8/16	Fundament for sandfangkummer	62,48	kubikkmeter
	8/16	Omfilling rundt sandfangkummer	347,19	kubikkmeter
	Kult 22/180	Omfilling rundt sandfangkummer	25,56	kubikkmeter
	22/180 stedlige knuste masser	Oppbygging til planum	15 190	kubikkmeter
	22/180	Nedre forsterkningslag	25 305	kubikkmeter
	11/63	Øvre forsterkningslag	11 270	kubikkmeter

Figur 14: Mengdeliste for utvalgte tunnelarbeider.

Entrepriseformen på prosjektet er som nevnt en hovedentreprise, utført med en enhetskontrakt. En hovedentreprise vil i praksis si at byggherre har separate kontrakter med rådgivere og hovedentreprenører.(15, 22) For tilfellet E6 Soknedal betyr det at Statens vegvesen har en separat kontrakt med Sweco AS som rådgiver, og en separat kontrakt med AF Gruppen som hovedentreprenør for et definert antall fag. Kontrakten mellom SVV og AF i Soknedal er en enhetspriskontrakt. Den defineres med hensyn på regulerbare mengder, som styres av enhetspriser.

For eventuelle resterende fag kan byggherre inngå separate entreprisekontrakter. Typisk for hovedentrepriser er at det vil være et mindre antall entreprenører, og dermed kontrakter for byggherre å administrere. I prosjekttilfeller der hovedarbeidsomfanget er definert, og enkeltfag har større usikkerhet, anses det som fordelaktig med hovedentrepriser.(22)

I samferdselsprosjekter i Norge benyttes ofte Statens vegvesens prosesskode 1 som en rettleider i kontraktoppbyggingen. Prosesskoden er utviklet for å være en standard beskrivelse for

vegkontrakter, og omhandler både anleggsarbeider, samt drift- og vedlikeholdsarbeider. I Statens vegvesen sine entrepriser forutsettes det at prosesskoden blir benyttet. Prosesskoden skal gi ensartede regler for utførelse, kontroll og oppmåling av samme arbeidsart. Med dette ønsker Statens vegvesen at det skal bli lettere å utarbeide tilbudsgrunnlag, og for entreprenører å prissette arbeidene, da omfang og krav til de enkelte arbeidene vil være likt fra tilbud til tilbud, på grunn av den standardiserte prosesskoden. Prosesskoden samler beslektede arbeider i grupper de kaller hovedprosesser. Et eksempel er «Tunneler», som er hovedprosess 3. Alle hovedprosessene er delt opp i flere nivåer ut ifra hvor detaljert beskrivelsen til oppgaven er.(3)

4.4 Metoder

4.4.1 Gantt-diagram

Gantt-diagram er et svært vanlig hjelpemiddel ved fremdriftsplanlegging i bygg- og anleggsbransjen. Gantt-diagrammet viser en rekke planlagte aktiviteter på en tidslinje ved hjelp av stolper som tilsvarer varigheten til de aktuelle aktivitetene. Det er også vanlig at Gantt-diagrammet inneholder skrift som angir antall dager, aktuelle datoer, milepæler og linjer som antyder avhengigheter mellom aktivitetene. Diagrammet åpner også muligheten for å innlemme ressurser som trengs for å gjennomføre aktivitetene.(19)

Ved utarbeidelse av Gantt-diagram for grunnarbeidene i Soknedalstunnelen ble programmet Microsoft Project benyttet. De ulike aktivitetene som inngår i disse arbeidene ble delt inn i tre parseller; Pr.28200 – Pr.29600, Pr.29600 – Pr.30650 og Pr.30650 – Pr.31750. I Gantt-diagrammet er ressurser tilhørende de enkelte aktivitetene satt inn i form av maskiner inkludert fører og eventuelle vei- og/eller tunnelarbeidere.

4.4.2 Skråstrekkplanlegging

En skråstrekkplan er en grafisk fremstilling av den planlagte fremdriften i et prosjekt. Metoden anvendes ofte i prosjekter hvor det gjennomgående er repeterende oppgaver, gjerne i sammenheng med taktplanlegging. Skråstrekkplanlegging har tidligere ikke vært utbredt i bygg- og anleggsbransjen, men har de senere år blitt mer populær også her.(23) I anleggsbransjen brukes en skråstrekkplan ofte i forbindelse med veibygging, hvor pælenummer på veien og datoer brukes som referansepunkter i henholdsvis x- og y-akse.(24)

Hovedfremdriftsplanen laget i Gantt-diagramformat ble brukt som grunnlag ved utforming av skråstrekkplanen. På samme måte som i Gantt-diagrammet er skråstrekkplanen delt inn i tre parseller; Pr.28200 – Pr.29600, Pr.29600 – Pr.30650 og Pr.30650 – Pr.31750. Skråstrekkplanen

er laget i Microsoft Excel. Planen er deretter delt inn i kortere parseller på hundre meter i x-aksen. Datoer er satt inn i y-aksen og feriedager er vist i form av rødt fyll i kolonnene. De ulike aktivitetene er vist i skråstreker med pil i den retning aktivitetene drives. Aktivitetene er fargekodet, avhengig av hvilken aktør som har ansvaret for gjennomføringen.

4.4.3 Erfaringstall

Det er ikke uvanlig at bedrifter måler fremdriften på spesifikke aktiviteter i et prosjekt for så å utnytte disse tallene når tilbud og kalkyle skal regnes, eller når fremdrift planlegges på et nytt prosjekt.(19, 24) Det vil alltid være usikkerhet rundt bruk av erfaringstall fra andre prosjekter, da det må vektlegges at alle prosjekter er ulike. Ved bruk av erfaringstall er det også viktig å vurdere om de aktuelle tallene kan være utdatert.(19)

Ved utforming av AFA sin egen fremdriftsplan på Soknedalstunnelen er i all hovedsak erfaringstall fra et lignende tunnelprosjekt på Vinstra tatt i bruk.(25) I vår fremdriftsplan er det derimot benyttet andre erfaringstall og mer teoretiske beregninger fordi den skulle være selvutviklet, og ved hjelp andre metoder. Erfaringstall som ble tatt i bruk er hovedsakelig hentet fra et sammenliknbart prosjekt. Her ble det sett på gjennomsnittlige kapasiteter til doser og veihøvel ved beregninger av oppbygging av planum, samt øvre og nedre forsterkningslag, se vedlegg 3. Erfaringstall fra underentreprenører ble tatt i bruk ved beregning av alle aktiviteter som ikke utføres av AFA.

4.4.4 Kapasiteter og beregninger

Bunnrensk inkludert bortkjøring av masser fra mellomlager er beregnet med antatt gjennomsnittlig høyde på en meter sprengstein over 50 000 m² tunnelflate. Det er tatt hensyn til kapasiteter i form av fire A30- og to A40 dumpere. Det er beregnet gjennomsnittlig kjøretid inkludert tipp og fyll for bunnrensen og tidsbruken er omregnet til meter/dag og antall dager, se vedlegg 3.

Sprengning av kummer og tverrgrøfter er oppgitt å følge foran bunnrensen, og kapasiteter vil til en hver tid tilpasses for å holde minimum samme fremdrift som bunnrensen. Det er på forhånd beregnet at planlagte kapasiteter vil gi en fremdrift på ni kummer per dag inkludert aktuelle tverrgrøfter, se vedlegg 3.

Formann hos Risa AS, som er underentreprenør på etablering av anleggsvei, grøfter med OV og drens og plasstøpte kabelkanaler ble konferert angående erfaringstall fra liknende prosjekter

med like kapasiteter per skift. Disse ble omregnet til dager før fremdriftsplanen ble utarbeidet, se vedlegg 3. Med ønske om å inneha mest mulig slakk på aktivitetene ble de minst optimistiske erfaringstallene fra underentreprenøren tatt i bruk.

Kapasiteter på veiøvel og doser ble ved utarbeidelse av fremdriftsplanen regnet om fra m^3/time til meter i timen avhengig av teoretisk masseforbruk i aktivitetene hvor de inngår. Dette gjelder for oppbygging til planum, samt nedre- og øvre forsterkningslag, se vedlegg 3. Samme metode ble brukt ved beregning av arbeidene med vegdekket. Underentreprenør Veidekke Industri AS ble kontaktet for innhenting av kapasiteter hva gjelder oppbygging av bærelag og bindlag. Her ble kapasiteter regnet om fra m^2/skift og tonn/skift til dager, sett i vedlegg 3. Kapasitetene ble sammen med veileder vurdert som optimale og vel optimistiske. Av den grunn ble slakk lagt inn i fremdriftsplanen.(25)

Fremdrift og tidspunkt for installering av tekniske bygg er fastsatt på forhånd og skaper derfor «deadlines» for andre aktiviteter i planen. Det har utenom oppgitt tidspunkt og tidsbruk ikke blitt beregnet noe på disse aktivitetene.

4.5 Sammenlikning med prosjektets gjeldende framdriftsplan

Planene er like i formatet, da de begge deler tunnellopet inn i tre deler, etter pelenummer. Hvis en ser på den totale tidsbruken brukt på de to planene, ser man at AFs utarbeidede plan strekker seg over 22 uker, noe som er tre uker lenger enn den vi har utarbeidet. Dette skyldes i hovedsak at den opprinnelige planen ble tegnet i et tidlig stadium, der usikkerheten var noe større. I vår planlegging hadde prosjektet utviklet seg med et klarere bilde over ressurser og mannskap som skulle utføre de ulike aktivitetene. De tre ukene vi har kortet ned fremdriftsplanen med spredd ut over de ulike aktivitetene.

Tidsdifferansen med bunnrenskingen er totalt på 18 dager: 55 dager mot 37 dager. Dette skyldes i hovedsak at det her er planlagt med ulike ressurser. I AFs kalkulasjon ligger det gjennomgående til grunn 4 dumpere som transportmiddel, mens vi har regnet med 6. Antall dager tenkt korrelerer i dette tilfelle med antall transportkjøretøy da forholdet mellom 55 og 37 er tilnærmet lik 1,5, samtidig som $6/4=1,5$. Dette betyr at begge planene har omtrent samme «tempo». Det vil si at det renskes likt antall meter med tunnel per dag.

Videre ser vi på grøftarbeidene. Det innebærer etablering av anleggsveger, grøfter med rør og OPI-kanal. Her er det en del forskjeller innad i aktivitetene, men her er det like interessant å se

på det totale tidsperspektivet på grøftearbeidet RISA skal gjennomføre. I AFs fremdriftsplan er det kalkulert med totalt 17 uker for RISAs grøftearbeid, altså ti uker lenger enn det vi forutsatte. Dette betegner en betydelig differanse i arbeidstempo.

Hva gjelder oppbygging til planum er det en differanse på totalt ti arbeidsdager. Differansen her kan skyldes flere ting. Først og fremst dreier det seg nok om nøyaktigheten på antallet kubikkmeter masse som skal fylles etter endt rensk. I tillegg kan det påberegnes forskjellige brukte driftskapasiteter på doseren, da dette er en vanskelig kapasitet å fastslå, og erfaringstallene varierer.

Forsterkningslagene er som vist delt i nedre og øvre lag i begge planverkene. I vårt utkast er det satt av til sammen 41 dager på forsterkningslagene, fordelt i 23 på nedre og 18 øvre.

Sammenliknet med AFs plan er det litt lengre tid, da de har til sammen 32 dager, 18 av dem på nedre lag og 14 på det øvre. I denne aktiviteten, som den forrige, regnes det med kapasitetstall for utlegging av massene, basert på erfaringer fra tidligere prosjekter.

Resten av vegoppbyggingen er tidsplanlagt omtrent likt fra vår og AFs side med henholdsvis 19 mot 22 dager. Her er det estimert etter anslag fra utførende entreprenør, Veidekke AS, på sin kapasitet på antall meter veg per time, se vedlegg 3. Likt er også estimatet på monteringen av tekniske bygg, som på begge planene er satt til 24 dager. Det er likevel ulikt i så måte at AF har kalkulert lenger tid på de to første byggene enn de to siste, mens det er satt likt antall dager fra vår side.

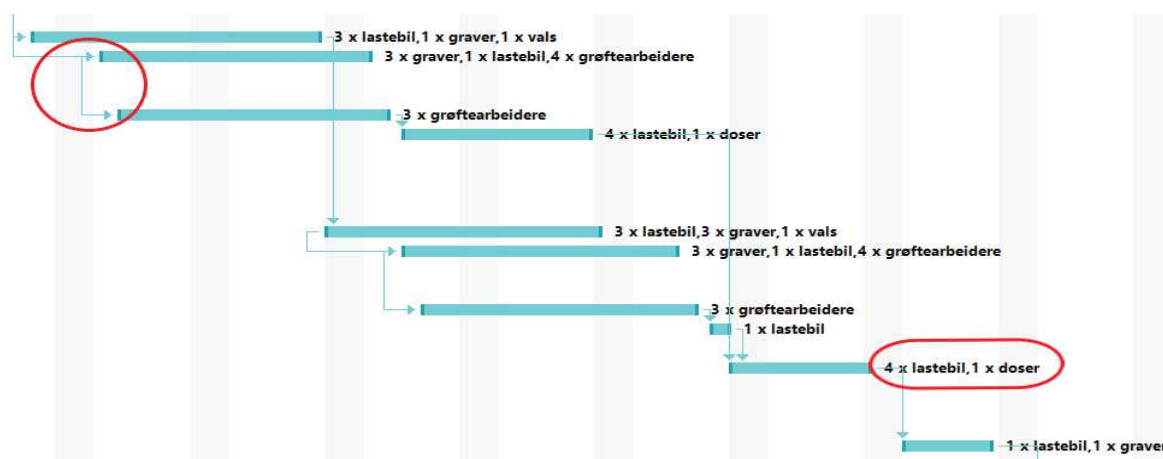
4.6 Sammenlikning av Gantt- og skråstrekkdiagram

Et Gantt-diagram gir informasjon om hvor mye tid som skal brukes på en aktivitet i en bestemt del av prosjektet. Den angir faste tidspunkt for start og slutt for aktiviteten. Ut ifra kalkylen beregnes som regel mengdene aktiviteten krever, mens ressursene og deres kapasiteter avgjør hvor lang tid aktiviteten vil ta. Av Gantt-diagrammet i vedlegg 4, kan vi se at de første 1400 meterne med graving av grøft og etablering av OV og drens, skal ta 16 dager. Et av problemene ved bruk av Gantt-diagrammet kan være at det er vanskelig vite hvor langt aktiviteten skal ha kommet til en hver tid.(26) Da spesielt ved aktiviteter med lang varighet slik arbeidene med grøfter er et eksempel på.

Skråstrekkdiagrammet avgjøres på samme måte som Gantt-diagrammet av kalkyle, ressurser og kapasiteter, men også av sted.(26) Vi kan i skråstrekkdiagrammet til en hver tid se hvor i tunnelen aktiviteten skal befinne seg, noe som gjør at målinger av fremdriften blir enklere å

vurdere. Av den grunn kan det forenkle prosessen med å gjøre endringer på fremdriftsplanleggingen underveis i prosjektet. Skråstrekdiagrammet som er delt inn i de samme parsellene som Gantt-diagrammet er i tillegg delt inn med pælnummer i x-aksen som gjør at den blir mer detaljert, også i en overordnet fremdriftsplan.

I et Gantt-diagram vises avhengigheter ofte av piler mellom aktivitetene. I vår plan kan vi se to typer avhengigheter i form av start-start avhengigheter og slutt-start avhengigheter. Start-start avhengighetene viser for eksempel at etableringen av OPI-kanalen kan starte såfremt etableringen av grøftene er i gang, samtidig som slutten av aktivitetene viser at grøftene må være ferdig før OPI-kanalen kan ferdigstilles. Det diagrammet derimot ikke viser er hva som skal foregå mellom start og slutt i disse aktivitetene. Det er i Gantt-diagrammet ingen umiddelbar selvfølghet at OPI-kanalen ikke kan gå forbi etableringen av grøft underveis, dersom fremdriften på grøfta sinkes.

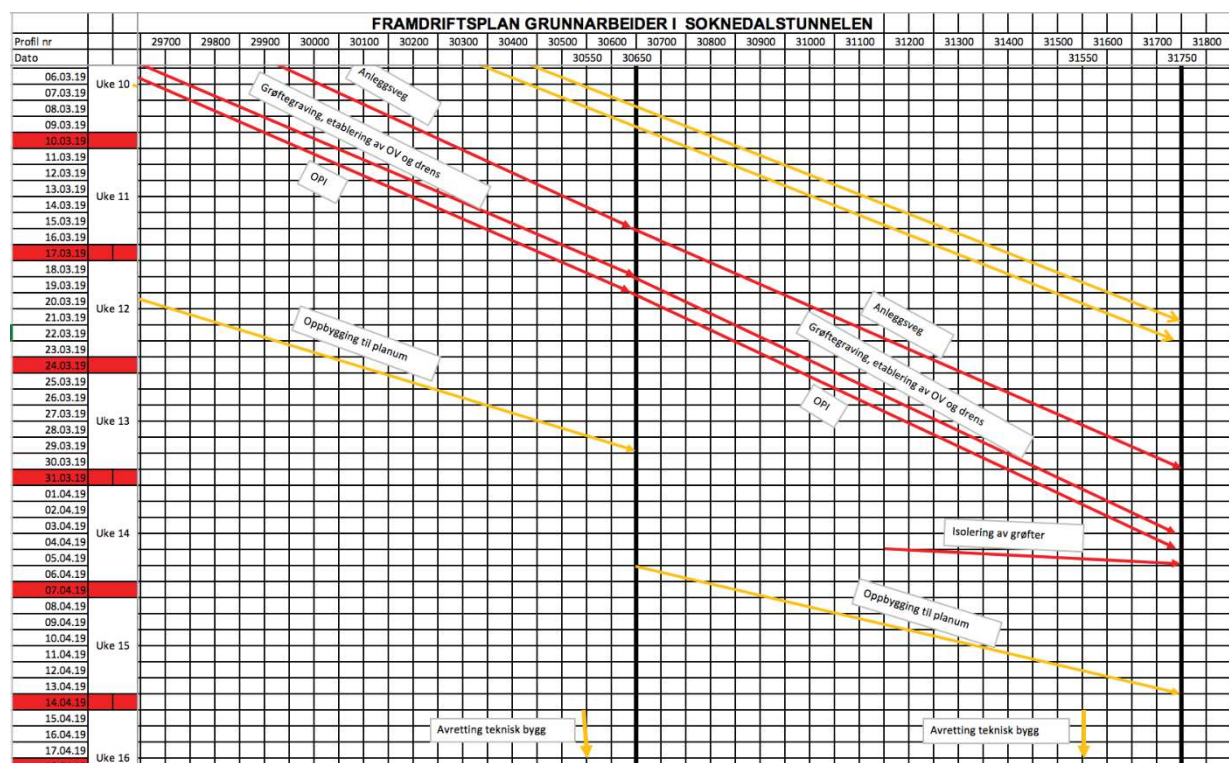


Figur 15: Her ser vi avhengigheter mellom aktiviteter i et Gantt-diagram ved hjelp av piler. Ser også av figuren hvordan tilgjengelige kapasiteter enkelt kan linkes til de ulike aktivitetene.

I en skråstrekplan er det derimot ikke like vanlig at avhengigheter vises ved en hjelpelinje eller pil. Skråstrekene har en start og en slutt, og avhengighetene kan sees i sammenheng med avstand mellom strekene, og at strekene som signaliserer aktivitetene ofte starter der hvor den forutgående aktiviteten avsluttes. På denne måten viser skråstrekdiagrammet at etableringen av grøften til en hver tid må ligge foran OPI-kanalen. Strekene for de nevnte aktivitetene kan derfor følge hverandre tett som mulig, så lenge de ikke krysser.(26)

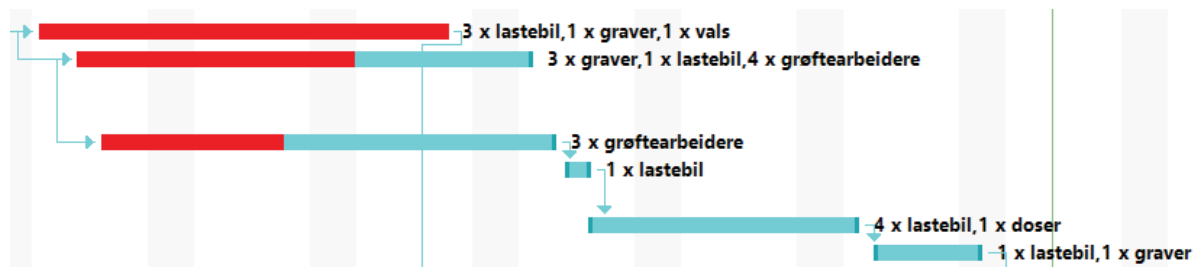
På denne måten skal skråstrekplanen kunne hjelpe å skape en slags takt eller flyt i produksjonen. Det som ofte må beregnes her er nok avstand mellom aktivitetene slik at eventuelle avvik i fremdriften, også mellom start og slutt i aktiviteten, ikke stopper fremdriften til de kommende aktivitetene. Slike avvik kan oppstå av grunner som; endrede kapasiteter, feil som må rettes, logistikkproblemer, forsinkede leveringer og andre uforutsette utfordringer. En annen fordel med skråstrekplanen er at dersom det oppstår kryssinger mellom aktiviteter er det

lettere for de utførende å oppdage krasj og problemene kan løses i god tid før de oppstår.(26) I skråstrekeplanen for fremdriften på grunnarbeidene er det derimot ikke tatt like stort hensyn til disse faktorene, da aktivitetene med start-start avhengighet til hverandre gjennomføres av samme aktør og kapasitetene enklere kan sjongleres mellom aktivitetene.



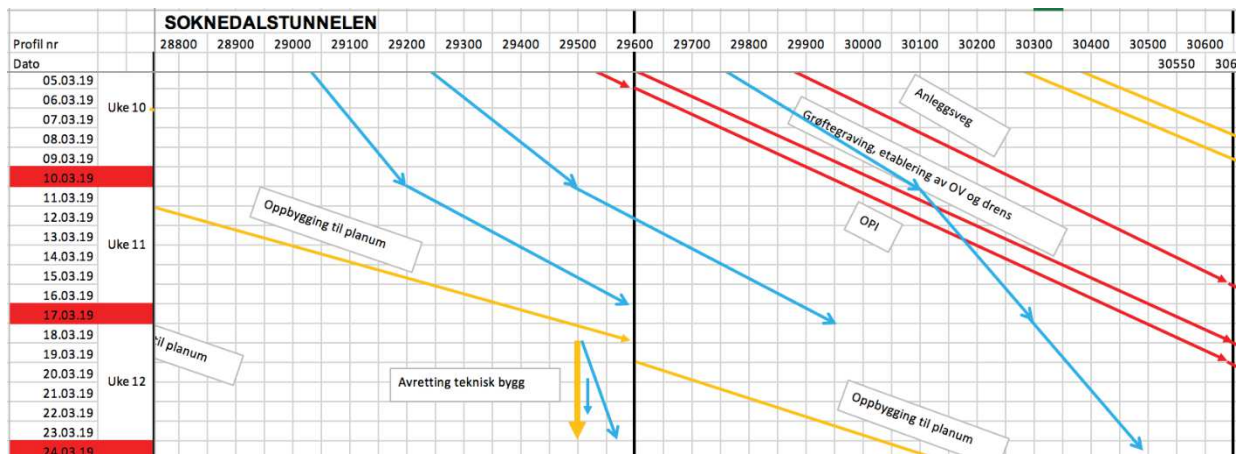
Figur 16: I en skråstrekeplan kan vi se at aktivitetene går parallelt og ikke har noen mulighet for å krysse hverandre inne i tunnelen. Vi kan også til en hver tid se hvor i tunnelen de ulike aktivitetene skal befinne seg.

Ved oppfølging av fremdriften på et prosjekt kan både Gantt- og skråstrekeplanen være hensiktsmessige verktøy. I Gantt-diagrammet kan vi enkelt vise fremdriften i prosjektet ved fargelegging. På den måten kan vi angi hvilke oppgaver som er påstartet og avsluttet. Vi får også vist omtrent hvor langt oppgaven er kommet ved å kontinuerlig oppdatere fargene på søylene.(27)



Figur 17: Ser her hvordan vi kan markere nåværende fremdrift i et Gantt-diagram ved hjelp av fargelegging.

I skråstrekeplanen kan det være hensiktsmessig å kontinuerlig opprette egne skråstreker for utført arbeid. I et vegprosjekt som her, kan vi da til en hver tid se helt presist hvordan fremdriften ligger an i forhold til hva som er planlagt. I tillegg kan vi se hvordan fremdriften kan ha variert over tid.



Figur 18: Vi ser her hvordan de blå streken viser faktisk fremdrift på prosjektet underveis, sammenliknet med den planlagte fremdriften i et skråstrekkdiagram.

For at bruk av skråstrekkdiagram skal være hensiktsmessig kan det påstås at planleggeren er avhengig av at prosjektet har en jevn og repeterende produksjon. Et eksempel kan være under rydding, sprenging og planering av veitrase hvor man ofte ikke er sikker på hvor mye masser som må ryddes til enhver tid i traseen. Å bruke en skråstrekkplan i et slikt tilfelle kan fort bli misvisende da arbeidsmengden på samme aktivitet endrer seg ujevnt, samtidig som kapasitetene forblir de samme.(26) Til sammenlikning ser en tunnel etter gjennomslag forholdsvis lik ut hele veien, og planleggeren kan regne med at alle arbeidene vil holde jevn fremdrift uavhengig av plassering.

Skråstrekkplanen kan også sies å være mest hensiktsmessig på prosjekter hvor det er få angrepspunkter, slik som for eksempel et veiprojekt hvor produksjonen angripes fra endene.(24) Dersom et prosjekt inneholder mange korte unike aktiviteter som til enhver tid skal gjennomføres ulike plasser på prosjektet, samtidig som avhengigheter skal tas hensyn til kan en skråstrekkplan fort bli rotete. Eksempelvis ved et byggeprosjekt hvor alle kunder som skal inn i bygget ønsker unike løsninger for sin del. Bruk av et Gantt-diagram gir derimot ingen begrensninger på disse områdene, med tanke på omfang, arbeidets art, varighet, lokasjon eller liknende. Gantt-diagrammet kan derfor benyttes i planleggingen av små og store prosjekter, om det er utbedring av en busslomme eller om det er et nytt veistrekke på ti mil er ubetydelig.(26)

5. Innovasjon – Planleggingsverktøyet TILOS

Et alternativ til å velge mellom disse to diagrammene er derimot å kombinere de i ett dynamisk program. Dette er mulig gjennom planleggingsverktøyet TILOS, som for eksempel brukes i E6 Soknedal-prosjektet. TILOS står for Time Location System, og er en programvare utviklet av Trimble Solutions AS for optimalisering av spesielt lineære anleggsprosjekter. I denne programvaren har planleggeren muligheten til å veksle mellom Gantt- og skråstrekkdiagram underveis i planleggingsfasen, da det ene genereres mens det andre utvikles.(24)

På et anleggsprosjekt med noe størrelse vil det være utallig informasjon som lagres i ulike lister, planer og oversikter. Det unike med TILOS er at programmet samler all denne informasjonen i ett diagram.(28). Det være seg tidsplaner, anleggsplaner, terrengprofiler, masseuttak og så videre. I store anleggsprosjekter som involverer mange aktører, kan slike planer, i separate former, fort oppleves uoversiktlige. Ved å kombinere de ulike arbeidsoppgavene, forenkler TILOS dette i sitt tid/sted-diagram.

En prosjektleder eller annen funksjonær kan i TILOS-diagrammet klikke seg inn hvor som helst i prosjektet og planlegge angrepspunkt og ressursbruk for de aktivitetene som skal utføres på stedet, samt masseflytting og -disponering. Ved å kombinere de ulike fagene med tid og anleggssted i et dynamisk diagram, vil man raskt se alternativer og kunne gjøre beslutninger tidligere i en arbeidsprosess enn før. Dessuten vil konsekvensene av beslutningene man tar presenteres raskt. Kvantiteter, kostnader og inntekter kan integreres i diagrammet, og kan brukes til å føre verddivurderinger og holde økonomisk oversikt over prosjektet, eller deler av prosjektet. På denne måten effektiviserer og optimaliserer TILOS anleggsarbeidet, og prosjektleder kan bruke det til å kontinuerlig følge opp prosjektstatusen.

TILOS forenkler også kommunikasjonen mellom prosjektdeltakere. I en møtesituasjon kan en funksjonær ved hjelp av diagrammet navigere gjennom informasjon om de ulike fagene eller arbeidsoppgavene i anleggslinja. Det vil således være enklere å diskutere dem med byggherre, underentreprenører og kolleger.(28)

Gruppen har vært i kontakt med flere store norske entreprenører og konsulenter vedrørende TILOS, og særlig er det bedrifter som jobber med infrastruktur som bruker det aktivt. Tilbakemeldingen som går mest igjen er at TILOS er særegen i det å vise totaliteten i et prosjekt, og at det gjøres på en illustrativ måte. Flere entreprenører har påpekt at det gir de mulighet til å presentere en hovedplan der gjennomføringsfilosofiene eller -strategiene kommer

tydelig fram, særlig i forhold til Gantt-planer og andre metoder. Inntrykket er at bedriftene i bransjen ikke utnytter alle funksjonene i programvaren fullt ut. Grunnene til det varierer. Flere bemerker at de er i oppstartsfasen med å bruke programmet og at det krever mye arbeid for å lære seg det fullt ut. Andre påpeker at de bruker de aller fleste sentrale funksjonene i programmet, da oftest i forbindelse med framdriftsplanlegging, og er fornøyde med det. Ut ifra responsen, ser bransjen for seg at slike «superdiagrammer» blir mer fremtredende i framtiden.

6. Oppfølging og rapportering av ressurser og fremdrift

For å kunne holde kontroll på utførelse og fremdrift på et prosjekt må anleggsledelsen ofte ut for å befare anlegget. Mangler, feil og andre problemer som kan skape hinder for prosjektets fremdrift, kvalitet og HMS må rapporteres og evalueres i forhold til årsak, og forslag til løsning må fremkomme. Disse tiltakene må gjøres både for at anleggsledelsen selv skal ha kontroll på de utfordringene som oppstår, men også for å kunne holde byggherre oppdatert på hvordan anlegget drives.(13)

Under kontroll av fremdriften er det viktig å fokusere på de aktivitetene som skaper avhengigheter i prosjektet. På den måten vil anleggsledelsen få mulighet til å påvirke aktivitetene ved å for eksempel flytte ressurser, eller ved gyldig grunn be om fristforlengelse. Det å holde kontroll på disse kritiske aktivitetene er utrolig viktig for prosjektets resultat.(13) Dersom prosjektet ikke kan leveres til avtalt frist og fristforlengelse ikke godkjennes risikerer entreprenøren dagmulkt, eller dagsbøter som i slike prosjekter ofte har veldig høye satser. På prosjektet i Soknedal starter for eksempel bøkene på 50 tusen kroner.

Å evaluere og sammenlikne de faktiske prestasjonene, opp mot de planlagte er en viktig del av kontrollprosessen underveis og etter et prosjekt.(29) Kontroller opp mot tilbudskalkyle underveis i et prosjekt kalles for en realkalkyle, og tilsvarende etter prosjektet kalles en etterkalkyle. Realkalkylen er det første signalet om hvordan et prosjekt kan forventes å gå. Det å jevnlig utføre slike realkalkyler vil til en hver tid kunne fortelle ledelsen hvordan prosjektet ligger an, og gjøre muligheten for påvirkning lettere.(13, 29) Det vil også forenkle arbeidene med en etterkalkyle da mye av grunnlaget til den vil ligge i realkalkylene. Å sammenlikne aktivitet for aktivitet med de planlagte mengder, ressursbruk og fremdrift vil gi gode forutsetninger for å kunne gjøre tiltak underveis, dersom det viser seg at ting ikke går som planlagt. Det vil også forenkle arbeidet med avviksrapportering og endringskrav opp mot byggherre. Utførelse med høy detaljgrad vil også skape et bedre grunnlag for planlegging og kalkulering av kommende prosjekter.(29)

6.1 Måling av framdrift 01.04

Ved månedstart i april er de aktivitetene som er planlagt ferdig, faktisk utført. Dette gjelder sprengningsarbeidene for kummer og tverrgrøfter, samt bunnrensk og etablering av anleggsvei. Sprengningsarbeidene og bunnrensk ble ferdige i god tid før estimert sluttdato. Henholdsvis to og halvannen uke før. Disse arbeidene hadde, som vist på vedlegg 6, jevn fremdrift. Det er

derfor nærliggende å tro at det har oppstått lite problemer underveis i dette arbeidet. På den andre siden ser man av streken som representerer anleggsvegen at arbeidsflyten har variert noe. Det vises at de første tusen meterne har gått som antatt, med jevn flyt. Deretter har produktiviteten gått ned de neste tusen meterne. Grunnen til denne knekken er at ressursene ble flyttet en stund, slik at arbeidet stod stille. Ressursene ble flyttet for å øke grøftarbeidets fremdrift, som før det ikke fulgte planen. Mot slutten ble arbeidet med anleggsvegen intensivert igjen for å bli ferdig innen de to neste tekniske byggene skal installeres. Arbeidet med anleggsvegen ble derfor avsluttet til estimert tid.

Som nevnt klarte ikke grøftarbeidene å følge anleggsvegen. Med grøftarbeidene gjelder også etableringen av kabel-kanal. Vi ser av det oppfølgende skråstrekkdiagrammet i vedlegg 6 at dette arbeidet kom skjevt ut fra starten tidsmessig, og at RISA ikke har klart å overholde det arbeidstempoet som ble anslått på forhånd. Estimaten som tilsier at grøftarbeidet skal være ferdig i løpet av uke 14 overholdes derfor ikke. Med tempoet som har vært er det nå mer realistisk å forvente en ferdigstilling rundt uke 18. Dessuten kunne vi med fordel delt opp aktivitetene litt annerledes, eller mer. I praksis graves grøftene, og etter det settes kummene. Dernest kan leggingen av rør begynne. Støpingen av kabelkanal kommer til slutt. Siden enkelte av oppgavene kan komme lenger enn andre, uten at det gir konsekvenser, er det vanskelig å fastslå nøyaktig hvor grøftarbeidet, som vi har definert det, til enhver tid er i tunnelen, slik det er forsøkt i fremdriftsplanen.

På grunn av forsinkelsene med grøftarbeidet, begynte ikke oppbyggingen til planum før uke 12, to uker etter estimert oppstart. Dessuten begynte oppbyggingen i de tekniske nisjene, for å klargjøre for installeringen av byggene der. De to første tekniske byggene er blitt installert i henhold til planen og gir utsikter til at de to resterende også vil overholde tidsplanen. I uke 14 begynte massetransporten for planumsoppbyggingen fra påhugg sør. Massene som benyttes er stedlige knuste og hentes fra knuser på Flotten.

6.2 Måling av framdrift 30.04

Ved månedsskifte april/mai ser man konturene av det som begynner å likne en vegtunnel. Det har siden sist vært fullstendig stopp på prosjektet i forbindelse med påskeavvikling. Til sammen førte det til stans i 5 dager, da inkludert søndag, med oppstart igjen tirsdag 23. april. Før påskeavviklingen stanset RISA arbeidet med de langsgående grøftene ved pelenummer 30850 (hjelpedrens litt bak), for å starte arbeidet med de kryssende grøftene og arbeidene ved de

tekniske byggene. Dette har utsatt framdriften med de langsgående grøftene med tre uker. Dette gjelder også for OPI-kanalen som per dato er på pr. 30600.

Sammenliknet med vår utarbeidede framdriftsplan ligger grøftarbeidene langt bak skjema. Der ble det antatt at man skulle nå gjennom tunnelen tidlig i april. Det har siden oppstarten gått langsommere enn estimert, men arbeidet med tverrgrøftene og krysningene har forsinket ytterligere. Arbeidsomfanget med dette er blitt betydelig større enn forventet, og står for hovedgrunnen til at det er så forsinket som i dag.

I tillegg til grøftarbeidet er det er nå lagt nedre og øvre forsterkningslag frem til ca. pr.29600. Dette stemmer i henhold til framdriftsplanen. Likevel ble arbeidet med nedre forsterkningslag inn til pr.29600 strukket til over påske, der vi trodde det skulle bli klart før. Grunnen til dette er en litt senere oppstart enn antatt, kombinert med at arbeidet ikke gikk fullt så fort som estimert. Det øvre forsterkningslaget holdt derimot tempoet, og ble ferdig lagt til pr.29600 til antatt dato.

Oppbyggingen opp til planum er ikke fullført, og fraviker således stort fra den antatte framdriftsplan. Ifølge den skulle det vært bygd opp gjennom tunnelen i midten av april, mens det i realiteten nå ikke er kommet lenger enn til pr. 29700. Arbeidet her stoppet rett før påske, så ressursene kunne benyttes til vegoppbygging etter det, med nedre og øvre forsterkningslag. Dessuten ville man ved å ha fortsatt innover kunne hindret fremkomsten til ElementPartner fra nordsiden. Derfor vil det bygges opp til planum igjen når de tekniske byggene blir ferdig i løpet av neste uke, slik at man kan begynne vegoppbygging videre inn i tunnelen.

Per dato er altså ElementPartner på plass i tunnelen og setter opp de tekniske byggene ved pelenummer 30550. Dette virker å gå etter planen og med mindre noe uventet skjer, vil de ferdigstille teknisk bygg ved pr. 31550 i løpet av neste uke (18) som planlagt.

6.3 Status per 13.05

Per 13.05, altså en drøy måned før arbeidslutt i henhold til vår fremdriftsplan, tyder det på at totalomfanget med grunnarbeidene i Soknedalstunnelen ferdigstilles innenfor vår tidsramme på 19 uker, det vil si før uke 25. Samtidig må man ta høyde for kan det oppstå komplikasjoner og forsinkelser også den siste måneden. Det positive i den forbindelse er at det går lite parallelle arbeidsoppgaver, slik at risikoen for et forsinkende «krasj» er redusert, i alle fall i forhold til et tidligere stadium i tunnelen.

I løpet av uka håper RISA å være gjennom tunnelen med grøftearbeidet sitt. Og i tunnelens første strekk fra sør er Veidekke i gang med asfalteringen. Videre gjenstår noe vegoppbygging i tunnelens siste strekk før det kan asfalteres der.

Selv om totaltidsbruken virker å være etter planen, er det likevel differens mellom planlagt og faktisk brukt tid på de enkelte aktivitetene i perioden som har vært. Arbeidet som ble ferdig først var sprenging av kummer og tverrgrøfter. Aktiviteten ble lukket i midten av uke 10 – to uker tidligere enn estimert. Bunnrensen, som gikk parallelt med sprengingene, gikk også raskere enn planen tilsier. Arbeidet ble lukket i uke 11, og ikke uke 12 som antatt i fremdriftsplanen. Anleggsvegen ble ferdig til anslått tid, selv om tempoet varierte underveis. Det største avviket er grøftearbeidene. De ferdigstilles i uke 20, der de egentlig skulle være ferdige i uke 14. Grøftearbeidene påvirket oppbyggingen til planum, som også ble forsinket sammenliknet med vår framdriftsplan. Heldigvis går arbeidene med forsterkningslagene foreløpig raskere enn antatt og er med på å hente inn det tapte.

6.4 Prosjektets tid og ressursbruk

For å kunne skape et grunnlag for en sluttrapport på arbeidstimer og maskintimer brukt per meter på de ulike aktivitetene, er det gjort målinger av ressursbruken. Disse målingene er gjennomført ukentlig for at avvik fra virkeligheten skal bli minst mulig. Arbeidene er gjennomført ved hjelp av kontinuerlig dialog med ansvarlige formenn, anleggs- og driftsledere for de aktuelle arbeidsoperasjonene. I de fleste tilfellene har ressursbruken vist seg å være lik det antatte, men avvikene fra den planlagte ressursbruken har i noe grad vært til stede. Dette viser viktigheten av målingene.

6.4.1 Sprenging av kumutvidelser og tverrgrøfter

Vi kan se av målingene at ressursbruken ved sprenging av kumutvidelser og tverrgrøfter har vært konstant gjennom hele perioden. Alle tilgjengelige kapasiteter er tatt i bruk, henholdsvis en graver og en kommandorigg. Alle arbeider tilknyttet denne posten i tunnelen er med i rapporteringen. Følgende arbeider er gjennomført på denne posten; sprengt ut for 72 stk sandfangkummer, sprengt ut 13 kryssinger på omtrent 10,5 meter og 30 meter grøft i hver av de fire tekniske rommene. Arbeidene med denne aktiviteten har gått to uker fortere enn antatt i fremdriftsplanen. Utførelsens hastighet har ikke fått konsekvenser for andre aktivitetes fremdrift. Ressursbruken har vært konstant gjennom hele perioden, og ikke hatt avvik fra ressursplan.

AF Gruppen AS - Skjema for grunnarbeids- og maskintimer		
Prosjekt: E6 Soknedal Aktivitet: Sprenging av kumutvidelser og tverrgrøfter		
Dato: 30.04.19 Sign: MM		
Uke 6	Arbeidstimer	128
	Maskintimer graver	64
	Maskintimer kommandorigg	64
Uke 7	Arbeidstimer	184
	Maskintimer graver	92
	Maskintimer kommandorigg	92
Uke 8	Arbeidstimer	184
	Maskintimer graver	92
	Maskintimer kommandorigg	92
Uke 9	Arbeidstimer	184
	Maskintimer graver	92
	Maskintimer kommandorigg	92
Uke 10	Arbeidstimer	184
	Maskintimer graver	92
	Maskintimer kommandorigg	92
Uke 11	Arbeidstimer	80
	Maskintimer graver	40
	Maskintimer kommandorigg	40
	SUM Arbeidstimer	944
	SUM Maskintimer graver	472
	SUM Maskintimer kommandorigg	472

Figur 19: Skjema for grunnarbeids- og maskintimer for sprenging av kumutvidelser og tverrgrøfter.

Rapporteringen på disse arbeidene er gjeldende for hele tunnelens lengde. Overnevnte tall er utformet på bakgrunn av egne målinger, kontinuerlig kontakt med anleggsleder og mannskapets rotasjonsplan. Tallene oppgitt i skjemaet rapporteres med følgende usikkerheter:

- Usikkerhet rundt presist arbeidsomfang for innleid gravemaskin og maskinfører fra uke 9 til og med uke 11.

Med hensyn til all overnevnt informasjon leveres følgende nøkkeltall per meter tunnel:

$$\text{Arbeidstimer/totale maskintimer: } \frac{944 \text{ timer}}{3531 \text{ meter}} = \mathbf{0,267 \text{ timer/meter}}$$

$$\text{Maskintimer graver: } \frac{472 \text{ timer}}{3531 \text{ meter}} = \mathbf{0,134 \text{ timer/meter}}$$

$$\text{Maskintimer kommandorigg: } \frac{472 \text{ timer}}{3531 \text{ meter}} = \mathbf{0,134 \text{ timer/meter}}$$

6.4.2 Bunnrensk

Ved målinger av bunnrensen har vi sett at ressursbruken har variert lite. Tilgjengelig graver, hjullaster og dumper har vært konstant gjennom hele perioden sett bort i fra en innleid graver som fra uke 9-11 har jobbe sporadisk. Bruk av tilgjengelige dumpere har variert noe. Det ble på forhånd planlagt at arbeidene skulle gjennomføres med seks dumpere i bruk, hvorav fire skulle hente masser inne i tunnelen. Resterende ble planlagt brukt til bortkjøring fra mellomager. Det viste seg derimot at massene på mellomlageret blir liggende da de skal brukes til bygging av

traktorvei over portal nord. Det er hovedsakelig fra uke seks til uke ni kjørt med fire dumpere og fra uke ni til og med uke elleve kjørt med to. Dersom tunneldriverne har hatt tilgjengelige kapasiteter fra andre aktiviteter har disse kjørt dumpere. De aktuelle arbeidstimene er i skjemaet vårt jevnet ut over perioden. Grunnen til lavere ressursbruk enn planlagt er at arbeidene har gått en del fortere enn det som var medregnet. Bruk av gravere, dumper, doser og hjullaster har vært konstant gjennom perioden, sett bort fra en innleid gravemaskin som har jobbet sporadisk. Disse er tatt med, og jevnet ut over perioden.

AF Gruppen AS - Skjema for grunnarbeids- og maskintimer		
Prosjekt: E6 Soknedal Aktivitet: Bunnrensk Dato: 30.04.19 Sign: MM		
Uke 6	Arbeidstimer	292
	Maskintimer dumper	203
	Maskintimer graver	88
	Maskintimer doser	44
	Maskintimer hjullaster	32
Uke 7	Arbeidstimer	556
	Maskintimer dumper	299
	Maskintimer graver	184
	Maskintimer doser	92
	Maskintimer hjullaster	56
Uke 8	Arbeidstimer	556
	Maskintimer dumper	299
	Maskintimer graver	184
	Maskintimer doser	92
	Maskintimer hjullaster	56
Uke 9	Arbeidstimer	569
	Maskintimer dumper	299
	Maskintimer graver	197
	Maskintimer doser	92
	Maskintimer hjullaster	56
Uke 10	Arbeidstimer	457
	Maskintimer dumper	187
	Maskintimer graver	197
	Maskintimer doser	92
	Maskintimer hjullaster	56
Uke 11	Arbeidstimer	457
	Maskintimer dumper	187
	Maskintimer graver	197
	Maskintimer doser	92
	Maskintimer hjullaster	56
	SUM Arbeidstimer	3337
	SUM Maskintimer dumper	1474
	SUM Maskintimer graver	1047
	SUM Maskintimer doser	504
	SUM Maskintimer hjullaster	312

Figur 20: Skjema for grunnarbeids- og maskintimer for bunnrensk.

Rapporteringen på disse arbeidene er gjeldende for hele tunnelens lengde. Overnevnte tall er utformet på bakgrunn av egne målinger, kontinuerlig kontakt med anleggsleder og mannskapets rotasjonsplan. Tallene oppgitt i skjemaet rapporteres med følgende usikkerheter:

- Usikkerhet rundt presist arbeidsomfang for innleid gravemaskin og maskinfører fra uke 9 til og med uke 11.
- Sporadisk bruk av ekstra dumpere og lastebiler er ikke nødvendigvis dokumentert helt korrekt.

Med hensyn til all overnevnt informasjon leveres følgende nøkkeltall per meter tunnel:

<i>Arbeidstimer/totale maskintimer:</i>	$\frac{3337 \text{ timer}}{3531 \text{ meter}} = \mathbf{0,945 \text{ timer/meter}}$
<i>Maskintimer dumper:</i>	$\frac{1474 \text{ timer}}{3531 \text{ meter}} = \mathbf{0,417 \text{ timer/meter}}$
<i>Maskintimer graver:</i>	$\frac{1047 \text{ timer}}{3531 \text{ meter}} = \mathbf{0,297 \text{ timer/meter}}$
<i>Maskintimer doser:</i>	$\frac{504 \text{ timer}}{3531 \text{ meter}} = \mathbf{0,143 \text{ timer/meter}}$
<i>Maskintimer hjullaster:</i>	$\frac{312 \text{ timer}}{3531 \text{ meter}} = \mathbf{0,088 \text{ timer/meter}}$

6.4.3 Etablering av langsgående grøfter og anleggsvei

Fra starten har ikke arbeidet overholdt tempoet beregnet i fremdriftsplanen, noe som opprinnelig skulle tilsvare underentreprenørens egen ambisjon i tunneldriften. Dette er den gjennomgående grunnen til at arbeidene over hele perioden har ligget et stykke etter planen. Da arbeidene med krysninger begynte før påske, innså vi at arbeidsomfanget med kryssinger var betydelig større enn forventet, noe som har resultert i langvarig stans, på arbeidene med de langsgående grøftene, se vedlegg 6. Konsekvensene av at disse arbeidene ikke er utført i henhold til vår plan er at etterfølgende aktiviteter er blitt utsatt. Disse endringene behøver ikke nødvendigvis å utsette sluttdato for arbeidene, da logistikkmessige endringer etter vår tid på prosjektet kan innhente tapt fremdrift. Arbeidenes ressursbruk har gjennom hele perioden vært konstant, og i henhold til ressursplanen. Dette sett bort fra sporadisk bruk av graver med hjul, og ved to tilfeller hvor ressurser er flyttet grunnet rivning av feilstøpt OPI-kanal.

AF Gruppen AS - Skjema for grunnarbeids- og maskintimer		
Prosjekt: E6 Soknedal Dato: 30.04.19 Sign: MM		
Aktivitet: Etablering av langsgående grøfter og anleggsvei		
Uke 7	Arbeidstimer	799
	Maskintimer graver	365
Uke 8	Arbeidstimer	799
	Maskintimer graver	365
Uke 9	Arbeidstimer	799
	Maskintimer graver	365
Uke 10	Arbeidstimer	799
	Maskintimer graver	365
Uke 11	Arbeidstimer	604
	Maskintimer graver	365
	SUM Arbeidstimer	3800
	SUM Maskintimer graver	1825

Figur 21: Skjema for grunnarbeids- og maskintimer for etablering av langsgående grøfter og anleggsvei.

Med bakgrunn i at den planlagte fremdriften ikke er blitt opprettholdt for disse arbeidene, er det enighet om at rapporteringen for på arbeids- og maskintimer brukt, blir tilpasset 1500 meter inn i tunnelen fra påhugg sør, altså til Pr.29750. Tall i skjema for grunnarbeids- og maskintimer er utarbeidet fra målinger av prosjektets fremdrift i kombinasjon med utførende entreprenørs skiftplan. Tallene oppgitt i skjemaet rapporteres med følgende usikkerheter:

- Det er ved to tilfeller brukt sporadiske ressurser fra aktivitetene; etablering av langsgående grøfter, etablering av anleggsvei, etablering av kabelkanal, til rivning av ferdigstøpte, feilplasserte kabelkanaler.
- Sykdom blant mannskap som ikke er blitt erstattet i henhold til skiftplan.
- Repeterende arbeidsoppgaver som i dette tilfelle vil sannsynligvis ha lavere produktivitet tidlig i fasen, og et utsnitt på 1500 meter vil være mindre nøyaktig enn om hele tunnelen hadde vært representert.

Med hensyn til all overnevnt informasjon leveres følgende nøkkeltall per meter tunnel:

$$\text{Arbeidstimer:} \quad \frac{3800 \text{ timer}}{1500 \text{ meter}} = \mathbf{2,533 \text{ timer/meter}}$$

$$\text{Maskintimer graver:} \quad \frac{1825 \text{ timer}}{1500 \text{ meter}} = \mathbf{1,217 \text{ timer/meter}}$$

6.4.4 Etablering av langsgående kabelkanal/OPI-kanal

Med samme grunnlag som ved de langsgående grøftene har ikke arbeidene med etableringen kabelkanalene gått i henhold til den utarbeidede fremdriftsplanen. Ved to tilfeller er plasseringen på deler av kanalene målt feil, og omfattende rivning etter støp har blitt gjennomført. Dette har hatt betydelig innvirkning på tidsbruken. På samme måte som

grøftarbeidene er arbeidene med de langsgående kanalene stoppet opp en periode, se vedlegg 6, grunnet arbeider med tverrgrøfter. Konsekvensene av dette vil være de samme som nevnt i kapittel om langsgående grøfter og anleggsvei. For arbeidene med kabelkanal har ressursbruken fulgt ressursplan, med unntak av sporadisk bruk av graver med hjul, og de nevnte tilfeller av rivning hvor ekstra ressurser er tilført.

AF Gruppen AS - Skjema for grunnarbeids- og maskintimer		
Prosjekt: E6 Soknedal Dato: 30.04.19 Sign: MM		
Aktivitet: Etablering av langsgående OPI/Kabelkanal		
Uke 7	Arbeidstimer	353
	Maskintimer graver	49
Uke 8	Arbeidstimer	353
	Maskintimer graver	49
Uke 9	Arbeidstimer	353
	Maskintimer graver	49
Uke 10	Arbeidstimer	353
	Maskintimer graver	49
Uke 11	Arbeidstimer	353
	Maskintimer graver	49
Uke 12	Arbeidstimer	138
	Maskintimer graver	18
	SUM Arbeidstimer	1903
	SUM Maskintimer graver	263

Figur 22: Skjema for grunnarbeids- og maskintimer for OPI/Kabelkanal.

Med samme bakgrunn som arbeidene med langsgående grøfter er det også ved etablering av OPI-kanaler valgt å tilpasse rapporteringen 1500 meter inn i tunnelen til Pr.29750. Tall i skjemaet for grunnarbeids- og maskintimer er utarbeidet fra målinger av prosjektets fremdrift i kombinasjon med utførende entreprenørs skiftplan. Tallene oppgitt i skjemaet rapporteres med følgende usikkerheter:

- Det er ved to tilfeller brukt sporadiske ressurser fra aktivitetene; etablering av langsgående grøfter, etablering av anleggsvei, etablering av kabelkanal, til rivning av ferdigstøpte, feilplasserte kabelkanaler.
- Sykdom blant mannskap som ikke er blitt erstattet i henhold til skiftplan.
- Repeterende arbeidsoppgaver som i dette tilfelle vil sannsynligvis ha lavere produktivitet tidlig i fasen, og et utsnitt på 1500 meter vil være mindre nøyaktig enn om hele tunnelen hadde vært representert.

Med hensyn til all overnevnt informasjon leveres følgende nøkkeltall per meter tunnel:

$$\text{Arbeidstimer:} \quad \frac{1903 \text{ timer}}{1500 \text{ meter}} = \mathbf{1,269 \text{ timer/meter}}$$

$$\text{Maskintimer graver:} \quad \frac{263 \text{ timer}}{1500 \text{ meter}} = \mathbf{0,175 \text{ timer/meter}}$$

6.4.5 Oppbygging av planum og forsterkningslag - klart til asfalt

Arbeidene med vegoppbygging - klart til asfalt har ikke fulgt fremdriftsplanen nøyaktig, men har gitt mulighet for å kunne gjøre målinger av timebruk inn forbi andre tekniskbygg. Arbeidene kunne ikke starte til planlagt tid, da arbeidet med forutgående aktiviteter ikke var utført i henhold til fremdriftsplanen. Uavhengig av dette har arbeidene med oppbygningen innhentet mye av den tapte tiden, og gir dermed utsikter for at grunnarbeidene skal bli ferdig til planlagt tid. Ressursbruken på disse arbeidene er ikke lik det som var planlagt i ressursplanen. Det er i ressursplanen ikke medregnet vanningsbil som sørger for komprimering, og heller ikke at det ville bli brukt gravemaskin på arbeidene i deler av perioden.

AF Gruppen AS - Skjema for grunnarbeids- og maskintimer		
Prosjekt: E6 Soknedal		Dato: 10.05.19
		Sign: MM
Aktivitet: Oppbygging av planum og forsterkningslag - klart til asfalt		
Uke 12	Arbeidstimer	156
	Maskintimer doser	72
	Maskintimer vals	36
	Maskintimer vanningsbil	48
Uke 13	Arbeidstimer	228
	Maskintimer doser	72
	Maskintimer vals	36
	Maskintimer vanningsbil	48
	Maskintimer graver	72
Uke 14	Arbeidstimer	228
	Maskintimer doser	72
	Maskintimer vals	36
	Maskintimer vanningsbil	48
	Maskintimer graver	72
Uke 15	Arbeidstimer	104
	Maskintimer doser	48
	Maskintimer vals	24
	Maskintimer vanningsbil	32
Uke 16	Arbeidstimer	0
	Maskintimer doser	0
	Maskintimer vals	0
	Maskintimer vanningsbil	0
Uke 17	Arbeidstimer	130
	Maskintimer høvel	60
	Maskintimer vals	30
	Maskintimer vanningsbil	40
Uke 18	Arbeidstimer	156
	Maskintimer høvel	72
	Maskintimer vals	36
	Maskintimer vanningsbil	48
Uke 19	Arbeidstimer	104
	Maskintimer høvel	48
	Maskintimer vals	24
	Maskintimer vanningsbil	32
	SUM Arbeidstimer	1106
	SUM Maskintimer doser	264
	SUM Maskintimer høvel	180
	SUM Maskintimer graver	144
	SUM Maskintimer vals	222
	SUM Maskintimer vanningsbil	296

Figur 23: Skjema for grunnarbeids- og maskintimer for oppbygging av planum og forsterkningslag - klart til asfalt.

Med bakgrunn i at alle arbeidene med vegoppbyggingen, klart til asfalt er ferdig inn til Pr. 29750, er timebruken registrert ved dette punktet. Av den grunn vil timebruk per meter tunnel være basert på bygging av 1500 meter tunnel. Tall i skjemaet for grunnarbeids- og maskintimer er utarbeidet med hensyn til 12 timers arbeidsdager med nevnte anleggsmaskiner. Tallene oppgitt i skjemaet rapporteres med følgende usikkerheter:

- Bruk av gravemaskin er ikke tilstrekkelig dokumentert, men et anslag på to ukers full drift er gjort.
- Repeterende arbeidsoppgaver som i dette tilfelle vil sannsynligvis ha lavere produktivitet tidlig i fasen, og et utsnitt på 1500 meter vil være mindre nøyaktig enn om hele tunnelen hadde vært representert.
- Korrekt skiftplan for disse arbeidene fremkommer ikke, men 12 timers arbeidsdager vil gjenspeile faktisk gjennomført arbeid med få avvik.

Med hensyn til all overnevnt informasjon leveres følgende nøkkeltall per meter tunnel:

$$\textit{Arbeidstimer:} \quad \frac{1106 \textit{ timer}}{1500 \textit{ meter}} = \mathbf{0,737 \textit{ timer/meter}}$$

$$\textit{Maskintimer doser:} \quad \frac{264 \textit{ timer}}{1500 \textit{ meter}} = \mathbf{0,176 \textit{ timer/meter}}$$

$$\textit{Maskintimer høvel:} \quad \frac{180 \textit{ timer}}{1500 \textit{ meter}} = \mathbf{0,12 \textit{ timer/meter}}$$

$$\textit{Maskintimer graver:} \quad \frac{144 \textit{ timer}}{1500 \textit{ meter}} = \mathbf{0,096 \textit{ timer/meter}}$$

$$\textit{Maskintimer vals:} \quad \frac{222 \textit{ timer}}{1500 \textit{ meter}} = \mathbf{0,148 \textit{ timer/meter}}$$

$$\textit{Maskintimer vanningsbil:} \quad \frac{296 \textit{ timer}}{1500 \textit{ meter}} = \mathbf{0,197 \textit{ timer/meter}}$$

7. Ordforklaringsliste

Am³	Anbrakte masser, gitt i kubikk.
Doser	Anleggsmaskin som brukes til å legge ut masser ved hjelp av et frontskjær.
Dumper	Kjøretøy for massetransport. A40 har kapasitet opp mot 40 tonn, og A30 kapasitet opp mot 30 tonn.
Fristforlengelse	Utsettelse av prosjektslutt, som ikke innebærer konsekvenser i form av bøter for utførende entreprenør.
Forkiling	Tynt avrettingslag som brukes i forbindelse med forsterkning av veibane.
Havarilomme	Lomme utenfor veibane som gir mulighet for å stoppe i nødsituasjoner.
Hjullaster	Anleggsmaskin som brukes for å laste masser.
Kalkyle	Resultatet av en beregningsprosess hvor alle kostnader knyttet til et prosjekt fastsettes.
Kommandorigg	Anleggsmaskin for boring og pigging.
Knøl	Berggrunn.
Nisje	Rom i tunnel utenfor veibane.
Omfillingsmasser	Masser av finere gradering som brukes for beskyttelse rundt innretninger som rør og kummer.
Pælenummer	Nummer som angir plassering i et bestemt veistrekk.
Påhugg	Angrepspunkt for tunnellop.
Snunisje	Lomme utenfor veibane som gir mulighet for å snu i nødsituasjoner.
Taktplanlegging	Planleggingsmetode som legger til rette for at forskjellige arbeidsoperasjoner gjennomføres uten forstyrrelser fra andre aktiviteter. Brukes gjerne i prosjekter som har repeterende aktiviteter.
Trau/planum	Teoretisk høyde for bunn av vegoverbygningen.
Vals	Anleggsmaskin som brukes for å komprimere masser i vei.
Veghøvel	Anleggsmaskin for utlegging av masser.

8. Referanser

1. Statens Vegvesen. E6 Soknedal: Statens Vegvesen; 2017 [10.02.2019]. Available from: <https://www.vegvesen.no/Europaveg/e6soknedal>.
2. AF Gruppen. AF Gruppen om oss 2019 [20.02.2019]. Available from: <https://afgruppen.no/om-oss/>.
3. Statens Vegvesen. Håndbok R761 Prosesskode 1. Norge: Vegdirektoratet; 2015.
4. Søvik AK. Håndtering av bunnrenskmasser på ny E39 Svevatjørn-Rådal: Muliticonsult; 2017 [04.03.2019]. Available from: <http://miljoringen.no/wp-content/uploads/2017/11/Dag-1-05.-Anne-Kristine-Sovik.pdf>
5. Statens Vegvesen. Håndbok N500 Vegtunneler. Norge: Vegdirektoratet; 2016.
6. Pipelife Norge AS. OPI-kanalen: Pipelife Norge AS; 2019 [15.02.2019]. Available from: <https://www.pipelife.no/no/produkter/kabelbeskyttelse/opi-kanalen.php>.
7. Statens Vegvesen. Håndbok N500 Vegtunneler. Norge: Vegdirektoratet; 2016. p. 59.
8. Statens Vegvesen. Håndbok N200 Vegbygging. Norge: Vegdirektoratet; 2014.
9. Standard Norge. NS8405 - Norsk bygge- og anleggskontrakt. Norge: Standard Norge; Pronorm AS; 2008.
10. Cooke B, Williams P. Construction planning, programming and control. 3rd ed. ed. Oxford: Blackwell; 2009.
11. Floten S, Norsk t. Prosjektstyring : håndbok for byggfagene. Oslo: Elforl.; 2008.
12. Floten S, Mjelde SB, Tekniske entreprenørers I. Kontrakthåndbok for byggfagene. Oslo: Elforl.; 2005.
13. Floten S, Norsk t. Kontrakter og prosjektstyring : eksempelsamling : Prosjekt Solbygg. Oslo: Elforl.; 2008.
14. Project Managemant Institute. A guide to the project managemant body of knowledge. USA; 2008.
15. Lædre O. Valg av kontraktsstrategi i bygg- og anleggsprosjekt. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet; 2006.
16. Samset K. Prosjekt i tidligfasen. Norge: Tapir akademisk forlag; 2008.
17. Prosjekt Norge. Usikkerhet, risiko og muligheter: Norsk senter for prosjektledelse; 2019 [02.04.2019]. Available from: <http://v1.prosjektnorge.no/index.php?subsite=pus&pageId=430>.
18. Førland H. Usikkerhetsstyring: forskjell på trussel og mulighetsorientering. Stavanger: Universitetet i Stavanger; 2012.
19. Halleraker S, Bruland A, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. Fremdriftsplanlegging i bygge- og anleggsproduksjon: Et kompendium for emnet TBA4130 Produksjonsteknikk i BA-prosjekt. Institutt for bygg, anlegg og transport; 2014.

20. Patrick C. Construction project planning and scheduling. Upper Saddle River, N.J: Pearson Prentice Hall; 2004.
21. Standard Norge. Ledelsessystemer for kvalitet. Norge: Standard Norge; 2015.
22. Undervisningsbygg. Veileder - fordeler og ulemper med ulike entrepriserformer2007 09.04.2019]. Available from:
<https://www.anskaffelser.no/sites/anskaffelser/files/Veileder%20%E2%80%93%20fordeler%20og%20ulemper%20med%20ulike%20entrepriserformer%20-%20Undervisningsbygg.pdf>.
23. Levy OJ, Skjærstad EM, Torp O. Fremdriftsplanlegging i totalentrepriser - Prosessmodell for fremdriftsplanlegging. NTNU; 2017.
24. Holen LP. Samtaler med ekstern veileder. Soknedal: AF Gruppen AS;; 2019.
25. Schei TA. Samtaler med ekstern veileder. AF Gruppen AS; 2019.
26. Eikeland E. Skråstreksplanlegging vs. Gantt-planlegging for koordinering av flyten i byggverdikjeder. Grimstad: E. Eikeland; 2009.
27. Rolstadås, Olsson, Johansen, Langlo. Praktisk prosjektledelse. Trondheim: Fagbokforlaget; 2014.
28. Trimble. Tilos: Trimble; 2019 [26.03.2019]. Available from:
<https://construction.trimble.com/products-and-solutions/tilos>.
29. Gould FE, Joyce NE. Construction project management. 3rd ed. ed. Upper Saddle River, N.J: Pearson Prentice Hall; 2011.

9. Vedleggsliste

1. Artikkel – AF Gruppen måler grunnarbeidene i Soknedalstunnelen
2. Plakat – Planlegging og oppfølging av grunnarbeider i Soknedalstunnelen
3. Beregninger av fremdrift i Soknedalstunnelen
4. Fremdriftsplan av Gantt-diagram for Soknedalstunnelen
5. Fremdriftsplan av skråstrekdigram for Soknedalstunnelen
6. Fremdriftsplan av skråstrekdigram med faktisk fremdrift
7. Arbeidstegninger av grøftetverrsnitt

Planlegging og oppfølging av grunnarbeider i Soknedalstunnelen

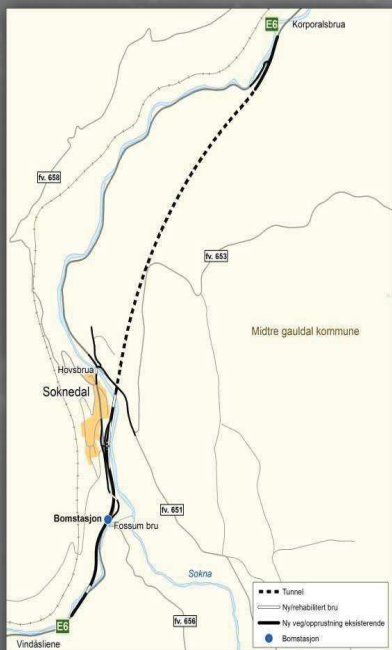
Planning and monitoring of groundworks in Soknedalstunnelen

NØKKELORD:

- Fremdrift
- Anleggsdrift
- Planverk
- Mengder
- Bemanning
- Erfaringer
- Kapasiteter
- Nøkkeltall

Med ønske om å få utarbeidet erfaringstall, og dermed grunnlag for beregning og drift av fremtidige tunnelprosjekter har AF Gruppen engasjert studenter som skriver bachelor ved NTNU.

Med studentenes rapport vil leseren få unik innsikt i grunnarbeidenes funksjon, fremdrift, bemanning og masse- og mengdebruk. Leseren vil tilegne seg kunnskaper om hvordan et slik anleggsprosjekt kan planlegges og drives, og hvilke metoder som kan være aktuelle å ta i bruk. Blant annet tar rapporten for seg en sammenlikning på bruk av gantt- og skråstrekplanverk med utgangspunkt i prosjektet.



Rapporten resulterer i en knippe nøkkeltall. Disse tallene forteller om prosjektets tidsbruk per meter tunnel i form av arbeidstimer og maskintimer. De kan forventes å være til nytte ved planlegging av fremtidige tunnelprosjekter.

Vedlegg 2

AF Gruppen måler grunnarbeidene i Soknedalstunnelen

Med ønske om å få utarbeidet erfaringstall, og dermed grunnlag for beregning og drift av fremtidige tunnelprosjekter har AF Gruppen engasjert byggingeniørstudenter til å måle fremdriften på produksjon av grunnarbeidene i Soknedalstunnelen. Studentene har gjennom sin bacheloroppgave planlagt arbeidene, vurdert aktuelle planleggingsmetoder, beregnet bruk av kapasiteter og mengder og kontinuerlig målt og vurdert produksjonen.

Braker studenter

Etter gjennomslag på tunnelen den 22.januar begynte AF Gruppen med sine etterarbeider. Entreprenøren som har en hovedentreprise på det 6,5 kilometer nye veistrekket mellom Vindåsliene og Korporalsbrua har også ambisjoner om å bruke prosjektet som en erfaring i fremtidige entrepriser. De har i den anledning brukt studenter som skriver avsluttende oppgave for sine studier ved NTNU for å kunne rapportere på grunnarbeidene i Soknedalstunnelen.

Planlegger og vurderer

Anleggsteknikkstudent Andreas Skain og Husbyggingsteknikkstudent Martin Manstad har siden gjennomslaget i samråd med AF Gruppen og underentreprenørens anleggsledelse utviklet en rapport på arbeidene i tunnelen. Fremdriften og ressursbruken er målt og sammenliknet med studentenes egen fremdriftsplan og ressursplan. Ved lesing av deres rapport fremkommer aktivitetenes funksjon, fremdrift, material- og ressursbruk, samt andre aktuelle forklaringer som omhandler grunnarbeidenes produksjon. Som leser får man et godt innblikk i planleggingen og driften av et slikt tunnelprosjekt. Studentene har i planleggingsfasen tatt i bruk de ulike fremdriftsplanverkene gantt-diagram og skråstrekkdiagram, de har også fremstilt en vurdering av planverkene anvendelighet i et lineært anleggsprosjekt med Soknedalstunnelen som eksempel. I både gjennomføringsfasen og vurderingsfasen kommer studentene frem til at skråstrekkdiagram er det mest optimale for detaljplanlegging av slike prosjekter.



Andreas Skain overvårer arbeidene med bunnrensen i Soknedalstunnelen

Utvikler verdifulle tall

Etterhvert som målingene er blitt gjennomført på tunnelens ulike aktiviteter har studentene utviklet tall på arbeids- og maskintimer brukt pr.meter tunnel for bunnrensk, sprenging av kumutvidelser og tverrgrøfter, etablering av grøfter og anleggsvei, kabelkanal, oppbygging av planum og forsterkningslag, bærlag og bindlag. Som hovedformål med oppgaven håper studentene og AF Gruppen at disse tallene kan komme til nytte for entreprenøren kommende anleggsprosjekter.



Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk

**VEDLEGG 3: BEREGNINGER
OG FORKLARINGER TIL
FREMDRIFTSPLAN
Soknedalstunnelen E6**

Innholdsfortegnelse

1. Sprenging av kummer og tverrgrøfter	1
2. Bunnrensk	2
2.1 Bortkjøring av masser fra mellomlager etter rensk.....	4
3. Anleggsvei	5
4. Grøftegraving, setting av kummer, OV og drens inkl. kryssinger	6
4.1 Isolering av grøfter	6
5. Plasstøpte kabelkanaler	7
6. Oppbygning til planum	8
7. Forsterkningslag	9
7.1 Nedre forsterkningslag	9
7.2 Øvre forsterkningslag inkl.forkiling.....	10
8. Vegdekke	11
8.1 Bærelag.....	11
8.2 Bindlag	12

1. Sprenging av kummer og tverrgrøfter

Tilgjengelige kapasiteter gjør at det sprenges gjennomsnittlig 9 kummer per dag. Kummer sprenges på nattskift, mens rensk foregår på dagtid. Bruk av nødvendige kapasiteter til ulike tidspunkt gjør at kum- og tverrgrøftsprenging er tilpasset til å ferdigstilles jevnt før bunnrensk.

2. Bunnrensk

Beregningene er gjort med hensyn til følgende premisser og antagelser:

- Gjennomsnittlig anleggsveifart tunnel = 15 km/t
- Gjennomsnittlig anleggsveifart grusvei = 20 km/t
- Gjennomsnittlig kjørelengde i tunnel = 3,5 km
- Kjørelengde til og fra tunnel til dumping på Hovsmoen = 15km
- Gitt gjennomsnittlig egenvekt på masser 2 000 kg/m³
- 4 stk A30 dumpere med kapasitet 29 tonn (hvorav to på kjøring fra tunnel og to fra mellomlager)
- 2 stk A40 dumpere med kapasitet 39 tonn
- Gitt gjennomsnittlig masse per m²= 1 m³
- Beregnet areal tunnel = 50 000 m²
- 6 arbeidsdøgn per uke
- Bunnrensk utføres parallelt med sprenging av kummer og tverrgrøfter. Derfor kjøres bunnrensk kun på dagskift (10t) , 6 dager i uka.
- Gjennomsnittlig arbeidsdøgn = 10 t

Antatt masser i tunnel før oppstart bunnrensk:

$$1 \text{ m} \times 50\,000 \text{ m}^2 = 50\,000 \text{ m}^3$$

Kapasitet dumpere:

A30:

$$\frac{29\,000 \text{ kg}}{2\,000 \text{ kg/m}^3} = 14,5 \text{ m}^3$$

A40:

$$\frac{39\,000 \text{ kg}}{2\,000 \text{ kg/m}^3} = 19,5 \text{ m}^3$$

Tidsbruk per lass:

- Tipp: 3 minutter
- Fyll: 3 minutter

A30 dumpere som kjører direkte til Hovsmoen:

I tunell:

$$\frac{3\text{km}}{10\text{ km/t}} = 0,3\text{ t} = 18\text{ minutter}$$

Til Hovsmoen:

$$\frac{15\text{km}}{40\text{ km/t}} = 0,375\text{ t} = 22,5\text{min}$$

Total tid per lass A30 fra tunnel (2stk) :

Tid kjøring tunell + tid til Hovsmoen + tipp + fyll

$$18\text{ min} + 22,5\text{ min} + 3\text{ min} + 3\text{ min} = \mathbf{46,5\text{ minutter}}$$

Tidsbruk per lass A40 til mellomlager:

Tid kjøring tunnel + tipp + fyll

$$18\text{ min} + 3\text{ min} + 3\text{ min} = \mathbf{24\text{ minutter}}$$

Tidsbruk per lass A30 fra mellomlager(2 stk) :

Kjøring hovsmoen + tipp + lass

$$22,5\text{ min} + 3\text{ min} + 3\text{ min} = \mathbf{28,5\text{ minutter}}$$

Utkjøring per døgn A30:

10 t kjøring = 600 min

$$\frac{600\text{ min/døgn}}{46,5\text{ min}} = 13\text{ lass/dag}$$

$$13\text{ lass} \times 14,5\text{ m}^3 = 188,5\text{ m}^3/\text{døgn dumper}$$

Utkjøring per døgn A40 til mellomlager:

$$\frac{600\text{ min/døgn}}{24\text{ min/lass}} = 25\text{ lass/døgn}$$

$$25\text{ lass} \times 19,5\text{ m}^3 = 487,5\text{ m}^3/\text{døgn}$$

Total utkjøring fra tunnel per døgn:

2 stk A30 + 2 stk A40

$$2 \times 188,5 \text{ m}^3 + 2 \times 487,5 \text{ m}^3 = 1\,351 \text{ m}^3/\text{døgn}$$

Total tid for bunnrensk:

$$\frac{50\,000 \text{ m}^3}{1\,351 \text{ m}^3} = 37 \text{ døgn}$$

2.1 Bortkjøring av masser fra mellomlager etter rensk

Bortkjøring fra mellomlager parallelt med rensk A30 (2stk):

$$\frac{600 \text{ min/døgn}}{28,5 \text{ min/lass}} = 21 \frac{\text{lass}}{\text{døgn}} \text{ dumper}$$

$$21 \frac{\text{lass}}{\text{døgn}} \times 14,5 \text{ m}^3/\text{lass} \times 2 \text{ dumpere A30} = 609 \text{ m}^3/\text{døgn}$$

Total bortkjøring fra mellomlager i perioden:

$$609 \text{ m}^3 \times 37 \text{ døgn} = 22\,533 \text{ m}^3$$

Masser gjenliggende på mellomlager etter bunnrensk:

Masser kjørt til mellomlager av A40 – Masser kjørt bort av A30

$$37 \text{ døgn} \times 2 \text{ dumpere A40} \times 48,8 \text{ m}^3/\text{døgn} - 22\,533 \text{ m}^3 = 13\,542 \text{ m}^3$$

Total bortkjøring per døgn med fire A30 dumpere:

$$\frac{600 \text{ min/døgn}}{28 \text{ min/lass}} = 21 \frac{\text{lass}}{\text{døgn}} \text{ dumper}$$

$$21 \text{ lass/døgn} \times 14,5 \text{ m}^3/\text{lass} = 304,5 \text{ m}^3/\text{døgn}$$

Bortkjøring pr døgn :

$$4 \text{ dumpere} \times 304,5 \text{ m}^3 = 1\,218 \text{ m}^3/\text{døgn}$$

Total tid bortkjøring:

$$\frac{13\,542 \text{ m}^3}{1\,218 \text{ m}^3/\text{døgn}} = 12 \text{ døgn}$$

3. Anleggsvei

Sammenslåtte kapasiteter for anleggsvei, etablering av kummer, graving av grøfter, OV og drens inkl.kryssinger og kabelkanaler (OPI-kanal) er følgende:

- To skift per dag
- 6 arbeidsdager i uka
- 4 gravemaskiner, 2 á 15 tonn og 2 á 20 tonn
- 4 lastebiler leverer masser
- 11 arbeidere/skift ekskludert lastebilsjåfører
- Kapasitetene kan ved behov sjongleres mellom aktivitetene ved behov

Oppstart på etablering av anleggsvei: 11.02

Følgende minimumskrav er fastsatt grunnet montering av tekniske bygg:

- Pr. 29 600 innen 23.03
- Pr. 31 750 innen 23.04

RISA Entreprenør AS er underentreprenør på alle disse arbeidene. De har som ambisjon utfra egne erfaringstall om å drive 50 – 70 meter per fulle skift (10 timer). Dette tilsvarer 88 meter per dag.

Det antas at gjennomsnittlig bruk av kapasiteter på anleggsvei er en graver, en vals (fra AFA), en grøftarbeider og tre lastebiler som leverer masser.

Planlagt total tid for anleggsvei:

$$\frac{3\,500\text{ m}}{88\text{ m/dag}} = \mathbf{40\text{ dager}}$$

- Forventet fremdrift Pr. 29 600 den 28.02
- Forventet fremdrift Pr. 31 750 den 30.03

4. Grøftegraving, setting av kummer, OV og drens inkl. kryssinger

Sammenslåtte kapasiteter for anleggsvei, etablering av kummer, graving av grøfter, OV og drens inkl.kryssinger og kabelkanaler (OPI-kanal) er følgende:

- To skift per dag
- 6 arbeidsdager i uka
- 4 gravemaskiner, 2 á 15 tonn og 2 á 20 tonn
- 4 lastebiler leverer masser
- 11 arbeidere/skift ekskludert lastebilsjåfører
- Kapasitetene kan ved behov sjongleres mellom aktivitetene ved behov

Oppstart på aktivitet: 13.02

RISA Entreprenør AS er underentreprenør på alle disse arbeidene. De har som ambisjon utfra egne erfaringstall om å drive 50 – 70 meter per fulle skift (10 timer). Dette tilsvarer 88 meter per dag.

Det antas at gjennomsnittlig bruk av kapasiteter på grøftegraving, setting av kummer, OV og drens inkl.kryssinger er 3 gravere og 3 grøftarbeidere.

Planlagt total tid for grøftegraving, setting av kummer, OV og drens inkl.kryssinger:

$$\frac{3\,500\text{ m}}{88\text{ m/dag}} = 40\text{ dager}$$

4.1 Isolering av grøfter

Isolering av grøfter gjøres 500 meter fra påhuggene og inn i tunnelen for frostsikring i grøftene. Det antas at disse arbeidene tar en dag per side av tunnelen. Lastebil som blåser leca-isolasjon over grøftene brukes, og vil være arbeidernes eneste kapasitet.

Total tid isolering av grøfter:

2 dager

5. Plasstøpte kabelkanaler

Sammenslåtte kapasiteter for anleggsvei, etablering av kummer, graving av grøfter, OV og drens inkl.kryssinger og kabelkanaler (OPI-kanal) er følgende:

- To skift per dag
- 6 arbeidsdager i uka
- 4 gravemaskiner, 2 á 15 tonn og 2 á 20 tonn
- 4 lastebiler leverer masser
- 11 arbeidere/skift ekskludert lastebilsjåfører
- Kapasitetene kan ved behov sjongleres mellom aktivitetene ved behov

Oppstart på aktivitet: 14.02

RISA Entreprenør AS er underentreprenør på alle disse arbeidene. De har som ambisjon utfra egne erfaringstall om å drive 50 – 70 meter per fulle skift (10 timer). Dette tilsvarer 88 meter per dag.

Det antas at gjennomsnittlig bruk av kapasiteter på etablering av OPI-kanaler er 3 grøftarbeidere.

Planlagt total tid for etablering av OPI-kanal:

$$\frac{3\,500\text{ m}}{88\text{ m/dag}} = 40\text{ dager}$$

6. Oppbygning til planum

Beregningene er gjort med hensyn til følgende premisser og antagelser:

- Det er regnet med en teoretisk snittoppbygning på 0,6 meter gjennom hele tunneløpet
- Teoretisk bredde mellom grøfter: 7 meter
- Areal for oppbygning til planum i vegbane: $7\text{ m} \times 3\,500\text{ m} = 24\,500\text{ m}^2$
- Beregnet areal for snunisjer og havarilommer: 3 740 m
- Bruk av doser er begrensningen på fremdrift

Total oppbygning:

$$(24\,500\text{ m}^2 + 3\,740\text{ m}^2) \times 0,6\text{ m} = 16\,944\text{ m}^3$$

Erfaringstall fra JA-2 prosjekt: Utleggingstall for doser = $48\text{ am}^3/\text{time}$

Utlegging per dag:

$$48 \frac{\text{am}^3}{\text{time}} \times 17,6\text{ timer} = 844,8\text{ am}^3/\text{dag}$$

Total tid for utlegging:

$$\frac{16\,944\text{ m}^3}{844,8\text{ am}^3/\text{dag}} = \mathbf{22\text{ dager}}$$

7. Forsterkningslag

7.1 Nedre forsterkningslag

Beregningene er gjort med hensyn til følgende premisser og antagelser:

- Teoretisk tykkelse: 0,4 meter gjennom hele tunneløpet
- Teoretisk bredde i veibane: 11 meter
- Areal veibane: $11\text{ m} \times 3\,500\text{ m} = 38\,500\text{ m}^2$
- Beregnet areal for snunisjer og havarilommer: 3 740 m
- Bruk av doser er begrensningen på fremdrift

Totale masser:

$$(38\,500\text{ m}^2 + 3\,740\text{ m}^2) \times 0,4\text{ m} = 16\,896\text{ m}^3$$

Total tid utlegging:

$$\frac{16\,896\text{ m}^3}{844,8\text{ am}^3/\text{døgn}} = \mathbf{20\text{ dager}}$$

7.2 Øvre forsterkningslag inkl.forkiling

Beregningene er gjort med hensyn til følgende premisser og antagelser:

- Teoretisk tykkelse: 0,24 meter gjennom hele tunnellopet
- Teoretisk bredde i veibane: 10 meter
- Areal veibane: $10\text{ m} \times 3\,500\text{ m} = 35\,000\text{ m}^2$
- Beregnet areal for snunisjer og havarilommer: 3 740 m
- Bruk av veghøvel er begrensningen på fremdrift

Erfaringstall fra JA-2 prosjekt: Utleggingstall for høvel = $42,6\text{ am}^3/\text{time}$

Total oppbygning:

$$(35\,000\text{ m}^2 + 3\,740\text{ m}^2) \times 0,24\text{ m} = 9\,298\text{ m}^3$$

Utlegging per dag:

$$42,6 \frac{\text{am}^3}{\text{time}} \times 17,6\text{ timer} = 750\text{ am}^3/\text{dag}$$

Total tid for utlegging:

$$\frac{9\,298\text{ m}^3}{750\text{ m}^3/\text{dag}} = \mathbf{13\text{ dager}}$$

8. Vegdekke

8.1 Bærelag

Beregningene er gjort med hensyn til følgende premisser og antagelser:

- Bredde på bærelag: 9,5 meter
- Tykkelse på bærelag 120 mm
- Oppgitt kapasitet fra Veidekke Industri AS: 950 tonn/skift
- Areal i veibane: $9,5 \text{ m} \times 3500 \text{ m} = 33\,250 \text{ m}^2$
- Beregnet areal for snunisjer og havarilommer: $3\,740 \text{ m}^2$
- Oppgitt densitet på Ag 16: $2,553 \text{ tonn/m}^3$

Utlegging per skift:

$$\frac{950 \text{ tonn/skift}}{2,553 \text{ tonn/m}^3} = 372 \text{ m}^3/\text{skift}$$

$$\frac{372 \text{ m}^3/\text{skift}}{0,12 \text{ m}} = 3\,100 \text{ m}^2/\text{skift}$$

Total tid utlegging:

$$\frac{33\,250 \text{ m}^2 + 3\,740 \text{ m}^2}{3\,100 \text{ m}^2/\text{skift}} = 12 \text{ skift}$$

12 skift = 120 timer = **7 dager**

8.2 Bindlag

Beregningene er gjort med hensyn til følgende premisser og antagelser:

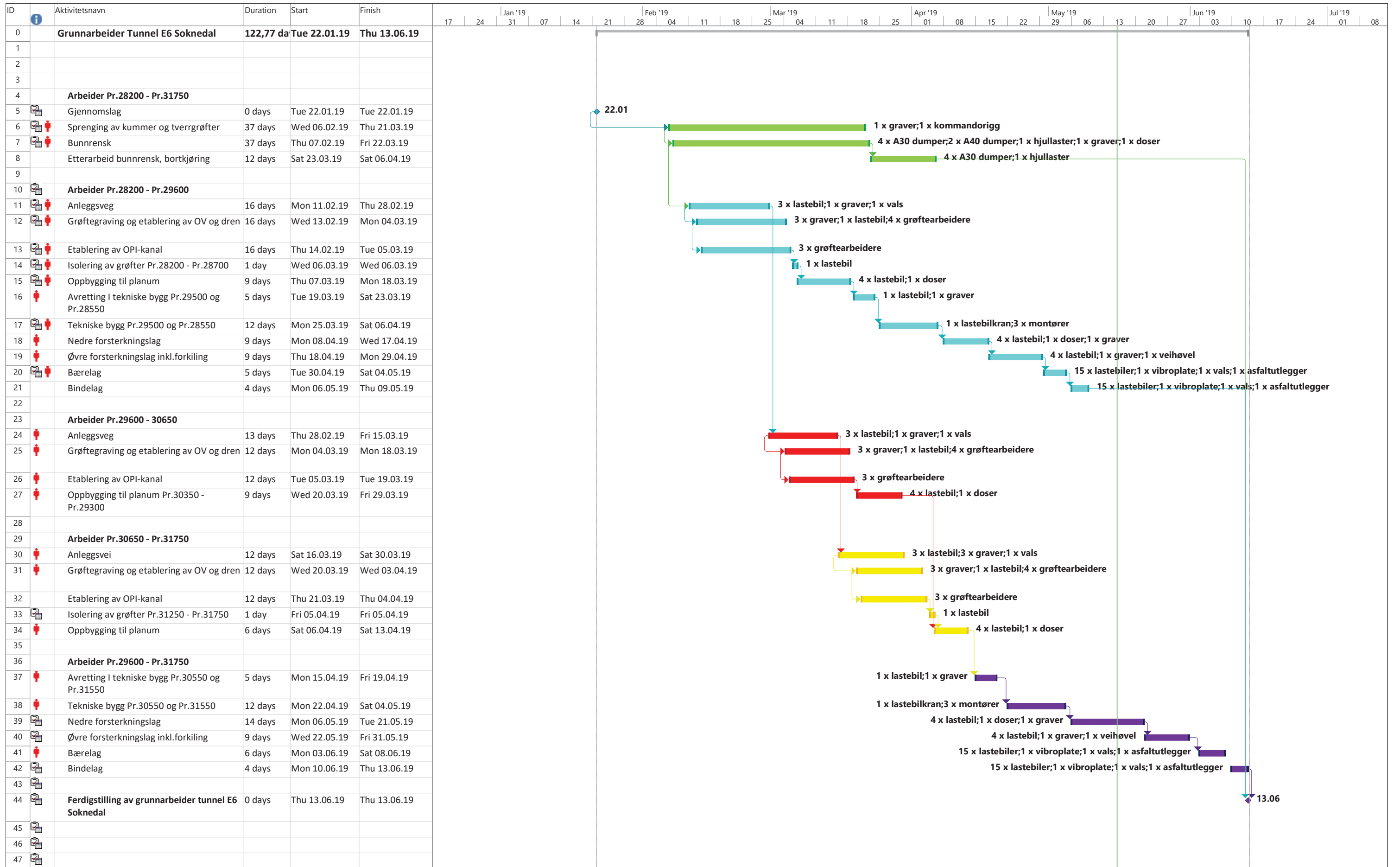
- Bredde på bindlag: 9,5 meter
- Tykkelse på bindlag: 40 mm
- Oppgitt kapasitet fra Veidekke Industri AS: $6600 \text{ m}^2/\text{skift}$
- Areal i veibane: $9,5 \text{ m} \times 3500 \text{ m} = 33\,250 \text{ m}^2$
- Beregnet areal for snunisjer og havarilommer: $3\,740 \text{ m}^2$

Total tid utlegging:

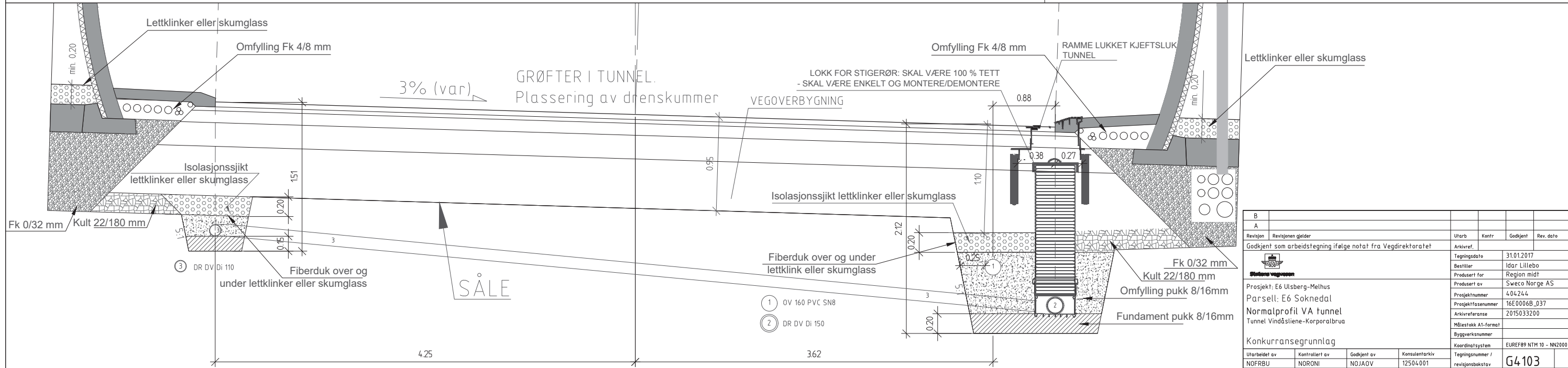
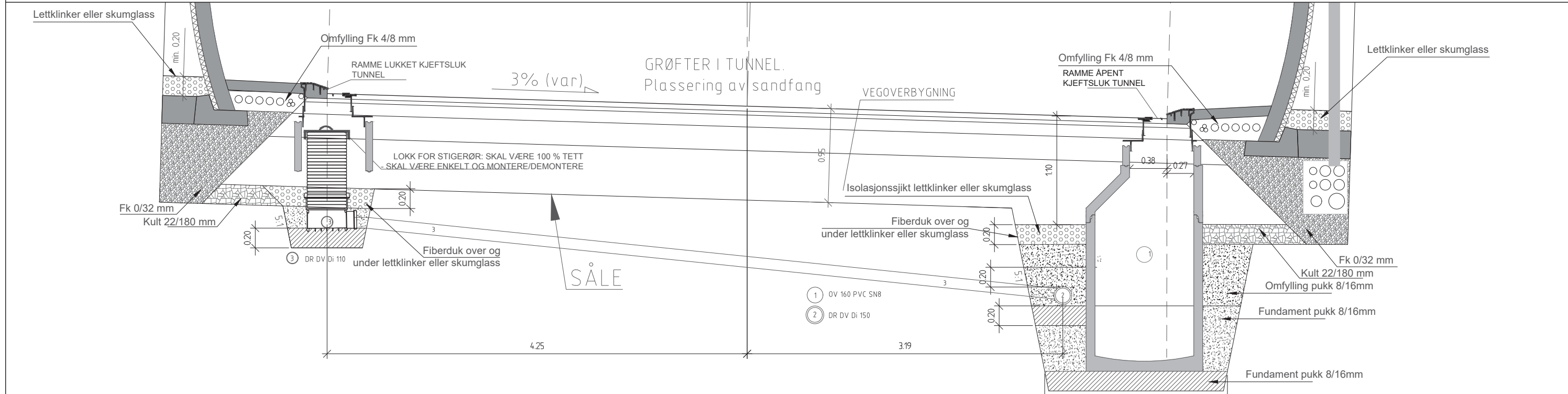
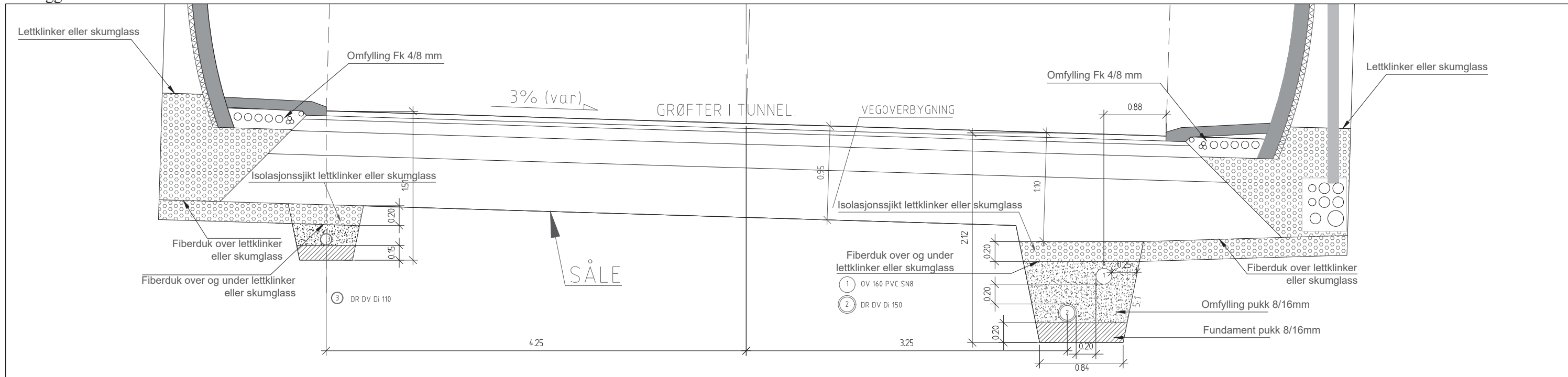
$$\frac{33\,250 \text{ m}^2 + 3\,740 \text{ m}^2}{6600 \text{ m}^2/\text{skift}} = 5,6 \text{ skift}$$

5,6 skift = 56 timer = **4 dager**

Vedlegg 4



Prosjekt: Grunnarbeider Tunnel Dato: Thu 16.05.19	Aktivitet		Prosjektsammendrag		Manuell aktivitet		Bare start		Eksterne aktiviteter		Bare varighet		Manuelt sammendrag		Ekstern milepæl		Tidsfrist		Slippage
	Deling		Inaktiv aktivitet		Bare varighet		Bare slutt		Eksterne aktiviteter		Bare varighet		Manuelt sammendrag		Ekstern milepæl		Tidsfrist		Slippage
	Milepæl		Inaktiv milepæl		Bare varighet		Bare slutt		Eksterne aktiviteter		Bare varighet		Manuelt sammendrag		Ekstern milepæl		Tidsfrist		Slippage
	Sammendrag		Inaktivt sammendrag		Bare varighet		Bare slutt		Eksterne aktiviteter		Bare varighet		Manuelt sammendrag		Ekstern milepæl		Tidsfrist		Slippage



B				
A				
Revisjon	Revisjonen gjelder	Utført	Kontr.	Godkjent
Godkjent som arbeidstegning ifølge notat fra Vegdirektoratet		Rev. dato		
Tegningsdato		31.01.2017		
Bestiller		Idar Lillebo		
Produsert for		Region midt		
Produsert av		Sweco Norge AS		
Prosjektnummer		404244		
Prosjektfasen		16E0068_037		
Arkivreferanse		2015033200		
Målestokk A1-format				
Byggeværnummer				
Koordinatssystem		EUREF89 NTM 10 - NN2000		
Konkurranseskrift				
Utført av	Kontrollert av	Godkjent av	Konsulentarkiv	Tegningsnummer / revisjonsbokstav
NORFBU	NORONI	NOJAOV	12504/001	G4103

