

Ida Rongved

# Optimalisering av kontraktstrategi for injeksjonsarbeider

Et casestudie av samferdselsprosjektene Nytt  
dobbeltspor Drammen-Kobbervikdalen og  
Fylkesveg 659 Norøyvegen

Masteroppgave i Tekniske geofag

Veileder: Karl Gunnar Holter

Juni 2021



Ida Rongved

# Optimalisering av kontraktstrategi for injeksjonsarbeider

Et casestudie av samferdselsprosjektene Nytt dobbeltspor Drammen-Kobbervikdalen og Fylkesveg 659 Norøyvegen

Masteroppgave i Tekniske geofag  
Veileder: Karl Gunnar Holter  
Juni 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for geovitenskap og petroleum



Kunnskap for en bedre verden



## Sammendrag

Injeksjon i berg er et veletablert prinsipp for å redusere innlekkasjen til bergrom i Norge. Likevel er manglende kunnskap og utilstrekkelige kontraktuelle hjelpemidler for å håndtere usikkerhet tilknyttet innlekkasjer, ansett som vanlige årsaker til kostnadsoverskridelser for undergrunnsprosjekter. Denne masteroppgaven tar derfor sikte på å sammenligne hvordan ulike kontraktuelle virkemidler tilrettelegger for oppnåelse av suksesskriterier for injeksjonsarbeider, og har videre til hensikt å reflektere rundt hva som utgjør en optimal kontraktstrategi.

Forskningsstudien er utført ved å analysere kontraktene og injeksjonsarbeidene på to forskjellige utbyggingsprosjekter: 1) *Nytt dobbeltspor Drammen-Kobbervikdalen* omfatter en urban jernbanetunnel, med sensitivt ytre miljø og strenge innlekkasje- og funksjonskrav. Med bakgrunn i behovet for grunnvannskontroll, utføres systematisk forinjeksjon langs hele tunnelstrekningen. Veidekke er kontrahert som totalentreprenør av Bane NOR, og står ansvarlig for prosjektering og styring av injeksjonsarbeidene. Oppgjøret mellom kontraktspartene reguleres av fastpriser med reguleringsmekanismer for overskridende mengder. 2) *Fylkesveg 659 Nordøyvegen* omfatter tre undersjøiske vegtunneler i Ålesund kommune. Innlekkasjekravene er moderate og forinjeksjon utføres behovsprøvd. Likevel er det nødvendig med tilstrekkelige tetteresultater for å tilfredsstille anleggets funksjonskrav, opprettholde fremdrift og ivareta sikkerhet under driving. Skanska er kontrahert som hovedentreprenør av Møre og Romsdal Fylkeskommune. Kontrakten er byggherrestyrt med oppgjør etter enhetspriser og ekvivalenttidsregnskap.

Intervjuer, feltobservasjoner og gjennomgang av prosjektspesifikke dokumenter er benyttet for å kartlegge hvilke suksesskriterier som er gjeldende for injeksjonsarbeidet. Videre er ulike analyser benyttet for å identifisere seks kritiske suksessfaktorer kontrakten bør ivareta. Det fremgår at ingen av de evaluerte oppgjørsformene gir tilstrekkelig balanse mellom byggherrens behov for kostnadskontroll og entreprenørens inntjeningsmulighet. For å fordele økonomisk risiko rettferdig, samt skape et kostnadsbesparende insentiv til entreprenør, bør injeksjonsarbeider gjøres opp etter prinsippet *Kost pluss med insentiver*. Videre bør styrings- og prosjekteringsansvar plasseres hos entreprenør for å tilrettelegge for kompetanseheving og optimale metodevalg. I tillegg kan bruk av insentivordninger som ivaretar HMS- og kvalitetskrav skape felles målforståelse og påfølgende redusere prosjektkostnader.

## Abstract

Rock mass grouting is a well-established principle for reducing the water inflow to underground excavations in Norway. However, lack of knowledge and insufficient contractual tools to deal with uncertainty associated with such inflow, are considered common causes of cost overruns for underground projects. Therefore, this master's thesis aims to compare how different contracts facilitate the achievement of success criteria for grouting, and further reflects on what constitutes an optimal contract strategy.

The research study is carried out by analyzing the contracts and grouting process on two different underground projects: 1) *New double track Drammen-Kobbervikdalen* is an urban railway tunnel with sensitive external environment and strict leakage and functional requirements. Due to the need of water control, systematically pre-grouting is executed continuously along with the tunnel advance. The contractor, Veidekke, is allocated the responsibility for the design and management of the grouting process. Furthermore, the reimbursement from the owner, Bane NOR, follows a principle of fixed price with regulations for changed conditions. 2) *Regional road 659 Nordøyvegen* consists of three subsea road tunnels in Ålesund municipality. The leakage requirements are moderate, and pre-grouting is therefore initiated based on measured water inflow from probeholes. However, sufficient pre-grouting results are required to satisfy the tunnel's functional requirements, maintain advance of the tunnel face and ensure safety during construction. Skanska is contracted by Møre og Romsdal Fylkeskommune, and the grouting process are managed by the client. Unit prices and equivalent time accounting regulate the cost settlement between owner and contractor.

Interviews, field observations and a review of project specific documents have been carried out in order to understand the general success criteria for grouting. Further, different analyzes are used to identify six critical success factors that may apply as requirements to the contract. None of the evaluated financial settlement principles give a sufficient balance between the owners need of cost control and the contractors reimbursement. In order to maintain a fair risk allocation, and create an incentive for the contractor to be cost efficient, the amount of grouting can be reimbursed by using *Cost pluss incentive contracts*. Furthermore, the responsibility for the management and design of the grouting process is favourably allocated to the contractor. In addition, incentives which take care of HSE and quality requirements, may establish a common goal and reduce project costs.

# Forord

Denne masteroppgaven markerer avslutningen på mitt 5-årige studieløp på Tekniske Geofag, Ingeniørgeologi og bergmekanikk.

Arbeidet med denne masteroppgaven har vært utrolig lærerikt. Ved å kombinere ingeniørgeologiske problemstillinger med fagfelt som prosjektledelse og kontraktstrategi har jeg fått en bedre forståelse av hvordan anleggsprosjekter fungerer i sin helhet. Oppgavens tematikk har også bydd på enkelte utfordringer, med store mengder rådata og en rekke ukjente begreper og analyseverktøy. Forhåpentligvis vil jeg dra godt nytte av forskningprosessen og læringsutbyttet på veien videre.

Først vil jeg takke alle intervjuobjekter fra Drammen-Kobbervikdalen og Nordøyvegen for deres verdifulle bidrag til denne oppgaven. Store deler av mitt datagrunnlag er takket være deres imøtekommenhet, hjelpelighet og tålmodighet. Videre vil jeg rette en stor takk til mine medveiledere og kontaktpersoner, Ingvild Lausund fra Veidekke og Anne-Brit Moen fra Skanska, for god tilrettelegging og oppfølging av feltarbeider. Dere har bidratt til en stabil og trygg fremgang, til tross for usikkerheten knyttet til koronapandemien.

I tillegg ønsker jeg å takke min mor, Nina Rongved, for mange spennende diskusjoner og samtaler rundt oppgavens tematikk. Videre vil jeg takke Øystein Fure for motiverende matpakker og mange fine løpeturer som har gitt avbrekk fra skolehverdagen. Til alle mine studievenner - takk for fem fantastiske år på NTNU!

Til slutt vil jeg takke min veileder, førsteamanuensis Karl Gunnar Holter, for gode ideer, engasjement og konstruktive tilbakemeldinger.

# Innhold

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introduksjon</b>   | <b>15</b> |
| 1.1      | Bakgrunn for oppgaven . . . . .                             | 15        |
| 1.2      | Problemstilling . . . . .                                   | 16        |
| 1.3      | Avgrensninger . . . . .                                     | 17        |
| <b>2</b> | <b>Teori</b>  | <b>18</b> |
| 2.1      | Prosjektstyring og prosjektsuksess . . . . .                | 18        |
| 2.1.1    | Prosjektstyring . . . . .                                   | 18        |
| 2.1.2    | Suksesskriterier og suksessfaktorer . . . . .               | 19        |
| 2.1.3    | Analyse av prosjektkarakteristikk . . . . .                 | 20        |
| 2.1.4    | Interessentanalyse . . . . .                                | 24        |
| 2.2      | Kontraktstrategi og kontraktsrett . . . . .                 | 26        |
| 2.2.1    | Myndigheter i anleggsbransjen . . . . .                     | 26        |
| 2.2.2    | Kontraktstrategi . . . . .                                  | 27        |
| 2.2.3    | Virkemidler for utvelgelse av leverandør . . . . .          | 29        |
| 2.2.4    | Virkemidler for fordeling av ansvar . . . . .               | 29        |
| 2.2.5    | Virkemidler for prosess . . . . .                           | 34        |
| 2.2.6    | Suksess i undergrunnsprosjekter . . . . .                   | 37        |
| 2.3      | Tetting av bergrom . . . . .                                | 39        |
| 2.3.1    | Tettestrategi og funksjonskrav . . . . .                    | 39        |
| 2.3.2    | Bergmassens hydrauliske egenskaper . . . . .                | 44        |
| 2.3.3    | Injeksjonsmetodikk . . . . .                                | 46        |
| 2.3.4    | Optimalisering av ressursforbruk ved forinjeksjon . . . . . | 53        |
| <b>3</b> | <b>Anvendt metode</b>                                       | <b>56</b> |
| 3.1      | Problemstilling . . . . .                                   | 56        |
| 3.1.1    | Analyse av problemstilling . . . . .                        | 57        |
| 3.2      | Undersøkellesdesign . . . . .                               | 57        |
| 3.2.1    | Begrunnelse for valg av undersøkelsesdesign . . . . .       | 58        |



|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 3.3      | Datainnsamlingsmetoder . . . . .                                   | 59         |
| 3.3.1    | Kvalitative datainnsamlingsmetoder . . . . .                       | 59         |
| 3.3.2    | Kvantitativ datainnsamling . . . . .                               | 61         |
| <b>4</b> | <b>Prosjektbeskrivelser</b>  | <b>62</b>  |
| 4.1      | Nytt dobbeltspor Drammen-Kobbervikdalen . . . . .                  | 62         |
| 4.1.1    | Regional berggrunnsgeologi . . . . .                               | 63         |
| 4.1.2    | Lokal ingeniørgeologi . . . . .                                    | 65         |
| 4.1.3    | Funksjonskrav . . . . .  | 73         |
| 4.1.4    | Injeksjonsmetodikk . . . . .                                       | 74         |
| 4.1.5    | Kontraktstrategi . . . . .   | 76         |
| 4.2      | Fylkesveg 659 Nordøyvegen . . . . .                                | 79         |
| 4.2.1    | Regional berggrunnsgeologi . . . . .                               | 80         |
| 4.2.2    | Lokal ingeniørgeologi . . . . .                                    | 81         |
| 4.2.3    | Funksjonskrav . . . . .  | 86         |
| 4.2.4    | Injeksjonsmetodikk . . . . .                                       | 87         |
| 4.2.5    | Kontraktstrategi . . . . .   | 88         |
| <b>5</b> | <b>Analyser og resultater</b>                                      | <b>90</b>  |
| 5.1      | Drammen-Kobbervikdalen . . . . .                                   | 90         |
| 5.1.1    | Prosjektkarakteristikk . . . . .                                   | 91         |
| 5.1.2    | Identifisering av ulike perspektiver: Interessentanalyse . . . . . | 97         |
| 5.1.3    | Fordeling av styringsmuligheter . . . . .                          | 103        |
| 5.1.4    | Fordeling av økonomisk usikkerhet . . . . .                        | 107        |
| 5.2      | Nordøyvegen . . . . .  | 112        |
| 5.2.1    | Prosjektkarakteristikk . . . . .                                   | 113        |
| 5.2.2    | Identifisering av ulike perspektiver: Interessentanalyse . . . . . | 119        |
| 5.2.3    | Fordeling av styringsmuligheter . . . . .                          | 122        |
| 5.2.4    | Fordeling av økonomisk usikkerhet . . . . .                        | 125        |
| <b>6</b> | <b>Synteser av resultater</b>                                      | <b>130</b> |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 6.1      | Suksesskriterier og kritiske suksessfaktorer for injeksjonsarbeider . . . . .           | 130        |
| 6.1.1    | Syntese av injeksjonsarbeidenes karakteristikk og interessentens perspektiver . . . . . | 130        |
| 6.1.2    | Identifiserte kritiske suksessfaktorer for injeksjonsarbeider . . . . .                 | 132        |
| 6.2      | Kontraktstrategiens ivaretagelse av kritiske suksessfaktorer . . . . .                  | 135        |
| 6.2.1    | Vurdering av kontraktstrategi på Drammen-Kobbervikdalen . . . . .                       | 135        |
| 6.2.2    | Vurdering av kontraktstrategi på Nordøyvegen . . . . .                                  | 140        |
| <b>7</b> | <b>Diskusjon</b>  | <b>146</b> |
| 7.1      | Optimalisering av kontraktstrategi for injeksjonsarbeider . . . . .                     | 146        |
| 7.1.1    | Virkemidler for fordeling av ansvar . . . . .   | 146        |
| 7.1.2    | Virkemidler for prosess . . . . .   | 154        |
| 7.2      | Resultatenes gyldighet og pålitelighet . . . . .  | 157        |
| 7.2.1    | Resultatenes interne gyldighet . . . . .  | 157        |
| 7.2.2    | Resultatenes eksterne gyldighet . . . . .   | 158        |
| 7.2.3    | Datagrunnlaget og resultatenes pålitelighet . . . . .                                   | 160        |
| 7.3      | Videre arbeid . . . . .   | 161        |
| <b>8</b> | <b>Konklusjoner</b>   | <b>163</b> |
| 8.1      | Hovedfunn . . . . .   | 163        |
| 8.1.1    | Kritiske suksessfaktorer for injeksjonsarbeider . . . . .                               | 163        |
| 8.1.2    | Kontraktstrategienes ivaretagelse av kritiske suksessfaktorer . . . . .                 | 163        |
| 8.1.3    | Optimalisering av kontraktstrategi . . . . .  | 164        |
|          | <b>Referanser</b>   | <b>165</b> |
| <b>A</b> | <b>Vedlegg</b>  | <b>I</b>   |
| A.1      | Intervjuskjema . . . . .  | I          |
| A.2      | Drammen-Kobbervikdalen . . . . .  | II         |
| A.2.1    | Arbeidsprosedyre for injeksjon . . . . .  | II         |
| A.2.2    | Datagrunnlag injeksjonsrapporter . . . . .  | V          |
| A.2.3    | Faktisk forbruk mot estimerte mengder . . . . .   | VIII       |

|       |   |       |
|-------|---|-------|
| A.2.4 | Beregning av stufitimeverdi . . . . .                           | IX    |
| A.3   | Nordøyvegen . . . . .   | XI    |
| A.3.1 | Vertikalprofiler . . . . .                                      | XI    |
| A.3.2 | Eksempel på kontrollørmelding . . . . .                         | XIII  |
| A.3.3 | Datagrunnlag injeksjonsrapporter og kontraktsgrunnlag . . . . . | XIV   |
| A.3.4 | Entreprenørens inntjeningsmulighet . . . . .                    | XVI   |
| A.3.5 | Beregning av stufitimeverdi . . . . .                           | XVIII |

## Figurer

|    |   |    |
|----|---|----|
| 1  | Styringsløyfe som illustrerer de ulike trinnene i en styringsprosess. Basert på Karlsen (2012). . . . .   | 18 |
| 2  | Sammenhengen mellom suksessfaktorer og suksesskriterier (Hussein 2016). . . . .   | 20 |
| 3  | Edderkoppdiagram som illustrerer grad av prosjektkarakteristikk for et tentativt prosjekt. Basert på Hussein (2016). . . . .  | 23 |
| 4  | Interessentkategorisering basert på aktørens innflytelse og interesse for prosjektet. Basert på Hussein (2016). . . . .   | 25 |
| 5  | Valg av kontraktstrategi ved bruk av ulike virkemidler for utvelgelse, ansvarsfordeling og prosess. De to ytterpunktene for fordeling av ansvar for usikkerhet og styringsmuligheter illustreres i blått og grønt. Modifisert etter Lædre (2013). . . . . | 28 |
| 6  | Inntjeningsmulighetene til entreprenør med oppgjør etter fastpris eller K+ (Ahsan & Matsukawa 2012). . . . .  | 33 |
| 7  | Relative kostnader for administrering av kontrakter med ulike oppgjørsformer (Turner & Simister 2001). . . . .  | 34 |
| 8  | Entreprenørens inntjeningsmulighet som funksjon av faktiske kostnader med FPI. Modifisert etter (Ward & Chapman 1995). . . . .  | 36 |
| 9  | Entreprenørens inntjeningsmulighet som funksjon av faktiske kostnader med KPI. Modifisert etter (Ward & Chapman 1995). . . . .  | 36 |
| 10 | Bergmassens vannledende evner reduseres som følge av innpumpet injeksjonsmateriale. . . . .   | 39 |
| 11 | Illustrasjon av to ulike prinsipper for vann- og frostsikring av tunneler. Hentet fra Holter (2020). . . . .  | 40 |
| 12 | Forinjeksjonens hensikt for henholdvis undersjøiske og urbane tunneler. . . . .   | 43 |
| 13 | Partikkelstørrelser på ulike injeksjonsmaterialer sammenlignet med en sprekkeåpning på 0,02 mm. Modifisert etter Grøv (2020). . . . .   | 49 |
| 14 | Prinsippet for systematisk forinjeksjon. Modifisert etter Grøv & Woldmo (2012). . . . .   | 51 |
| 15 | Injeksjonskostnader som funksjon av LRIR-verdi. Modifisert etter Grøv & Woldmo (2012). . . . .  | 54 |

|    |   |    |
|----|---|----|
| 16 | Oversiktskart over jernbanetunnel, tverrslag, evakueringstunneler og påhuggsområder på UDK 01. . . . .  | 63 |
| 17 | Bergartenes dannelsesalder og tektonisk inndeling i Oslo-feltet. Kartutsnitt hentet fra NGUs berggrunnsdatabase. . . . .  | 64 |
| 18 | Berggrunnskart over drammensområdet. Jernbanetunnelen på UDK01 vises som sort linje. Kartutsnitt er hentet fra NGUs geologiske berggrunnsdatabase. . . . .                      | 65 |
| 19 | Polplott og sprekkerose for kartlagte sprekkeseett i drammensgranitten. Hentet fra Norconsult (2018b). . . . .  | 66 |
| 20 | Polplott og sprekkerose for kartlagte sprekker i kalkrik slamstein/hornfels. Hentet fra Norconsult (2018b). . . . .   | 67 |
| 21 | Polplott og sprekkerose for kartlagte sprekker i rombeporfyr. Hentet fra Norconsult (2018b). . . . .  | 67 |
| 22 | Vertikalprofil av strekning i hovedtunnel med lav overdekning fra påhugg Gulliksrud. Hentet fra Norconsult (2018b). . . . .   | 69 |
| 23 | Kvartærgeologisk kart over drammensområdet. Kartutsnitt er hentet fra NGU sin kvartærgeologiske kartdatabase. . . . .   | 70 |
| 24 | Mektigheter av leire for Kobbervikdalen (venstre) og Drammen (høyre). Rød linje viser tunneltrasé og sorte prikker indikerer borpunkter. Hentet fra Norconsult (2018a). . . . . | 71 |
| 25 | Potensiell innlekkasje for ulike bergarter langs tunneltraseen. Hentet fra Norconsult (2018a). . . . .  | 72 |
| 26 | Flyttdiagram for regulering av mengder, $\frac{v}{c}$ -tall og trykk for skjermhull. Basert på Veidekkes arbeidsprosedyre for injeksjon, vedlegg A.2.1. . . . .                 | 76 |
| 27 | Oversiktskart over Fylkesveg 659 Nordøyvegen. Kartutsnitt hentet fra Karlson & Grob (2018c). . . . .  | 79 |
| 28 | Møre-Trønderlag forkastningskompleks danner bruddsystemer i den regionale berggrunnen i Møre og Romsdal. Hentet fra Ramberg et al. (2013). . . . .                              | 81 |
| 29 | Kartutsnitt hentet fra berggrunnsdatabasen til NGU. Påhuggsområdene for Nogvafjordtunnelen og Fjørtoftfjordtunnelen er navngitt. . . . .  | 82 |

|    |   |     |
|----|---|-----|
| 30 | Stereoplott og sprekkerose for påhuggsområdet på Skuløya ved Longva. Hentet fra Karlson & Grob (2018c). . . . .   | 83  |
| 31 | Stereoplott og sprekkerose for påhuggsområdene på Fjørtofta (Nord og Sør). Hentet fra Karlson & Grob (2018a). . . . .   | 83  |
| 32 | Stereoplott og sprekkerose for påhuggsområdet på Harøya. Hentet fra Karlson & Grob (2018a). . . . .   | 84  |
| 33 | Forkastninger og svakhetssoner tolket fra magnetiske målinger i området rundt Nordøyane. Hentet fra Karlson & Grob (2018a). . . . .   | 84  |
| 34 | Edderkoppdiagram som oppsummerer prosjektkarakteristikken for injeksjonsarbeider på Drammen-Kobbervikdalen. Teorikapittel 2.1.3 forklarer edderkoppdiagrammet. . . . .  | 96  |
| 35 | Plassering av interessenter i matrise som beskriver deres bidrag og interesse av injeksjonsarbeidene på Drammen-Kobbervikdalen. . . . .   | 103 |
| 36 | Styringssløyfe for forinjeksjon begrenset av kontraktens rammeverk, med ansvarlige prosjektroller fra entreprenør i rødt. . . . .   | 107 |
| 37 | Totalkostnad for sementforbruk som funksjon av valgt injeksjonsmateriale. Verdiene er basert på en totalmengde definert i kontraktsgrunnlaget (Bane NOR 2019), og gjennomgang av eksisterende injeksjonsrapporter. . . . .    | 108 |
| 38 | Maksimal stufvertimeverdi som forsvarer bruk av industrisement, som funksjon av prisdifferansen mellom mikro- og industrisement. Beregningene er basert på reelle verdier fra Drammen-Kobbervikdalen. . . . .                 | 110 |
| 39 | Entreprenørens inntjeningsmuligheter ved kostnadsoverskridelser på Drammen-Kobbervikdalen. . . . .  | 111 |
| 40 | Boltelengder på 5 meter kan punktere injeksjonsskjermene. I tillegg kan det drives for nært vannledende soner (rødt område) før skjerm initieres. Illustrasjon basert på egen feltkartlegging og injeksjonsrapporter. . . . . | 115 |
| 41 | Edderkoppdiagram som illustrerer prosjektkarakteristikken for injeksjonsarbeidene på Nordøyvegen. Det henvises til teorikapittel 2.1.3 for forklaring av edderkoppdiagrammet. . . . .   | 118 |
| 42 | Kategorisering av interessenter på Nordøyvegen. . . . .   | 121 |

|    |   |     |
|----|---|-----|
| 43 | Styringsløyfe for injeksjonsarbeidet med ansvarlige roller på Nordøyvegen. . . . .  | 124 |
| 44 | Entreprenørens inntjeningsmulighet som funksjon av dekningsgrad og mengdeforbruk av ulike injeksjonsmateriale. Verdiene er hentet fra tabell 25. . . . .  | 126 |
| 45 | Entreprenørens inntjeningsmulighet som funksjon av pumpetid for ulike injeksjonsmaterialer. Verdiene her hentet fra tabell 25. . . . .  | 126 |
| 46 | Maksimal stufftimeverdi som kan forsvare bruken av industrisement, som funksjon av prisdifferansen mellom mikro- og industrisement. . . . .   | 128 |
| 47 | Sammenligning av karakteristikk som preger injeksjonsarbeidene på Drammen-Kobbervikdalen og Nordøyvegen. Det henvises til teorikapittel 2.1.3 for forklaring av edderkoppdiagram og karakteristikk. . . . . | 131 |
| 48 | Sammenheng mellom kritiske suksessfaktorer og kartlagte suksesskriterier for injeksjonsarbeider. . . . .  | 134 |
| 49 | Sammenligning av oppgjørsform og reguleringsmekanisme på Drammen-Kobbervikdalen og bruk av prinsippet KPI. . . . .  | 151 |
| 50 | Ulike maksimale og minimale inntjeningsmuligheter som følge av graden av usikkerhet i prognoser for ressursforbruk. Oransje beskriver undersjøiske tunneler og blå beskriver urbane tunneler. . . . .       | 153 |
| 51 | Byggherrens mulighet for taktisk mengdeestimering som gir entreprenør falske mål om inntjeningsmuligheter ved bruk av KPI. . . . .  | 154 |
| 52 | Vertikalprofil Nogvafjordtunnelen. . . . .  | XI  |
| 53 | Vertikalprofil Fjørtoftfjordtunnelen. . . . .   | XII |

## Tabeller

|    |  |    |
|----|--|----|
| 1  | Sammenheng mellom suksessfaktorer og prosjektkarakteristikker. Hentet fra Hussein (2016). . . . .  | 24 |
| 2  | Typiske verdier for innlekkasjekrav basert på omgivelsenes sensitivitet. Verdier hentet fra Grøv & Woldmo (2012). . . . .  | 43 |
| 3  | Klassifiseringssystem av bergmassens hydrauliske konduktivitet basert på sprekke-karakteristikk (Klüver & Kveen 2004). . . . .   | 45 |
| 4  | Partikkelegenskaper til ulike sementtyper (NFF 2010, Garshol 2003). . . . .  | 48 |
| 5  | Eksempel på bruk av mengdestopp for enkelthull, avhengig av skjermgeometri og vanntrykk for vegtunnel med tunnelprofil T10,5. Verdiene er hentet fra Garshol (2017); Mælefjelltunnelen. . . . .                | 52 |
| 6  | Sammenligning av injeksjonsomfang for ulike undergrunnsanlegg. Verdiene er hentet fra henholdsvis Nilsen & Palmstrøm (2017), Statens Vegvesen (2005) og Statens Vegvesen (2003). . . . .                       | 54 |
| 7  | Antall svakhetssoner med tilhørende beskrivelser. Verdier basert på Norconsult (2018b). . . . .  | 68 |
| 8  | Prosentfordeling av bergmasseklasser for hovedtunnel, evakueringstunneler og tverrslag på Drammen-Kobbervikdalen. Verdier basert på Norconsult (2018b). . . . .  | 68 |
| 9  | Beregnet hydraulisk konduktivitet for rombeporfyr, drammensgranitt og kalkrik slamstein. Det er antatt $1 \text{ lugeon} = 1,3 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$ . Verdiene er hentet fra Norconsult (2018a). . . . . | 71 |
| 10 | Maksimal tillatt innlekkasje for tunnelstrekninger på Drammen-Kobbervikdalen. Verdier hentet fra Fagrapport hydrogeologi, (Norconsult 2018a). . . . .  | 74 |
| 11 | ÅDT, lengder og maksimal dybde for Haramsfjordtunnelen, Nogvafjordtunnelen og Fjørtoftfjordtunnelen (Karlson & Grob 2018a,b,c). . . . .  | 80 |
| 12 | Estimert prosentfordeling av Q-verdi og seismiske hastigheter for Nogvafjordtunnelen og Fjørtoftfjordtunnelen (Karlson & Grob 2018a,c). . . . .  | 85 |
| 13 | Fordeling av redusert bergoverdekning for Nogvafjordtunnelen og Fjørtoftfjordtunnelen (Karlson & Grob 2018c,a). . . . .  | 85 |



|    |  |     |
|----|--|-----|
| 14 | Funksjonskrav for moderne vegtunneler. Basert på Statens Vegvesen (2020, 2011).  | 86  |
| 15 | Intervjuobjekter fra Drammen-Kobbervikdalen. . . . .   | 90  |
| 16 | Forklaring av skala som er benyttet for å evaluere de ulike karakteristikkenes inn-<br>virkning på injeksjonsarbeidene på Drammen-Kobbervikdalen. . . . .  | 91  |
| 17 | Innlekkasjekrav mot målt vanninnstrømning for delstrekninger i hovedløpet. . . . .   | 93  |
| 18 | Kritiske suksessfaktorer basert på analyse av prosjektkarakteristikken til injek-<br>sjonsarbeidene på Drammen-Kobbervikdalen. . . . .   | 96  |
| 19 | Gjennomsnittlig tids- og mengdeforbruk per skjerm for tunnelstrekninger på Drammen-<br>Kobbervikdalen ved bruk av ulike injeksjonsmaterialer. Verdier hentet fra injek-<br>sjonsrapporter. . . . . | 109 |
| 20 | Intervjuobjekter fra Nordøyvegen. . . . .  | 112 |
| 21 | Forklaring av skala som er benyttet for å evaluere de ulike karakteristikkenes inn-<br>virkning på injeksjonsarbeidene. . . . .  | 113 |
| 22 | Kritiske suksessfaktorer for injeksjonsarbeidene på Nordøyvegen basert på analyse<br>av prosjektkarakteristikk. . . . .  | 119 |
| 23 | Suksessfaktorer knyttet til prosjektkarakteristikk som i vesentlig grad preger injek-<br>sjonsarbeidene på Nordøyvegen. . . . .  | 119 |
| 24 | Interessenter med avvik i perspektiver, sammenlignet med interessentanalysen utført<br>for Drammen-Kobbervikdalen, kapittel 5.1.2. . . . .   | 120 |
| 25 | Gjennomsnittlig ressursforbruk per skjerm med henholdsvis industri- og mikrose-<br>ment. Verdiene basert på injeksjonsrapporter fra Nogvafjordtunnelen. . . . .                                    | 125 |
| 26 | Eksempelet viser hvordan borevansker i reduserte bergforhold påvirker tidsfor-<br>bruk. Faktiske mengder er lavere enn estimerte, men tidsforbruket blir likevel høyere.                           | 129 |
| 27 | Kategorisering for kontraktens ivaretagelse av identifiserte suksessfaktorer. . . . .  | 135 |
| 28 | Kontraktstrategiens ivaretagelse av ulike suksessfaktorer på Drammen-Kobbervikdalen.   | 140 |
| 29 | Kontraktstrategiens ivaretagelse av kritiske suksessfaktorer på Nordøyvegen. . . . .   | 145 |
| 30 | Sammenligning og oppsummering av kontraktens ivaretagelse av kritiske suk-<br>sessfaktorer. 1 = tilstrekkelig, 2 = delvis og 3 = ingen ivaretagelse. . . . .                                       | 146 |
| 31 | Sammenligning av fordeling av styringsmuligheter for Drammen-Kobbervikdalen<br>og Nordøyvegen. . . . .   | 147 |

|    |  |     |
|----|--|-----|
| 32 | Sammenligning og oppsummering av fordeling av ansvar for usikkerhet på Drammen-Kobbervikdalen og Nordøyvegen. . . . .  | 149 |
| 33 | Eksempel på bonusordning beregnet av oppnådd tidsbesparelse og oppnåelse av HMS-mål. Bonus utløses kun ved tilfredsstillende av kontraktens innlekkasjekrav. . | 155 |
| 34 | Eksempel på bonusordning som standard kapasiteter for utelukkende pumpe- og herdetid. . . . .  | 156 |

## 1 Introduksjon

Denne masteroppgaven besvarer emnet TGB4945, og utgjør 30 avsluttende studiepoeng på masterprogrammet Tekniske Geofag, spesialisering innen Ingeniørgeologi og bergmekanikk. Besvarelsen er utarbeidet våren 2021.

Hovedmålet med oppgaven er å få en bedre forståelse for hvordan kontraktsforholdet mellom byggherre og entreprenør påvirker injeksjonsarbeider. Det er derfor utført detaljerte intervjuer med ulike prosjektroller, feltobservasjoner og gjennomgang av interne prosjektdokumenter for samferdselsprosjektene Drammen-Kobbervikdalen og Nordøyvegen. Videre i introduksjonen forklares bakgrunnen for hovedmålet, hvilken problemstilling som skal besvares og oppgavens avgrensninger.

### 1.1 Bakgrunn for oppgaven

Utbygging av undergrunnsprosjekter i Norge gir stadig større utfordringer. Det er et økende behov for undergrunnsanlegg i krevende geologiske forhold, ofte med urbane omgivelser og svært strenge funksjonskrav (Holmøy et al. 2019). Samfunnet stiller også høye forventninger til optimalisering av kostnads- og ressursforbruk, og ikke minst et begrenset inngrep i ytre naturomgivelser og bruk av bærekraftige løsninger (Beitnes 2002). Innlekkasje til bergrom er derfor blitt en essensiell utfordring, ettersom senkning av grunnvannstand kan gi setningsskader på omliggende infrastruktur og forstyrre biologisk mangfold (Karlsrud et al. 2003). I tillegg kan innlekkasjer gå på bekostning av kvalitet og tilfredsstillelse av funksjonskrav, samt øke kostnader tilknyttet anleggets drift- og vedlikehold (NFF 2010, Statens Vegvesen 2012).

Som følge av de negative konsekvensene tilknyttet vanninnstrømning til bergrom, har tetting av bergmassen blitt en sentral del av anleggsvirksomheten (Grøv & Woldmo 2012). Hvilke innlekkasjekrav som anses som tilstrekkelig, samt hvilke strategier som benyttes for å oppnå tilfredsstillende tetteresultater, kan variere fra prosjekt til prosjekt. *Forinjeksjon* regnes likevel som et nødvendig verktøy i de fleste tilfeller, der den overordnede hensikten er å redusere bergmassens vannledende egenskaper permanent foran stuff (NFF 2010, Holmøy et al. 2019). Prosessen går ut på å injisere et egnet materiale i bergets sprekkeåpninger ved bruk av lange borehull og pumpeutstyr, før tunneldrivingen fortsetter inn i tett sone.

Forinjeksjon er en ressurskrevende prosess og det bør derfor tilrettelegges for en kostnadseffektiv utførelse som reduserer prosjektets total kostnader (Strømsvik 2019, Garshol 2017). Usikkerhet tilknyttet innlekkasjer er likevel den mest frekvente årsaken til kostnads- og tidsoverskridelser for tunnelprosjekter (Grøv & Woldmo 2012). Mangel på kunnskap og utilstrekkelige kontraktuelle hjelpemidler anses som essensielle årsaker til slike utfordringer. Kontrakten mellom entreprenør og byggherre fordeler ansvar for håndtering og påvirkning av slike konsekvenser, og kan dermed være avgjørende for prosjektresultatet (Lædre 2013, Turner & Simister 2001).

I Norge er tradisjonelt utførelsesentrepriser med oppgjør etter enhetspriser og ekvivalenttidsregnskap benyttet for å fordele risiko rettferdig mellom de to kontraktspartene (Grøv 2012a). Likevel forekommer det en rekke eksempler på konflikter ved bruk av denne kontraktstrategien, der spesielt bestemmelser i ekvivalenttidsregnskapet kan gi entreprenøren en falsk trygghet (Verling & Neraal 2020). De senere årene er en rekke større samferdselsprosjekter utført ved bruk av flere utradisjonelle kontraktuelle virkemidler og bestemmelser. Endringen har i enkelte tilfeller resultert i økt innsparinger og effektivitet, men har også lagt grunnlaget for diskusjoner rundt ansvar og oppgjør (Grøv 2012b).

### 1.2 Problemstilling

Til tross for injeksjonens sentrale rolle ved tunneldriving, fremgår det ingen studier i litteraturen som utelukkende undersøker sammenhenger mellom utfordringer med injeksjonsarbeider og bruk av kontraktuelle virkemidler. Denne masteroppgaven tar derfor sikte på å gi en detaljert forklaring av hvordan ulike kontraktstrategier kan påvirke den tekniske utførelsen av forinjeksjon, samt kontraktpartenes og samfunnets opplevelse av suksess. Følgende problemstilling er definert:

***Hvordan tilrettelegger ulike kontraktstrategier for oppnåelse av suksesskriterier for injeksjonsarbeider, og hva utgjør en optimal kontraktstrategi?***

For å konkretisere problemstillingen er det definert tre forskningsspørsmål som legger grunnlaget for anvendt forskningsmetode og tilhørende analyser:

1. Hvilke tekniske og organisatoriske utfordringer og problemstillinger preger injeksjonsarbeidene?

2. Hvilke subjektive interesser og perspektiver må ivaretas ved gjennomføring av undergrunnsprosjekter med injeksjonsarbeider?
3. Hvordan påvirkes injeksjonsprosessen av kontraktstrategiens fordeling av styringsmuligheter og ansvar for usikkerhet?

### 1.3 Avgrensninger

Tidsbegrensningen på 20 uker for ferdigstilling av denne oppgaven tilsier at det kreves enkelte avgrensninger. Oppgavens problemstilling skal derfor besvares ved bruk av et casestudie av samferdselsprosjektene *Nytt dobbeltspor Drammen-Kobbervikdalen* og *Fylkesveg 659 Nordøyvegen*. Undergrunnsprosjektene ble studert allerede i et innledende forstudie høsten 2020, og var derfor naturlig å undersøke videre i denne forskningsprosessen. Begge prosjekter er fremdeles i driftfasen, som gir muligheter for feltarbeid med observasjoner av teknisk utførelse og tetteresultater, samt samtaler med flere forskjellige prosjektroller. I tillegg er det benyttet ulike kontraktstrategier for de to undergrunnsprosjektene, som gir et godt utgangspunkt for refleksjon rundt oppgavens problemstilling og forskningsspørsmål. Oppgaven fokuserer hovedsakelig på kontraktuelle virkemidler for fordeling av ansvar og prosess, fremfor virkemidler for utvelgelse av leverandør.

Samferdselstunnelene som omtales i denne oppgaven er drevet konvensjonelt, der en kombinasjon av forinjeksjon og vann- og frostsikring kan anses som prosjektenes overordnede valg av tettestrategi. Fokuset i denne oppgaven er derfor rettet mot metodevalg og tekniske løsninger for forinjeksjon ved konvensjonell tunneldriving. I tillegg vil funksjonskrav for moderne jernbane- og vegtunneler vektlegges på bakgrunn av samferdselstunnelens funksjon ved ferdigstilling.

## 2 Teori

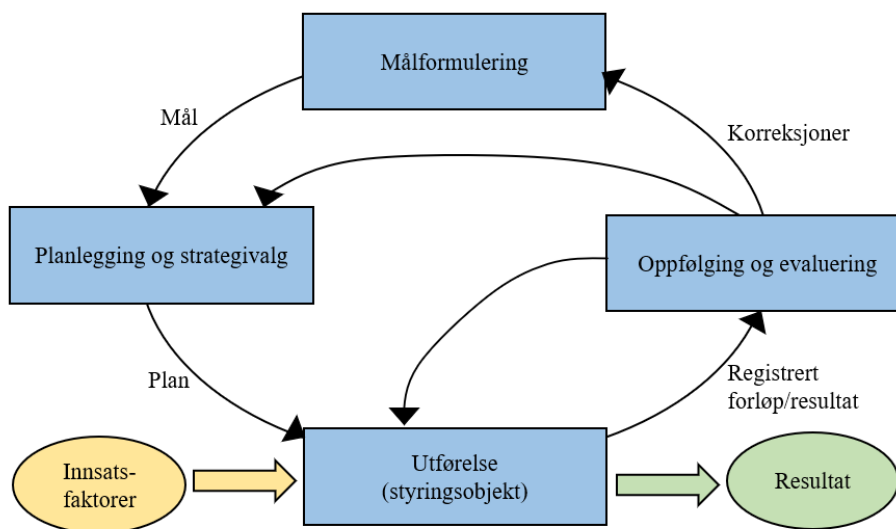
Hensikten med dette kapittelet er å danne et teoretisk rammeverk for analyser og resultater utført i dette forskningsstudiet. For å besvare oppgavens problemstilling er det derfor nødvendig med kjennskap til teori og analyseverktøy fra litteratur om prosjektstyring og kontraktstrategi. I tillegg anses det hensiktsmessig å inkludere relevante aspekter som omhandler tetting av bergrom, inkludert funksjonskrav for ulike undergrunnsanlegg, bergmassens vannledende egenskaper og beskrivelse av injeksjonsmetodikk.

### 2.1 Prosjektstyring og prosjektsuksess

Dette kapittelet vil presentere relevant teori om prosjektstyring med et spesielt fokus på enkelte metoder og analyseverktøy som kan benyttes for å øke sannsynligheten for oppnåelse av suksess.

#### 2.1.1 Prosjektstyring

Prosjektstyring er ifølge Karlsen (2012) ”*handling som reduserer forskjellen mellom plan og virkelighet*”. Styringen vil være en kontinuerlig prosess som kan deles inn i ulike trinn, ofte forklart ved hjelp av en styringsløyfe som vist i figur 1.



Figur 1: Styringsløyfe som illustrerer de ulike trinnene i en styringsprosess. Basert på Karlsen (2012).

Den første delen av styringsprosessen omhandler målformuleringer, som legger grunnlaget for strategivalg og videre gjennomføringsplan (Karlsen 2012). Utførelsen baserer seg deretter på den planlagte gjennomføringen av ulike aktiviteter. Ved hjelp av oppfølging og evaluering underveis kan resultatet av utførelsen sammenlignes med fastsatte mål for å finne eventuelle avvik. For å korrigere avvikene kan målsetninger og gjennomføringsplanen justeres, eventuelt kan hele planleggingsprosessen utføres på nytt.

Som det fremgår av styringsløyfen vil det være essensielt å definere klare mål for prosjektet for å velge en strategi og gjennomføringsplan som gir ønskede resultater. Det er derfor nødvendig å få en forståelse av hva de involverte aktørene anser som gode resultater, og hvilke utfordringer som trolig kan påvirke veien mot suksess (Hussein 2016).

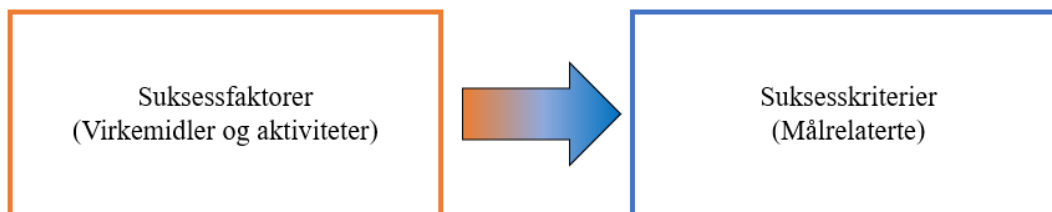
### 2.1.2 Suksesskriterier og suksessfaktorer

Ulike aktører som er involvert i et prosjekt kan vurdere suksess fra ulike perspektiver (Hussein 2016). Begrepet *perspektiver* antyder at det som oppfattes avhenger av hvilken vinkel man observerer fra (Kolltveit & Reve 2002). Eksempelvis vil prosjekteiers suksess generelt vurderes ut ifra oppnåelse av forretningsmessige utfall i form av besparelser, bedre renommé, kostnadseffektivisering eller frigjøring av ressurser (Hussein 2016). I tillegg er prosjekteier ofte avhengig av at sluttbruker oppfatter prosjektets løsninger som hensiktsmessige, samtidig som produktet ivaretar allmenne interesser (Grøv 2012a). Leverandøren av prosjektet (entreprenøren) kan definere suksess basert på om produktet de leverer samsvarer med kundens forventninger og krav, samtidig som de oppnår ønsket økonomisk gevinst for prosjektgjennomføringen. Lædre (2013) beskriver partenes ulike interesser enkelt: Entreprenører og prosjekterende vil arbeide minst mulig til høyest mulig kompensasjon. Byggherren, sluttbrukere og omgivelsene vil derimot ha mest mulig ytelse til lavest mulig pris. Dette illustrerer aktørenes ulike perspektiver, og vil være avgjørende for deres definisjon av *suksesskriterier* for prosjektet; subjektive målsetninger som avgjør om prosjektet anses som suksess eller fiasko (Hussein 2016).

På bakgrunn av de ulike perspektivene kan prosjektsuksess være vanskelig å definere. For å unngå uenigheter ved evaluering av prosjektsuksessen foreslår Jugdev & Müller (2005) å definere suksesskriteriene før oppstart av prosjektet. Denne tilnærmingen kan blant annet danne en felles visjon

og bidra til ansvarsbevissthet for aktørene som gjennomfører prosjektet. Ifølge Hussein (2016) kan tilnærmingen også være problematisk, ettersom prinsippet blant annet forutsetter at alle de ulike perspektivene er inkludert fra start. Med andre ord tar ikke tilnærmingen høyde for endringer som kan oppstå underveis i prosjektgjennomføringen. Samtidig kan det være vanskelig å avgjøre hvilke metoder som kan benyttes for å måle suksess, ettersom kriteriene ikke nødvendigvis er objektive.

Til tross for problemene med å definere suksesskriterier, er en kartlegging av aktørenes subjektive oppfatning av suksess nyttig for å identifisere kritiske *suksessfaktorer*. Suksessfaktorer kan defineres som et sett med faktorer som prosjektet må etterleve for å øke sannsynligheten for suksess (Hussein 2016). Dette kan illustreres av figur 2, der aktivitet og virkning etter suksessfaktorer vil medføre oppnåelse av målrelaterte suksesskriterier.



Figur 2: Sammenhengen mellom suksessfaktorer og suksesskriterier (Hussein 2016).

For å identifisere suksessfaktorer bør prosjektets karakteristikk evalueres for å avdekke hvilke utfordringer prosjektet vil preges av (Hussein 2016). I tillegg må de involverte partenes perspektiver kartlegges for å få en forståelse av subjektive målsetninger. Videre tas det sikte på å presentere nyttig analyseverktøy for å identifisere kritiske suksessfaktorer: 1) Analyse av prosjektkarakteristikk og 2) Interessentanalyser.

### 2.1.3 Analyse av prosjektkarakteristikk

Ifølge Hussein (2016) er prosjektkarakteristikk viktige kjennetegn som skiller prosjektarbeid fra organisasjonens vanlige driftsoppgaver. Karakteristikken vil ofte være definerende for prosjektets utfordringer, og derfor også ha en sammenheng med prosjektets kritiske suksessfaktorer. I tillegg er kjennskap til prosjektkarakteristikken nyttig ved valg av prosjektleder, styringsstruktur og prosjektstrategier (Kolltveit & Reve 2002). Hussein (2016) presenterer følgende ulike prosjektkarak-



teristikker:

- *Organisatorisk kompleksitet.* Prosjekter med høy organisatorisk kompleksitet tilsier at gjennomføringen krever innsats, kompetanse og ressurser fra flere organisatoriske enheter eller enkeltpersoner. Produktet som skal leveres er ofte sammensatt av en rekke ulike komponenter.
- *Endring.* Slike prosjekter kjennetegnes av at prosjektet er et verktøy for endring, som tilsier at resultatet av prosjektet skal forandre hele eller deler av "nåsituasjonen" til en ønsket ny tilstand. Endringen kan skje i form av implementering av nye arbeidsmetoder eller utvikling av nye produkter, og mennesket spiller ofte en sentral rolle i endringsprosessen.
- *Påvirkningskraft på forretning.* Prosjektene kjennetegnes ved at de er et verktøy for å realisere et forretningsmål eller en strategi i en bestemt organisasjon. De strategiske perspektivene kan utgjøre en vesentlig rolle i valg, tildeling og prioritering av ressurser til ulike prosesser i et prosjekt.
- *Begrensninger.* Karakteristikken tilsier at prosjektet har strenge begrensninger i form av tidspress, krav eller økonomiske rammer.
- *Usikkerhet i prosjekt- eller driftkontekst.* Prosjekter med usikkerhet kjennetegnes ved at det er manglende kunnskap om metoder for å produsere produktet eller oppnå ønskede resultater. Usikkerheten er ofte proporsjonal med hvor unikt eller innovativt prosjektet er. I tillegg vil det være vanskelig å forutsi mulige hendelser og faktorer som kommer til å påvirke prosjektets utvikling.

Kolltveit & Reve (2002) trekker derimot frem at prosjektkarakteristikken kan deles inn etter følgende fem faktorer: Størrelse, usikkerhet, unikhet, frekvens og delbarhet. Faktoren som omhandler usikkerhet defineres på tilsvarende måte som presentert av Hussein (2016). Derimot kan de resterende fire faktorene for prosjektkarakteristikk beskrives som følger (Kolltveit & Reve 2002):

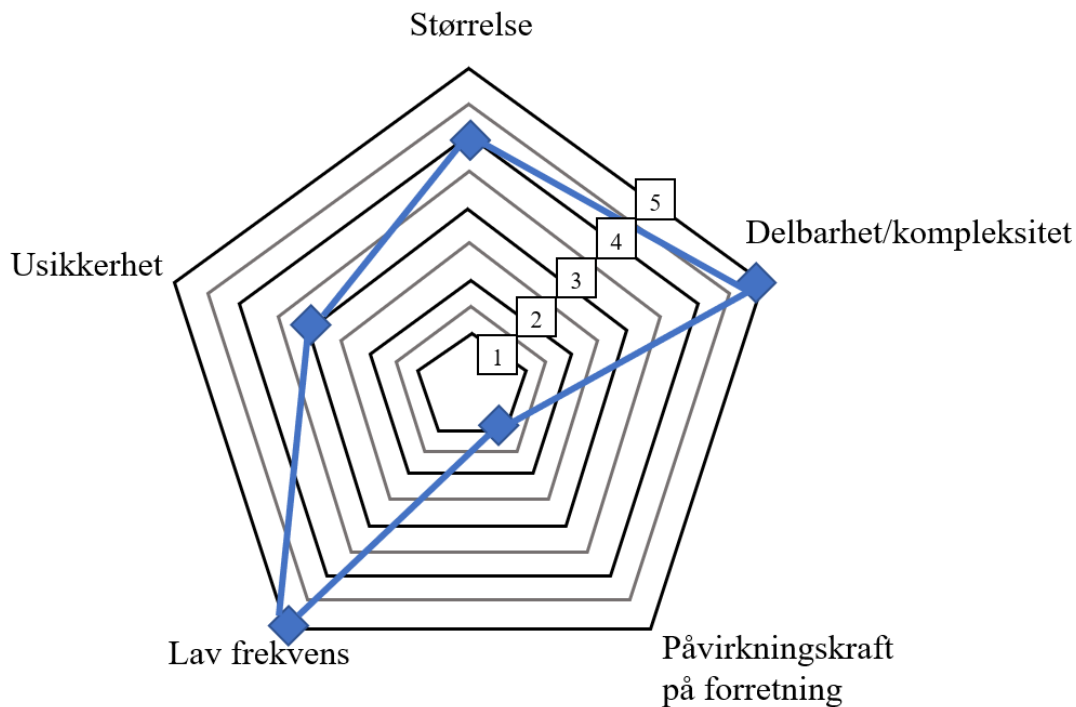
- *Størrelse.* Faktoren beskriver prosjektets fysiske størrelse, samt antall medarbeidere, økonomisk størrelse og tidsaspekt. Samlet vil størrelsen på prosjektet påvirke kontraktsutformingen, styringsstrukturen og organisasjonsstrukturen. Eksempelvis vil et økt antall medarbeidere medføre at prosjektet må struktureres i mindre enheter, altså påvirke organisasjonsstrukturen. Prosjektets økonomiske størrelse kan stille strenge krav til styringsopplegg

dersom prosjektsresultatet vil påvirke økonomien til basisorganisasjonen betydelig. I tillegg vil det være viktigere med en nøyaktig kontraktsutforming for prosjekter der økonomien er av stor betydning.

- *Unikhet.* Et prosjekt har høy grad av unikhet dersom prosjektspesifikke investeringer ikke kan benyttes til andre formål. Investeringene kan være knyttet til personell, teknologi eller lokalisering.
- *Lav frekvens.* Faktoren beskriver hvor hyppig en oppgave blir utført ved prosjektgjennomføring. Lav frekvens tilsier at oppgaven utføres uten et fastsatt system og med lav hyppighet. Derimot vil en høy frekvens gi mulighet for læring og tilegning av erfaringer, og kan dermed redusere prosjektets risiko.
- *Delbarhet.* Prosjekter med stor grad av delbarhet inneholder mange delleveranser. Derimot vil en lav delbarhet tilsa at prosjektets leveranse henger sammen på en kompleks måte, både organisatorisk og teknisk.

Det er flere likhetstrekk mellom karakteristikene presentert av de to forfatterene. Spesielt vil faktorene *delbarhet* og *organisatorisk kompleksitet* beskrive prosjektets vanskelighetsgrad, og vil påvirke prosjektets styrings- og organisasjonsstruktur. Delbarhet omfatter derimot også teknisk kompleksitet. I tillegg vil faktorene *begrensninger* og *størrelse* beskrive prosjektets økonomiske rammer, tidspress og krav. I denne oppgaven er det derfor benyttet en kombinasjon av de ulike faktorene ved beskrivelse av prosjektkarakteristikker, basert på hvilke faktorer som anses som betydningsfulle for de to prosjektcasene. De vektlagte faktorene for prosjektkarakteristikk er: *Størrelse/begrensninger, usikkerhet, delbarhet/kompleksitet, lav frekvens og påvirkningskraft på forretning.*

For å illustrere graden av hver karakteristikk for et prosjekt kan det benyttes et edderkoppdiagram som vist i figur 3 (Hussein 2016). Figuren viser karakteristikken for et tentativt prosjekt, der de ulike faktorene er vurdert på en skala fra 1 til 5, hvor 1 tilsier lite eller ubetydelig og 5 betyr meget betydelig. Dette tentative prosjektet har dermed en karakteristikk med høy grad av kompleksitet, men har svært ubetydelig påvirkningskraft på forretningen som gjennomfører prosjektet. Videre preges også prosjektet i *meget betydelig* grad av karakteristikken lav frekvens, ettersom verdien i edderkoppdiagrammet er satt til 5. Resterende karakteristikker har kun delvis betydning.



Figur 3: Edderkoppdiagram som illustrerer grad av prosjektkarakteristikk for et tentativt prosjekt. Basert på Hussein (2016).

Hussein (2016) sitt studie av over 30 reelle prosjektcaser fra Norge tilsier at prosjektets suksessfaktorer er avhengig av prosjektkarakteristikken. En slik sammenheng er vist av tabell 1. Ettersom Hussein (2016) ikke har benyttet faktoren *lav frekvens* i sin evaluering fremgår det ikke suksessfaktorer knyttet til denne prosjektkarakteristikken. Kolltveit & Reve (2002) trekker derimot frem at prosjekter med lav frekvens krever at prosjektmedarbeidere tilegner seg erfaring og lærer av eventuelle dårlige resultater for å sikre en bedre gjennomføring av oppgaven i fremtiden.

Tabell 1: Sammenheng mellom suksessfaktorer og prosjektkarakteristikker. Hentet fra Hussein (2016).

| Karakteristikk                 | Kritiske suksessfaktorer   |
|--------------------------------|--|
| Delbarhet/kompleksitet         | God informasjonsflyt<br>Tydelige roller og ansvarsfordeling<br>Prosjektleders autoritet  |
| Påvirkningskraft på forretning | Forankring av prosjektet oppover og nedover<br>Tydelig prosjektmandat<br>Støtte og oppfølging fra toppledelse  |
| Størrelse/Begrensninger        | Planlegging i tidlig fase<br>Effektivt team<br>Gode rutiner for avvikshåndtering<br>Klarhet i begrensninger, føringer og spesifikasjoner<br>Gode kravprosesser |
| Usikkerhet                     | Strukturert og systematisk risikohåndtering<br>Evne til problemløsning<br>Fleksibilitet<br>Fagkompetanse   |

#### 2.1.4 Interessentanalyse

Som nevnt kan en interessentanalyse gjennomføres for å avdekke involverte aktørers suksesskriterier som kan være nyttig for å definere prosjektets ”kjøreregler”. Ifølge Andersen et al. (2004) er interessenter: ”en person eller en gruppe av personer som er påvirket av eller i stand til å påvirke prosjektet.” Målet med interessentanalysen er derfor å kartlegge hvilke aktører eller roller som enten: (1) påvirker prosjektet eller (2) blir påvirket av prosjektet (Maylor 2010). I tillegg er det nødvendig å få en forståelse for hvilke krav og forventninger disse aktørene stiller til prosjektet, ettersom denne interessen er definerende for partenes suksesskriterier.

Basert på en slik kartlegging kan interessentene kategoriseres, eksempelvis ved bruk av matrisen presentert i figur 4. Matrisen viser hvilke parter som bør involveres eller håndteres ved ulike beslutningsprosesser for å sikre prosjektsuksess (Wiegers 2003). De ulike interessentgruppene kan beskrives som følger:

- Gruppe 1 utgjør de sentrale interessentene for prosjektgjennomføringen ettersom de har et

essensielt bidrag, samt stiller store krav og forventninger. Deres krav og forventninger bør kartlegges grundig, og partene bør involveres og medvirke aktivt i prosjektgjennomføringen.

- Gruppe 2 omfatter interessenter som har et kritisk bidrag, men liten interesse av prosjektet. Det kan iverksettes tiltak som sørger for å opprettholde deres støtte til prosjektet.
- Gruppe 3 utgjør en gruppe interessenter som bør prioriteres med tanke på informasjonsutveksling, slik at de forsikres om at deres krav og forventninger ivaretas.
- Gruppe 4 kan kategoriseres som interessenter som bidrar marginalt og har liten interesse av prosjektet. Disse interessentene bør overvåkes ved gjennomføringen av prosjektet, ettersom deres innflytelse eller interesse kan endre seg med tiden.

|                                 |          | <b>Interesse<br/>(Krav og forventninger)</b>  |  |
|---------------------------------|----------|---|--|
|                                 |          | Liten   | Stor   |
| <b>Innflytelse<br/>(Bidrag)</b> | Kritisk  | Gruppe 2: Interessentenes innflytelse eller bidrag vil være essensielt for suksess. Derimot stiller de få krav og forventninger til prosjektet. | Gruppe 1: Bidraget fra disse interessentene vil være kritisk for prosjektresultatet. I tillegg setter de store krav og forventninger.  |
|                                 | Marginal | Gruppe 4: Disse interessentene har verken essensielle bidrag eller spesielle krav og forventninger til prosjektet.                              | Gruppe 3: Kategorien omfatter interessenter med store krav og forventninger til prosjektet, men som ikke har en betydelig innflytelse. |

Figur 4: Interessentkategorisering basert på aktørens innflytelse og interesse for prosjektet. Basert på Hussein (2016).

### 2.2 Kontraktstrategi og kontraktsrett

Dette kapittelet tar først sikte på å gi et overordnet innblikk i anleggsbransjens myndigheter og lovreguleringer. Deretter presenteres teori om kontraktstrategi ved beskrivelse av ulike kontraktuelle virkemidler som fordeler ansvar for usikkerhet og styringsmuligheter. Avslutningsvis er kontraktuelle virkemidler sett i sammenheng med oppnåelse av generelle suksesskriterier for utbygging av undergrunnsprosjekter.

#### 2.2.1 Myndigheter i anleggsbransjen

I Norge er det statlige foretak, regulert av ulike stortingsdepartementer, som er tildelt samfunnsoppdraget som omhandler forvaltning av landets infrastruktur (Ravlo 2012). Samferdselsdepartementet regulerer dermed utbyggingen av samferdselsprosjekter ved å inngå budsjettbevilgninger til de underliggende foretakene. Det er hovedsakelig tre statlige aktører i Norge som har ansvaret for planlegging, utbygging, drift og vedlikehold av jernbane- og/eller vegnettet: Bane NOR, Statens Vegvesen og Nye Veier (Ravlo 2012).

Videre skal Plan- og bygningsmyndigheten sikre at planlegging og utbygging skjer i henhold til gjeldende regelverk i berørte kommuner (Plan- og bygningsloven 2013). Ettersom store samferdselsprosjekter krever en reguleringsplan, er prosjektene ikke søknadspliktig på tilsvarende måte som enkelte andre utbyggingsprosjekter [§4-3] (Byggesaksforskriften 2010). Likevel skal reguleringsplanen samsvare og ivareta bestemmelser som fremgår av Plan- og bygningsloven. Dette tilsier at det må fastsettes ansvarlige aktører for ulike ansvarsområder som tilfredsstillende krav om kvalifikasjoner, pålitelighet og dugelighet. De ulike ansvarsrollene kan defineres som følger:

- *Tiltakshaver* er foretaket som prosjektet utføres på vegne av, eksempelvis Bane NOR, Statens Vegvesen eller Nye Veger. Aktøren vil være ansvarlig for at tiltakene utføres i samsvar med gjeldende lovverk.
- *Ansvarlig prosjekterende* har ansvaret for at tiltaket prosjekteres i samsvar med bestemmelser og tillatelser. For samferdselsprosjekter vil denne aktøren være konsulentselskaper (Arnesen 2012).
- *Ansvarlig utførende* har ansvaret for at tiltaket utføres på grunnlag av, og i samsvar med, prosjekteringen, samt krav eller tillatelser til utførelsen gitt av loven. Et entreprenørselskap

vil utgjøre ansvarlig utførende.

- *Ansvarlig kontrollerende* skal først og fremst være uavhengig av det foretaket som utfører arbeidet. En slik rolle tildeles konsulentselskaper i norsk anleggsbransje (Arnesen 2012), og det kreves kontroll av:
  - *Prosjektering*. Konsulentselskapet er ansvarlig for å kontrollere at prosjekteringsgrunnlaget og de prosjekterte løsningene som utarbeides er dokumentert og i samsvar med krav og tillatelser.
  - *Utførelse*. Konsulentselskapet er ansvarlig for å kontrollere at det foreligger tilstrekkelig prosjektert grunnlag for utførelse, og at utførelsen er i samsvar med krav, tillatelser og prosjekteringsgrunnlag.

Dette tilsier at de statlige tiltakshaverne, videre omtalt som byggherre, må inngå samarbeid med ulike selskaper som tilfredsstillers lovens krav om kvalifikasjoner, pålitelighet og dugelighet for å realisere samferdselsprosjekter. Som vist i kapittel 2.1 vil de ulike aktørene ha forskjellige målsetninger for prosjektgjennomføringen, og en kontrakt er derfor nødvendig for å forhindre at partene handler på tvers av hverandres interesser (Lædre 2013).

### 2.2.2 Kontraktstrategi

Kontrakten vil legge grunnlaget for samarbeidet mellom aktørene ved gjennomføringen av prosjektet (Lædre 2013), og *kontraktstrategien* som benyttes vil være avgjørende for hvordan ansvaret for usikkerhet og styringsmuligheter fordeles mellom byggherre og entreprenør. Ifølge Grøv (2012a) bør risiko plasseres hos kontraktsparten som har størst forutsetning for å påvirke og håndtere konsekvenser av usikkerheten. Valg av kontraktstrategi bør ifølge Turner & Simister (2001) også reflektere risikomomentet tilknyttet kontraktens sluttprodukt. Med andre ord bør ikke valg av kontraktstrategi kun basere seg på hvilken part som kan påvirke usikkerheten, men også hvor mye usikkerhet prosjektet inneholder. Eksempelvis bør byggherre ha stor styringsmulighet og bære risikoen dersom sluttproduktet inneholder mye usikkerhet, ettersom dette vil begrense de administrative kostnadene for prosjektet. Administrative kostnader kan i denne sammenheng anses som kostnader for planlegging, tilpasning og overvåking av leveransens fullføring (Turner & Simister 2001). Denne sammenheng vil forklares nærmere i delkapittel 2.2.4.

For å fordele ansvaret for usikkerhet og styringsmulighetene mellom entreprenør og byggherre, kan det benyttes ulike virkemidler for utvelgelse, ansvarsfordeling og prosess (Lædre 2013). Totalt innebærer dette valg av opptil åtte forskjellige virkemidler, som vist av figur 5. Kontraktstrategiens to ytterpunkter er også illustrert i figur 5, der valgte virkemidler på venstre side vil gi entreprenør styringsmuligheter og ansvar for usikkerhet. Høyre side vil derimot gi et byggherrestyrt prosjekt, uten å plassere usikkerhet hos entreprenør. I tillegg finnes det flere virkemidler som i større eller mindre grad fordeler både styringsmulighet og risiko mellom de to kontraktspartene.

Det bør påpekes at valg av virkemidler ikke må følge rekkefølgen som fremgår av illustrasjonen, men de enkelte virkemidlene avhenger av hverandre (Lædre 2013). Samtidig bør det bemerkes at kontrakten kan kombinere bruk av ulike virkemidler for forskjellige ytelser innenfor samme prosjekt. Videre i kapittelet vil de tre kategoriene for virkemidler presenteres nærmere med tilhørende valgmuligheter.



Figur 5: Valg av kontraktstrategi ved bruk av ulike virkemidler for utvelgelse, ansvarsfordeling og prosess. De to ytterpunktene for fordeling av ansvar for usikkerhet og styringsmuligheter illustreres i blått og grønt. Modifisert etter Lædre (2013).



### 2.2.3 Virkemidler for utvelgelse av leverandør

De ulike virkemidlene for utvelgelse kan forklares som følger (Lædre 2013):

- **Prekvalifisering.** Byggherre kan velge å gjennomføre en prekvalifisering før entreprenørene kommer med sine tilbud, som tar sikte på å avgjøre hvilke aktører som er kvalifisert til å påta seg ytelsene prosjektet krever.
- **Tildelingskriterier.** Byggherre kan velge å tildele kontrakten til entreprenøren som leverer produktet til *lavest pris*. Dette vil være fordelaktig ettersom det gir entreprenør et insentiv til å være kostnadseffektiv. Derimot kan tildelingskriteriet øke sannsynligheten for taktisk prising, spesielt dersom byggherre beskriver ytelsen ved hjelp av mengdebeskrivelser. Ved benyttelse av flere tildelingskriterier kan byggherre eksempelvis vurdere hvilke kvalitet og egenskaper entreprenøren kan levere. Dette vil spesielt være fordelaktig dersom entreprisen krever spesialkompetanse og fleksible løsninger. Pris vil uansett være et avgjørende tildelingskriterium.
- **Kontraheringsform.** Ettersom byggherre i dette tilfellet vil være en offentlig organisasjon, vil Anskaffelsesloven (2017) begrense byggherrens valg av kontraheringsform. Kontraktinngåelsen må altså følge *Forskriften for offentlige anskaffelser*, der det er krav om konkurranse, forutberegnlighet, likebehandling og etterprøvnhet. Ettersom kontraktsverdien for store samferdselsprosjekter normalt er over en såkalt EØS-terskelverdi, må byggherre benytte *anbudskonkurranse* som kontraheringsform. Dette begrenser derimot ikke muligheter for bruk av prekvalifisering og tildelingskriterier for utvelgelse av leverandør.

### 2.2.4 Virkemidler for fordeling av ansvar

Dette delkapittelet beskriver hvilke virkemidler som kan velges for å fordele ansvaret mellom de to kontraktspartene, og er delt inn etter ytelsesbeskrivelse, entrepriseform og oppgjørsform.

#### *Ytelsesbeskrivelse*

I kontraktsgrunnlaget kan byggherre velge å beskrive ytelsen entreprenøren skal gjennomføre ved hjelp av (Lædre 2013):

- **Funksjonsbeskrivelser.** Dette tilsier at byggherre oppgir krav til anleggets funksjon, men

ikke nødvendigvis hvordan entreprenøren skal oppnå disse funksjonskravene.

- *Mengdebeskrivelser*. Dette omfatter detaljerte beskrivelser av forventet mengdeforbruk og tekniske spesifikasjoner.

I praksis kan begge formene for ytelsesbeskrivelser kombineres, men som vist innledningsvis bør valget reflektere hvilke andre virkemidler for ansvarsfordeling som benyttes.

### ***Entrepriseform***

Overordnet kan entrepriseformene deles inn i to kategorier, som illustrert i figur 5. I tillegg finnes det varianter innenfor disse hovedkategoriene som fordeler ansvaret ulikt. Generelt kan entrepriseformene beskrives på følgende måte (Lædre 2013):

- *Utførelsesentrepriser*: Entreprenøren står kun ansvarlig for utførelsen og valg av arbeidsmetode, og kontrakten utformes etter NS 8405 (Standard Norge 2008). Byggherre bærer ansvaret for prosjekteringsarbeidet. Både *generalentrepriser*, *hovedentrepriser* og *delte entrepriser* tilhører denne kategori, der de ulike modellene avgjør i hvilken grad byggherre er ansvarlig for kontraktinngåelse med andre underentreprenører.
- *Totalentreprise*: Entreprenøren står ansvarlig for både prosjektering og utførelse, og kontraktsgrunnlaget utarbeides vanligvis etter NS 8407 (Standard Norge 2011). Byggherre må likevel utarbeide et konkurransegrunnlag med overordnet beskrivelse av arbeidet som skal gjennomføres. Detaljprosjekteringen skal derimot utføres av totalentreprenør. *OPS* (Offentlig Privat Samarbeid) kan anses som en form for totalentreprise, der OPS-selskapet selv må finansiere prosjektering og gjennomføring uten involvering fra byggherre før i driftsfasen.

En av de avgjørende forskjellene mellom de to entrepriseformene er hvilken part som står ansvarlig for prosjekteringsarbeidet. Ved benyttelse av en kontrakt etter NS 8405 (utførelsesentreprise) inngår byggherre kontrakt med et prosjekterende firma som leverer *tegninger, beskrivelser og beregninger som er nødvendig og egnet som grunnlag for utførelsen* [19.2] (Standard Norge 2008). På denne måten blir konsulentene ansvarlig for å utarbeide grunnlagsmaterialet for prosjektgjennomføringen. Konsulentselskapenes vurderinger og funn under prosjekteringen vil være avgjørende for mengdebeskrivelser, metodebeskrivelser og funksjonskrav i kontrakten, der eksempelvis ingeniørgeologisk rapport er avgjørende for beskrivelser av sikring- og injeksjonsomfang (Arnesen

2012). Likevel er det viktig å presisere at byggherre står ansvarlig for prosjekteringen ovenfor entreprenør, samt bærer risikoen for grunnforholdene, til tross for at konsulentselskapet utfører selve prosjekteringen.

Dersom kontrakten baserer seg på NS 8407 (totalentreprise), vil derimot entreprenør inngå samarbeid med et konsulentselskap for å prosjektere vesentlige deler av prosjektet (Standard Norge 2011). Dette kan gi entreprenøren en bedre mulighet til å velge løsninger som vil optimalisere utførelsen (Grøv 2012a). Entrepriseformen er dermed et virkemiddel for ansvarfordeling, som gir totalentreprenøren større styringsmuligheter og mer ansvar (Grøv 2012b). Likevel vil byggherre fremdeles bære risiko for grunnforholdene dersom forholdene avviker *vesentlig* fra det som ble lagt til grunn i entreprenørens tilbudsfasen. Dette vil også være gjeldende dersom det avtales at totalentreprenør skal stå ansvarlig for grunnforholdene ved videre prosjektgjennomføring.

Som nevnt vil konsulentselskapene stå utenfor kontrakten mellom byggherre og entreprenør, og ansvarsfordelingen som følger av denne. Konsulentselskapene har dermed en egen kontrakt med parten de utfører prosjekteringsarbeidet for, der NS8401 (Standard Norge 2010) utgjør standarden for kontrakten. Det fremgår blant annet av standarden at prosjekterende skal sikre oppdragsgiverens interesser. I tillegg skal den prosjekterende tegne ansvarsforsikring som vil dekke eventuelle erstatningsansvar innenfor forsvarlige økonomiske og praktiske rammer. På denne måten begrenses det økonomiske ansvaret til rådgiverne dersom eksempelvis nødvendig ressursforbruk eller kvalitet på leveranser avviker fra prosjekteringsgrunnlaget, så lenge prosjekteringen er utført i henhold til gjeldende lover og regelverk.

### ***Oppgjørsform***

Oppgjørsformen i kontrakten regulerer beregningen av kompensasjonen fra byggherre til entreprenøren ved ferdigstillelse av prosjektet. Oppgjørsformene kan overordnet deles inn i to hovedgrupper: 1) priskontrakter og 2) kostnadskontrakter (Lædre 2013). Førstnevnte baserer seg på at prisen for kontrakten avtales og fastslås på forhånd, og er videre beskrevet som *fastpris*. Ved benyttelse av en kostnadskontrakt vil derimot kompensasjonen til entreprenøren beregnes basert på medgåtte kostnader i byggetiden, eksempelvis ved *enhetspriser* eller *regningsarbeid/kost pluss*.

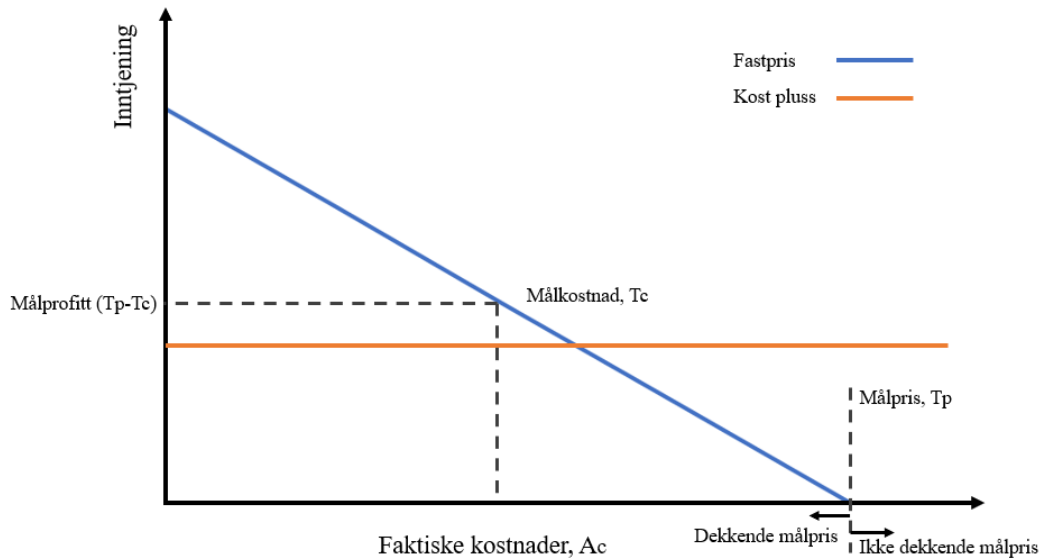
- *Fastpris* baserer seg på fastsettelse av en konstant pris, ofte kalt *rundsum* (RS), som vil utgjøre kompensasjonen til entreprenøren uavhengig av de faktiske prosjektkostnadene (Turner

& Simister 2001). Denne summen kan også defineres som byggherrens målpris for prosjekt-kostnadene,  $T_p$ . For at prosjektet skal være lønnsomt for entreprenøren, må deres målkostnad,  $T_c$ , for gjennomføringen være lavere enn den avtalte målprisen (Ahsan & Matsukawa 2012). Entreprenørens målprofitt kan beregnes av differensen  $T_p - T_c$ . Denne oppgjørsformen legger dermed tilrette for at entreprenøren må optimalisere sin utførelse slik at de faktiske prosjekt-kostnadene tilsvarer målkostnadene, ( $A_c \approx T_c$ ).

Dersom entreprenørens utgifter overstiger målet for kostnader,  $T_c$ , vil det fremdeles være mulig med en viss inntjening. Som vist av figur 6, vil entreprenøren oppnå profitt så lenge  $A_c < T_p$ . Derimot tilsier  $A_c > T_p$  at kompensasjonen fra byggherre ikke er dekkende. Prinsippet tilsier at all risiko for kostnadsoverskridelser er plassert hos entreprenør ved benyttelse av fastpris (Ward & Chapman 1995, Grøv 2012b).

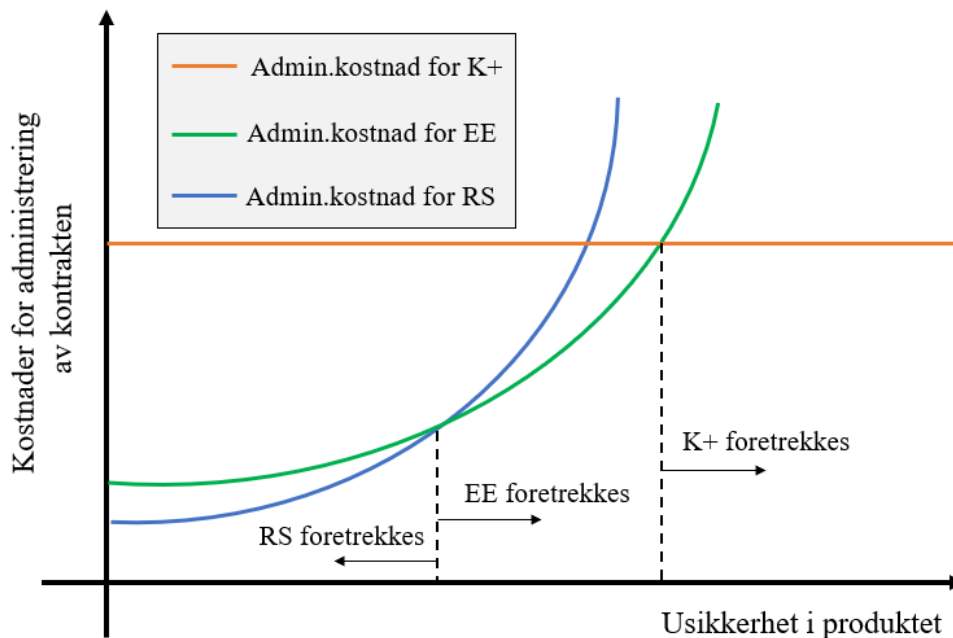
- *Kost pluss (K+)* baserer seg på at entreprenøren får kompensasjon for alle kostnader som påløper ved prosjektet, pluss en bestemt profittmargin. Denne oppgjørsformen kalles også for *regningsarbeid*, ettersom alle utgiftspostene til entreprenøren må føres for dokumentasjon til byggherre. Entreprenørens profittmargin er ofte beregnet som en prosent av totalkostnadene for prosjektet, eller eventuelt oppgitt som en fastsatt sum, (Turner & Simister 2001). Forholdet tilsier at entreprenøren vil få refundert alle sine utgifter, uavhengig av enhetspriser og produksjonsrate. På denne måten bærer byggherre all risiko, både for entreprenørens ressursforbruk og produktivitet.
- *Opgjør etter enhetspriser og ekvivalenttidsregnskap (EE)* baserer seg på medgåtte rater og mengder (Grøv 2012a). Bruk av oppgjørsformen innebærer at byggherre estimerer mengder og tid som antagelig vil medgå ved utførelsen. Deretter er entreprenør ansvarlig for å sette dekkende enhetspriser (pris/enhet) for å oppnå fortjeneste, basert på byggherrens prognoser. I tillegg benyttes ofte prinsippet ekvivalenttidsregnskap, som skal forsikre at byggetiden justeres som funksjon av grunnforhold og standard kapasiteter (Grøv 2012a). Er produksjonsraten lavere enn fastsatte ekvivalenttider (enhet/time), reduseres entreprenørens profitt, ofte i form av bøter for forsinkelser. Derimot er forsinkelser grunnet uforutsette grunnforhold byggherrens ansvarsområde, som kompenseres for ved regulering av byggetid.

Figur 6 illustrerer forskjellen på entreprenørens inntjeningsmuligheter som funksjon av faktiske kostnader for henholdsvis oppgjør etter fastpris og K+. For et oppgjør etter enhetspriser vil dekningsgraden på enhetsmengdene som faktisk benyttes i utførelsen avgjøre entreprenørens inntjening.



Figur 6: Inntjeningsmulighetene til entreprenør med oppgjør etter fastpris eller K+ (Ahsan & Matsukawa 2012).

Som nevnt innledningsvis i dette kapittelet, trekker Turner & Simister (2001) frem at valgt oppgjørsform bør reflektere usikkerheten i sluttproduktet for å redusere byggherrens administrative kostnader. Figur 7 viser hvordan byggherrens administrative kostnader kan relateres til valgt oppgjørsform og prosjektets usikkerhet. Som det fremgår av figuren bør byggherre velge RS ved lav usikkerhet, og K+ ved stor usikkerhet i sluttproduktet.



Figur 7: Relative kostnader for administrering av kontrakter med ulike oppgjørsformer (Turner & Simister 2001).

### 2.2.5 Virkemidler for prosess

For å påvirke prosessen for gjennomføring av prosjektet kan kontrakten inneholde insentiver og utradisjonelle bestemmelser.

**Insentiver** vil i denne sammenheng defineres som belønninger eller straff knyttet til ressursforbruk eller kvalitet ved utførelse av prosjektet (Lædre 2013). Ifølge Turner (2004) kan et godt bruk av insentiver bidra til å tilpasse entreprenørens mål til byggherrens mål gjennom å skape et ”vinn-vinn-spill”. Eksempelvis kan det motivere entreprenøren til valg av tekniske løsninger som anses som ekstra krevende, men som til gjengjeld reduserer ressursforbruk og gir kvalitetssikre resultater. Ifølge Lædre (2013) er ofte insentivene økonomiske, men entreprenører kan også motiveres av anerkjennelse, ære eller konkurransefortrinn ved senere prosjekter.

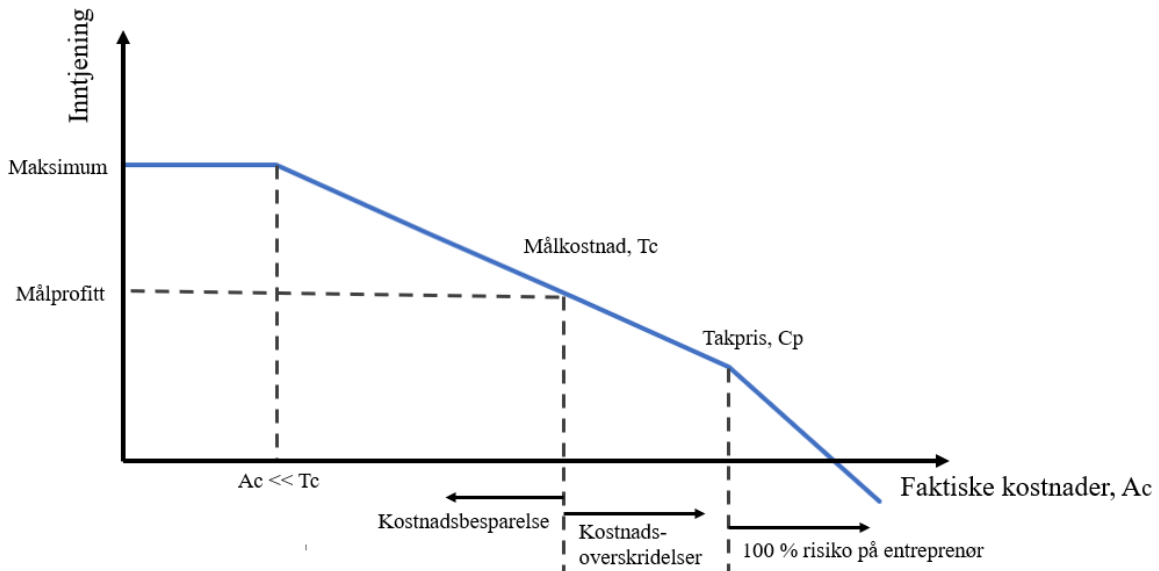
Insentiver knyttet til *ressursforbruk* vil påvirke oppgjøret mellom partene, samt risikofordelingen for kostnadsoverskridelser. I motsetning til oppgjør etter RS og K+, kan insentivene regulere entreprenørens minimale og maksimale inntjening som funksjon av faktiske kostnader. Ifølge Ward & Chapman (1995) kan reguleringsmekanismene deles inn i to hovedtyper: 1) Fast pris med insentiver (FPI) og 2) Kost pluss med insentiver (KPI). Begge insitamentordningene relateres til faktisk

ressursforbruk og danner et felles mål for prosjektkostnadene. Samtidig motiveres entreprenør til å optimalisere sin utførelse for å sikre maksimal inntjening. Ved overskridelser av målkostnader vil entreprenørens risiko og inntjeningsmuligheter reguleres på følgende måte:

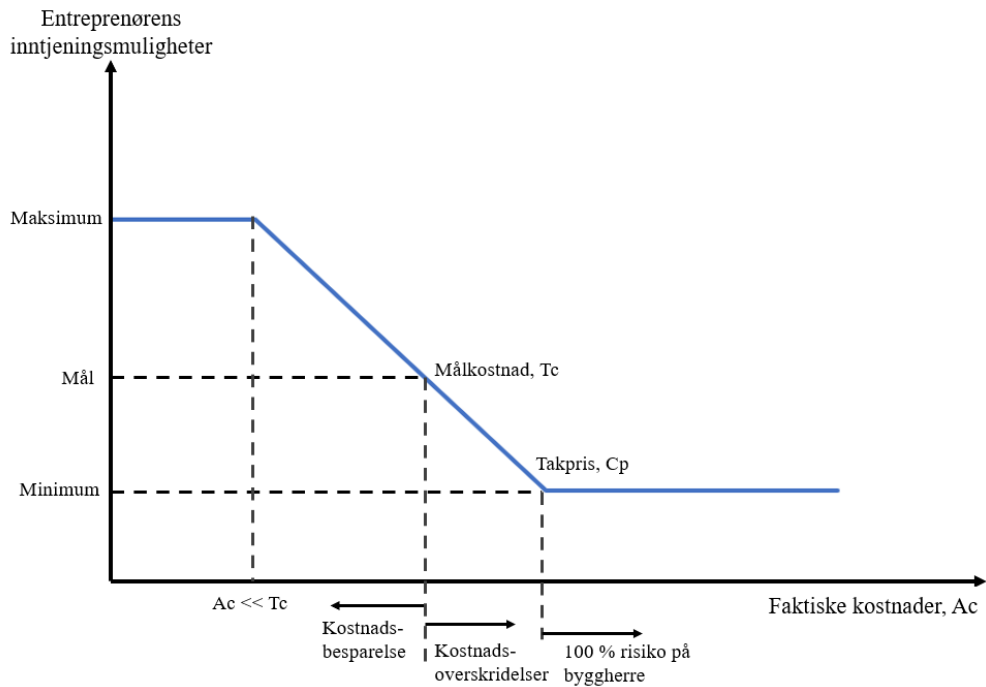
- Med FPI vil entreprenørens risiko generelt være større ved overskridelser av målkostnader. Eksempelvis dekker kun byggherre 40 % av kostnader etter overskridelse av  $T_c$ . I tillegg vil entreprenøren bære 100 % risiko dersom kostnadene overskrider takprisen,  $C_p$ .
- Med KPI vil byggherre generelt bære større risiko dersom faktiske kostnader overgår målkostnadene. Eksempelvis dekker byggherre 60 % av kostnader etter overskridelse av  $T_c$ . I tillegg tar byggherre 100 % risiko etter overskridelse av takprisen,  $C_p$ .

I tillegg kan kontrakten inneholde reguleringer som definerer fordeling av fortjeneste ved besparelse, altså dersom  $A_c < T_c$ . For et bestemt kostnadsintervall der differansen mellom  $A_c$  og  $T_c$  er liten, vil gjerne besparelsen deles mellom de to partene ut ifra en fastsatt prosentfordeling. Derimot kan byggherre fastsette en maksimal profittmargin for entreprenør dersom  $A_c \ll T_p$ , for å redusere totalkostnadene på prosjektet. Entreprenørens inntjeningsmuligheter som funksjon av ressursforbruk ved benyttelse av KPI og FPI er oppsummert av figur 8 og 9.

For å hindre at insentivene for ressursbesparelse går på bekostning av kvalitet kan det defineres at belønningen er avhengig av både medgåtte mengder/tid og resultatet av arbeidet. Eksempelvis presenterer Pran (2020) et konsept kalt *targetsum*, der det fastsettes målsummer for mengde- og tidsforbruk og krav til kvalitet for spesifikke anleggsprosesser. Dersom utførelsen gjennomføres innenfor det begrensede ressursforbruket, samtidig som resultatet tilfredsstillende fastsatte krav, vil det utløses en bonus til entreprenøren etter et avtalt delingsprinsipp som reflekterer risiko/gevinstfordelingen. Hensikten med insentivordningen er å motivere kontraktspartene til å finne en optimal teknisk gjennomføring av prosessen (Pran 2020).



Figur 8: Entreprenørens inntjeningsmulighet som funksjon av faktiske kostnader med FPI. Modifisert etter (Ward & Chapman 1995).



Figur 9: Entreprenørens inntjeningsmulighet som funksjon av faktiske kostnader med KPI. Modifisert etter (Ward & Chapman 1995).



*Utradisjonelle bestemmelser* kan defineres som kontraktsbestemmelser som ikke inngår i de standardiserte kontraktene, eksempelvis NS 8405 og NS 8407. Ifølge Lædre (2013) vil normalt utradisjonelle bestemmelser tilrettelegge for integrasjon mellom entreprenør og byggherre. *Samspill* er et eksempel på utradisjonelle kontraktsbestemmelser, som kan benyttes sammen med de fleste entreprise- og oppgjørsformene. En slik kontraktsbestemmelse inngår blant annet i kombinasjon med en totalentreprise i det pågående energiforsyningsprosjektet til nytt Regjeringskvartal (Statsbygg 2019). I kontrakten står det beskrevet at: ”*Partene inngår med denne avtalen et samspill som bygger på åpenhet, tillit og felles målforståelse. [...] Målet med samspillet er å samordne prosjektering, planlegging og utførelse med sikte på å finne frem til de beste løsningene for kvalitet, økonomi og fremdrift.*” (Statsbygg 2019) [s. 3].

Til tross for at det ofte kommer til uttrykk i norske kontrakter at partene er pliktige til å samarbeide, er det ikke alltid enkelt å etterleve (Grøv 2012a). Basert på Statsbygg (2019) sin definisjon av samspill, kan kontraktsbestemmelsen bringe klarhet i hvorfor samarbeidet er nødvendig og viktig for begge kontraktsparter.

### 2.2.6 Suksess i undergrunnsprosjekter

Som det fremgår fra foregående kapitler er kontraktstrategien verktøyet som fordeler risiko og ansvar mellom kontraktspartene. Kombinasjonen av ulike virkemidler vil derfor påvirke partenes mulighet til å oppnå målrelaterte suksesskriterier (Lædre 2013). Ifølge Grøv (2012a) vil partenes suksesskriterier ved utbygging av undergrunnsprosjekter ofte omhandle følgende målsetninger:

1. **Kostnader:** Totalkostnadene for prosjektgjennomføring skal være så lave som mulig.
2. **Samsvar:** Kvalitetskravene til anlegget skal samsvare med ønsket levetidskostnader.
3. **Ferdigstillelse:** Prosjektet skal være ferdigstilt innen fastsatt byggetid.
4. **Tillit:** Staten, som regulerer bevilgningen til prosjektet, samt sluttbruker, må kunne ha tillit til at leveransen har rett kvalitet og sikkerhet ved ferdigstillelse.
5. **Kontroll:** Entreprenøren må forsikre byggherre om at leveransen er kontrollert i henhold til moderne prinsipper om kvalitetskontroll. Byggherre må ha kontroll på mengder og fremdrift.

For å sikre slike målrelaterte kriterier, bør det velges en kontraktstrategi som tilrettelegger for etterlevelse av kritiske suksessfaktorer. Grøv (2012a) presenterer eksempelvis fem ulike suksessfakto-

rer som kontrakten bør ivareta for å sikre oppnåelse av de målrelaterte kriteriene ved utbygging av undergrunnsprosjekter:

1. **Insentiver:** Inkludering av insentiver/malusordninger til entreprenøren kan gi økt fokus på effektivitet, samtidig som kvalitet og sikkerhet ivaretas.
2. **Konfliktløsning:** Det er nødvendig med et fokus på å løse problemer på stedet, fremfor i rettsalen.
3. **Samarbeid:** Det må tilrettelegges for oppnåelse av felles målforståelse.
4. **Funksjonskrav:** Det bør benyttes funksjonskrav fremfor detaljerte tekniske beskrivelser ettersom dette kan stimulere til innovasjon og utvikling fra entreprenørens side.
5. **Reguleringsmekanismer:** Det bør benyttes reguleringsmekanismer som spesifiserer fordeling av risiko for *endrede forhold*.

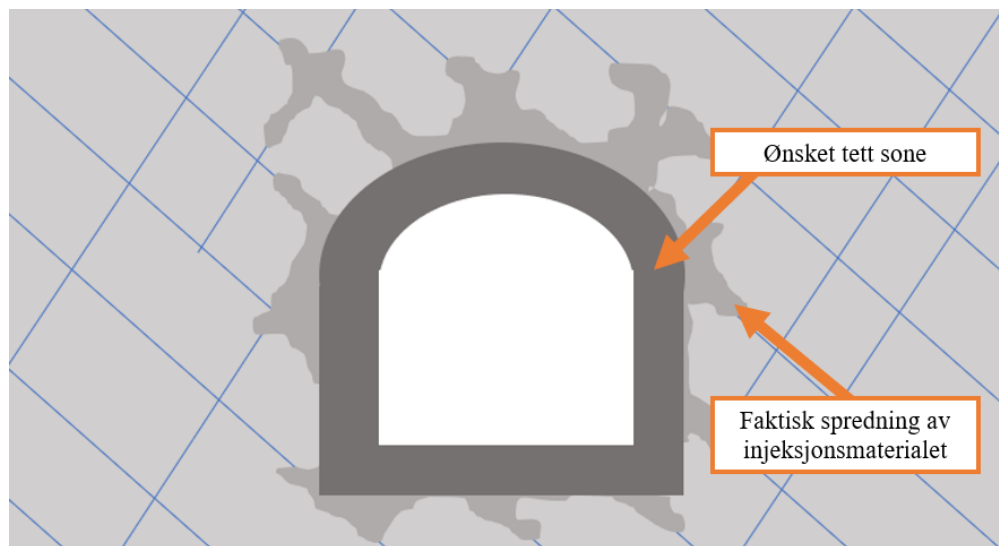
## 2.3 Tetting av bergrom

Dette kapitlet presenterer relevant teori om tetting av bergrom. Hensikten er å gi forklaring på hvorfor tetting av bergrom er nødvendig, samt bakgrunnen for at forinjeksjon regelmessig inngår i norsk tettestrategi. Kapitlet beskriver derfor ulike strategiske og metodiske prinsipper som må vurderes og videre benyttes for å redusere innlekkasje til undergrunnsanlegg. Forinjeksjon er vektlagt for å frem metodens muligheter og begrensninger.

### 2.3.1 Tettestrategi og funksjonskrav

Ved utbygging av undergrunnsprosjekter er det nødvendig å kontrollere innlekkasjen av vann (Beitnes 2002, Grøv & Woldmo 2012). For å begrense innlekkasjen til bergrom kan det hovedsakelig benyttes to ulike former for tetting: 1) injeksjon og 2) vannsikringskonstruksjoner.

*Injeksjonens* generelle hensikt er å redusere bergmassens hydrauliske egenskaper rundt hele bergrommets periferi for å begrense innlekkasjen (Grøv & Woldmo 2012). Dette gjennomføres ved å pumpe et egnet injeksjonsmateriale inn i bergmassens sprekkesett, slik at sprekkekonduktiviteten reduseres betydelig i nærhet av bergrommet, som vist av figur 10. Injeksjon kan gjennomføres både foran eller bak stuff, omtalt som henholdsvis *forinjeksjon* og *etterinjeksjon*. Strategivalget gir en permanent reduksjon av bergmassens vannledende evner rundt bergrommet.

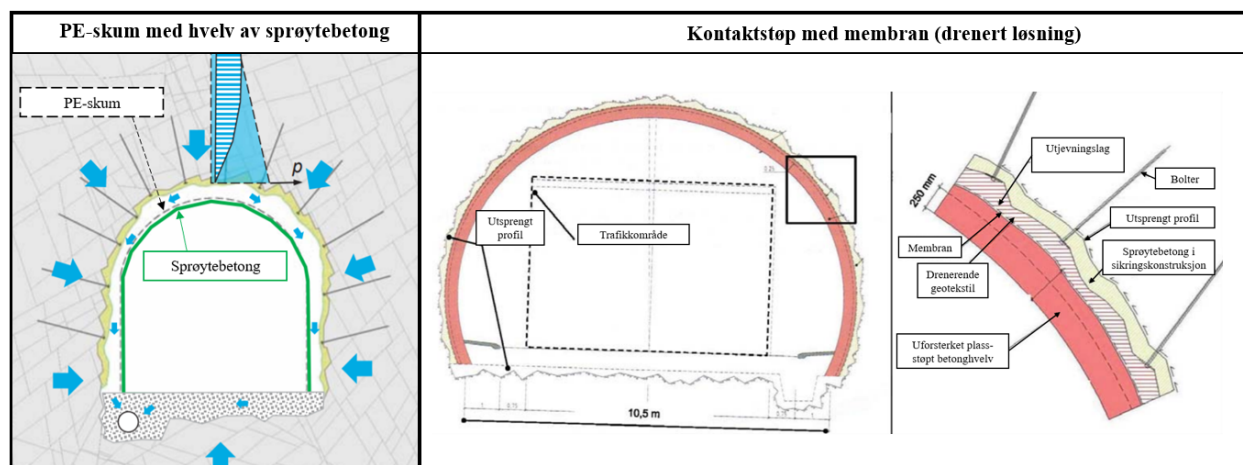


Figur 10: Bergmassens vannledende evner reduseres som følge av innpumpet injeksjonsmaterialet.

*Vannsikringskonstruksjoner* er en samlebetegnelse for konstruksjoner som installeres for å håndtere eventuelle lekkasjer bak stuff. Ved konvensjonell tunneldriving installeres ofte konstruksjonene etter gjennomslag, der fire ulike metoder er godkjent av Statens Vegvesen for vegtunneler (Statens Vegvesen 2020):

1. Membran med betongelementer.
2. Membran med hvelv av sprøytebetong.
3. PE-skum med hvelv av sprøytebetong.
4. Kontaktstøp med membran.

For jernbanetunneler er det kun kontaktstøp med membran, samt en ny metode kalt sprøybar membran, som er godkjent, (Bane NOR 2020b). Som det fremgår av figur 11, innebærer løsningene med betongelementer og sprøytebetong drenerende konstruksjoner. Kontaktstøp kan enten være drenerende/ikke-drenerende, avhengig av om bergrommets såle også støpes ut (Holter 2020).



Figur 11: Illustrasjon av to ulike prinsipper for vann- og frostsikring av tunneler. Hentet fra Holter (2020).

Som det fremgår av de ulike prinsippene for tetting, er forinjeksjon det eneste alternative som reduserer sprekkekonduktiviteten foran stuff. Utbyggingen av Romeriksporten på 90-tallet anses som et prosjekt som økte bevisstheten rundt tettestrategiens nytteverdi, og spesielt behovet for forinjeksjon. Ifølge Beitnes (2002) valgte byggherre å benytte etterinjeksjon i håp om å ferdigstille prosjektet til fastsatt byggetid. Strategivalget fikk derimot store konsekvenser for både prosjektøkonomien og tidsfristen, ettersom etterinjeksjonen ikke ga tilstrekkelige resultater. Innlekkasjen til bergrommet under anleggsarbeidene hadde også svært negativ innvirkning på ytre naturomgivelser, der de

overliggende tjernene Lutvann og Puttjern ble kraftig drenert (Beitnes 2002). Grøv & Woldmo (2012) trekker også frem at erfaring tilsier en økning av prosjektkostnader på 50-200 % ved benyttelse av etterinjeksjon, fremfor forinjeksjon. Tidligere erfaringer med valg av tettestrategi har definitivt hatt betydning for anleggsbransjens nåværende vurderinger av optimale metoder for tetting av bergrom (Beitnes 2002). Forinjeksjon er i dag ansett som en viktig og nødvendig del av driveprosessen.

Forinjeksjon kan ifølge Holmøy et al. (2019) redusere bergmassens hydrauliske konduktivitet ned til  $4-6 \cdot 10^{-9}$  m/s ved bruk av tilpassede teknikker. Selv ved optimale resultater vil likevel ikke tettheten tilfredstille fastsatte *funksjonskrav* for moderne samferdselsprosjekter. Ifølge Statens Vegvesen (2012), Statens Vegvesen (2011) og Bane NOR (2020b) skal nye veg- og jernbanetunneler tilfredsstille krav om 100 års levetid på tunnelkonstruksjonen, samt ha en teknisk levetid på 20-30 år. Begrepet *levetid* defineres som tiden inntil den omtalte komponenten ikke lenger tilfredsstiller opprinnelige krav eller nye brukerkrav (Statens Vegvesen 2011). I tillegg skal det ikke forekomme direkte drypp på veg- eller jernbane i tunnelens driftsfase. For å tilfredsstille funksjonskravene er det derfor nødvendig med en kombinert strategi, der både forinjeksjon og vannsikring benyttes. For å optimalisere tettestrategien for et spesifikt prosjekt er det derfor nødvendig å avdekke kost/nytteverdien av forinjeksjon, der tre hensyn er regulerende (NFF 2010):

### 1. *Ytre omgivelser.*

Forinjeksjon er først og fremst et nyttig verktøy for grunnvannskontroll ved tunneldriving av hensyn til ytre miljø (Beitnes 2002). For å finne akseptabel innlekkasje til bergrommet må derfor sensitiviteten til omliggende infrastruktur og naturmiljø kartlegges (Grøv & Woldmo 2012). Ifølge Karlsrud et al. (2003) gjennomføres såkalte sensitivitetsanalyser for å få en forståelse av hvilke konsekvenser endringer i grunnvannsstand eller overvann kan medføre for omgivelsene innenfor undergrunnsanleggets influensområde. For urbane områder handler det om å predikere potensielle setningsskader på eksisterende byggverk og infrastruktur, basert på drenasjeegenskaper til omliggende løsmasseavsetninger, faktorer tilknyttet vannkilder og bergmassens hydrauliske konduktivitet (Grøv & Woldmo 2012). Dersom undergrunnsanlegget er i områder med sensitivt naturmiljø kan forinjeksjonens hensikt være å ivareta det biologiske mangfoldet ved å opprettholde eksisterende vannbalanser (Karlsrud

et al. 2003).

### 2. *Funksjonskrav.*

Dersom de ytre omgivelsene ikke krever en permanent reduksjon av bergmassens vannledende egenskaper under driving, er det anleggets funksjonskrav som avgjør nyttverdien til forinjeksjon. Eksempelvis er funksjonskrav for høytrafikkerte vegtunneler strengere sammenlignet med middels- til lavtrafikkerte tunneler, ettersom det er mer samfunnskritisk å opprettholde deres funksjon (Statens Vegvesen 2012).

Et fuktig miljø vil påvirke levetiden til tunnelkonstruksjoner og tekniske installasjoner (Statens Vegvesen 2012). For spesielt undersjøiske tunneler, der aggressivt saltvann vil trenge inn, kan forinjeksjon bidra til å ivareta tekniske installasjoners levetid og begrense korrosjon på sikringsmidler. Undersjøiske tunneler er også særegne ettersom de alltid må drives med et lavbrekk, som tilsier at alt lekkasjevann må pumpes ut via pumpestasjoner (NFF 2010). Forinjeksjon reduserer dermed kostnader tilknyttet pumpestasjonenes dimensjonering, og påfølgende pumpekostnader i tunnelens driftsfase. I tillegg bør det gjennomføres en kost/nyttevurdering opp mot vannsikringskonstruksjonene og dreneringsanleggenes dimensjonerende kapasiteter (Statens Vegvesen 2012).

### 3. *Indre arbeidsmiljø.*

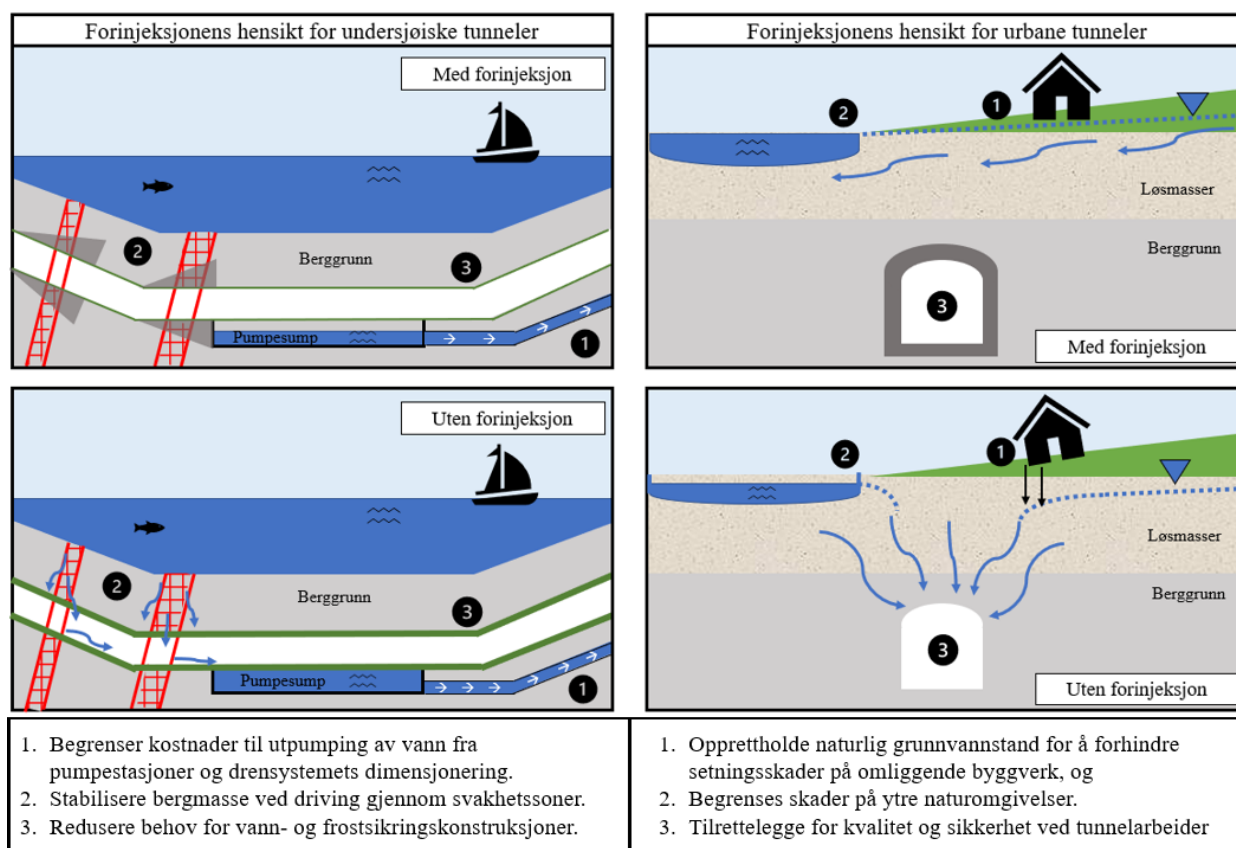
Store vanninnbrudd under driving kan skape problemer med kvalitet på støpearbeider og medføre vanskeligheter for installasjon av sikringsbolter (NFF 2010). Samtidig kan høye vanntrykk medføre større eller mindre utfall på stuff, som potensielt kan skade arbeidere og utstyr. Innlekkasjen kan derfor begrenses med forinjeksjon for å ivareta sikkerheten under undergrunnsarbeidene, samt for å sikre kvalitet i leveransen.

Etter en evaluering av konsekvensene innlekkasjen kan medføre, fastsettes krav for maksimal tillatt innlekkasje, ofte oppgitt som L/min/100m eller L/min/km bergrom. Kravene kan variere langs undergrunnsanleggets trasé basert på sensitivitetsgraden til nærområdet, der tabell 2 angir typiske verdier for tetthetskrav.

Tabell 2: Typiske verdier for innlekkasjekrav basert på omgivelsenes sensitivitet. Verdier hentet fra Grøv & Woldmo (2012).

| Innlekkasjekrav [L/min/100m] | 2-5              | 5-10      | 10-30                | > 30               |
|------------------------------|------------------|-----------|----------------------|--------------------|
| Omgivelser                   | Høy sensitivitet | Sensitivt | Moderat sensitivitet | Ingen sensitivitet |

Som det fremgår av tabellen, er det anleggets ytre omgivelser som hovedsakelig er bestemmende for nødvendig tetthet og injeksjonsomfang (Grøv & Woldmo 2012). Funksjonskravene er derimot med på å avgjøre hvilke kombinasjoner av vannsikring og forinjeksjon som er mest hensiktsmessig, samt hvilken type vannsikringskonstruksjon som bør benyttes. Figur 12 illustrerer overordnede prinsipper for tetting av bergrom med ulike ytre omgivelser og funksjonskrav; undersjøiske tunneler og urbane undergrunnsanlegg.



Figur 12: Forinjeksjonens hensikt for henholdsvis undersjøiske og urbane tunneler.

### 2.3.2 Bergmassens hydrauliske egenskaper

Vannets evne til å strømme gjennom bergmasse, også kalt bergmassens hydrauliske konduktivitet, er avhengig av både væskens og det porøse mediets strømningsegenskaper og angis med benevning [m/s] (Gustafson 2009). Ifølge Dragstad et al. (2003) vil vannstrømningen i norsk berggrunn hovedsakelig være sprekk kontrollert, som tilsier at den hydrauliske konduktivitet styres av bergartens oppsprekningsgrad og sprekkarakter. På denne måten skiller bergmassen seg fra andre strømningsmedier, som eksempelvis permeable løsmasseavsetninger, der vannstrømningen vil være kontrollert av mediets porøsitet (Dragstad et al. 2003). Videre vil geologiske faktorer som påvirker bergets sprekkkonduktivitet og den potensielle innlekkasjen ved driving av bergrom beskrives nærmere.

#### *Geologiske faktorer som påvirker sprekkkonduktivitet*

En rekke ulike geologiske faktorer kan påvirke bergets oppsprekking og sprekkarakter, og vil dermed være avgjørende for bergmassens hydrauliske konduktivitet. Disse faktorene kan overordnet deles inn i to kategorier med følgende beskrivelser:

- *Ytre påkjenninger.*

Berggrunnen utsettes for ytre påkjenninger i form av spenninger og dannelse av geologiske strukturer. Disse geologiske faktorene vil ha betydning for bergmassens vannledende egenskaper. Eksempelvis vil lave spenninger eller strekkspenning gi åpne sprekkese sett med større vannledende evner (Løset 2006). Områder med lave vertikalspenninger, som nær overflaten, kan dermed medføre åpne horisontale sprekkese sett. I tillegg viser Holmøy (2008) hvordan sprekkese sett med en orientering sub-parallelt største hovedspenning generelt er svært vannledende. Samtidig er vannledende sprekkese sett ofte orientert  $45 \pm 15^\circ$  i forhold til nærliggende, store forkastningssoner (Holmøy 2008). Ifølge Rohr-Torp (1994) har også den tertiære landhevningen gjenåpnet og reaktivert eldre sprekkese sett, og dermed kan det forventes vannledende berggrunn i områder utsatt for relativt stor heving. Samlet viser disse eksemplene hvordan lokale ytre påkjenninger kan være bestemmende for bergmassens vannledende egenskaper.

- *Bergartens mekaniske egenskaper.*

Sprekker kan forekomme som følge av strekk- eller skjærspenninger, og dermed vil berg-



artens strekk- og trykkfasthet være av betydning for oppsprekningsgraden (Løset 2006). I tillegg vil bergartens deformasjonsegenskaper være avgjørende for sprekkenes utholdenhet og opptreden. Hvilket sleppemateriale som dannes vil også være avhengig av bergartstype, samt temperatur ved knuseprosessen (Løset 2006). Sleppematerialet i harde bergarter vil ofte bestå av harde mineraler som kvarts og feltspat, og utgjøre en tett fylling. Enkelte bergarter gir også opphav til leirfyllinger med lav hydraulisk konduktivitet. Sirkulerende vann kan vaske ut slike leirfyllinger over tid og gjøre bergmassen vannledende i større grad (Løset 2006).

Klüver & Kveen (2004) har fremstilt et klassifiseringssystem for bergmassens hydrauliske konduktivitet basert på generelle sprekkeegenskaper, som vist i tabell 3. Tabellen viser også hvilke bergartstyper som normalt vil ha slike vannledende egenskaper. Likevel bør det påpekes at Holmøy (2008) og Dragstad et al. (2003) viser til store variasjoner i hydraulisk konduktivitet innenfor samme bergartstype. Det kan dermed understrekes at oppsprekningsgrad og sprekkekarakter er avhengig av det lokale samspillet mellom ytre påkjenninger og bergartens mekaniske egenskaper.

Tabell 3: Klassifiseringssystem av bergmassens hydrauliske konduktivitet basert på sprekkekarakteristikk (Klüver & Kveen 2004).

| Klasse | Sprikkeåpning                        | Sprikkebelegg   | Hydraulisk konduktivitet | Typiske bergarter   |
|--------|--------------------------------------|---|--------------------------|---|
| A      | Åpen                                 | Ingen eller tynt belegg                                 | Høy                      | Sandstein, kvartsitt, granitt og syenitt                              |
| B      | Delvis åpen, vannstrømning i kanaler | Delvis fylt med leir, silt eller bergartsfragmenter     | Medium til høy           | Prekambriske gneiser eller tilsvarende metamorfe bergarter            |
| C      | Kun små kanaler                      | Høy fyllingsgrad av leir, silt eller bergartsfragmenter | Lav                      | Metamorfe bergarter som skifer, fyllitt, glimmerskifer og grønnstein. |
| D      | Ekstremt åpen og/eller hulrom        | Ingen eller tynt belegg                                 | Ekstremt høy             | Bergmasse påvirket av tektonisk bevegelse eller karst                 |

### ***Faktorer som påvirker innlekkasjen til bergrom***

Ved driving av undergrunnsanlegg er bergmassens hydrauliske egenskaper av betydning for å estimere den potensielle innlekkasjen til bergrommet (Holmøy et al. 2019). Mengden innlekkasjevann er også avhengig av andre forhold, der blant annet Grøv & Woldmo (2012) trekker frem hvordan faktorer tilknyttet vannkilden er bestemmende for innstrømningen til bergrommet. Disse faktorene kan beskrives som følger (Grøv & Woldmo 2012):

- *Størrelsen på vannkilden* vil definere vannvolumet som potensielt kan dreneres mot bergrommet. Eksempelvis vil undersjøiske tunneler med overliggende hav ha en uendelig stor vannkilde, sammenlignet med mettede løsmasseavsetninger.
- *Grunnvannsspeilets høyde over undergrunnsanlegget* vil påvirke det hydrostatiske trykket mot bergrommets periferi.
- *Den horisontale avstanden mellom vannkilden og undergrunnsanlegget*. Strømningsveien vil være avgjørende for hvor raskt det oppstår reinfiltrasjonen av sprekkesettene i bergmassen. De hydrauliske egenskapene til løsmasseavsetninger mellom vannkilde og berggrunn er også avgjørende for mengden innlekkasje.

Det finnes ulike hydrauliske testmetoder som kan gi en indikasjon på hvilken innlekkasje som bør forventes under tunneldrivingen. Slike hydrauliske tester kan både benyttes i planleggingsfasen for å estimere forventet nødvendig injeksjonsomfang, samt i drivefasen for å ta avgjørelser tilknyttet initiering av forinjeksjon. *Vanntapsmåling* er metoden som er mest anvendt for å få en indikasjon på bergmassens hydrauliske konduktivitet før driving, der en såkalt Lugeon-verdi registreres basert på vanntapet i en seksjon av et kjerneborehull ved et gitt overtrykk (Gustafson 2009). Under driving benyttes *sonderboring* i stoff for måling av innstrømmende vannvolum per tidsenhet (L/min) fra et visst antall borehull. Resultatene av boringen og vannmålingene gir informasjon om de geologiske forholdene foran stoff og sprekkenes vannledende egenskaper, og kan benyttes for å tilpasse injeksjonsomfang og -teknikk (Grøv & Woldmo 2012).

### **2.3.3 Injeksjonsmetodikk**

For å tilfredstille fastsatte innlekkasjekrav må det velges en passende injeksjonsmetodikk, ofte omtalt som en prosedyre, som beskriver hvilke tekniske løsninger som skal anvendes ved gjen-

nomføringen av injeksjonsarbeidene (NFF 2010). Den tekniske prosedyren kan variere fra prosjekt til prosjekt, men også innenfor ulike seksjoner av tunnelstrekningen. Hovedsaklig handler det om å tilpasse forinjeksjonen etter grunnforholdene og funksjon- og innlekkasjekravene på stedet (Grøv & Woldmo 2012).

Overordnet kan den strategiske tilnærmingen for forinjeksjon deles i to kategorier (Grøv & Woldmo 2012):

1. *Systematisk forinjeksjon* tilsier at injeksjon initieres etter et bestemt antall salver som sikrer tilstrekkelig overlapp mellom hver injeksjonsskjerm. På denne måten vil bergmassens vannledende egenskaper reduseres over hele bergrommets trasé. Strategien bør benyttes for innlekkasjekrav mellom 0-15 L/min/100m bergrom.
2. *Behovsprøvd forinjeksjon* tilsier at en injeksjonsomgang initieres basert på målt vanninnstrømning fra sonderhull. For innlekkasjekrav mellom 15-30 L/min/100m bør skjerm igangsettes dersom innstrømningen overstiger 1-2 L/min for enkelthull, eller 2-6 L/min for alle sonderhull. Dette tilsier at det må gjøres kontinuerlige vurderinger av nødvendig injeksjonsomfang på stoff, basert på områdets innlekkasjekrav.

Uavhengig av om forinjeksjonen skal utføres systematisk eller behovsprøvd, er det ifølge Klüver & Kveen (2004) nødvendig å ha forståelse for, og fokus på, bergmassens og injeksjonsmassens egenskaper ved planlegging og utførelse av forinjeksjon. Dette gir forutsetninger for å forstå injeksjonsmassens utbredelse og inntrengningsevne, fastslå nødvendig mengdeforbruk og injeksjonstrykk, samt utforming av injeksjonsskjermens geometri og hullavstand. Det er videre tatt sikte på å gi en oversikt over slike forhold, der det henvises til kapittel 2.3.2 for beskrivelse av bergmassens vannledende egenskaper. I tillegg gis det en kort beskrivelse av utstyret som benyttes, samt enkelte metoder for å kontrollere tettestresultatet etter endt forinjeksjon.

### ***Injeksjonsmaterialer og tilsetningsstoffer***

Til forinjeksjon benyttes hovedsakelig sementbaserte injeksjonsmaterialer bestående av en blanding av sement, vann og potensielt enkelte tilsetningsstoffer (NFF 2010). Sementtypene deles hovedsakelig inn i to hovedgrupper basert på sementens gjennomsnittlige partikkelstørrelse med benevnning [ $m^2/kg$ ], omtalt som en Blaine-verdi. I tillegg benyttes en  $d_{95}$ -verdi som beskriver siktestørrelsen på 95 % av sementpartiklene (Klüver & Kveen 2004). Tabell 4 presenterer partikkele-

genskapene til henholdvis *industrisement* og *mikrosement*.

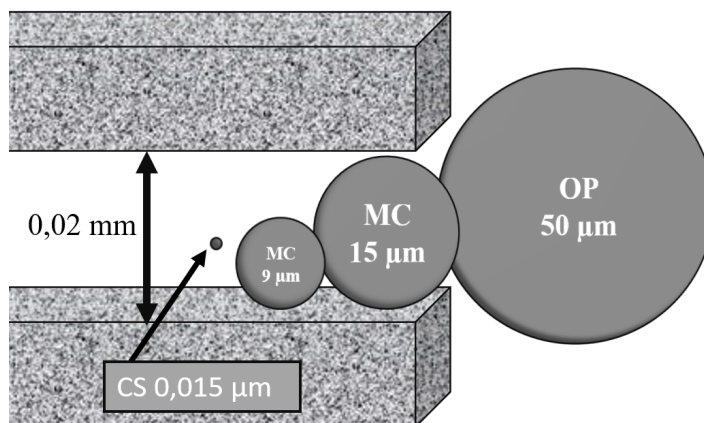
Tabell 4: Partikkelegenskaper til ulike sementtyper (NFF 2010, Garshol 2003).

| Sementtype     | $d_{95}$           | Blaine-verdi         |
|----------------|--------------------|----------------------|
|                | [mm]               | [m <sup>2</sup> /kg] |
| Industrisement | < 40 $\mu\text{m}$ | 400-450              |
| Mikrosement    | < 20 $\mu\text{m}$ | 550                  |

Som det fremgår av tabellen har industrisement størst partikkelstørrelse, og ifølge Garshol (2003) vil derfor injeksjonsmaterialet kun trenge inn i sprekkeåpninger ned til 0,3 mm. Mikrosement vil derimot trenge inn i sprekkeåpninger ned til 0,06 mm. Bruksområdene til de ulike sementtypene kan på denne måten direkte relateres til geologiske forhold, der mindre sprekkeåpninger vil kreve finere sementtyper. I områder med strenge begrensninger for tillatt innlekkasje kreves også tetting av mindre mikrosprekker. I slike tilfeller kan det være hensiktsmessig å benytte ikke-sementbaserte injeksjonsmaterialer, der *kolloidal silika* og *polyuretan* fremtrer som de mest anvendte (NFF 2010). Disse injeksjonsmaterialene har følgende egenskaper og bruksområder:

- *Kolloidal silika* er en vannsuspensjon med silikapartikler med en kornstørrelse på 0,016  $\mu\text{m}$  (Garshol 2003). Viskositeten til injeksjonsmaterialet er tilnærmet lik viskositeten til vann, og i kombinasjon med en liten partikkelstørrelse gir dette svært god inntrengningsevne i bergmassens sprekkesett. Under injeksjon tilsettes en saltvannløsning for å oppnå en gell-effekt, der reaksjonstiden er avhengig av saltmengde og temperatur.
- *Polyuretan* er et kjemisk 1-komponent injeksjonsmiddel som skummer ved kontakt med vann (NFF 2010). Ekspansjonen som inntreffer vil øke materialets volum 20-25 ganger, og reaksjonen er ferdig i løpet av omlag 2 minutter. Polyuretan benyttes hovedsakelig til tetting av innlekkasjer fra boltehull (etterinjeksjon), men kan også benyttes ved forinjeksjon i spesielle tilfeller.

Figur 13 illustrerer partikkelstørrelsene til henholdvis industrisement, mikrosement, ultrafin sement og kolloidal silika. Begrepet ultrafin sement benyttes for mikrosementer med svært liten partikkelstørrelse;  $d_{95} < 10 \mu\text{m}$  (NFF 2010).



Figur 13: Partikkelstørrelser på ulike injeksjonsmaterialer sammenlignet med en sprekkåpning på 0,02 mm. Modifisert etter Grøv (2020).

Injeksjonsmaterialets *herdetid* vil også være av stor interesse ettersom injeksjonsmaterialet må oppnå tilstrekkelig fasthet før initiering av påfølgende boring og sprengning (Garshol 2017). Industrisementens herdetid er normalt på mellom 8-10 timer, til motsetning fra en rask mikrosement som herder etter omlag 2 timer (NFF 2010). Ifølge Grøv & Woldmo (2012) vil derfor bruk av industrisement gi 20-50 % lengre syklustid enn mikrosement. Herdetiden er også temperaturavhengig, der en temperaturøkning på 10°C generelt medfører en halvering av tidsforbruket (NFF 2010). I tillegg påvirkes herdetiden av kvaliteten på vannet som tilsettes blandingen, der høy pH, temperatur og saltinnhold kan virke akselererende for den kjemiske prosessen.

I enkelte tilfeller kan det være nødvendig å styre sementens herdetid aktivt, spesielt ved ukontrollerte utganger eller ved store masseinn ganger i enkelthull (NFF 2010). Dette gjennomføres ved tilsetning av såkalt *akselerator*, der mengdedoseringen som tilføres direkte på stav er avgjørende for reduksjonen av herdetid. Tilsetning av akselerator er mest egnet ved bruk av mikrosement.

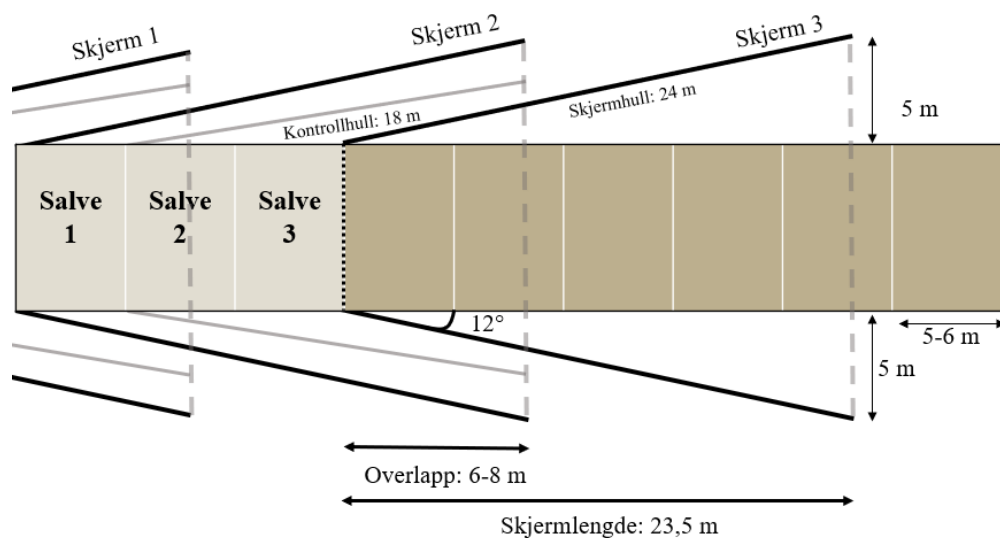
I tillegg kan injeksjon av såkalt *mauringsmasse* benyttes for å tette store lekkasjer eller åpne sprekker. Ifølge Klüver & Kveen (2004) tilsettes skumgummibiter, bark, spon, sagflis eller spesialmasser med tilpasset kornstørrelse som avsettes i lekkasjesonen. Bruk av både akselerator og mauringsmasse er hensiktsmessig ved store konduktivitetskontraster, ettersom injeksjonsmassen går minste motstands vei. En velykket tetting av åpen sprekk kan dermed føre til masseinntrengning i nærliggende, mindre sprekkesett.

Viskositeten til injeksjonsmaterialet påvirker både massens inntrengningsevne og utvikling av trykkfasthet/herdetid (Klüver & Kveen 2004). Hovedsakelig reguleres viskositeten av vann-sementforholdet i blandingen, ofte omtalt som injeksjonsmassens  $\frac{v}{c}$ -tall. Et høyt  $\frac{v}{c}$ -tall gir en lavere viskositet og påfølgende bedre inntrengningsevner (Garshol 2003). Derimot reduseres utviklingen av trykkfasthet, samtidig som det kan oppstå problemer med stor vannutskillelse (bleeding) (Grøv et al. 2018, NFF 2010). Tilsetning av såkalt *silikaslurry* har en stabiliserende effekt, og tilsettes derfor injeksjonsblandingen i en mengde på 5-10 % av sementvekten (NFF 2010). For spesielt små sementpartikler oppstår det også kjemiske overflatekrefter som forhindrer inntrengning i de mindre sprekkeåpninger. For å dispergere sementpartiklene tilsettes derfor *superplastiserende stoffer* i en mengde på 1,5-2 % av sementvekten (NFF 2010).

### ***Injeksjonsskjermens geometriske utforming og hullavstand***

Injeksjonsskjermens utforming må tilpasses sprekkegeometrien slik at borehullene krysser vannledende sprekkesett (Klüver & Kveen 2004). I tillegg må forhold tilknyttet bergrommets geometriske utforming og plassering hensyntas. Eksempelvis vil et bergrom med lav overdekning kreve kortere og flere injeksjonshull. Ifølge Grøv & Woldmo (2012) tilsvarer en normal skjermutforming 24 meter lange hull med en stikning på 12-14 grader. Den geometriske utformingen gir en tett sone på omtrent 5 meter rundt tunnelprofilen.

For undergrunnsprosjekter med systematisk forinjeksjon er det også nødvendig å sikre tilstrekkelig overlapp mellom skjermene, slik at bergmassens hydrauliske konduktivitet reduseres langs hele tunneltraseen. Det er derfor normalt å planlegge for 5-8 meter overlapp, avhengig av innlekkasjekravene på aktuell strekning (Grøv & Woldmo 2012). Systematisk forinjeksjon med overlapp og normal stikning på borehull er illustrert i figur 14.



Figur 14: Prinsippet for systematisk forinjeksjon. Modifisert etter Grøv & Woldmo (2012).

### **Stoppkriterier og injeksjonstrykk**

For at injeksjonsmaterialet skal trenge inn i bergmassens sprekkesett kreves et visst pumpetrykk. For å fastsette det maksimale injeksjonstrykket bør overdekning, spenningsforhold, sprekkevannstrykk og type injeksjonsmateriale vurderes (NFF 2010). Ved en tilstrekkelig overdekning er det i Norge normalt å bruke et injeksjonstrykk opp mot 100 bar (NFF 2010). Ifølge Garshol (2003) bør det maksimale pumpetrykket benyttes fra start for hvert skjermhull inntil:

1. Det ikke oppnås større inngang av injeksjonsmasse under pumping på det maksimale pumpetrykket, eller
2. Mengdene som har medgått tilsvarer fastsatte mengdebegrensninger for det spesifikke hullet, uavhengig av oppnådd mottrykk.

Ifølge NFF (2010) bør det tilstrebes at enkelthull avsluttes som følge av oppnåelse av ønsket mottrykk, som forklart i punkt 1. Det er likevel nødvendig med stoppkriterier som hensyntar medgåtte mengder for å begrense skjermens ressursforbruk (Garshol 2003). Ifølge Garshol (2017), tilsier erfaringer at injeksjon av industrisement uten mengdebegrensninger kan gi enkeltskjermer med et mengdeforbruk opptil 200-300 tonn/skjerm. Det bør derfor fastsettes en mengdebegrensning basert på målt vanntrykk for den aktuelle skjermen. Et eksempel på mengdebegrensninger og nødvendig skjermhull for ulike vanntrykk er presentert i tabell 5.

Tabell 5: Eksempel på bruk av mengdestopp for enkelthull, avhengig av skjermgeometri og vanntrykk for vegtunnel med tunnelprofil T10,5. Verdiene er hentet fra Garshol (2017); Mælefjelltunnelen.

| Vanntrykk      | Antall skjermhull | Mengestopp |
|----------------|-------------------|------------|
| < 100 L/min    | 22                | 3000 kg    |
| 100-400 L/min  | 16                | 3000 kg    |
| 400-1000 L/min | 12                | 6000 kg    |
| > 1000 L/min   | 8                 | 10000 kg   |

### *Injeksjonsutstyr*

Dagens injeksjonsrigger er ofte utstyrt med 2-3 separate linjer og blandekar (Klüver & Kveen 2004). For å dokumentere injeksjonsarbeidet bør injeksjonsriggeren ha en automatisk logging av benyttet volum av ulike resepter, pumpetrykk og start/stopptid for ulike blandinger (NFF 2010).

Ifølge NFF (2010) bør injeksjonspumpene ha en kapasitet på 100 liter injeksjonsmasse per minutt ved omlag 80 % av maksimalt tilatt trykk. Blandere og omrørere må også kunne levere mellom 50-100 liter/min for å dekke massebehovet for injeksjon ved høye trykk. Samlet bør systemet fungere tilfredstillende for  $\frac{v}{c}$ -tall ned mot 0,5 (Klüver & Kveen 2004).

Videre tilsier det høye pumpetrykket at annet utstyr langs injeksjonslinjen også må tåle 100 bar, som koblinger, staver og pakkere (Klüver & Kveen 2004). Stav lengden er normalt på 3 meter, der pakkeren plasseres 1,5-2,5 meter inn i borehullet avhengig av kvaliteten på bergmassen (NFF 2010). Det benyttes normalt engangspakkere, som spennes opp i borehullet ved hjelp av injeksjonsstaven. I spesielle tilfeller kan det derimot være hensiktsmessig med flergangspakkere. *Hydrauliske pakkere* er en pakkertype som spennes opp ved bruk av vanntrykk, som videre kan avlastes etter endt injeksjonsomgang (NFF 2010). Pakkeren er egnet i ekstremt dårlig berg ettersom den gir større friksjon mellom borehullvegg og pakker.



### ***Kontroll av tetteresultat***

For å avgjøre om anvendt injeksjonsmetode tilfredsstillende fastsatte innlekkasjekrav må tetteresultatet kontrolleres. Kontrollen kan gjennomføres ved:

#### 1. *Kontrollhullsboring.*

For prosjekter med systematisk forinjeksjon utføres kontrollboring fra stoff for å kontrollere oppnådd tetthet etter hver skjerm (Grøv & Woldmo 2012). Avgjørelsen baserer seg på forhåndsdefinerte krav for maksimal vanninnstrømning fra enkelthull, samt samlet vannmengde. Disse kravene bør gjenspeile tunnelstrekningens innlekkasjekrav. Overskrider innstrømningen fastsatte krav må det initieres en ekstra injeksjonsskjerm.

#### 2. *Måleterskler og pumpestasjoner.*

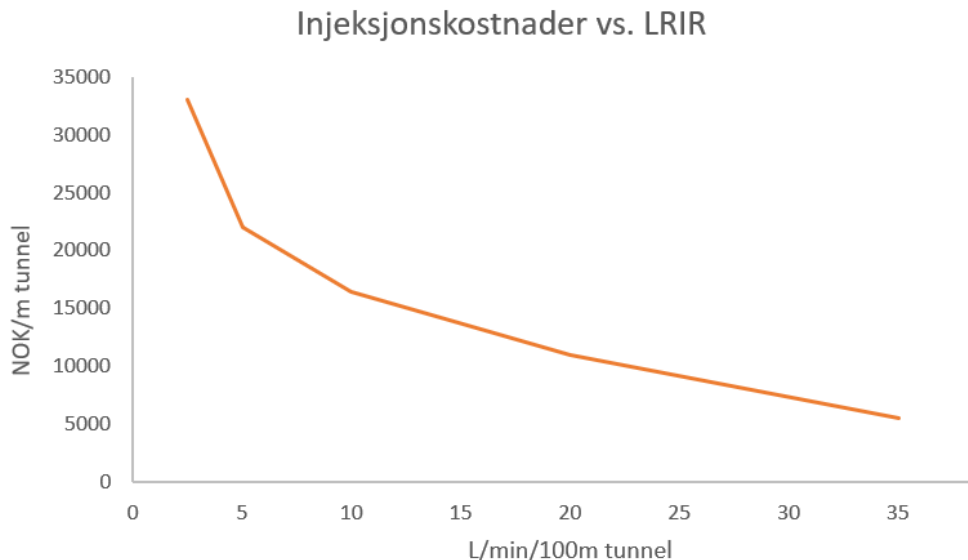
Innlekkasjen bak stoff kan kontrolleres ved hjelp av måleterskler. Måletersklene etableres i tunnelprofilets såle i en typisk avstand på 250 meter, og vannmengden måles i L/min ved hjelp av et overløp (NFF 2010). For tunneler som drives på synk, som undersjøiske tunneler, kontrolleres innlekkasje ved å måle vannmengden som er nødvendig å pumpe ut fra stoff.

#### 3. *Piezometere og setningsmålere.*

For undergrunnsprosjekter med sensitive ytre omgivelser er det behov for kontinuerlig overvåking av poretrykk i omliggende løsmasser (Karlsrud et al. 2003). Piezometere bør derfor installeres like ved overgangen mellom løsmasse og berggrunn for å kontrollere eventuelle poretrykksendringer (Holmøy et al. 2019). I tillegg kan det installeres setningsmålere på utsatt bebyggelse for å detektere eventuelle setningsforløp.

### **2.3.4 Optimalisering av ressursforbruk ved forinjeksjon**

Ifølge Grøv & Woldmo (2012) er det en sammenheng mellom kostnadene for forinjeksjon og tetthetskravene, sistnevnte omtalt som *Limit Residual Inflow Rate* (LRIR). Figur 15 illustrerer den ikke-lineære sammenhengen, der et strengere krav enn 10 L/min/100m bergrom gir betydelige kostnadsøkninger. Dette tilsier at forinjeksjon vil utgjøre en større andel av prosjektkostnadene for undergrunnsanlegg med sensitive ytre omgivelser, sammenlignet med mer landlige prosjekter.



Figur 15: Injeksjonskostnader som funksjon av LRIR-verdi. Modifisert etter Grøv & Woldmo (2012).

Et økt ressursforbruk som følge av strenge innlekkasjekrav illustreres av eksemplene i tabell 6, som viser mengdeforbruk av injeksjonsmaterialer for tre ulike undersjøiske vegtunneler, samt tre urbane vei- eller jernbanetunneler i Oslo-området. Som det fremgår er det gjennomsnittlige ressursforbruket betydelig høyere for tunnelene med strenge tetthetskrav.

Tabell 6: Sammenligning av injeksjonsomfang for ulike undergrunnsanlegg. Verdiene er hentet fra henholdsvis Nilsen & Palmstrøm (2017), Statens Vegvesen (2005) og Statens Vegvesen (2003).

| Tunnel            | Type                   | Injeksjonsomfang | Innlekkasjekrav |
|-------------------|------------------------|------------------|-----------------|
|                   |                        | [kg/m tunnel]    | [L/min/100m]    |
| Ellingsøytunnelen | Undersjøisk vegtunnel  | 99,1             | Moderat*        |
| Vardøtunnelen     | Undersjøiske vegtunnel | 31,7             | Moderat*        |
| Oslofjordtunnelen | Undersjøisk vegtunnel  | 165              | Moderat*        |
| Tanumtunnelen     | Urban jernbanetunnel   | 1806             | 4-16            |
| Skaugumtunnelen   | Urban jernbanetunnel   | 1240             | 4-16            |
| Hagantunnelen     | Urban vegtunnel        | 2716             | 5-10            |

\*Ingen tetthetskrav oppgitt, men ved ferdigstilling var innlekkasjen moderat til høy: 30, 46 og 15 L/min/100m for henholdsvis Ellingsøy-, Vardø- og Oslofjordtunnelen.

Ifølge Grøv & Woldmo (2012) utgjør den potensielle innlekkasjen til et bergrom alltid en essensiell risiko for undergrunnsprosjekters byggetid og total kostnader. For å håndtere variasjonene i geolo-

giske forhold og ulike tekniske problemstillinger, må derfor involverte aktører være kapable til å utnytte material- og utstyrsteknologien som er tilgjengelig (Grøv & Woldmo 2012). Hvilke tekniske løsninger som vil gi et optimalt utfall varierer etter geologiske forhold, fastsatte innlekkasjekrav og erfaringen til involverte parter (Holmøy et al. 2019, Klüver & Kveen 2004).

Likevel tyder erfaringen til Tattersall et al. (2012), Garshol (2017) og Strømsvik (2019) på at bruk av mikrosement fremfor industrisement kan være både tids- og mengdebesparende. Ifølge Tattersall et al. (2012) er mikrosement et tidsbesparende injeksjonsmateriale ettersom det reduserer behovet for antall skjermhull og øker sjansen for tilfredsstillende tetteresultater som følge av inn-trengning i mindre sprekkeåpninger. Ifølge Strømsvik (2019) forekommer også hydraulisk jekking av bergmassens sprekkesett med lavere frekvens, slik at sementvalget også kan redusere mengdeforbruk så langt hydraulisk jekking ikke forekommer. For å anslå om mikrosement er fordelaktig foreslår Garshol (2017) å sammenligne oppnådd tidsrelatert kostnadsbesparelse med prosjektets *stufftimeverdi*:

$$STV \leq \frac{K}{T} \quad (1)$$

der

- $STV$  = Prosjektets stufftimeverdi, [kr/time].
- $K$  = Ekstrakostnader for mikrosement, [kr/kg].
- $T$  = Ekstratid for industrisement, [timer/kg].

Stufftimeverdien ( $STV$ ) er avhengig av de tidsrelaterte kostnader som medgår for å drive stoffen fremover, og kan være krevende å beregne eksakt ettersom prosjektets fremdrift, bruk av ulike anleggsprosesser og administrative kostnader vil variere underveis. Det kan derimot antas at en normal stufftimeverdi for tunneler med et tversnitt mellom 50-100 m<sup>2</sup> ligger på omlag 10.000-30.000 kr/time (pers.kom. Garshol, 2021). Som det fremgår av ligning 1, må  $STV$  være mindre eller lik  $\frac{K}{T}$  for at det skal være lønnsomt for prosjektet å benytte den rimeligste sementtypen; industrisement. Med andre ord kan de høye materialkostnadene for mikrosement bli ubetydelige dersom tidsbesparelsen ved bruk av sementalternativet er stor nok (Garshol 2017).

### 3 Anvendt metode

Dette kapitlet går nærmere inn på anvendt forskningsmetode, og omfatter en analyse av problemstilling og begrunnelse for valg av undersøkelsesdesign. I tillegg er den metodiske tilnærmingen gjort rede for ved å presentere anvendte datainnsamlingsmetoder.

All teori om forskningsmetoder beskrevet i dette kapitlet er basert på Jacobsen (2015), dersom annet ikke er oppgitt.

#### 3.1 Problemstilling

En problemstilling legger grunnlaget for en empirisk undersøkelse og kan analyseres basert på følgende tre karakteristikker:

1. ***Klar eller uklar.***

Er problemstillingen *klar* defineres ofte variablene og enhetene som skal undersøkes grundig, og er gjerne formulert for å teste ut bestemte hypoteser eller teorier. Derimot vil en *uklar* problemstilling formuleres åpent, ettersom det mangler tilstrekkelig informasjon og kunnskap for å sette opp klare hypoteser.

2. ***Forklarende eller beskrivende.***

En *forklarende* problemstilling tar sikte på å finne sammenhenger og årsaker til forskjellige hendelser eller situasjoner. *Beskrivende* problemstillinger vil på den andre siden forsøke å beskrive en gitt situasjon, begrenset i tid og rom.

3. ***Generalisering av resultater.***

En problemstilling kan gi uttrykk for et ønske om generaliserende resultater, som tilsier at det bør benyttes en forskningsmetode der et høyt antall relevante caser eller enheter undersøkes nærmere. Derimot kan et mindre antall enheter vektlegges i undersøkelsen om det ikke ønskes generaliserende resultater.

#### 3.1.1 Analyse av problemstilling

Som presentert innledningsvis er problemstillingen for denne oppgaven:

***Hvordan tilrettelegger ulike kontraktstrategier for oppnåelse av suksesskriterier for injeksjonsarbeider, og hva utgjør en optimal kontraktstrategi?***

Problemstillingen kan anses som uklar ettersom det ikke fremgår hvilke suksesskriterier og forskjellige kontraktstrategier som skal vurderes. Det fremgår heller ingen konkret hypotese som skal testes ved bruk av denne formuleringen. De definerte forskningsspørsmålene er derimot med på å konkretisere problemstillingen.

Videre kan også problemstillingen kategoriseres som forklarende, ettersom det er et ønske om å forklare hvordan valg av ulike virkemidler i kontrakten har en innvirkning på oppnåelse av ulike suksesskriterier. I tillegg antyder den at besvarelsen krever en beskrivelse av suksesskriterier for injeksjonsarbeider, samt hvilken kontraktstrategi som er optimal. På denne måten kan problemstillingen kategoriseres som både forklarende og beskrivende.

Problemstillingen antyder også at det er et ønske om å produsere generaliserende resultater. Altså legges det til rette for at resultatene kan være gjeldende for flere undergrunnsprosjekter enn casene som er undersøkt i denne oppgaven.

#### 3.2 Undersøkellesdesign

Det fremgår en rekke ulike undersøkelsesdesign, der flere ofte kan benyttes i kombinasjon med hverandre, avhengig av undersøkelsens hensikt. Likevel bør det avgjøres om undersøkelsen skal benytte:

##### 1. *Ekstensivt eller intensivt undersøkelsesdesign.*

Et *ekstensivt* undersøkelsesdesign egner seg dersom mange enheter skal undersøkes, med få variabler. På denne måten kan det oppnås generaliserende resultater og presise beskrivelser av et fenomens omfang eller hyppighet. Et *intensivt* undersøkelsesdesign er derimot hensiktsmessig dersom studien skal gå i dybden, ved undersøkelse av få enheter med mange variabler. Resultatene inneholder ofte flere nyanser og detaljer ved et spesielt fenomen.

#### 2. *Beskrivende eller forklarende undersøkelsesdesign.*

Det er problemstillingens klarhet og karakter som avgjør om undersøkelsesdesignet bør være beskrivende eller forklarende.

- (a) *Beskrivende design* bør benyttes dersom hensikten er å beskrive et fenomen eller endringer. Undersøkelsesmetoden kombineres ofte med et ekstensivt opplegg, samt statistiske metoder. Forskningsdesignet egner seg ved målsetning om generaliserende resultater.
- (b) *Forklarende design* bør benyttes dersom hensikten er å kartlegge årsak og virkning. Hensikten med studien er å se hvordan uavhengige variabler påvirker en avhengig variabel. Det bør også gjennomføres kontroll av andre årsaker til virkningen.

Dersom det er ønskelig å få detaljerte resultater kan det være hensiktsmessig å benytte et *case-design*, der få tilfeller undersøkes nærmere. Et slikt undersøkelsesdesign legger også tilrette for sammenligning av to eller flere caser for å forklare likheter eller forskjeller; et komparativt design. Det er vanlig å benytte kvalitative metoder som intervjuer og observasjoner ved undersøkelse av ulike caser.

#### 3.2.1 **Begrunnelse for valg av undersøkelsesdesign**

På bakgrunn av oppgavens tidsbegrensning er det valgt et *intensivt* undersøkelsesdesign. Ettersom det er et ønske om å bringe frem flere nyanser og detaljerte beskrivelser av hvordan kontraktsbestemmelser påvirker injeksjonsarbeider, er det valgt å undersøke to ulike prosjektcaser. Valget legger også tilrette for sammenligning av ulike kontraktstrategier. I tillegg er det mulig å forklare hvordan bruk av varierende kontraktuelle virkemidler påvirker en avhengig variabel; injeksjonsarbeider. Samlet tilrettelegger valg av undersøkelsesdesign for besvarelse av oppgavens problemstilling.

### 3.3 Datainnsamlingsmetoder

Dette delkapittelet vil forklare hvilke datainnsamlingsmetoder som er anvendt. Det er benyttet både kvantitative og kvalitative datainnsamlingsmetoder, med en hovedvekt på sistnevnte. Videre vil de ulike metodene som er benyttet beskrives nærmere, samtidig som det gis en begrunnelse for valget.

#### 3.3.1 Kvalitative datainnsamlingsmetoder

For innsamling av kvalitativ data er det benyttet *individuelle, åpne intervjuer og feltobservasjoner*.

##### *Individuelle, åpne intervjuer*

Hensikten med individuelle, åpne intervjuer er at metoden gir mulighet for innhenting av detaljrik og nyansert informasjon. Intervjuformen kjennetegnes av at undersøker og respondent gjennomfører en prat i form av en vanlig dialog. På denne måten legges det ikke begrensninger for hva respondenten ønsker å dele, og det kan samles inn subjektive oppfatninger og erfaringer av ulike hendelser eller fenomener.

Intervjuene kan også anses som *semi-strukturerte*, ettersom det var oppført en liste med spørsmål/emner undersøker ønsket å komme gjennom i løpet av samtalen. I tillegg ble oppgavens problemstilling og målet med samtalen raskt presentert for respondenten. Rekkefølgen og innfallsvinkelen for de ulike emnene ble derimot tilfeldig, og på denne måten vektla intervjuobjektene besvarelsene av enkelte spørsmål forskjellig etter egne interesser og kunnskap.

Den anvendte datainnsamlingsmetoden er hensiktsmessig dersom relativt få enheter skal undersøkes. Dette kommer av at metoden er tidkrevende å utføre, samtidig som det produseres store mengder rådata som videre må analyseres. Det er samlet utført 21 intervjuer, der det er valgt ut ti intervjuobjekter fra henholdsvis Nordøyvegen og Drammen-Kobbervikdalen, samt én uavhengig rådgiver. For å få en nyansert besvarelse på oppgavens problemstilling, ble det besluttet å intervjuer både funksjonærer og fagarbeidere med spesielt ansvar tilknyttet injeksjonsarbeidene. Av tilsvarende grunn ble også begge kontraktsparter intervjuet. Alle intervjuobjekter er presentert i kapittel 5.

For å ha tilstrekkelig tid til intervjurundene var varigheten på anleggsbesøkene ved Drammen-Kobbervikdalen på fem dager, og ved Nordøyvegen på ni dager. Det var med andre ord nødvendig med lenger besøkstid på sistnevnte prosjekt, grunnet redusert fremkommelighet mellom ulike stuf-

fer. På bakgrunn av antallet intervjuobjekter kunne datainnsamlingen vært utført raskere ved bruk av eksempelvis spørreskjemaer. En slik datainnsamling ville derimot ikke gitt like detaljerte beskrivelser og forklaringer av både tekniske og kontraktuelle aspekter.

De fleste intervjuene er gjennomført ansikt-til-ansikt under fysisk besøk på de respektive undergrunnsanleggene. Grunnet koronasituasjonen er enkelte intervjuer utført over nettbaserte tjenester (Teams-møter), som gir mulighet for videosamtaler. Tilsvarende er videointervjuer benyttet for utfyllende intervjuer med eksterne personer fra konsulentselskaper og eventuelle sparringspartnere, som i dette tilfellet utgjør roller som ikke daglig oppholder seg på anleggene.

Det er benyttet lydopptak under alle samtalen for å unngå forstyrrelser fra transkribering, og for å sikre en god flyt i samtalen. Intervjuene er deretter transkribert, der muntlig språk er omformulert til fullstendige og forklarende setninger. Lydopptaket har også gjort det mulig å gjenhøre samtalen flere ganger, samt kontakte intervjuobjekter for avklaring ved mistanke om misforståelser. Det bør påpekes at alle intervjuobjekter har gitt samtykke til benyttelse av lydopptak, samt siteringer ved personlige eller subjektive meninger.

#### ***Feltobservasjoner***

*Observering* er en datainnsamlingsmetode som hovedsakelig går ut på å overvåke ulike prosesser eller enheter, for å få svar på spørsmål om handling. Med andre ord gir observasjonsmetoden mulighet for å kartlegge hva som skjer eller gjøres, og kan benyttes for å avdekke samhandlingen mellom ulike roller.

Det er gjennomført flere feltobservasjoner av den praktiske utførelsen av de ulike prosessene som inngår i injeksjonsarbeidet; eksempelvis langhullsboring, sonderboring, kontrollboring, pumping, og valg av materialer og utstyr. Slike observasjoner ble ansett som nødvendige ettersom blant annet Grøv & Woldmo (2012) påpeker at det kreves erfaring og kunnskap for å få god forståelse for de tekniske aspektene ved forinjeksjon. En bedre forståelse av den tekniske kompleksiteten viste seg også å være nødvendig for å forstå intervjuobjektens uttalelser, samt for utforming av avklarende og gode oppfølgingsspørsmål.

Det bør likevel bemerkes at feltobservasjoner av skjermutforming og pumping hovedsakelig er utført på Drammen-Kobbervikdalen, der det daglig foregikk injeksjonsarbeider på stuff under hele



feltoppholdet våren 2021. På Nordøyvegen derimot, er det kun gjennomført observasjoner av injeksjonsarbeidene ved et innledende besøk høsten 2020. Under feltarbeidet tilknyttet denne masteroppgaven tilsvarte ikke innlekkasjemengdene initiering av forinjeksjon, til tross for et opphold over ni dager.

I tillegg er det gjennomført egen feltkartlegging av restlekkasjer for enkelte delstrekninger på begge samferdselsprosjektene. Kartleggingen er utført for å gi et inntrykk av hvilke tetteresultater forinjeksjon faktisk gir, og hvordan det eventuelt kan variere. Observasjoner ble notert med penn og papir og deretter transkribert og satt i system.

Resultatene av feltobservasjonene er hovedsakelig utført for å styrke egen forståelse av injeksjonsarbeider, og all informasjonen vil derfor ikke direkte beskrives i oppgavens resultatdel. Likevel anses datainnsamlingen som nødvendig, ettersom observasjonene ga et bedre grunnlag ved egen diskusjon og tolkning av analyser og resultater.

#### **3.3.2 Kvantitativ datainnsamling**

For å vurdere hvordan enkelte av de kontraktuelle virkemidlene påvirker prosjektrollenes perspektiver, har det vært nødvendig med en kvantitativ innsamling av injeksjonsdata. Disse dataene er samlet inn ved gjennomgang av injeksjonsrapporter, med påfølgende strukturering av verdier i digitale regneark. For å beskrive de ulike prosjektcasene var det også nødvendig å få tilgang til en rekke prosjektspesifikke rapporter som omtaler geologiske og kontraktuelle forhold. Rapporter og andre dokumenter er hovedsakelig samlet inn under feltarbeidet, eller gjennom epostkorrespondanse med prosjektenes roller.

Det kvantitative datagrunnlaget er benyttet til å presentere prosjektcasene, samt utføre enkelte beregninger/analyser for å underbygge intervjuobjektens påstander, eller gi et supplerende vurderingsgrunnlag i oppgavens resultat- og analysedel.

## 4 Prosjektbeskrivelser

Dette kapitlet beskriver prosjektcasene som er undersøkt i denne oppgaven og kan anses som en del av det kvantitative datagrunnlaget. Informasjonen baserer seg på enkelte eksterne referanser, samt en gjennomgang av interne rapporter, dokumentasjon og kontraktsgrunnlag for de ulike prosjektene.

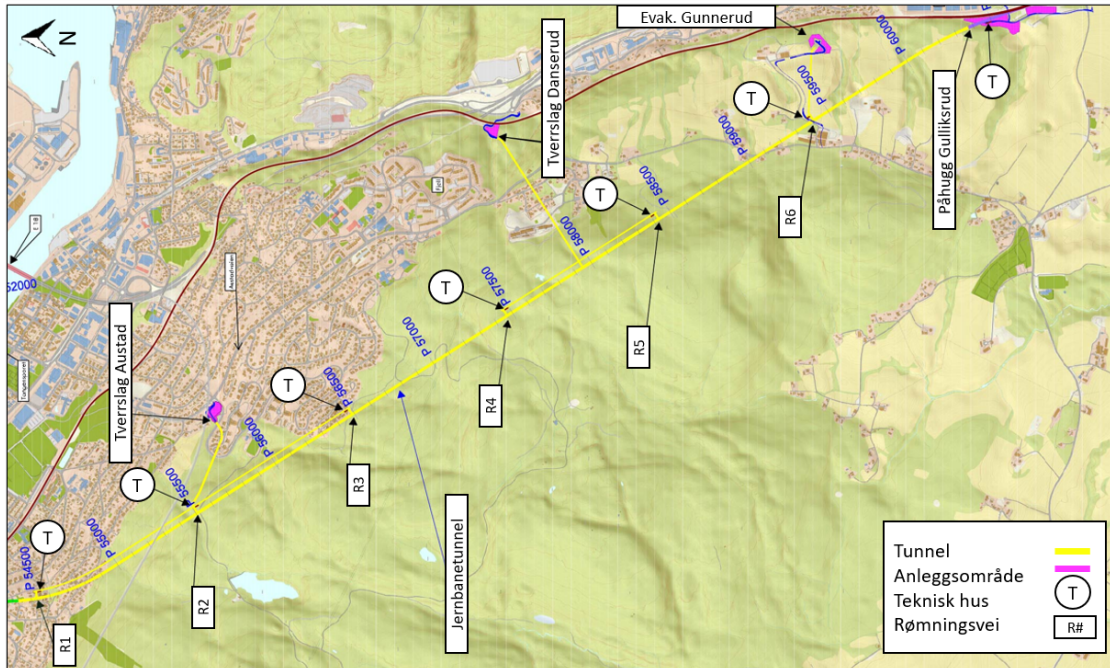
### 4.1 Nytt dobbeltspor Drammen-Kobbervikdalen

Utbyggingsprosjektet "Nytt dobbeltspor Drammen-Kobbervikdalen" er en del av InterCity-satsningen til Bane NOR og har som formål å tilrettelegge for flere tog med høyere hastighet på Vestfoldbanen. I tillegg skal prosjektet gjøre togtrafikken mer effektiv gjennom Drammen. Prosjektet hadde byggestart i 2019, og har planlagt åpning i slutten av 2025 (Bane NOR 2020a).

Jernbanetunnelen skal utgjøre et enkeltløp med dobbeltspor og har et teoretisk sprengningsprofil på omtrent 123 m<sup>2</sup>. Tunnelstrekningen utgjør omlag 6 km, der traseen går gjennom Strømsåsen mellom Drammen sentrum og Kobbervikdalen (Bane NOR 2020a). Bergtunnelen, samt en mindre dagsone, omfattes av entrepriser UDK 01 som vist i figur 16. Entrepriser UDK 02 omfatter en løsmassetunnelen på 275 m inn mot Drammen i nord, og vil ikke omtales videre i denne oppgaven.

Det stilles krav til evakueringsmuligheter for hver 1000 m i moderne jernbanetunneler (Bane NOR 2020b). For å tilfredsstille dette kravet er det anlagt tverrslag fra Austad og Danserud med tilhørende evakueringsstunneler parallelt med hovedløpet. I tillegg skal det drives en evakuerings-tunnel til Gunnerud, som også fremgår av figur 16. Totalt gir dette en drivlengde på omtrent 10 km for hele prosjektet.

Den geotekniske kategorien på prosjektet er satt til 3, basert på en helhetlig vurdering av pålitelighetsklasse og vanskelighetsgrad for prosjektet. Blant annet forventes det partier med høye spenninger, strekninger med strenge innlekkasjekrav og krevende bergforhold (Norconsult 2018b).

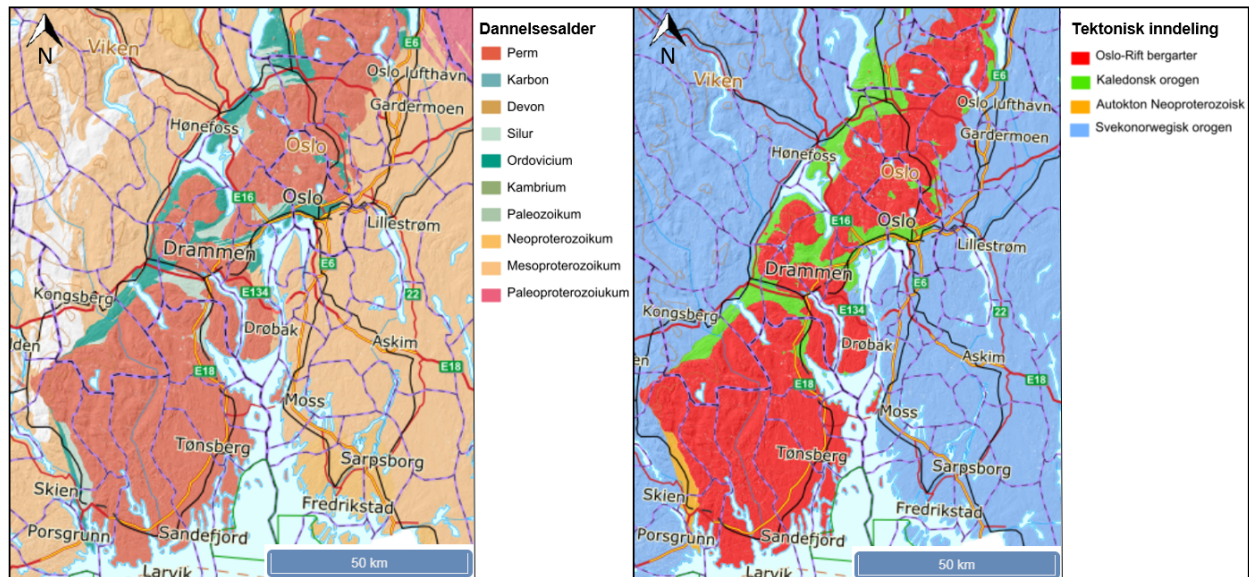


Figur 16: Oversiktskart over jernbanetunnel, tverrslag, evakueringstunneler og påhuggsområder på UDK 01.

#### 4.1.1 Regional berggrunnsgeologi

Den planlagte traseen for Drammen-Kobbervikdalen ligger vest i den geologiske provinsen *Oslo-feltet*, som strekker seg fra Brevik i sør til Mjøsa i nord (Løset 2006). Bergartene kan overordnet deles inn i fire grupper basert på dannelse i ulike geologiske tidsperioder: 1) kambrosiluriske sedimentære bergarter, 2) sedimenter fra øvre karbon, 3) permiske lavabergarter og 3) permiske dypbergarter. I både østlig og vestlig retning grenser provinsen til prekambrisk grunnfjell. Figur 17 viser både bergartenes dannelsesalder og den tektoniske inndelingen i Oslo-feltet.

De sedimentære lagrekkene fra kambrosilur består av en rekke ulike sandsteiner, skifre, kalksteiner, leir- og siltsteiner, som resultat av et varierende havnivå og ulik innblanding av organisk materiale (Ramberg et al. 2013). Spesielt i provinsens nordlige del er de sedimentære lagrekkene påvirket av den kontinentale kollisjonen som pågikk i tidsperiodene ordovicium og silur, ofte omtalt som den kaledonske fjellkjedefoldningen. Kollisjonen resulterte i foldning, forkastning og oppsprekking av de sedimentære lagrekkene. Diskontinuitetene kommer til uttrykk i de sedimentære bergartene i drammensområdet og kan ha betydning for stabiliteten ved tunneldriving (Løset 2006).



Figur 17: Bergartenes dannelsesalder og tektonisk inndeling i Oslo-feltet. Kartutsnitt hentet fra NGUs berggrunnsdatabase.

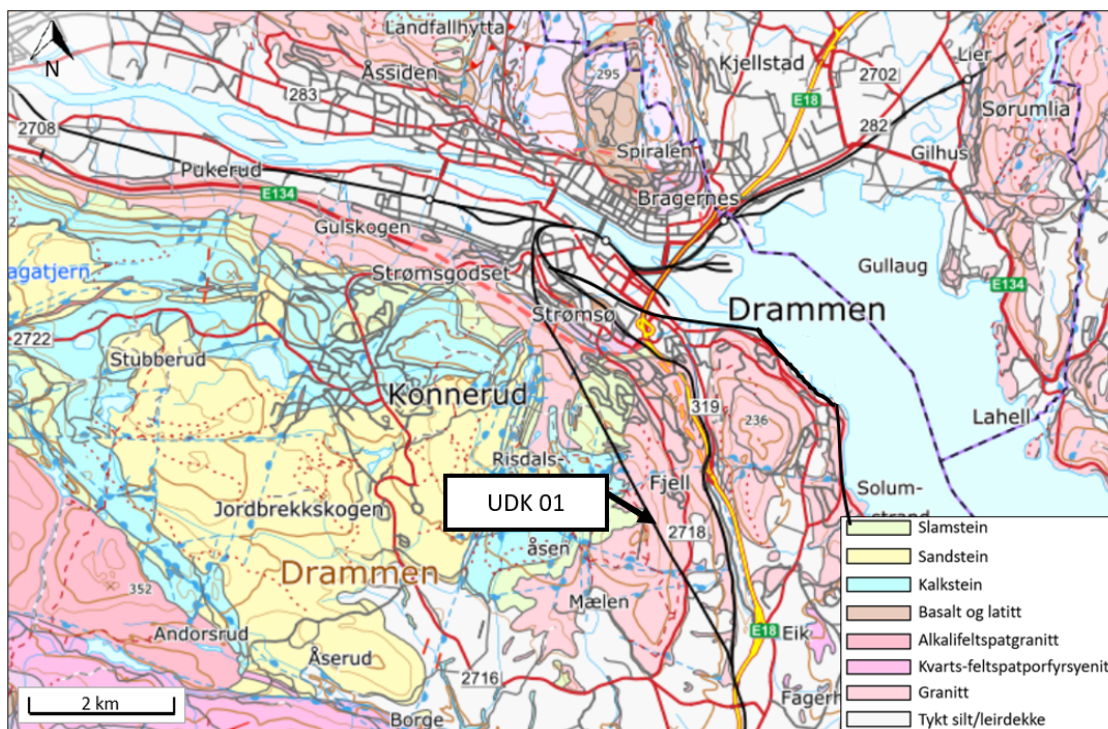
De yngre magmatiske bergartene i regionen er et resultat av en kontinental rift som fant sted i sen-karbon og perm (Ramberg et al. 2013). Dette medførte magmatisk og vulkansk aktivitet, og regionen preges derfor av bergarter som rombeporfyr, basalt, granitt og syenitt. Hyppige intrusjoner av gangbergartene diabas og syenittporfyr foregikk også i omkringliggende bergarter. Den tektoniske aktiviteten resulterte i en grabenstruktur som følge av stor innsynkning langs nord-sørgående forkastninger (Løset 2006). Perioden med stor vulkansk aktivitet er også forbundet med kraftige eksplosjoner som medførte en nedsenkning av jordskorpen i sirkelformede groper (Norconsult 2018b). Slike geologiske formasjoner kalles kalderaer, og eksisterer i drammenområdet i dag. Drammenskalderaen består av rombeporfyr og basalt i en diameter på omtrent 7 km, og er omgitt av en massiv granitt, kalt drammensgranitt. Bergartsgrensen mellom romeporfyren og granitten utgjør en forkastningssone med fall mot nord, inn mot kalderaens senter.

Både de permiske intrusjonene og forkastningssonene kan medføre problemer med stabilitet og vannlekkasjer ved tunneldriving. Eksempelvis oppsto det store problemer med krysning av store forkastningssoner under utbygging av VEAS-anlegget ved Slemmestad, der blant annet en svakhetssone på 10 m av opprinnelig diabas var totalt omvandlet til leire. Ved driving av vannforsyningstunnelen fra Glittervann til Drammen ble det erfart betydelig vanninnbrudd (Løset 2006),

samt problemer med sprak i drammensgranitten. Tilsvarende utfordringer forekom også ved utbygging av jernbanetunnelen gjennom Lieråsen, der også svelleleire i forbindelse med slepper, diabasganger og totalforvitret drammensgranitt ga stabilitetsproblemer.

#### 4.1.2 Lokal ingeniørgeologi

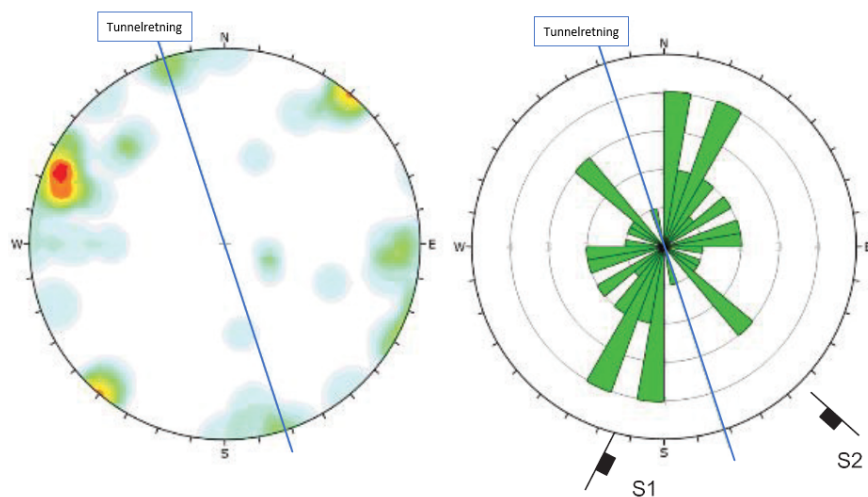
Dette delkapittelet trekker frem enkelte geologiske faktorer som kan påvirke valg av tettestrategi og injeksjonsmetode for oppnåelse av ønsket tetteresultat. Figur 18 viser bergartsfordelingen i drammensområdet, der både de sedimentære lagrekkene og de magmatiske bergartene er representert. Alle tunnelseksjonene vil hovedsakelig gå gjennom drammensgranitt med intrusjoner av diabas, med enkelte partier i rombeporfyr og kalkrik slamstein. Bergmassens beskaffenhet vil videre beskrives, samt den lokale kvartær- og hydrogeologien. Informasjonen er hentet fra ingeniørgeologisk og hydrogeologisk fagrapport for prosjektets konkurransegrunnlag, Norconsult (2018a,b), dersom annet ikke oppgis.



Figur 18: Berggrunnskart over drammensområdet. Jernbanetunnelen på UDK01 vises som sort linje. Kartutsnitt er hentet fra NGUs geologiske berggrunnsdatabase.

### ***Bergartsfordeling og oppsprekking***

Drammensgranitten opptrer som massiv, med unntak av enkelte nedknuste soner. Enkelte sprekker har forvittringsmateriale som inneholder svellende leirmineraler. Feltkartlegging indikerer regelmessig oppsprekking i 3 sprekkesett som danner et kubisk mønster med gjennomsnittlig 3-10 sprekker/m<sup>3</sup>. Sprekkesett S1 og S2 er dominerende og har tilnærmet ortogonal krysning som vist av polplott og sprekkerose i figur 19. I tillegg forekommer tydelig horisontal oppsprekking. Sprekkesetenes karakter beskrives som plane til bølgete med en ru overflate. Fyllingsgraden er lav, med unntak av oppknuste partier der et hvitt finstoff, trolig leirholdig, preger sleppematerialet.



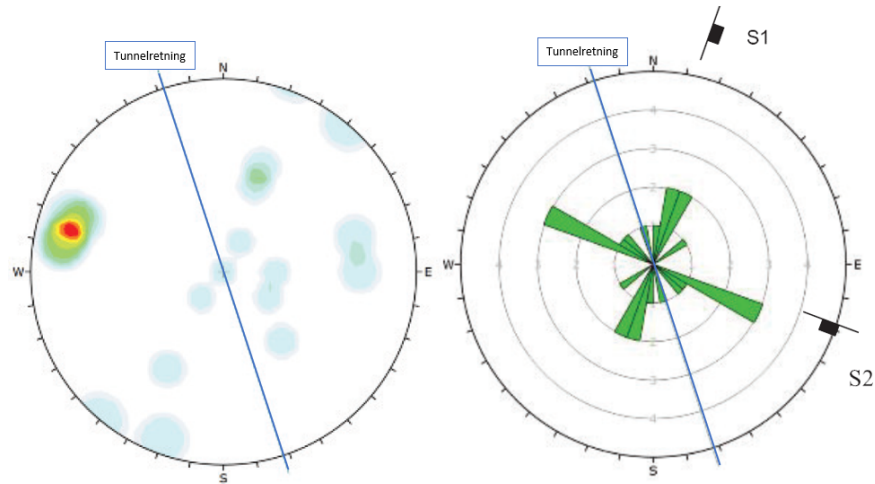
Figur 19: Polplott og sprekkerose for kartlagte sprekkesett i drammensgranitten. Hentet fra Norconsult (2018b).

En strekning på 775 m i den nordlige delen av hovedløpet skal drives gjennom en kalkholdig slamstein, som i kontaktsonen med granitten er omdannet til hornfels. Grensene mellom drammensgranitt og slamstein kan være uregelmessige, ettersom den sedimentære bergarten kan være delvis innesluttet i granitten. Slamsteinen fremstår som middels oppsprukket med en tydelig foldet lagdeling, angitt som S1 i figur 20. Fallvinkelen til lagdelingen er forholdvis slak. Kjerneboring indikerer sprekkesett S2 med strøketretning NV-SØ.

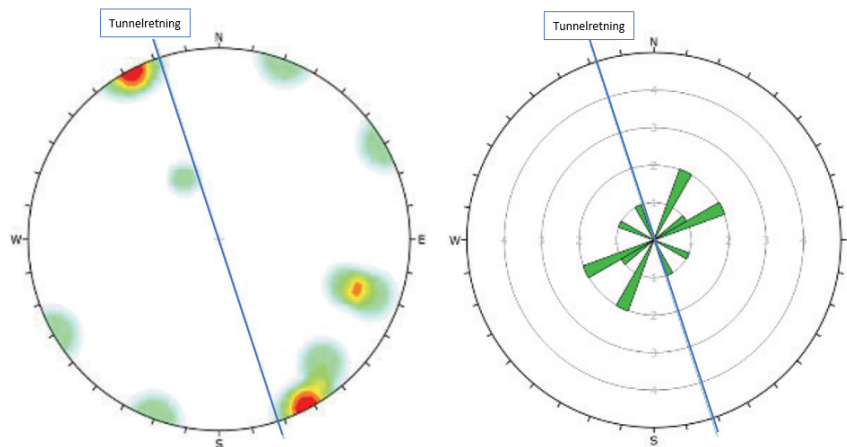
Det er antatt at omlag 644 m av hovedløpet, samt 60 m av Evakueringstunnel Austad Sør, vil gå gjennom rombeporfyren som er del av Drammenskalderaen. Oppsprekkingen er lite gjennomsettende og sprekkeavstanden varierer fra tett til > 0,5 meter. Sprekkekarakteren kategoriseres som plane med en ru overflate. Lavatopper kan utgjøre svake og potensielt svært vannførende

## 4 PROSJEKTBEKRIVELSER

lag som gir store utfordringer med tetting. Sprekkerosen og polplottet i figur 21 er hentet fra ingeniørgeologisk fagrapport og er basert på feltkartlegging. Sprekkesettene har hovedsakelig steilt fall.



Figur 20: Polplott og sprekkerose for kartlagte sprekker i kalkrik slamstein/hornfels. Hentet fra Norconsult (2018b).



Figur 21: Polplott og sprekkerose for kartlagte sprekker i rombeporfyr. Hentet fra Norconsult (2018b).

***Svakhetssoner og bergkvalitet***

Svakhetssonene er inndelt i svakhetssoneklasser fra 1-3 avhengig av hvilken vanskelighetsgrad de kan utgjøre for tunneldrivingen. Tabell 7 presenterer antall svakhetssoner med tilhørende klasser som hovedløp, tverrslag og evakueringstunneler antagelig vil passere. Tolkningen er hovedsakelig basert på seismiske undersøkelser og kartlegging i dagen. Bredden på svakhetssonene varierer fra 5-30 meter, og de fleste krysser tunneltraseen på tvers.

Tabell 7: Antall svakhetssoner med tilhørende beskrivelser. Verdier basert på Norconsult (2018b).

| Tunnelseksjon       | Svakhetssoneklasse 1 | Svakhetssoneklasse 2 | Svakhetssoneklasse 3 | Totalt |
|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------|
| Hovedløp            | 6                    | 9                    | 14                   | 29     |
| Tverrslag Austad    | 0                    | 0                    | 3                    | 3      |
| Tverrslag Danserud  | 1                    | 0                    | 0                    | 1      |
| Evakuering Gunnerud | 0                    | 2                    | 0                    | 2      |

Svakhetssoneklasse 1: Brukbare driveforhold, blokkutfall og mulige vannlekkasjer. Q-verdi: 0,2-1.

Svakhetssoneklasse 2: Blokkutfall, utrasing og mulige vannlekkasjer. Q-verdi: 0,1-0,2.

Svakhetssoneklasse 3: Vanskelige driveforhold, fare for utrasing og mulige vannlekkasjer. Q-verdi: 0,01-0,1.

På bakgrunn av de gjennomførte forundersøkelsene er fordelingen av bergmasseklasser estimert ved hjelp av Q-systemet, der tolket prosentfordeling er angitt i tabell 8 for hovedtunnelen, tverrslag og evakueringstunneler.

Tabell 8: Prosentfordeling av bergmasseklasser for hovedtunnel, evakueringstunneler og tverrslag på Drammen-Kobbervikdalen. Verdier basert på Norconsult (2018b).

| Q-verdi            | > 40 | 10-40 | 4-10 | 1-4  | 0,2-1 | 0,1-0,2 | 0,01-0,1 |
|--------------------|------|-------|------|------|-------|---------|----------|
| Bergmasseklasse    | A    | B     | C    | D    | E1    | E2      | F        |
| Hovedløp           | 20 % | 33 %  | 13 % | 15 % | 10 %  | 6 %     | 3 %      |
| Tverrslag Austad   | 23 % | 39 %  | 23 % | 6 %  | 0 %   | 0 %     | 9 %      |
| Tverrslag Danserud | 23 % | 46 %  | 28 % | 2 %  | 1 %   | 0 %     | 0 %      |
| Evak. Austad Nord  | 8 %  | 25 %  | 33 % | 0 %  |       | 32 %    | 2 %      |
| Evak. Austad Sør   | 19 % | 37 %  | 1 %  | 19 % |       | 16 %    | 8 %      |
| Evak. Danserud     | 23 % | 46 %  | 28 % | 0 %  |       | 2 %     | 1 %      |
| Evak. Gunnerud     | 32 % | 46 %  | 17 % | 3 %  |       | 2 %     | 0 %      |

\*For evakueringstunneler er E1 og E2 slått sammen til bergmasseklasse E med Q-verdi fra 0,1-1.

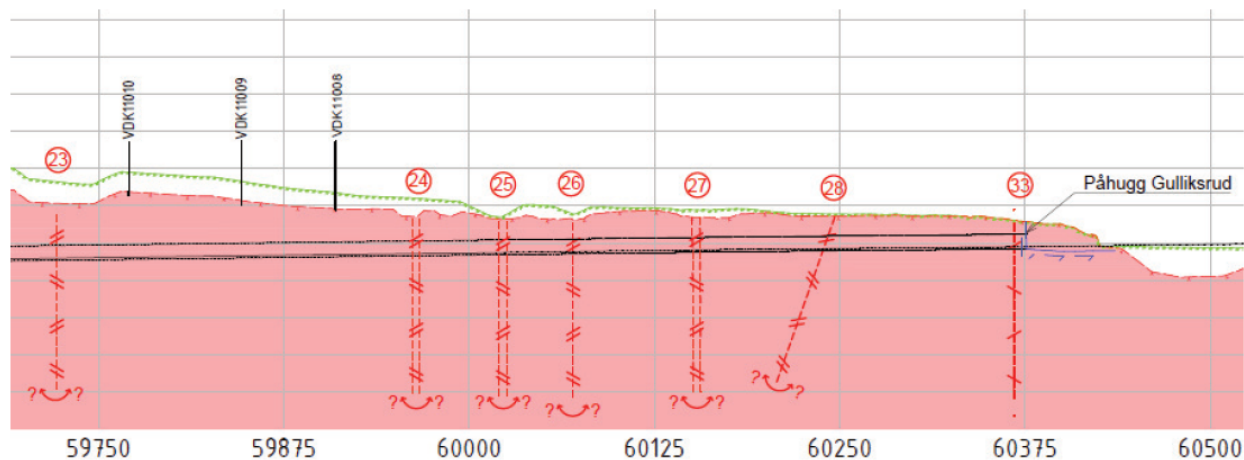


**Bergoverdekning**

Bergoverdekningen vil være avgjørende for bestemmelse av maksimalt tillatt pumpetrykk ved forinjeksjon i urbane områder, ettersom utganger i dagen kan være skadelig for bebyggelse og naturomgivelser (Karlsrud et al. 2003, NFF 2010). Stoppkriterier basert på oppnådd mottrykk må derfor tilpasses tunnelens bergoverdekning for å begrense injeksjonsmassens utstrekning rundt tunnelprofilen.

For hovedtunnelen vil bergoverdekningen være spesielt lav ved overgangen mellom bergtunnel og løsmassetunnel; mellom 5-7 m. Derfra øker overdekningen jevnt med terrenget opp til omtrent 250 m. Hovedløpet vil krysse under eksisterende og planlagt ny Strømsåstunnel (vegtunnel), der minste vertikale avstand mellom hovedløpets heng og vegtunnelenes grøft blir henholdsvis 12,7 m og 8,4 m. Bergoverdekningen i nærheten av påhugg Gulliksrud vil være mellom 30-20 m, med enkelte forsinkingssoner som gir mindre enn 15 m overdekning som vist i figur 22.

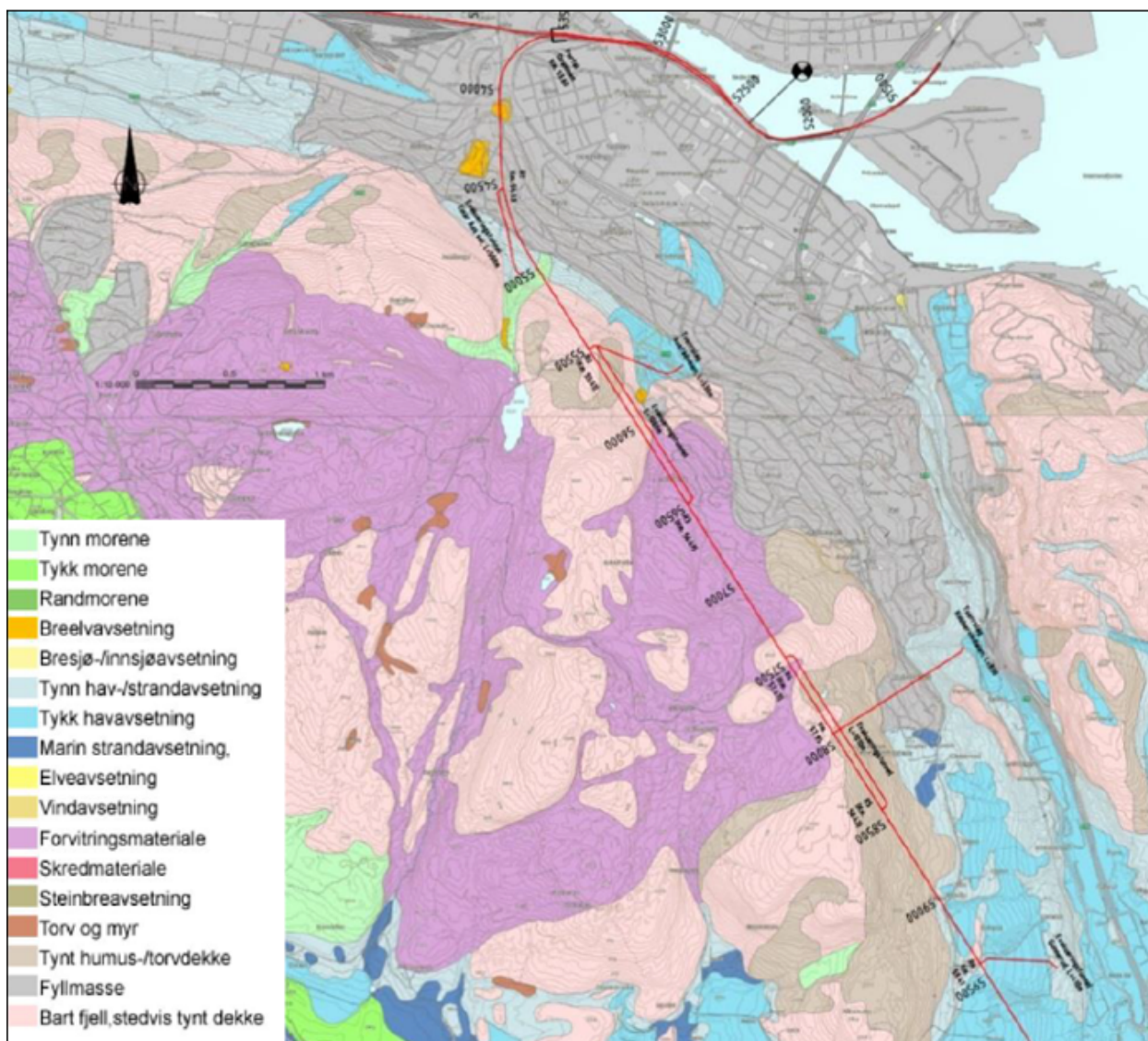
For tverrslagene er overdekningen ved påhuggsområdene  $> 10$  m. På Austad stiger overdekningen jevnt mot hovedtunnelen opp til 150 m, og for Danserud vil overdekningen øke til omlag 225 m. For evakueringsstunnel Gunnerud antas bergoverdekningen på kun 10 m ved pel 350, og deretter stiger den til 75 m ved hovedtunnel.



Figur 22: Vertikalprofil av strekning i hovedtunnel med lav overdekning fra påhugg Gulliksrud. Hentet fra Norconsult (2018b).

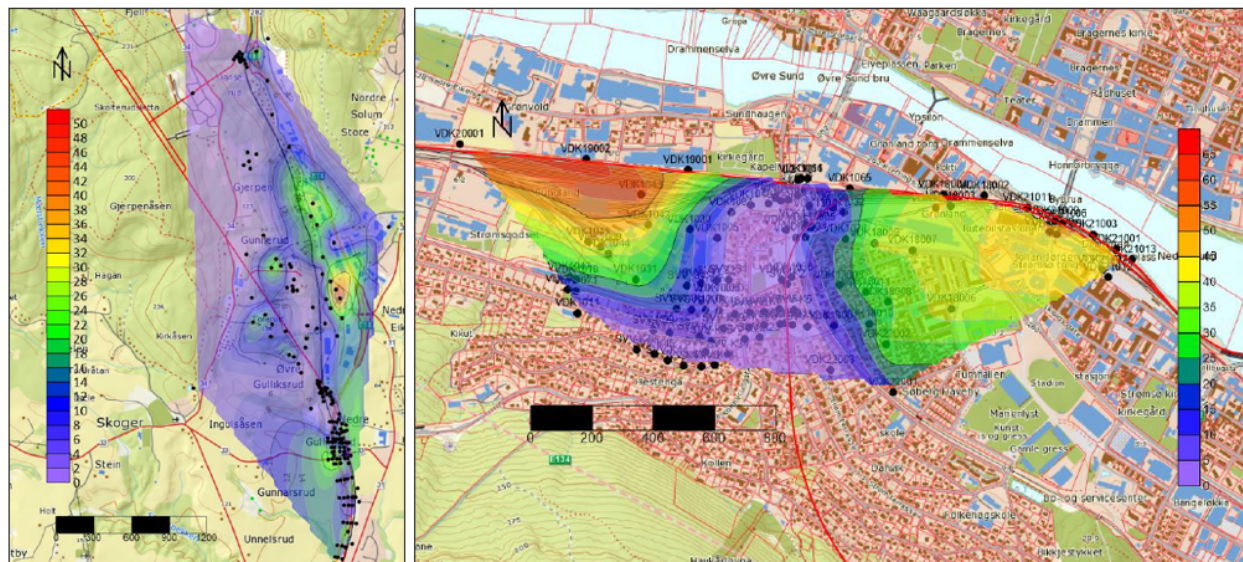
*Kvartær- og hydrogeologi*

Figur 23 gir en grov oversikt over løsmasseavsetningene i prosjektområdet. Lavtliggende terreng er preget av tykke havavsetninger med innslag av breelvavsetninger. Løsmassedekket på Strømsåsen beskrives som tynt og består hovedsakelig av forvittringsmateriale, torv og myr. Kartlegging av områder med mektig leire er gjennomført ettersom poretrykkendringer kan medføre setningsskader på bebyggelse, veier og underjordisk infrastruktur. Slike leirområder forekommer både i Drammen og stedvis langs Kobbervikdalen som vist av figur 24.



Figur 23: Kvartærgeologisk kart over drammensområdet. Kartutsnitt er hentet fra NGU sin kvartærgeologiske kart-database.

## 4 PROSJEKTBEKRIVELSER



Figur 24: Mektigheter av leire for Kobbervikdalen (venstre) og Drammen (høyre). Rød linje viser tunneltrasé og sorte prikker indikerer borpunkter. Hentet fra Norconsult (2018a).

For å estimere grunnvannstrykk og strømningsforholdene lokalt rundt tunneltraseen er det foretatt målinger av vanntrykk i fjellbrønner og kjerneborehull. Den lokale grunnvannstrømningen i berget følger terrenget og er styrt av svakhetssoner, bergartsgrenser og lagdeling. Strømningsveien er hovedsakelig på tvers av dalen.

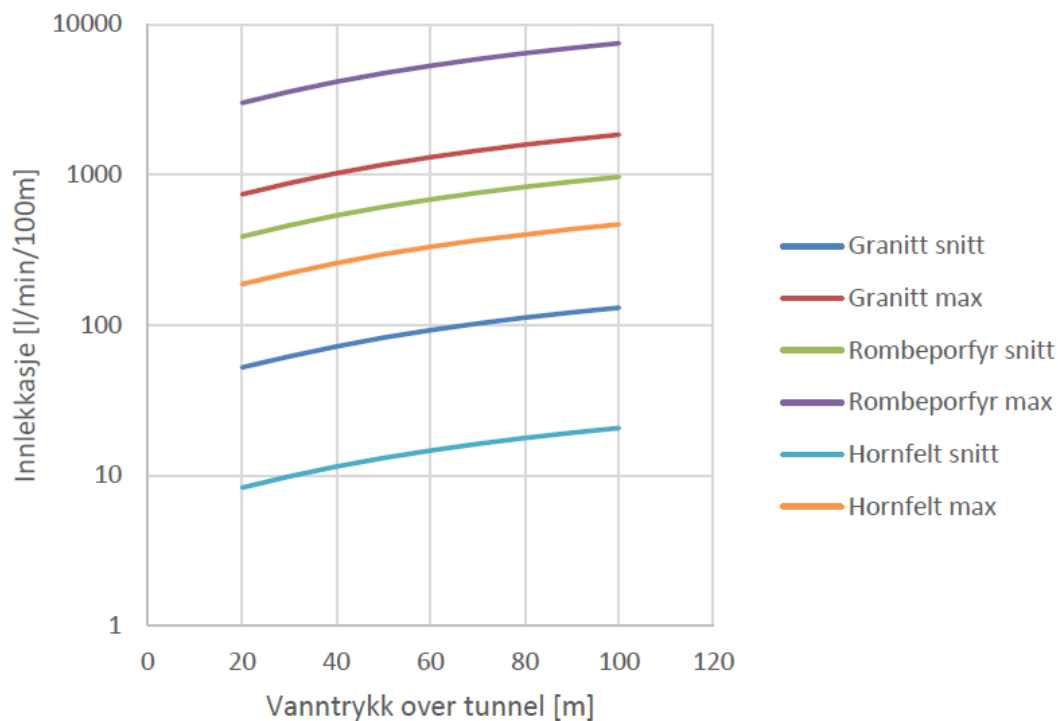
Bergmassens hydrauliske egenskaper er kartlagt ved hjelp av vanntapsmålinger i kjerneborehull. Vanngiverevnen til drammensgranitt, rombeporfyr og kalkrik slamstein er anslått på bakgrunn av disse forundersøkelsene, presentert i tabell 9. På bakgrunn av målte bergspenninger i området kan det forventes størst vanninntrengning fra sprekkeseett med en orientering N-S til NØ-SV, ettersom disse står subparallelt med største hovedspenning. Høye vanntrykk i gangbergarter som har trengt inn i disse tensjonssprekkene bør antas.

Tabell 9: Beregnet hydraulisk konduktivitet for rombeporfyr, drammensgranitt og kalkrik slamstein. Det er antatt 1 lugeon =  $1,3 \cdot 10^{-7}$  m/s. Verdiene er hentet fra Norconsult (2018a).

| Bergart           | Gjennomsnittlig hydraulisk konduktivitet, [m/s] | Maksimal hydraulisk konduktivitet, [m/s] |
|-------------------|---|--|
| Rombeporfyr       | $8,9 \cdot 10^{-7}$                             | $6,9 \cdot 10^{-6}$                      |
| Granitt           | $1,2 \cdot 10^{-7}$                             | $1,7 \cdot 10^{-6}$                      |
| Kalkrik slamstein | $1,9 \cdot 10^{-8}$                             | $4,3 \cdot 10^{-7}$                      |

Fagrapporten presenterer beregninger av den potensielle innlekkasjen i tunnelen for de ulike bergartene, gitt i figur 25. Estimert innlekkasje,  $Q$ , baserer seg på ligning 2, der  $k$  er hydraulisk konduktivitet,  $h$  er vanntrykket over tunnelnivå,  $r$  er radius av tunnelen og  $l$  er lengde av tunnelen. Den gjennomsnittlige og maksimale hydrauliske konduktiviteten for de ulike bergartene legger grunnlaget for utregningene, sammen med estimert grunnvannstrykk.

$$Q = \frac{2\pi kl}{\ln \frac{2h}{r} - 1} \quad (2)$$



Figur 25: Potensiell innlekkasje for ulike bergarter langs tunneltraseen. Hentet fra Norconsult (2018a).

### 4.1.3 Funksjonskrav

Tunnelstrekningen mellom Drammen og Kobbervikdalen kan betegnes som et urbant undergrunnsprosjekt i et område med sensitive ytre omgivelser, med bakgrunn i prosjektets bynære plassering og områdets kvartær- og hydrogeologi (Karlsruud et al. 2003, Grøv & Woldmo 2012). Hensikten med forinjeksjon på prosjektet blir dermed hovedsakelig å begrense skader på ytre miljø som følger av poretrykksendringer i omliggende løsmasser (NFF 2010). Sensitivitetsanalyser for konsekvenser av grunnvannsenkning i tunnelens influensområde er derfor benyttet for fastsettelse av maksimal tillatt innlekkasje for tunnelstrekningene. Ifølge Norconsult (2018a) er de bestemmende faktorene for innlekkasjekravene:

1. Setningsømfintlige områder.
2. Naturmiljø og friluftsliv.
3. Nedbør og avrenning.
4. Vannbalanse i vannforekomster.

Med bakgrunn i evalueringer og beregninger knyttet til de bestemmende faktorene, stiller kontrakten krav til maksimal tillatt innlekkasje for ulike delstrekninger av tunnelen. Kravene er presentert i tabell 10, og varierer fra 3-20 L/min/100m bergrom. En sammenligning av disse innlekkasjekravene med beregnet potensielle innlekkasje for de ulike bergartene (presentert i figur 25), tilsier at bergmassens vannledende evner må reduseres. Dette kan oppnås ved hjelp av forinjeksjon.

For å begrense skader på ytre omgivelser er det anslått at det totalt vil medgå over 15.600 tonn industrisement, 10.200 tonn mikrosegment og 7.600 injeksjonstimer samlet for alle tunnelseksjonene. Kontraktsgrunnlagets mengdeestimer, vist i vedlegg A.2.3, tilsier at det forventes et høyere forbruk av industrisement, fremfor mikrosegment. Det er også forventet størst ressursforbruk i hovedløpet.

For jernbanetunneler stilles det også strenge krav til oppetid ettersom det ikke finnes alternative ruter for togtrafikken. Ettersom tekniske installasjoners levetid reduseres av eventuelle restlekkasjer, skal det ikke forekomme noe form for drypp i den ferdigstille tunnelen (Bane NOR 2020b). Tettestrategien på Drammen-Kobbervikdalen inkluderer derfor også bruk av vann- og frostsikring ved hjelp av full utstøpning med membran i hovedløpet; en drenert løsning uten utstøpning av såle.

Tabell 10: Maksimal tillatt innlekkasje for tunnelstrekninger på Drammen-Kobbervikdalen. Verdier hentet fra Fagrapport hydrogeologi, (Norconsult 2018a).

| Tunnelstrekning                      | Pelnummer       | Innlekkasjekrav (L/min/100m) |
|--------------------------------------|-----------------|------------------------------|
| <b>Hovedløp</b>                      | 54,431 - 55,450 | 5                            |
|                                      | 55,450 - 56,010 | 3                            |
|                                      | 56,010 - 56,500 | 10                           |
|                                      | 56,500 - 57,438 | 20                           |
|                                      | 57,438 - 57,630 | 5                            |
|                                      | 57,630 - 57,920 | 3                            |
|                                      | 57,920 - 58,450 | 5                            |
|                                      | 58,450 - 59,000 | 10                           |
| <b>Tverrslag Austad</b>              | 0-330           | 3                            |
|                                      | 330-534         | 5                            |
| <b>Evakueringstunnel Austad nord</b> | 0-940           | 5                            |
|                                      | 940-1001        | 3                            |
| <b>Evakueringstunnel Austad sør</b>  | 0-507           | 3                            |
|                                      | 507-1020        | 10                           |
| <b>Tverrslag Danserud</b>            | 0-833           | 10                           |
| <b>Evakueringstunnel Danserud</b>    | 0-203           | 5                            |
|                                      | 203-493         | 3                            |
|                                      | 493-1044        | 5                            |
| <b>Evakueringstunnel Gunnerud</b>    | 0-404           | 3                            |

#### 4.1.4 Injeksjonsmetodikk

Dette delkapittelet presenterer hvilken injeksjonsmetodikk som er valgt på Drammen-Kobbervikdalen, og baserer seg hovedsakelig på kontraktsgrunnlaget; Spesifikasjon bergarbeider tunnel, Vedlegg E, del I (Norconsult 2019). Av kontraktsbestemmelsene fremgår det at entreprenør har hovedansvaret for planlegging, utførelse og kontroll av injeksjonsarbeidene. Oppsummert tilsier dette at Veidekke skal:

- Planlegge boring av injeksjons- og kontrollhull.
- Utarbeide injeksjonsprosedyrer med pakkerplassering, bruk av injeksjonsrecepter, stoppkri-

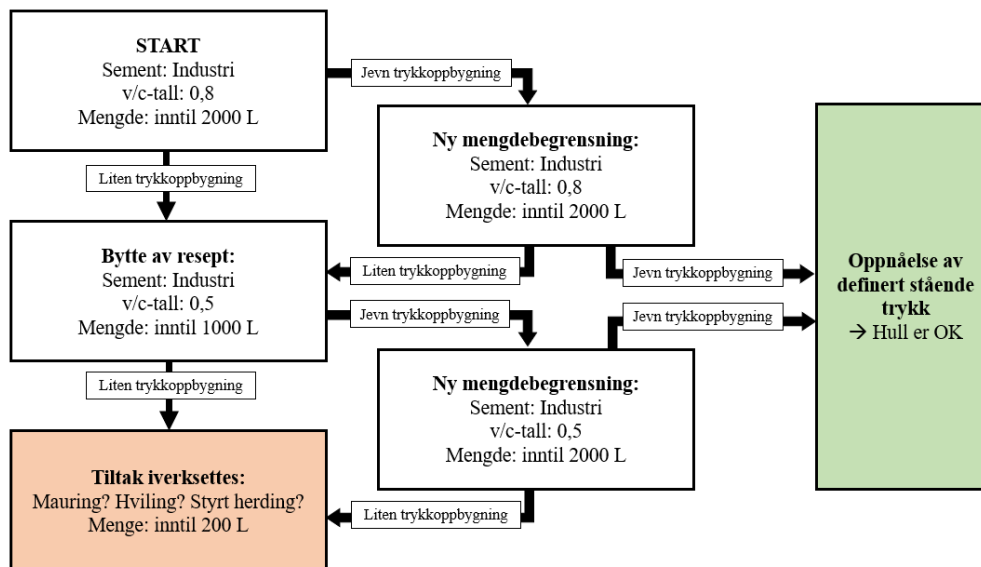
terier, og håndtering av materialer.

- Definere kriterier for bruk av kontrollskjermer.
- Overvåke og dokumentere at innlekkasjekravene overholdes.

Byggherre har likevel gitt enkelte styrende krav for valg av injeksjonsmetoder og utstyr. Alle tunnelstrekningene skal injiseres systematisk, der planlegging og utføring må være i overensstemmelse med *NFF Håndbok 06 Praktisk berginjeksjon for underjordsanlegg, 2010*. Håndboken er av anbefalende karakter, og fungerer dermed som et veiledende oppslagsverk ved planlegging og utføring av injeksjonsarbeidene (NFF 2010).

Konkrete bestemmelser i kontraksgrunnlaget tilsier at utforming av injeksjonsskjermer må tilpasses stedlige geologiske forhold, samt bergrommets geometri. Injeksjonsutstyret skal ha kapasitet til å pumpe på minimum 3 linjer samtidig for tunnelverrsnitt større enn 30 m<sup>2</sup>, og blant annet tilrettelegge for tilsetning av akselerator på stav. I tillegg stilles det kvalitets- og brukerkrav til boreutstyr og utstyr som trykkesetter. Planlegging og utførelse skal også gjennomføres av personer med dokumentert erfaring fra tilsvarende injeksjonsarbeider.

Krav om systematisk forinjeksjon tilsier at det må være tilstrekkelig overlapp mellom hver skjerm. På Drammen-Kobbervikdalen oppnås dette ved å bore ny skjerm for hver tredje salve (5,5-6 m), med en skjermgeometri som beskrevet av figur 14, teorikapittel 2.3.3. Bruk av  $\frac{v}{c}$ -tall, resepter, trykk og skjermens geometri er basert på innlekkasjekrav/vannforhold og fortløpende erfaringer (pers.kom Ingvild Lausund, 2021). Utdrag av Veidekkes generelle arbeidsprosedyre for injeksjon og eksempel på bestilling av langhullsboring og injeksjon for evakueringstunnel Austad Sør er vedlagt i A.2.1. Flytdiagrammet for regulering av mengder,  $\frac{v}{c}$ -tall og trykk i figur 26 er hentet ut fra denne arbeidsprosedyren.



Figur 26: Flyttdiagram for regulering av mengder,  $\frac{v}{c}$ -tall og trykk for skjermhull. Basert på Veidekkes arbeidsprosedyre for injeksjon, vedlegg A.2.1.

#### 4.1.5 Kontraktstrategi

Videre presenteres kontraktstrategien som er anvendt på Drammen-Kobbervikdalen, med fokus på entrepris- og oppgjørform. Delkapittelet baserer seg på kontraktgrunnlaget for UDK 01, vedlegg B - Vederlaget, Bane NOR (2019).

##### *Entrepriseform*

Entreprisen er en totalentreprise der Bane NOR har kontrahert Veidekke som totalentreprenør. Dette tilsier at Veidekke skal stå for en vesentlig del av prosjekteringsarbeidet. Styringsmulighetene til entreprenøren blir dermed bredere sammenlignet med en utførelsesentreprise (Lædre 2013). I tillegg pålegges entreprenøren et større ansvar, der blant annet kontraktbestemmelsene tilsier at entreprenør er ansvarlig for utarbeidelse av injeksjonsprosedyrer, overvåking og dokumentasjon av oppnådd tetthet og utforming av tiltak som skal iverksettes ved overskridelser av bestemte innlekkasjekrav.

Til tross for at entreprenør er tildelt større styringsmuligheter er fremdeles risikoen relatert til grunnforhold plassert hos byggherre. Likevel legger kontrakten til rette for at det er entreprenørens ansvar å levere en tunnel med innlekkasje innenfor fastsatte tetthetskrav.



**Oppgjørsform**

Oppgjøret følger prinsippet om rundsummer (RS), der entreprenør fastsetter en pris som dekker alle tunnelarbeider for de ulike tunnelseksjonene; hovedløp (inkludert evakueringstunneler), tverrslag Austad og tverrslag Danserud. Oppgjøret for injeksjonsarbeidet inngår dermed i den beregnede rundsummen for de ulike tunnelseksjonene. Kontrakten inkluderer derfor mengde- og tidsestimater for injeksjonsarbeidene beregnet av byggherreparten, som legger grunnlaget for entreprenørens pris på injeksjonsarbeidene. Det foretas ikke fratrukk i rundsummen dersom mengde- og tidsforbruk for injeksjonsarbeidene blir lavere enn byggherrens estimater. Oppgjørsformen kan dermed anses som et økonomisk insentiv som kan motivere entreprenør til å være ressursbesparende og effektiv i sin utførelse (Turner & Simister 2001).

**Reguleringsmekanismer**

Ettersom det er stor usikkerhet knyttet til estimering av både sikring og injeksjonsomfang, inkluderer kontrakten en reguleringsmekanisme for oppgjøret som gjøres gjeldende ved overskridelse av byggherrens mengde- og tidsestimater. På denne måten plasseres ikke risiko for et økt ressursforbruk ved forinjeksjon på entreprenøren. Prisreguleringen av mengder baserer seg på ligning 3, og inkluderer både sikring- og injeksjonsomfang:

$$K = (D2 + D4) - (D1 + D3) = (D2 - D1) + (D4 - D3) \quad (3)$$

der

- $K$  = priskompensasjonen til entreprenør ved mengdeoverskridelser.
- $D1$  = summen av byggherrens estimerte mengder x rate for injeksjonsmengder.
- $D2$  = summen av entreprenørens faktiske mengder x rater for injeksjonsmengder.
- $D3$  = summen av byggherrens estimerte mengder x rate for ulike sikringsklasser.
- $D4$  = summen av entreprenørens faktiske mengder x rater for ulike sikringsklasser.

Kort forklart tilsier reguleringsmekanismen, beskrevet av ligning 3, at mengder som overskrider kontraktsgrunnlagets prognoser gjøres opp etter fastsatte rater (enhetspriser). Eksempelvis har entreprenør oppgitt ulike rater for kg sement (ulike typer), boremeter og injeksjonstid som vil gjelde for produksjonsvolumet utover mengdene beskrevet i kontrakten. Disse ratene vil derfor avgjøre

entreprenørens inntjeningsmulighet/dekningsgrad ved endrede forhold. Ligningen tilsier også at det er summen av både sikringsomfang og injeksjonsmengder som vil være avgjørende for kompensasjonen. Det påpekes igjen at entreprenøren ikke får fradrag i rundsummen ved negativ K-verdi.

Byggetiden reguleres på tilsvarende måte dersom milepælene for fremdrift ikke oppfylles grunnet endrede grunnforhold, gitt av ligning 4.

$$T = (E4 + E2) - (E3 + E1) = (E4 - E3) + (E2 - E1) \quad (4)$$

der

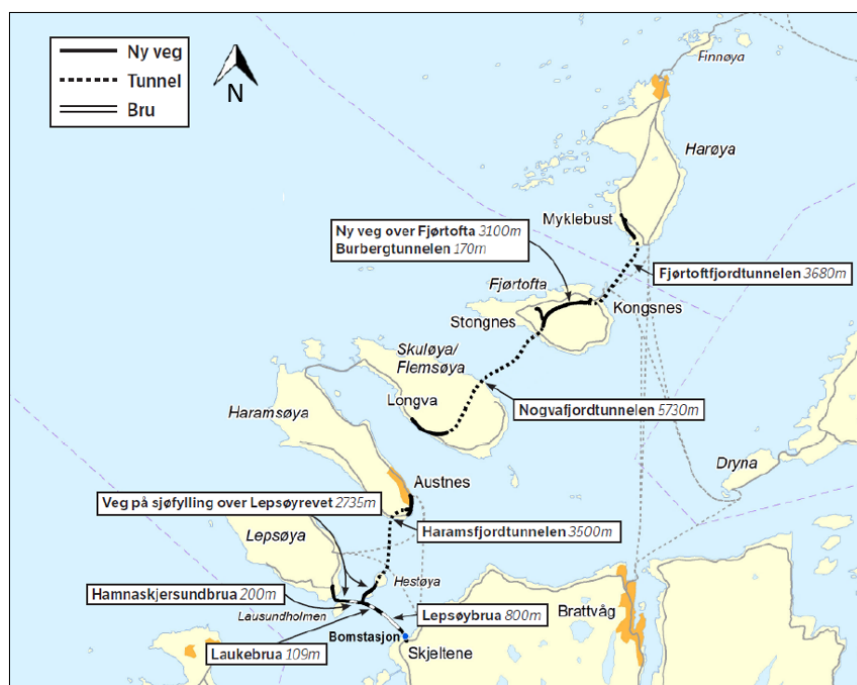
- T = tidskompensasjonen til entreprenør ved overskridelser grunnet uforutsette grunnforhold.
- E1 = summen av byggherrens estimert mengdeenhet x kapasitet for injeksjonstid og boring.
- E2 = summen av faktisk mengdeenhet x kapasitet injeksjonstid og boring.
- E3 = summen av byggherrens estimerte mengdeenhet x kapasitet for ulike sikringsklasser.
- E4 = summen av faktisk mengdeenhet x kapasitet for ulike sikringsklasser.

Tidskompensasjonen ved overskridelser vil dermed være avhengig av fastsatte kapasiteter (timer/enhet) for boring og injeksjonstid, samt kapasiteter for sikring i ulike bergmasseklasser. Tidskompensasjon er altså avhengig av at det inntreffer en tidsoverskridelse for injeksjon- og sikringsarbeidene totalt.

Oppgjørsformen kan anses som en kombinasjon av fastpris og enhetspriser, der sistnevnte kun benyttes som en reguleringsmekanisme ved overskridelser. Med andre ord vil entreprenørens dekningsgrad for fastsatte rater være avgjørende for hvilken part som bærer størst kostnadsrisiko ved eventuelle overskridelser av injeksjon- og sikringsomfang.

## 4.2 Fylkesveg 659 Nordøyvegen

Utbygging av Fylkesveg 659 Nordøyvegen har som formål å skape en fastlandsforbindelse mellom Skjeltene og Nordøyane i Ålesund kommune. Som vist i figur 27, innebærer prosjektet tre undersjøiske tunneler: Haramsfjordtunnelen, Nogvafjordtunnelen og Fjørtoftfjordtunnelen. Disse tunnelene vil henholdsvis forbinde Hestøya med Haramsøya, Skuløya med Fjørtofta og Fjørtofta med Harøya.



Figur 27: Oversiktskart over Fylkesveg 659 Nordøyvegen. Kartutsnitt hentet fra Karlson & Grob (2018c).

Basert på forventet årsdøgntrafikk (ÅDT) 20 år etter åpning, samt tunnellengdene, tilhører alle strekningene tunnelklasse B. Tunnelklassen definerer hvilke sikkerhetstiltak og -utrustning som kreves. I tabell 11 er ÅDT, lengder og maksimale dybder under havet for de ulike tunnelene oppgitt. Tunnelene skal utformes etter geometriske mål som tilsvarer tunnelprofil T8,5, som gir en veibanebredde på 6,5 meter (Statens Vegvesen 2020). Alle tunnelene tilhører *Geoteknisk kategori 3* og krever dermed kvalitetssikring ved kollegakontroll og uavhengig kontroll (Karlson & Grob 2018a,b,c).

Prosjektet startet opp i 2019, og den planlagte ferdigstillingen av hele prosjektet er satt til 2022. Det er ikke gjennomført feltarbeid og befaring av Haramsfjordtunnelen, ettersom drivingen var fullført

i januar 2021. Derfor omtales kun Nogvafjordtunnelen og Fjørtoftfjordtunnelen videre.

Tabell 11: ÅDT, lengder og maksimal dybde for Haramsfjordtunnelen, Nogvafjordtunnelen og Fjørtoftfjordtunnelen (Karlson & Grob 2018a,b,c).

| Tunnel                | ÅDT                  | Lengde     | Maksimal dybde |
|-----------------------|----------------------|------------|----------------|
| Haramsfjordtunnelen   | 1200 (lavtrafikkert) | ca. 3450 m | 155 m.u.h.     |
| Nogvafjordtunnelen    | 500 (lavtrafikkert)  | ca. 5635 m | 135 m.u.h.     |
| Fjørtoftfjordtunnelen | 500 (lavtrafikkert)  | ca. 3435 m | 123 m.u.h.     |

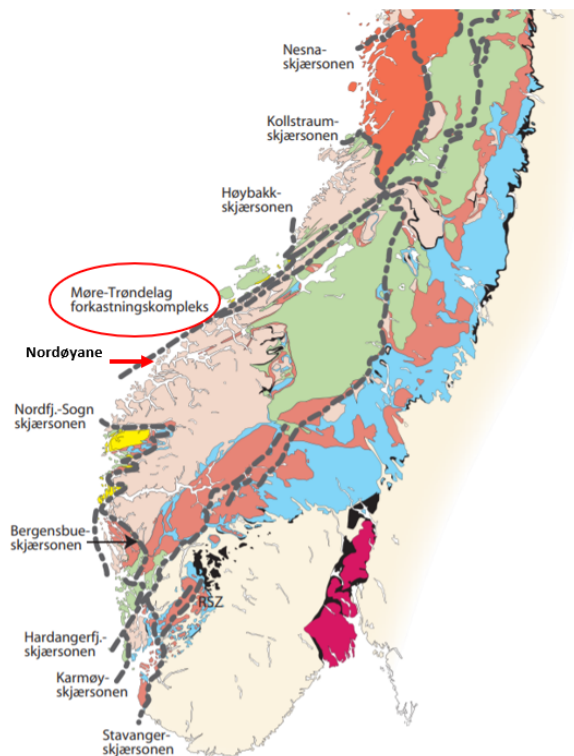
#### 4.2.1 Regional berggrunnsgeologi

Nordøyane befinner seg i *Den vestre gneisregionen* som utgjør et område dominert av grunnfjell omdannet under den kaledonske orogenese (Løset 2006). Bergartene i regionen er hovedsaklig gneiser og migmatitter med granittisk til granodiorittisk sammensetning (Forslund 1988). Hyppig forekomst av linser bestående av eklogitt tyder på metamorfose under høye trykk og temperaturer. Slike eklogittforekomster har blant annet blitt kartlagt på Harøya, Fjørtofta og Skuløya, (Karlson & Grob 2018a,c,b). I tillegg opptrer ofte linser eller lagvise innslag av glimmerrik gneis eller amfibolitt i regionen (Forslund 1988).

Bergartene er generelt massive og sterke, men kan være gjennomsluttet av markerte svakhetssoner (Løset 2006). Dette kommer av at regionen er preget av bruddsystemer som tilhører Møre-Trøndelag forkastningskompleks (Forslund 1988), som vist i figur 28. Disse bruddsystemene har en dominerende orientering mot NØ-SV til ØNØ-VSV, der det er antydning både normal- og sidelengsbevegelse i post-kaledonsk tid. Linjementer med en slik orientering kan ha utfordrende egenskaper med tanke på driving av undersjøiske tunneler, med bakgrunn i sterkt oppkjust og deformerte bergarter, samt innhold av leirer med aktive svelleegenskaper (Forslund 1988, Nilsen & Palmstrøm 2017). Som det fremgår av oversiktsbildet i figur 27, har de tre tunnelene dermed en noe ugunstig orientering i forhold til de problematiske svakhetssonene, ettersom tunneltraseens orientering også er NØ-SV.

Tilstedeværelsen av leirmateriale i svakhetssonene forhindrer som regel store problemer med vannlekkasjer (Løset 2006). Likevel ble det erfart større innlekkasjer enn forventet ved driving av

Godøytunnelen; en undersjøisk vegtunnel sør-vest for Nordøyane. Tensjonsprekker med en sprekkåpning opptil 2-3 cm var trolig bakgrunnen for et økt behov for forinjeksjon. Under driving av Fannefjordtunnelen i nærheten av Molde var migmatittgneisen mer oppsprukket enn antatt, som resulterte i at tre soner måtte støpes ut. Likevel ble innlekkasjen beregnet til kun 50 L/min/km ved ferdigstillelse (Løset 2006). Større topografiske høydeforskjeller i området kan medføre lokale utfordringer med høye bergspenninger.



Figur 28: Møre-Trøndelag forkastningskompleks danner bruddsystemer i den regionale berggrunnen i Møre og Romsdal. Hentet fra Ramberg et al. (2013).

#### 4.2.2 Lokal ingeniørgeologi

Lokale grunnforhold er i stor grad bestemmende for injeksjonsomfanget som er nødvendig for oppnåelse av fastsatte innlekkasjekrav. Basert på ingeniørgeologiske rapporter for prosjektet (Karlsson & Grob 2018a,c), vil enkelte geologiske faktorer som kan spille en avgjørende rolle for injeksjonsomfanget videre presenteres. Som det fremgår av figur 29, består berggrunnsgeologien hovedsaklig av migmatittisk gneis, med innslag av glimmergneis og eklogitt. Påhuggsområdene er også navngitt i figuren og vil benyttes i videre beskrivelser.



Figur 29: Kartutsnitt hentet fra berggrunnsdatabasen til NGU. Påhuggsområdene for Nogvafjordtunnelen og Fjørtoftfjordtunnelen er navngitt.

### ***Oppsprekking og foliasjon***

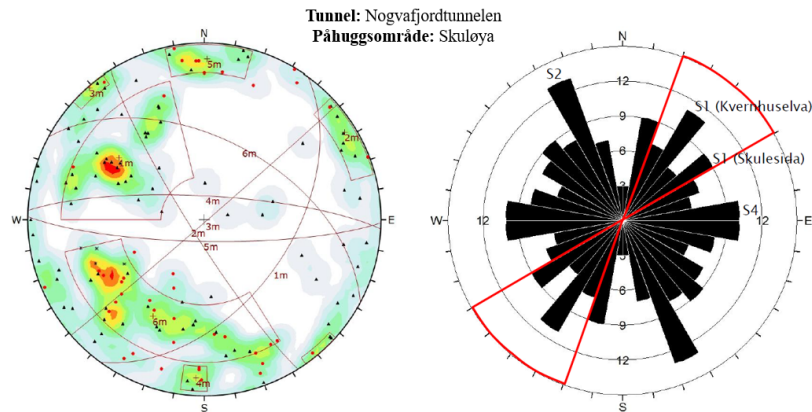
Ifølge Karlson & Grob (2018a,c) er det gjennomført feltkartlegging av sprekkeseett og foliasjon i nærhet av alle påhuggsområder. Lokasjonene på Skuløya, Fjørtofta og Harøya viser to gjennomsettende sprekkeseett, S1 og S2, med varierende strøk- og fallretning. Sprekkenes karakter er plane til svakt bølgete, med en ruhet som varierer fra glatt til svakt ru. Sprekkeåpningen er generelt liten med lav fyllingsgrad. Sprekkeavstanden til S2 varierer fra et maksimum på et par meter til et minimum på noen titalls centimeter.

For de to påhuggsområdene på Fjørtofta forekommer også sprekkeseett S3. Strøk- og fallretning er varierende, og sprekkenes karakter kan beskrives som plane med en ru overflate. Det forekommer enkelte avvik med en svak bølgete tendens. Foliasjonen F1 er kartlagt i gneisen ved alle de fire lokasjonene, og har en bølgete struktur med varierende retning på strøk og fall. Avstanden mellom folierte lag varierer fra noen titalls centimeter til flere meter.

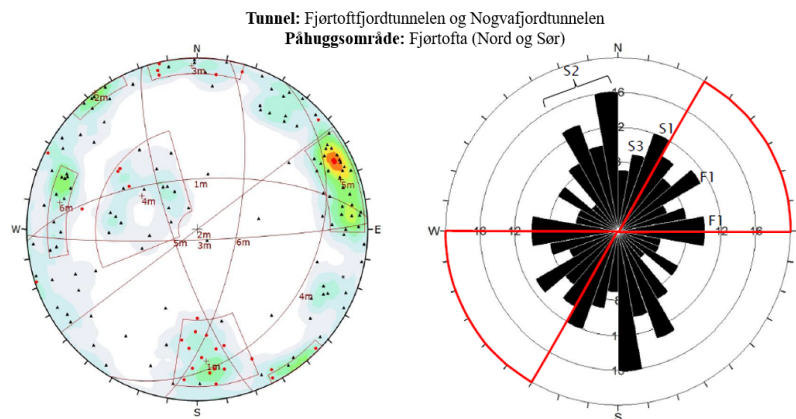
Figurene 30, 31 og 32 viser sprekkeroser og stereoplott for kartlagte sprekkeseett ved påhuggsområdene til de undersjøiske tunnelene. Tunnelenes orientering i kartleggingsområdet er markert i rødt. Som det fremgår av figuren er kartleggingen av sprekkeseett for både påhuggsområde Fjørtofta Nord og

-Sør inkludert i samme stereoplott og sprekkerose.

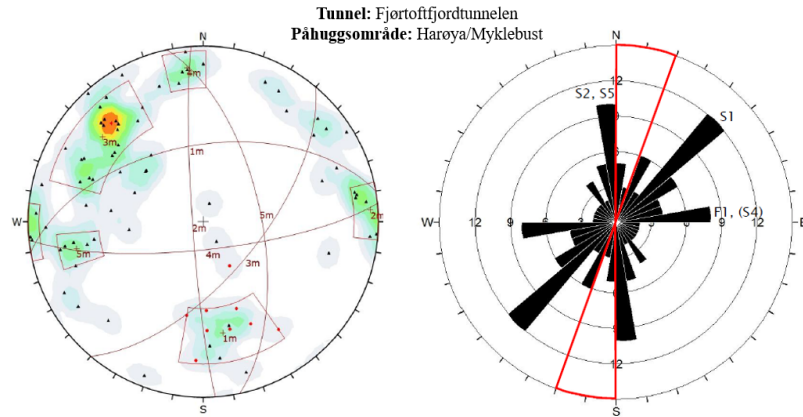
Både sprekkeseff og foliasjon er kartlagt i dagen og dermed kan sprekkkeegenskapene variere fra presentert tolkning mot dypet. Sprekkeseff under grunnvannstand vil være vannfylt og kan ha annet sleppemateriale og fyllingsgrad. Bergmasse i dagen er også utsatt for flere ytre agenser og kan dermed være forvitret i større grad.



Figur 30: Stereoplott og sprekkerose for påhugsområdet på Skuløya ved Longva. Hentet fra Karlson & Grob (2018c).



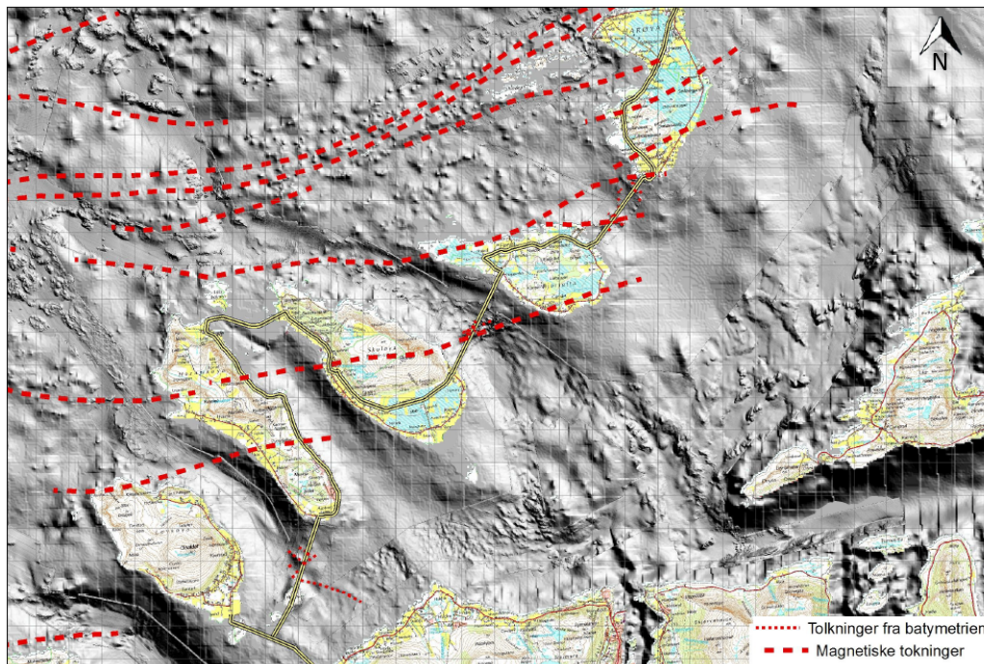
Figur 31: Stereoplott og sprekkerose for påhugsområdene på Fjørtofta (Nord og Sør). Hentet fra Karlson & Grob (2018a).



Figur 32: Stereoplott og sprekkerose for påhuggsområdet på Harøya. Hentet fra Karlson & Grob (2018a).

### *Svakhetssoner og bergkvalitet*

Batymetriske og magnetiske undersøkelser er gjennomført av NGU, og er benyttet til å tolke flere svakhetssoner rundt Nordøyane som vist i figur 33. Tolkningen av de magnetiske undersøkelsene viser trolig bruddsystemer som tilhører Møre-Trøndelag forkastningskompleks, og det kan dermed antas en sidelengsbevegelse langs forkastningene. Batymetrien indikerer strøkretning VNV-ØSØ i både Fjørtoftfjorden og Nogvafjorden, illustrert som stiplet rød linje i figur 33.



Figur 33: Forkastninger og svakhetssoner tolket fra magnetiske målinger i området rundt Nordøyane. Hentet fra Karlson & Grob (2018a).



Det er også utført seismiske målinger og kjerneboring for å kartlegge bergmassens kvalitet langs de omtalte tunneltraseene. Vertikalprofiler av de to tunnelstrekningene med data fra seismiske målinger og kjerneboring er vist i vedlegg A.3.1. På bakgrunn av de utførte forundersøkelsene er forventet prosentfordeling av Q-verdi for bergmassen langs tunneltraseene estimert, som vist i tabell 12.

Tabell 12: Estimert prosentfordeling av Q-verdi og seismiske hastigheter for Nogvafjordtunnelen og Fjørtoftfjordtunnelen (Karlson & Grob 2018a,c).

| Q-verdi                  | > 10   | 4-10      | 1-4       | 0,1-1     | < 0,01    |
|--------------------------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Seismisk hastighet [m/s] | > 4500 | 4000-4500 | 3500-4000 | 3000-3500 | 2500-3000 |
| Nogvafjordtunnelen       | 77 %   | 9 %       | 7 %       | 1 %       | 1 %       |
| Fjørtoftfjordtunnelen    | 78 %   | 7 %       | 10 %      | 5 %       | 0,1 %     |

Kjerneboring er utført fra både Fjørtofta Sør og Myklebust, og indikerer fyllingsmateriale av leire og epidot i oppknuste soner. Kjerneborehullene er også benyttet til gjennomføring av vann- og trykkmålinger. Undersøkelsen indikerer liten til moderat lekkasje i kjerneborehullene, og de antatte svakhetssonene ga ingen tydelige utslag. Sistnevnte skyldes trolig leirfyllingen i oppknuste partier.

### **Bergoverdekning**

Traseen til både Nogvafjordtunnelen og Fjørtoftfjordtunnelen har seksjoner med lav bergoverdekning (< 50 m). Ifølge Karlson & Grob (2018a,c) kan områder med lav bergoverdekning medføre et økt omfang av forinjeksjon, både for å styrke bergmassens kvalitet og forhindre uønskede innlekkasjer av overliggende sjøvann. Tabell 13 viser fordelingen av bergoverdekning for de to tunnelene.

| Bergoverdekning:       | 20-25 m | 25-30 m | 30-40 m | 40-50 m | Lengde med overdekning < 50 m |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|-------------------------------|
| Nogvafjordtunnelen:    | 0 m     | 365 m   | 455 m   | 455 m   | 22,2 %                        |
| Fjørtoftfjordtunnelen: | 120 m   | 240 m   | 680 m   | 985 m   | 55,2 %                        |

Tabell 13: Fordeling av redusert bergoverdekning for Nogvafjordtunnelen og Fjørtoftfjordtunnelen (Karlson & Grob 2018c,a).

### 4.2.3 Funksjonskrav

Som presentert i teorikapittel 2.3.1, er det utviklet generelle funksjonskrav for moderne vegtunneler i Norge, der kravspesifiseringene vil være gjeldende for både konvensjonelle og undersjøiske tunneler (Statens Vegvesen 2012). Forinjeksjon inngår i valgt tettestrategi på Nordøyvegen for å tilfredstille enkelte av disse funksjonskravene. Tabell 14 viser enkelte funksjonskrav som kan påvirkes av bergrommets tetthet.

Tabell 14: Funksjonskrav for moderne vegtunneler. Basert på Statens Vegvesen (2020, 2011).

| Funksjonskrav                 | Vegtunneler                                       |
|-------------------------------|---|
| Levetid tunnelkonstruksjoner  | 100 år  |
| Levetid vann- og frostsikring | 50 år   |
| Teknisk levetid               | 20-30 år  |
| Tetthet                       | Vann dreneres i sålen uten frysing.               |
| Oppetid                       | Oppetiden basert på tilgjengelig omkjøringsveier. |

Basert på de ingeniørgeologiske rapportene, (Karlson & Grob 2018 $a,c$ ), og spesielle beskrivelser i kontrakten for tunnelene på Nordøyvegen skal forinjeksjon benyttes som et verktøy for å redusere problemer med stabilitet og vanninnbrudd i anleggsfasen. Usikkerhet knyttet til resultatene fra de utførte forundersøkelsene på prosjektet gir også behov for supplerende undersøkelser i drivefasen, samt kontinuerlig vurderinger av behov for forinjeksjon. De supplerende undersøkelsene og vurderingene springer ut fra begrensningen undersjøiske tunneler gir til å validere resultater fra geofysiske undersøkelser med in-situ feltobservasjoner (Nilsen & Palmstrøm 2017). Med andre ord vil usikkerheten i grunnforhold normalt være større for undersjøiske tunneler, og byggherre må pålegge entreprenør å gjennomføre mer omfattende undersøkelser fra stuff i anleggsfasen. Kontraksbestemmelsene på Nordøyvegen stiller følgende krav:

- Systematisk sonderboring langs hele tunnelens lengde, i form av 4-6 borehull med stikning på 3-6 m og lengde 25-30 m. Sonderhullene skal ha minimum 8 m overlapp.
- I partier med liten bergoverdekning kan byggherre bestille boring av sonderhull med en vinkel inntil 45 grader opp mot havbunnen for å kontrollere fjelloverdekning.
- For strekninger med en overdekning mindre enn 50 m, eller gjennom kjente svakhetssoner med seismisk hastighet lavere enn 3000 m/s, skal det gjennomføres kjerneboring fra stuff for

å skaffe opplysninger om bergkvalitet og vannlekkasjeforhold. Det er krav om minimum 10 meter overlapp for kjerneborehull i slike soner.

Ifølge Kåre Ingolf Karlson (pers.kom 2021) skal også forinjeksjonen begrense dimensjoneringen av pumpestasjoner, sikre tilstrekkelig kapasitet på drengssystemer og redusere kostnader tilknyttet drift og vedlikehold etter ferdigstilling. For å sikre at disse funksjonskravene oppnås, er det fastsatt et krav om maksimal tillatt innlekkasje på 200 L/min/km tunnel for både Nogvafjordtunnelen og Fjortoftfjordtunnelen. Med slike moderate innlekkasjekrav utføres forinjeksjonen behovsprøvd, der det ifølge kontraktbestemmelsene skal initieres en injeksjonsskjerm ved samlet innlekkasje på mer enn 10 L/min/100 boremeter fra sonerhull.

I kontraktgrunnlaget er det estimert et antall på 50 og 45 injeksjonsskjermer for henholdsvis Fjortoftfjordtunnelen og Nogvafjordtunnelen. Mengdeestimatet for sementforbruk tilsier dermed at det i snitt skal benyttes omlag 16 tonn industrisement per skjerm. Det henvises til vedlegg A.3.3 for flere detaljer rundt kontraktgrunnlagets prognoser for ressursforbruk.

Tettestrategien inkluderer også bruk av vann- og frostsikring ved hjelp av PE-skum og sprøytebetonghvelv. I enkelte soner med store restlekkasjer skal det også brukes membran (pers.kom Magne Heggem, 2021). Konstruksjonens hensikt er å forhindre drypp på vegbane og lede restlekkasjer ned i anlagt drengssystem, som videre leder vannet til tunnelens pumpestasjon.

### 4.2.4 Injeksjonsmetodikk

Dette delkapittelet beskriver valgt metode for forinjeksjon på Nordøyvegen. Ettersom kontraktene er i henhold til NS 8405, følges Statens Vegvesens (SVV) prosesskode for injeksjonsarbeider. Injeksjonsprosedyren som entreprenøren skal utføre er dermed generelt beskrevet i selve kontraktgrunnlaget. Videre detaljutforminger av prosedyren gjennomføres av byggherre i drivefasen og leveres til entreprenør i form av en *kontrollørmelding* (pers.kom. Magne Heggem, 2021).

Et eksempel på en slik kontrollørmelding er vedlagt i A.3.2, der det fremgår at det totalt er bestilt 30 skjermhull, inklusivt sonerhull, med 5-10 m stikning. Skjermhullene skal ha en lengde på 24 m, og pakkerne skal plasseres 2 m inn i borehullene. Staver skal plasseres i alle hull før pumpestart, og pakkerne skal være åpne for å se eventuelle sammenhengende hydrauliske kanaler mellom

skjermhull. Stopstrykket er satt til 80 bar. Det skal hovedsakelig benyttes industrisement med tilsetning av superplastiserende og silicaslurry. Følgende beskrivelse er gitt for bruk av resepter i eksempelet fra Fjørtoftfjordtunnelen:

- Resept 1: Industrisement med  $\frac{v}{c}$ -tall på 0,9. Det skal pumpes 500 L per hull før  $\frac{v}{c}$ -tallet reduseres. Dersom mottrykk oppnås med en inngang  $< 500$  L på denne resepten, skal stoppstrykket holdes i 2 minutter før injeksjonen avsluttes på hullet.
- Resept 2: Industrisement med  $\frac{v}{c}$ -tall på 0,7. Det skal pumpes 1000 L per hull før  $\frac{v}{c}$ -tallet reduseres. Dersom mottrykk oppnås med en inngang  $< 500$  L på denne resepten, skal stoppstrykket holdes i 2 minutter før injeksjonen avsluttes på hullet.
- Resept 3: Industrisement med  $\frac{v}{c}$ -tall på 0,5. Etter en inngang på 2500 L i hullet uten oppnådd stoppstrykk skal hullet hvile i 1-2 timer før det pumpes videre med samme resept.
- Etter en inngang på 5000 L i ett hull skal akseptabelt sluttrykk justeres ned til 50 bar.

Kontraktgrunnlaget tilsier at entreprenør skal ha mulighet til å iverksette styrt herding med akselelator, tilsetning av mauring, injeksjon av kolloidal silika og polyuretan.

### 4.2.5 Kontraktstrategi

Under planleggingen og ved oppstart av Fylkesveg 659 Nordøyvegen var SVV byggherre for prosjektet. En statlig omorganisering har medført at byggherrerollen i dag faller innunder Møre og Romsdal Fylkeskommune (MRFK). Dette medførte ingen endringer av opprinnelig kontraktstrategi, som er utarbeidet etter SVV sine prosesskoder.

Byggherre har valgt en kontraktstrategi med følgende virkemidler for ansvarsfordeling:

- Entrepriseformen er en utførelsesentreprise der Skanska er kontrahert som hovedentreprenør. Dette tilsier at byggherre skal prosjektere kontraktens produkt, og entreprenøren skal utføre arbeidet definert i ytelsesbeskrivelsene.
- Ytelsesbeskrivelsene baserer seg på mengdebeskrivelser med komplementerende funksjonskrav. Byggherre står ansvarlig for utarbeidelse av mengde- og tidsprognoser for ulike arbeider.
- Oppgjør etter enhetspriser og bruk av ekvivalenttidsregnskap.

Med tanke på forinjeksjon tilsier dette at byggherre er ansvarlig for å estimere forventet mengde- og tidsforbruk som er nødvendig for å tilfredstille kravet om maksimal tillatt innlekkasje. Entreprenøren er ansvarlig for å sette dekkende enhetspriser for de ulike sementtypene, antall boremeter, opp/nedrigg, injeksjonsutstyr, pumpetid osv., slik at de oppnår inntjening ved utførelse av arbeidet. Valg av oppgjørsform tilsier at Skanska vil få betalt for medgåtte mengder, uavhengig av mengdestimatet i prognosene. Pumpetiden inngår i ekvivalenttidsregnskapet, som betyr at entreprenøren vil opparbeide tidskompensasjon ved et større injeksjonsomfang enn estimert. På denne måten kompenseres entreprenøren tidsmessig for usikkerheten tilknyttet grunnforholdene.

Kontrakten påvirker også partenes styringsmuligheter. Det fremgår av kontrakten at byggherre er ansvarlig for valg av tettestrategi og injeksjonsmetodikk, og skal være involvert i beslutningene som omhandler initiering av forinjeksjon, utførelse og kontroll av tetteresultat. Med andre ord kan kontraktsforholdet anses som *byggherrestyrt*.

## 5 Analyser og resultater

Dette kapittelet analyserer informasjonen fra prosjektbeskrivelser, samt datagrunnlag fra feltarbeid utført i denne studien, for henholdsvis Drammen-Kobbervikdalen og Nordøyvegen. Analysene er knyttet opp mot verktøy og begreper presentert i teorikapitlene. Hensikten med dette kapittelet er å bringe frem detaljerte beskrivelser av hvordan kontraktsgrunnlaget kan påvirke injeksjonsarbeidene og prosjektrollenes interesser.

### 5.1 Drammen-Kobbervikdalen

I det videre vil først intervjuobjektene beskrivelser av prosjektets utfordringer med injeksjonsarbeider knyttes opp mot ulike prosjekt karakteristikk. Deretter er interessentenes subjektive suksesskriterier kartlagt og forklart. For å få en bedre forståelse av anvendt kontraktstrategi, er det også gitt en detaljert beskrivelse av prosjektrollenes beslutningsmyndighet og kontraktens fordeling av økonomisk risiko.

Tabell 15 presenterer intervjuobjektene med navn, prosjektrolle, selskap og dato for samtale. Det henvises til vedlegg A.1 for benyttet intervju skjema.

Tabell 15: Intervjuobjekter fra Drammen-Kobbervikdalen.

| Navn                | Rolle og selskap             | Dato og sted                                |
|---------------------|------------------------------|---|
| Hanne Wiig          | Prosjektleder, Bane NOR      | 24.02.21, Drammen.                          |
| Eirikur Sveinsson   | Byggeleder, Bane NOR         | 24.02.21, Drammen.                          |
| Geir Olav Larsen    | Kontrollingeniør, Bane NOR   | 23.02.21, Drammen.                          |
| Ole Jørgen Aakre    | Prosjektleder, Veidekke      | 24.02.21, Drammen.                          |
| Ole Kristian Eggen  | Driftsleder, Veidekke        | 23.02.21, Drammen.                          |
| Ingvild Lausund     | Ingeniørgeolog, Veidekke     | Våren 2021, Drammen, e-post, virtuelt møte. |
| Kristoffer Stien    | Ingeniørgeolog, Veidekke     | 04.03.21, virtuelt møte.                    |
| Rolf Sandseter      | Formann, Veidekke            | 26.02.21, Drammen.                          |
| Terje Andersen      | Injeksjonsoperatør, Veidekke | 24.02.21, Drammen.                          |
| Åse Helene Vrålstad | Ytre Miljø, Veidekke         | 23.02.21, Drammen.                          |
| Bergljot Skonnord   | HMS, Veidekke                | 25.02.21, Drammen.                          |
| Øyvind Dammyr (*)   | Rådgiver, Norconsult         | 16.03.21, virtuelt møte.                    |

\*Dammyr intervjuet for et generelt innblikk i konsulentens rolle og er ikke spesielt tilknyttet prosjektet.

### 5.1.1 Prosjektkarakteristikk

Denne analysen tar sikte på å avdekke kritiske suksessfaktorer for forinjeksjon ved å evaluere hvilke karakteristikk som preger injeksjonsarbeidene. Resultatene baseres på intervjuobjektene beskrivelser av erfarte utfordringer med forinjeksjon på Drammen-Kobbervikdalen, samt datainn-samlingen presentert i kapittel 4.1.

For å kvantifisere resultatene er innvirkningen fra de ulike karakteristikkene vurdert etter en skala fra 1-5 som forklart av tabell 16, og detaljert beskrevet i teorikapittel 2.1.3. Dersom karakteristikkens verdi er satt til 5, vil utfordringene knyttet til karakteristikken ha en kritisk innvirkning ved prosjektgjennomføring (Hussein 2016). En lavere tallverdi tilsier dermed at problemer som tilhører karakteristikken ikke vil påvirke injeksjonsarbeidene i like stor grad.

Tabell 16: Forklaring av skala som er benyttet for å evaluere de ulike karakteristikkene innvirkning på injeksjonsarbeidene på Drammen-Kobbervikdalen.

| Verdi       | 1        | 2     | 3       | 4    | 5       |
|-------------|----------|-------|---------|------|---------|
| Innvirkning | Marginal | Liten | Middels | Stor | Kritisk |

#### *Størrelse*

Ettersom forinjeksjonen skal utføres systematisk og tilfredstille strenge innlekkasjekrav, kan injeksjonsomfangets størrelse kategoriseres som stort på Drammen-Kobbervikdalen. Ifølge kontraktsgrunnlaget, (Bane NOR 2019), har byggherre anslått et samlet sementforbruk på omlag 26 000 tonn, som tilsvarer et forbruk på omtrentlig 2400 kg/løpemeter tunnel. Videre er det totale estimerte tidsforbruket for injeksjonstid beregnet til 7616 timer, som tilsvarer en injeksjonstid på ca. 0,7 timer/løpemeter tunnel.

Roller fra både byggherre og entreprenør trekker frem at prosjektøkonomien er avhengig av injeksjonsarbeidenes størrelse, og overskridelser av tids- eller mengdebeskrivelser er derfor av kritisk betydning for begge kontraktsparter. Formann Rolf Sandseter (2021) trekker blant annet frem hvor avgjørende injeksjonstiden er for tunnelens fremdrift, som videre påvirker både byggherre og entreprenørens økonomiske perspektiver. I tillegg trekkes det frem at det er nødvendig med et kvalitetsfokus fremfor et effektivitetsfokus, ettersom de økonomiske konsekvensene av utilsiktede innlekkasjer er betydelig. Ifølge entreprenørens ytre miljøansvarlig, Åse Helene Vrålstad (2021),

kan en senkning av grunnvannsspeilet medføre behov for permanent vanninfiltrasjon i omliggende løsmasseavsetninger. Et slikt tiltak vil være ressurskrevende og gå på bekostning av kontraktspartenes økonomiske rammer.

På bakgrunn av injeksjonsomfangets teoretiske størrelse, og intervjuobjektene uttalelser rundt økonomiske og tidsmessige problemstillinger, er faktoren *størrelse* vurdert til grad 5.

### ***Usikkerhet***

Intervjuobjektene uttalelser tilsier at gjennomføring av tett tiltak først og fremst utgjør en prosess med stor grad av usikkerhet. Usikkerhet kan anses som fellesnevneren for følgende erfarte utfordringer:

1. Injeksjonsmaterialenes egenskaper kan avvike betydelig fra det som er forventet. På Drammen-Kobbervikdalen har det spesielt vært problemer med mikrosegmentens herdetid, som i enkelte perioder har vært mellom 12-24 timer (Lausund, 2021).
2. Injeksjonsutstyrets respons på ulike kommandoer som legges inn på injeksjonsriggen kan variere. Entreprenøren opplever dette som spesielt problematisk ved bruk av styrt herding, ettersom selv marginale avvik i tilsetning av akselerator på stav kan påvirke injeksjonsmassens egenskaper (Stien, 2021).
3. Det kan være stor usikkerhet i estimert ressursforbruk som kan gå utover byggherrens kostnadsrammer ved store overskridelser. Usikkerheten skyldes at det er vanskelig å fastslå bergmassens hydrauliske egenskaper ved forundersøkelser, samt hvor krevende det vil være å finne optimale løsninger for injeksjonsarbeidet ved svært strenge innlekkasjekrav (Sveinson, 2021).
4. Valg av injeksjonsmetodikk er forbundet med stor usikkerhet ettersom det ikke finnes noen konkret fasit for enkeltskjermer. Ved ufullstendige tetterresultater er det derfor vanskelig å fastslå hvilke elementer i injeksjonsprosedyren som er årsaken til den reduserte kvaliteten (Andersen, 2021). Som det fremgår av tabell 17, overskrider innlekkasjen for flere strekninger fastsatte tetthetskrav. Det virker som seksjoner nær tunnelens kryssområder, med utvidet tverrsnitt, er de største utfordringene.



Tabell 17: Innlekkasjekrav mot målt vanninnstrømning for delstrekninger i hovedløpet.

| Terskelstrekning<br>[m] | Innlekkasjekrav<br>[L/min/100m] | Innlekkasjekrav<br>[L/min] | Målt innlekkasje<br>[L/min] | Innenfor krav<br>Ja/Nei |
|-------------------------|---------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 60200-59860             | 3                               | 10,2                       | 5,25                        | Ja                      |
| 59860-59610             | 3                               | 7,5                        | 4,28                        | Ja                      |
| 59610-59350             | 3                               | 7,8                        | 4,22                        | Ja                      |
| Kryssområde, 120 m      | 3                               | 3,6                        | 3,92                        | Nei                     |
| 59350-59221             | 3                               | 3,87                       | 9,03                        | Nei                     |

Samlet tyder dette på at injeksjonsarbeid kjennetegnes av mangel på kunnskap og forutsigbarhet, og kan derfor karakteriseres som en prosess med mye usikkerhet. Ingeniørgeolog Kristoffer Stien (2021) trekker spesielt frem at større kunnskap om injeksjonsriggen trolig ville redusert utfordringene som oppleves ved planlegging og utføring av forinjeksjon. Både representanter fra byggherre og entreprenør ønsker en større forståelse av hvilke injeksjonsmetoder og -materialer som bør benyttes for å løse ulike problemstillinger.

På bakgrunn av de presenterte utfordringene er graden av *usikkerhet* i injeksjonsarbeidene vurdert til 5.

### ***Lav frekvens***

Forinjeksjonen gjennomføres systematisk med ny skjerm for hver tredje salve i alle tunnelseksjonene, og dermed kan injeksjonsarbeidene kategoriseres som en prosess som utføres hyppig. Som presentert i teorikapittel 2.1.3, gir en høy frekvens gode muligheter for læring og tilegning av erfaringer, som kan redusere usikkerhet i prosessen (Kolltveit & Reve 2002). Kontrollingeniør Geir Olav Larsen (2021) har selv arbeidet som stoffoperatør tidligere, og påpeker at det er under selve utførelsen av forinjeksjonen man lærer mest om prosessen.

Det fremgår også at den hyppige gjennomføringen av forinjeksjon, samt strenge resultatkrav, har gitt muligheter for uttesting av mer ukjente metoder. Injeksjonsoperatør Terje Andersen (2021) beskriver utprøving av såkalt *red foam* ved store utganger langs slepper; et kjemisk injeksjonsmiddel (polyuretan) med rød farge som utvider seg 40 ganger i kontakt med vann. I tillegg er styrt herding med akseleratorstilsetning på stav benyttet i enkelte anledninger med varierende resultater. Etter-

som metodene benyttes med betydelig lavere frekvens kan det være vanskelig å opparbeide seg god kjennskap til deres anvendelighet. I tillegg påpeker Andersen (2021) at metodene ofte krever mer tid og tilgang på mer mannskap. Likevel tror injeksjonsoperatøren at hyppigere bruk av de spesielle tiltakene er fordelaktig, både for tetterresultatet og læringsutbyttet.

Ettersom forinjeksjon gjennomføres hyppig, er ikke prosjektkarakteristikken preget av en spesielt lav frekvens. Likevel er verdien for faktoren vurdert til 2, på bakgrunn av den lave frekvensen på bruk av spesielle injeksjonsmetoder.

### ***Delbarhet/kompleksitet***

For å optimalisere ressursforbruket som medgår til injeksjonsarbeidene kreves det innsats fra flere prosjektroller for å planlegge og styre prosessene, som videre vist i delkapittel 5.1.3. I tillegg er skjermens kvalitet (produkt) avhengig av en rekke ulike komponenter som bergmassens sprekkekarakter, injeksjonsmassens kjemiske egenskaper, påliteligheten til det tekniske utstyret og styringsrollenes kunnskap og erfaringer. Prosjektleder Hanne Wiig (2021) påpeker blant annet hvor essensiell entreprenørens kompetanse er for å oppnå ønskede tetterresultater. Ingeniørgeolog Stien (2021) trekker frem hvordan påliteligheten til det tekniske utstyret vil være avgjørende, mens injeksjonsoperatør Andersen (2021) vektlegger bergmassens sprekkeegenskaper og spenningstilstand. I tillegg nevnes injeksjonsmaterialenes herdeegenskaper, i kombinasjon med sprekkevantrykk og salveskyting, av flere ulike prosjektroller.

Ettersom entreprenør både er ansvarlig for planlegging og utførelse av injeksjonsarbeidene, reduseres den organisatoriske kompleksiteten, fordi det ikke i like stor grad kreves kommunikasjon mellom byggherre og entreprenør. Ifølge injeksjonsoperatør Andersen (2021) er styringsforholdet mer effektivt, sammenlignet med hans erfaringer fra byggherrestyrte kontrakter.

På bakgrunn av disse uttalelsene er injeksjonsarbeidenes kompleksitet vurdert til grad 4.

### ***Påvirkningskraft på forretning***

Forinjeksjon kan anses som et verktøy for å oppnå et av Bane NORs forretningsmål ettersom organisasjonen skal sikre ”*kostnadsoptimale løsninger*” og ”*forbedre ressursbruken*” i alle sine utbyggingsprosjekter (Bane NOR 2018). Intervjuobjektene uttaler at forinjeksjon inngår i byggherreorganisasjonens tettestrategi på bakgrunn av en bevissthet om at løsningen utgjør den

mest kostnadseffektive metoden for tilfredsstillelse av prosjektets funksjonskrav. Ifølge Wiig (2021) vil en optimal utførelse av forinjeksjon forhindre uønsket grunnvannssenkning og påfølgende behov for permanent vanninfiltrasjon til grunnen; et svært kostbart tiltak. Skader på ytre omgivelser eller store kostnadsoverskridelser vil trolig gå på bekostning av byggherrens renommé.

For entreprenør handler det derimot om et strategisk utbytte, ettersom byggherre kan bruke relevant erfaring med injeksjonsarbeider som et tildelingskriterium. Ifølge Wiig (2021) ble blant annet Veidekkes tidligere erfaringer med injeksjonsarbeider vektlagt under utvelgelsesprosessen i anbudsfasen for Drammen-Kobbervikdalen. For entreprenører uten tilstrekkelig erfaring med forinjeksjon er det derfor nødvendig å tilknytte seg riktig fagkompetanse for å vinne slike kontrakter (Wiig, 2021). Dersom Veidekke kan vise til gode tetterresultater og nyttige erfaringer fra omtalt prosjekt, vil entreprenøren trolig sikre seg et fortrinn i konkurranser om tilsvarende fremtidige prosjekter.

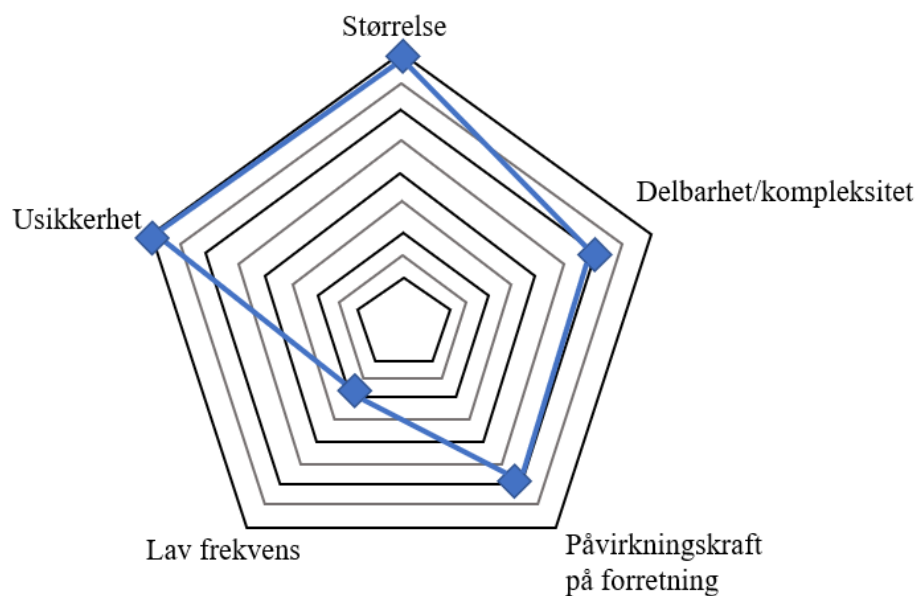
Injeksjonsarbeidene vil på denne måten ha en påvirkningskraft på både byggherre og entreprenør, ettersom en tettemetoden potensielt kan bidra til oppnåelse av enkelte forretningsmål og gi strategiske fordeler. Med bakgrunn i de sensitive ytre omgivelsene og anleggets funksjonskrav, er forinjeksjon også en prosess med prioritert tildeling av ressurser, sammenlignet med andre anleggsprosesser. Verdien for karakteristikkens innvirkning er derfor satt til 4.

### ***Oppsummering av prosjektkarakteristikk***

Edderkoppdiagrammet i figur 34 oppsummerer gjeldende prosjektkarakteristikk for injeksjonsarbeidene på Drammen-Kobbervikdalen, basert på den gjennomførte analysen.

Med bakgrunn i beskrevet prosjektkarakteristikk er det mulig å identifisere flere kritiske suksessfaktorer som injeksjonsarbeidene bør styres etter på Drammen-Kobbervikdalen. Basert på sammenhengen presentert av Hussein (2016), er suksessfaktorene i tabell 18 vurdert som mest kritiske.

Videre kan det også være essensielt med god informasjonsflyt, tydelig rolle- og ansvarsfordeling og gode rutiner for avvikshåndtering for å håndtere injeksjonsarbeidenes *kompleksitet*. For at byggherre skal nå sine strategiske perspektiver ved bruk av forinjeksjon, er det nødvendig at viktigheten kommuniseres til organisasjonen nedover og oppover slik at det skapes eierskap til hensikt og mål med tettearbeidene (Hussein 2016).



Figur 34: Edderkoppdiagram som oppsummerer prosjektkarakteristikken for injeksjonsarbeider på Drammen-Kobbervikdalen. Teorikapittel 2.1.3 forklarer edderkoppdiagrammet.

Tabell 18: Kritiske suksessfaktorer basert på analyse av prosjektkarakteristikken til injeksjonsarbeidene på Drammen-Kobbervikdalen.

| Prosjektkarakteristikk | Suksessfaktor  |
|------------------------|--|
| Usikkerhet             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Fleksibilitet i planlegging og utførelse</li> <li>Evne til problemløsning</li> <li>Tilstrekkelig fagkompetanse</li> <li>Strukturert og systematisk risikohåndtering</li> </ul>                    |
| Størrelse              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Planlegging i tidlig fase</li> <li>Klarhet i begrensninger, føringer og spesifikasjoner</li> <li>Gode rutiner for avvikshåndtering</li> <li>Effektive team</li> <li>Gode kravprosesser</li> </ul> |

### 5.1.2 Identifisering av ulike perspektiver: Interessentanalyse

Basert på intervjuobjektene uttalelse og faktagrunnlaget presentert i prosjektbeskrivelsen, er det gjennomført en interessentanalyse som tar sikte på å kartlegge subjektive suksesskriterier. Disse perspektivene er videre benyttet for å identifisere suksessfaktorer som forinjeksjonen bør styres etter for å ivareta aktørenes interesser. Resultatet av interessentkartleggingen tilsier at aktørene kan deles inn i fire hovedgrupper:

#### ***Gruppe 1: Primærinteressenter med stor interesse og et kritisk bidrag***

Denne gruppen utgjør prosjektets primærinteressenter for injeksjonsarbeider. Aktørene har stor interesse av tetttiltakene som utføres, samtidig som de leverer et kritisk bidrag til prosessen. Som vist i delkapittel 5.1.3, vil byggherreorganisasjonen påvirke utførelsen ettersom de fastsetter kontraktens rammeverk for forinjeksjon. Entreprenøren vil ha en kritisk innflytelse ettersom de er ansvarlig for styringen av injeksjonsarbeidet.

Konsulentselskapene som involveres er også kategorisert som primærinteressenter. Ifølge Øyvind Dammyr (2021), rådgiver fra Norconsult, bidrar rådgivere med en rekke ulike oppgaver under planlegging og utbygging av undergrunnsprosjekter, som blant annet utforming av rapporter, kalkulasjoner og tegninger. Eksempelvis er det Norconsult som har utarbeidet fagrapporter for ingeniørgeologi og hydrogeologi på Drammen-Kobbervikdalen. Disse rapportene legger grunnlaget for fastsatte innlekkasjekrav, som videre er avgjørende i mengdeberegningen for injeksjonsarbeidene. I tillegg kan konsulentene utarbeide spesielle og tilpassede beskrivelser av injeksjonsarbeidene for enkeltprosjekter som inngår i kontraktgrunnlaget. Konsulentenes bidrag blir dermed også kritisk for tilretteliggning av injeksjonsarbeidene.

Identifiseringen av perspektivene til disse interessentene baserer seg på intervjurundene, og kan beskrives som følger:

- *Byggherreorganisasjonens suksesskriterier*

Entreprenøren må ha tilsvarende målforståelse som byggherren med hensyn til forinjeksjon. Ifølge prosjektleder Wiig (2021) bør entreprenørens mål være å levere et produkt til *rett* kvalitet. Dette krever at entreprenør forstår bakgrunnen for de strenge innlekkasjekravene og behovet for systematisk forinjeksjon, slik at tunnelen blir tett nok. Samtidig må entreprenør

ønske å optimalisere arbeidet for å begrense ressursforbruket, som tilsier at kvaliteten på tetteresultatet ikke skal bli nevneverdig bedre enn fastsatte krav.

Byggelder Eirikur Sveinsson (2021) trekker frem at det er essensielt for byggherreorganisasjonen at produktet leveres innenfor fastsatte kostnads- og tidsrammer. En prosjektgjennomføring innenfor fastsatte frister og kostnadsrammer vil ivareta byggherrens renommé, samt redusere sannsynligheten for konflikter mellom kontraktspartene underveis og ved sluttoppgjør.

For kontrollingeniør Larsen (2021) er et godt samarbeid og tillit mellom entreprenør og byggherre viktig, ettersom dette legger til rette for at partene har forståelse og respekt for hverandres interesser. Det påpekes at samarbeid er essensielt for å optimalisere utførelsen med hensyn til tetteresultat og ressursforbruk.

- *Entreprenørens suksesskriterier*

Ifølge prosjektleder Ole Jørgen Aakre (2021) er entreprenør interessert i en rettferdig fordeling av risiko for injeksjonsarbeidene, som helst tjener begge kontraktsparter. Dette krever gode reguleringsmekanismer som håndterer potensielle overskridelser av mengde- og tidsforbruk, der byggherre bør bære den økonomiske risikoen dersom det er deres vurderinger som ligger til grunn i kontraktens mengdeprognoser. Driftsleder Ole Kristian Eggen (2021) påpeker at Veidekke ikke kunne påtatt seg et stort prosjekt som Drammen-Kobbervikdalen uten sikre og veldefinerte reguleringsmekanismer.

Videre trekker Eggen (2021) frem at oppgjøret bør tilrettelegge for at det er i entreprenørens økonomiske interesse å ferdigstille tunnelen innenfor fastsatt tids- og kostnadsrammer. Et slikt insitament vil virke motiverende og kan medføre ressursbesparelse. I tillegg mener Eggen (2021) at det er svært fordelaktig med en byggherre som har stor interesse og forståelse for anleggsprosessene og driften, og at spesielt byggherrens kontrollingeniører har tilstrekkelig erfaring og/eller opplæring. På tilsvarende måte er fagkunnskap essensielt i entreprenørens egne rekker, spesielt med hensyn til forinjeksjon.

I tillegg trekkes det frem at fleksibilitet under utførelse av forinjeksjon er nødvendig, ettersom forholdene kan variere innen korte distanser. Et rigid regime fra byggherresiden for

stopstrykk og mengdeforbruk gir ikke entreprenøren mulighet til å styre og tilpasse injeksjonen etter stedlige forhold (Eggen, 2021).

- *Konsulentselskapenes suksesskriterier*

Ifølge rådgiver, Øyvind Dammyr (2021), er konsulentselskapets interesse å sørge for at kontraktsgrunnlaget, med geologisk rapport og mengdeestimering, beskriver krav og arbeider på en slik måte at entreprenør ikke kan misforstå byggherrens ønsker. Det er spesielt viktig å få frem usikkerhet i gjennomførte mengdeberegninger og tolkninger av geologiske forhold.

Ved benyttelse av totalentrepriser vil konsulentselskapet prosjektere på vegne av entreprenør. Interessen til konsulentselskapet vil likevel være å beskrive geologisk usikkerhet. I tillegg er det et ønske om å tilrettelegge for at entreprenør får benytte metoder og materialer de selv anser som kostnads- og tidseffektive. For en utførelsesentreprise må derimot konsulentene i større grad forholde seg til prosesskoder med standard beskrivelser av metoder og materialer, ettersom det ikke er avgjort hvilken entreprenør som kontraheres (Dammyr, 2021).

Uavhengig av kontraktsform, fremgår det at konsulentselskapets generelle suksesskriterium er å gi reelle beskriver av usikkerhet ved geologiske forhold, samt presise og realistiske mengdeestimeringer (Dammyr, 2021).

### ***Gruppe 2: Interessenter med et kritisk bidrag og liten interesse***

Basert på en tolkning av informasjonen i prosjektbeskrivelsen for Drammen-Kobbervikdalen, samt gjennomførte intervjuer med eksterne og interne aktører, fremgår det flere interessenter som kan kategoriseres i gruppe 2; sekundære interessenter med et kritisk bidrag og liten interesse. Disse kan beskrives som følger:

- *Fagorganisasjoner.* Kontraktsgrunnlagets bestemmelser tilsier at injeksjonsarbeidene skal gjennomføres i henhold til *NFF Håndbok 06 Praktisk berginjeksjon for undergrunnsanlegg*. På denne måten vil fagorganisasjonens anbefaling og beskrivelser av injeksjonsmetodikk ha en innflytelse på prosjektet. Selv om fagorganisasjonene kan ha en forventning til hvordan injeksjonsarbeidet burde gjennomføres, vil de ikke stille direkte krav på tilsvarende måte som primærinteressentene. Dermed kan fagorganisasjoner kategoriseres i gruppe 2.
- *Forskningsinstitusjoner.* Det fremgår at Drammen-Kobbervikdalen er involvert i SINTEF sitt

forskningsprosjektet *Logic Grouting*, ledet av Helene Strømsvik. Dette er et samarbeidsprosjekt med Bever Control som tar sikte på å utvikle software som utnytter statistikker og data under og etter forinjeksjon (pers.kom. Helene Strømsvik, 2021). Programvaren skal gjøre det enklere for ingeniørgeologer å ta avgjørelser på stuff, samt dokumentere tetteresultatene. For å utvikle denne programvaren er SINTEF i kontakt med Bane NOR for å få en bedre forståelse av brukernes behov.

- *Leverandører av injeksjonsmaterialer og -utstyr.* Dersom prosjektet har opplevd problemer med egenskapene til injeksjonsmaterialene eller -utstyret, har de kontaktet underleverandører for innspill og tilbakemeldinger på anvendelsen av produktene. Blant annet påpeker injeksjonsoperatør Andersen (2021) at injeksjonsleverandør anbefalte tilsetning av en mild akselerator ved blanding av mikrosement, for å redusere sementens herdetid etter gjentatte problemer med oppnåelse av ønskede sementegenskaper. Underleverandørens bidrag kan derfor anses som kritisk for den tekniske utførelsen av injeksjonsarbeidene, ettersom egenskapene på produktene deres kan være avgjørende for injeksjonsresultatet.

Som det fremgår av beskrivelsene stiller ikke interessentene direkte krav til valg av injeksjonsmetoder eller oppnåelse av tetteresultater, men deres bidrag er kritisk for primærinteressentenes gjennomføring eller utvikling av injeksjonsarbeidene. Det bør derfor forsøkes å identifisere suksessfaktorer som sikrer at deres bidrag opprettholdes (Hussein 2016). En fellesnevner for disse interessentene er at de er avhengig av tilbakemeldinger fra pågående prosjekter for å forbedre sine anbefalinger, forskningsresultater eller produkter. Det kan derfor være essensielt å opprettholde god kommunikasjon og dele erfaringer fra utprøvde injeksjonsmetoder, -materialer og -utstyr med disse interessentene.

### ***Gruppe 3: Interessenter med stor interesse og et marginalt bidrag***

Identifiseringen av de ulike interessentene i denne gruppen er hovedsakelig basert på datainnsamlingen i prosjektbeskrivelsen (kapittel 4.1), samt teorikapitlet 2.2. Disse interessentene vil påvirkes av injeksjonsarbeidene; spesielt tetteresultatet. Med andre ord har gruppen liten påvirkning på valg av tettestrategi og injeksjonsmetodikk, men stiller krav og forventninger til oppnåelse av fastsatte innlekkasjekrav. De kartlagte interessentene kan beskrives som følger:



- *Statlig oppdragsgiver og andre myndigheter.* Samferdselsdepartementet utgjør Bane NORs oppdragsgiver, og stiller krav til at injeksjonsarbeidene og resultatene er i henhold til gjeldene lover og regelverk. Myndighetene som påser at utbyggingen skjer i henhold til gjeldende lovverket, eksempelvis kommunens Plan- og bygningsmyndighet, kan også inkluderes i denne kategorien. Etatene stiller krav og forventninger til utbyggingsprosjektet, men leverer ingen kritiske bidrag til injeksjonsarbeidene.
- *Naboer, grunneiere og næringsliv i nærområdet.* Prosjektets urbane plassering, med omliggende sensitive ytre omgivelser, medfører at ulike aktører i lokalmiljøet kan påvirkes av eventuell grunnvannssenkning som følge av for store restlekkasjer inn i tunnelen (Norconsult 2018a). Det forventes med andre ord at tett tiltakene gjennomføres på en slik måte at det ikke forekommer setningsskader på eksisterende byggverk/infrastruktur eller andre skader tilknyttet ytre miljø.
- *Miljøvernorganisasjoner.* Forstyrrelse av vannbalansen kan påvirke naturmiljøet, eksempelvis endring i biologiske mangfold eller skade på rekreasjonsområder (Karlsruud et al. 2003). Miljøvernorganisasjoner vil derfor trolig ha interesse av at tett tiltakene ivaretar det sensitive naturmiljøet i prosjektets influensområde.
- *Sluttbrukere.* Jernbanetunnelens oppetid vil påvirkes av tetteresultatet (og vann- og frostsikringsmetode) ettersom levetiden til tekniske installasjoner reduseres i et fuktig miljø (NFF 2010). Sluttbrukere har trolig forventninger til at det nye dobbeltsporet på Vestfoldbanen gir et sikkert kollektivtilbud, som opprettholder sin funksjon uten et betydelig omfang driftstans.
- *Ansvarlig aktør for drift- og vedlikehold.* Bane NOR vil også være ansvarlig for jernbanestrekningens drift og vedlikehold, men ansvaret ligger under en annen divisjon i organisasjonen (Bane NOR 2018). Divisjonen *Drift og teknologi* vil ha en interesse av kvaliteten på tetteresultater ettersom det påvirker tunnelens levetid, som beskrevet i forrige punkt.

Ifølge Hussein (2016) utgjør dette interessenter som bør prioriteres med tanke på informasjonsutveksling. Basert på de kartlagte perspektivene vil derfor en suksessfaktor for prosjektet være å informere aktørene om resultatet av tett tiltakene. Dermed kan interessentene avgjøre om injeksjonsresultatet kan anses som en suksess, basert på miljøbelastningen og i hvilken grad jernbane-

tunnelens funksjonskrav ivaretas.

### ***Gruppe 4: Interessenter med lav interesse og et marginalt bidrag.***

Det er forsøkt å kartlegge interessenter som har lav interesse og et marginalt bidrag til prosjektet. Ifølge Hussein (2016) kan aktører i denne kategorien endre sin interesse over tid. Det er kun indentifisert én interessent i denne kategorien:

- *Media.* Medienes innflytelse på, og interesse for, injeksjonsarbeidene vil trolig variere som følge av tetteresultatene, ettersom store innlekkasjer kan påvirke allmennhetens interesser. Pressens oppfatning av prosjektet kan påvirke artiklers vinkling og journalistenes tolkning av uttalelser. Utbygging av Romeriksporten, som nevnt tidligere i oppgaven, er et godt eksempel på hvordan medienes oppmerksomhet rundt et prosjekt forsterkes betydelig dersom prosjektet ikke etterlever allmennhetens interesser (Beitnes 2002). Medienes dekning av Romeriksporten har trolig påvirket anleggbransjens oppfatning av forinjeksjon i ettertid.

For å sikre prosjektsuksess kan det være nødvendig å overvåke medienes dekning av saker relatert til injeksjonsarbeidet for å få en forståelse av hvordan prosjektets resultater oppleves eksternt (Hussein 2016). Dette kan bidra til viktige avklaringer og muligheter for å gjøre justeringer slik at allmennheten forsikres om at deres interesser ivaretas.

### ***Oppsummering av interessentanalyse***

Figur 35 oppsummerer interessentanalysen, der de ulike interessentene er plassert i matrisen basert på tolkningen av deres grad av interesse og bidrag til injeksjonsarbeidene. Basert på primærinteressentenes suksesskriterier er det indentifisert kritiske suksessfaktorer for injeksjonsarbeidene. Det vil også være nødvendig å tilrettelegge for bevarelse av resterende interessentgruppers perspektiver på suksess, men disse kriteriene anses ikke som like kritiske. I tillegg kan det antas en prosjektgjennomføring basert på de kritiske suksessfaktorene også vil fører til at resterende parters interesser ivaretas. Identifiserte kritiske suksessfaktorer kan oppsummeres som:

- Det må være balanse mellom byggherres kostnadsrammer og entreprenørens inntjeningsmuligheter.
- Kontrakten må ha rettferdige reguleringsmekanismer for tids- og kostnadsoverskridelser.
- Entreprenør bør motiveres til å levere et produkt til rett kvalitet innenfor gitte kostnads- og

tidsrammer.

- Prosjektroller involvert i injeksjonsarbeidet må ha tilstrekkelig fagkompetanse.
- Kontraktpartene må ha vilje til å samarbeide og dele erfaringer for å velge de mest egnede tekniske løsningene.
- Kontraktspartene må ha tillit til hverandre og det bør skapes en felles målforståelse.
- Det må utarbeides realistiske prognoser for injeksjonsarbeidet som gir en mer forutsigbar utførelse.

|                                |          | <b>Interesse<br/>(Krav og forventninger)</b>  |  |
|--------------------------------|----------|---|--|
|                                |          | Liten   | Stor   |
| <b>Påvirkning<br/>(Bidrag)</b> | Kritisk  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Underleverandører</li> <li>• Fagorganisasjoner</li> <li>• Forskningsinstitusjoner</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Byggherre</li> <li>• Entreprenør</li> <li>• Konsulentselskaper</li> </ul>   |
|                                | Marginal | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Media</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Statlig oppdragsgiver</li> <li>• Naboer, grunneiere og næringsliv i nærområdet</li> <li>• Miljøvernorganisasjoner</li> <li>• Sluttbrukere</li> <li>• Ansvarlig aktør for drift- og vedlikehold</li> </ul> |

Figur 35: Plassering av interessenter i matrise som beskriver deres bidrag og interesse av injeksjonsarbeidene på Drammen-Kobbervikdalen.

### 5.1.3 Fordeling av styringsmuligheter

Dette delkapittelet tar sikte på å gi en detaljert forklaring av styringsprosessen for forinjeksjon på Drammen-Kobbervikdalen, ved å presentere prosjektrollenes beslutningsmyndighet i de ulike prosessene for injeksjonsarbeidene. Resultatene baserer seg på intervjuene og observasjoner fra feltarbeidet.

Entrepriseformen gir entreprenøren ansvaret for styringsprosessen for injeksjonsarbeidet. Ifølge prosjektleder Ole Jørgen Aakre (2021) er organisasjonsstrukturen i Veidekke hierarkisk, som tilsier

at han sitter med det overordnede ansvaret for alle prosessene på prosjektet og er øverste beslutningsmyndighet. Resterende prosjekttroller er dermed tildelt delansvar, der ingeniørgeologene har hovedansvaret for styringen av injeksjonsarbeidene (Lausund, 2021). Til tross for at styringsmulighetene hovedsakelig ligger hos entreprenør, fremgår det at byggherre inkluderes i flere vurderinger for injeksjonsarbeidene. Videre vil de ulike prosjekttrollenes beslutnings- og styringsmulighet forklares nærmere med utgangspunkt i prosessene som inngår i styringssløyfen presentert av Karlsen (2012).

### 1. *Målformulering*

Selv om entreprenøren er tildelt styringsmulighetene for tunnelarbeidene på prosjektet, er det byggherre som har foretatt målformuleringen for injeksjonsarbeidene. Målet med prosessen beskrives av kontraktsbestemmelsene, der det blant annet fremkommer krav om opprettholdelse av grunnvannsnivå ved å begrense innlekkasjen i henhold til spesifikke verdier. Det bør likevel påpekes at entreprenør kan ha egne målsetninger med injeksjonen, som vist i interessentanalysen, kapittel 5.1.2. Ettersom entreprenørens prosjektleder og fagansvarlig ingeniørgeolog kan anses som øverste styringsroller for prosjektering av injeksjonsarbeidene, har trolig disse rollene påvirket eventuelle subjektive målsetninger hos entreprenør.

### 2. *Planlegging og strategivalg*

Valg av strategi for tetting av jernbanetunnelen er definert i kontrakten av byggherre, og er knyttet til *målformuleringen* for injeksjonsarbeidene. Videre planlegging og metodevalg er derimot utarbeidet av Veidekke, beskrevet av en standard arbeidsprosedyre, forklart i delkapittel 4.1.4. Ifølge fagansvarlig ingeniørgeolog på prosjektet, Ingvild Lausund (2021), danner denne arbeidsprosedyren grunnlaget for planlegging og metodevalg. Utforming av enkelt-skjermer justeres etter stedlige geologiske forhold, som overdekning, vanninntrengning og tunnelens geometriske utforming. Tidligere erfaringer med resultater av ulikt metodevalg og utstyr/injeksjonsmaterialer vil avgjøre hvilke tiltak som iverksettes for å løse aktuelle problemstillinger.

Ingeniørgeologene samarbeider også tett med formenn og driftsledere for å planlegge injeksjonsarbeidene. Ifølge Eggen (2021) er driftslederens ansvar å tilrettelegge for driften av tunnelen, og spesielt sørge for at formenn og operatører har tilgang på nødvendig utstyr.

Ifølge Sandseter (2021) skal formennene tilrettelegge for at utstyret er på plass til rett tid for utførelse, sørge for at injeksjonsriggen blir vedlikeholdt og tilse at prosjektet har en optimal fremdrift. På bakgrunn av ansvarsområdene til driftsleder og formenn, vil disse rollene også være del av styringsprosessen som omhandler planlegging.

### 3. *Utførelse*

Den praktiske utførelsen gjennomføres av baser og injeksjonsoperatører, der førstnevnte borer skjermhull og sistnevnte styrer injeksjonsriggen under pumping. Utførelsen baserer seg på planleggingen til ingeniørgeologer og formenn, og beskrivelsen av ønsket utførelse kommer i form av en ”bestilling”. Ifølge Andersen (2021) tar injeksjonsoperatørene beslutninger dersom det oppstår situasjoner som krever rask iverksetting av tiltak. Eksempelvis trekkes det frem at rollen deltar i beslutninger som omhandler bruk av mauring, styrt herding eller justering av  $\frac{v}{c}$ -tall ved store utganger på stuff. Dersom det er store innlekkasjer fra enkelte skjermhull kan injeksjonsoperatørene også velge å gå bort fra standard rekkefølge for pumping av skjermhull; fra såle til heng.

### 4. *Oppfølging og evaluering*

Oppfølging og evaluering av injeksjonsarbeidene kan deles i tre deler: 1) under utførelse (registrering av forløp), 2) kontroll av tetteresultat og 3) kontroll av ressursforbruk. Ingeiørgeologene er ansvarlig for kontinuerlig oppfølging på stuff under pumping av skjerm. Ifølge injeksjonsoperatør Andersen (2021) kontaktes alltid ingeniørgeolog dersom det er ønske om justeringer som går utenfor den bestilte injeksjonsprosedyren. Slike justeringer omhandler ofte en reduksjon av stopptrykk ved antagelse om hydraulisk jekking og påfølgende utganger, eller bytte av resept før/etter fastsatte mengdebegrensninger.

For å kontrollere tetteresultatet etter skjermutforming bores det minst fire kontrollhull i stuff. Ingeiørgeologen må avgjøre om kontrollhullene skal bores før eller etter neste salve, basert på registrerte vannmengder under skjermboring (Lausund, 2021). I tillegg måles tetteresultatet ved hjelp av terskler støpt i tunnelens såle. Tersklene avgrenser omlag 250 meter og muliggjør målinger av tunnelstrekningens restlekkasjer i L/min/100m bergrom. Slike målinger må foretas i perioder med lengre driftstans for å unngå påvirkning fra vann som benyttes under driving. Det er observert at byggherrens ytre miljø-ansvarlig og kontrollingeniør deltar

på slike målingene, sammen med entreprenørens ingeniørgeolog.

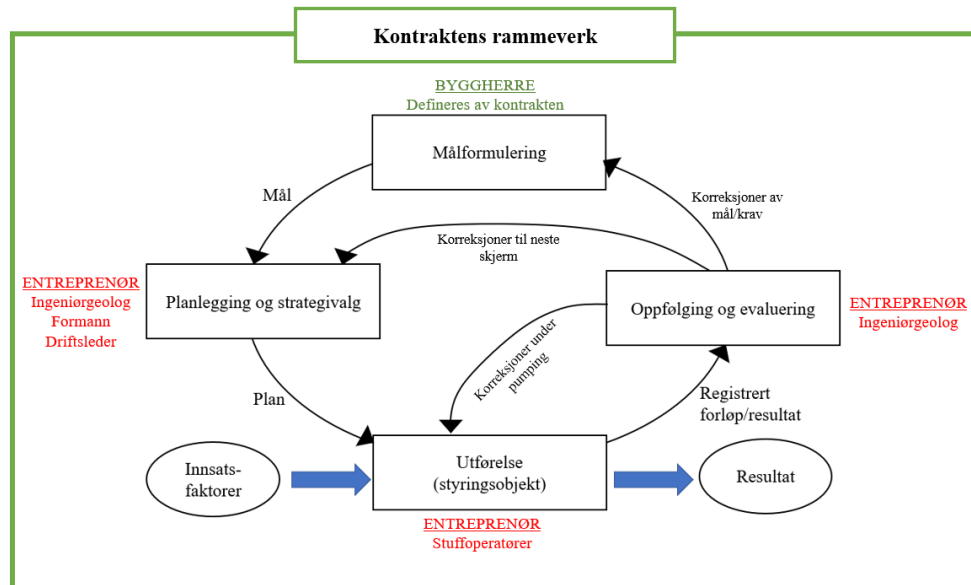
Ingeniørgeologene er også ansvarlig for å kontrollere ressursforbruket som medgår til forinjeksjonen. Ifølge Stien (2021) dokumenteres ressursforbruket i en injeksjonsrapport som videre sendes til byggherre for kontroll. Disse rapportene legger grunnlaget for entreprenørens kompensasjon for utførte injeksjonsarbeider.

### 5. *Byggherrens styringsmuligheter*

Ettersom entreprenøren står for styringsprosessen for injeksjonsarbeidene må byggherren sørge for at beslutningene som fattes er i henhold til kontraktsbestemmelsene. Ifølge Larsen (2021), er det kontrollingeniørenes ansvar å påse at entreprenørens prosjektstyring er i henhold til avtalte prosessbestemmelser, og at utførelsen gir kvalitetssikre resultater. Kontrollingeniørene utfører denne oppgaven ved å følge opp anleggsarbeidet kontinuerlig, inkludert injeksjonsarbeid, og kommer med innvendinger dersom entreprenørens beslutninger avviker fra fastsatte krav eller bestemmelser. Dette tilsier at kontraktsbestemmelsene begrenser entreprenørens styringsmulighet og påvirker målformuleringer, planlegging og strategivalg, utførelse og kontroll av injeksjonsarbeidene.

Intervjuobjektene uttalelser tilsier også at byggherre er delvis involvert i styringsprosessene for forinjeksjonen utover det kontrakten allerede fastsetter. Blant annet trekker Larsen og Lausund (2021) frem at erfarte tekniske utfordringer og mulige løsninger diskuteres i egne særmøter for injeksjonsarbeidene, der både representanter fra entreprenør og byggherre deltar. Selv om byggherren ikke har direkte beslutningsmyndighet vil trolig entreprenørens styring derfor påvirkes av byggherreorganisasjonens synspunkt og erfaringer med forinjeksjon.

Figur 36 oppsummerer funnene relatert til fordeling av styringsmuligheter for injeksjonsarbeidene på Drammen-Kobbervikdalen. Rollene med beslutningsmyndighet er markert i rødt eller grønt for hver prosess i styringsløyfen, og den grønne rammen illustrer hvordan beslutningene og bidragene må være i henhold til kontraktsbestemmelsene. Til tross for at byggherre involveres i planlegging og strategivalg gjennom særmøter for forinjeksjonen er de ikke inkludert i den oppsummerende figuren, ettersom beslutningsmyndigheten hovedsakelig ligger hos entreprenøren.



Figur 36: Styringssløyfe for forinjeksjon begrenset av kontraktens rammeverk, med ansvarlige prosjektroller fra entreprenør i rødt.

#### 5.1.4 Fordeling av økonomisk usikkerhet

For å evaluere kontraktens fordeling av økonomisk usikkerhet er entreprenørens inntjeningsmuligheter analysert, basert på kontraktens oppgjørsform og reguleringsmekanisme for injeksjonsarbeider. Dette er gjennomført ved å se på to ulike tilfeller: 1) ressursforbruket er innenfor byggherrens estimerte mengder og 2) ressursforbruket overskrider estimerte mengder.

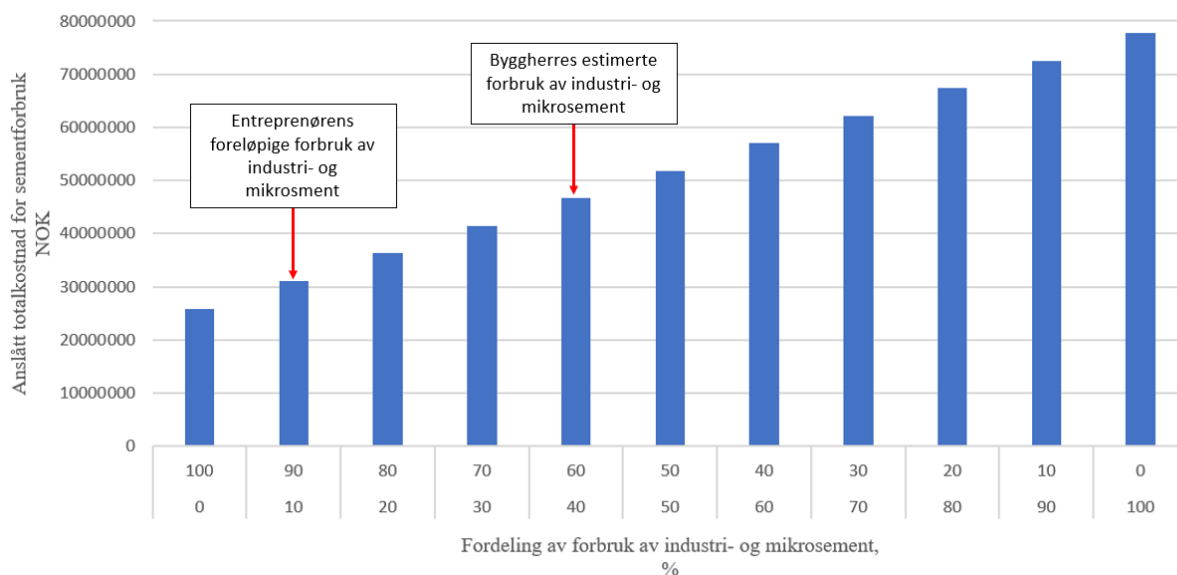
##### 1. Ressursforbruk innenfor byggherrens estimerte mengder

Entreprenørens mengdekostnader for gjennomføring av injeksjonsarbeidene skal dekkes av rundsummen (RS) for tunnelarbeidene. Byggleder Sveinsson (2021) forklarer at entreprenør fremlegger en begrunnelse for beregnet RS for byggherre i anbudsfasen, der delsummen for injeksjonsarbeidene relateres til byggherrens estimater for ressursforbruk. Det kan derfor antas at entreprenørens fastsatte pris baserer seg på mengdene oppgitt i kontraktsgrunnlaget; Bane NOR (2019).

Ved bruk av RS som oppgjørsform er det ikke bare fordelaktig for entreprenør å begrense mengde- og tidsforbruk, men også å redusere kostnader tilknyttet innkjøp av utstyr og materialer (Turner & Simister 2001). Basert på intervjuobjektens uttalelser er materialprisen for mikrosegment 2-3 ganger industrisementens pris. Dersom kun innkjøpskostnader legges til grunn, tilsier kontraktsgrunnlaget at entreprenør vil øke sin inntjeningsmulighet ved å velge det rimeligste injeksjonsmaterialet.

Det er tatt sikte på å vise hvordan entreprenørens valg av injeksjonsmateriale påvirker totalkostnadene for sementforbruket i figur 37. Som det fremgår av figuren har byggherre estimert en fordeling på omlag 60 % industrisement og 40 % mikrosement. Det kan derfor antas at kostnader for en 60/40-fordeling er lagt til grunn ved entreprenørens prising av injeksjonsarbeidene. Ved gjennomgang av eksisterende injeksjonsrapporter fremgår det at entreprenør har valgt industrisement i over 90 % av tilfellene totalt på prosjektet. Et slikt valg av injeksjonsmateriale gir entreprenøren en innsparing på omtrent 33 % for kostnader relatert til sementforbruk, dersom det antas at totalforbruket av sement tilsvarer byggherrens estimer. Det henvises til vedlegg A.2.3 for beskrivelse av antagelser og beregninger til dette eksempelet.

Ifølge Wiig (2021) er entreprenør ansvarlig for at resultatene av injeksjonsarbeidene tilfredsstiller kontraktens innlekkasjekrav, og dermed må entreprenør sørge for at eventuelle innsparinger i materialvalg eller ressursforbruk ikke går på bekostning av kvaliteten på tetteresultatene. På den andre siden medfører også denne ansvarsfordelingen at entreprenør vil være ansvarlig for ekstrakostnadene dersom industrisement ikke gir tilfredsstillende kvalitet. Som det fremgår av figur 37 vil et forbruk av mikrosement på over 40 % gå på bekostning av entreprenørens inntjeningsmuligheter, dersom faktiske og estimerte totale sementmengder samsvarer.



Figur 37: Totalkostnad for sementforbruk som funksjon av valgt injeksjonsmateriale. Verdiene er basert på en totalmengde definert i kontraktsgrunnlaget (Bane NOR 2019), og gjennomgang av eksisterende injeksjonsrapporter.



Som presentert av Garshol (2017) og Tattersall et al. (2012) er det mest økonomiske metodevalget også sterkt avhengig av tidsrelaterte kostnader. Det er derfor foretatt en gjennomgang av injeksjonsrapporter for to ulike tunnelstrekninger på Drammen-Kobbervikdalen, der tabell 19 oppsummerer gjennomsnittlig tids- og mengdeforbruk som funksjon av anvendt injeksjonsmateriale.

Tabell 19: Gjennomsnittlig tids- og mengdeforbruk per skjerm for tunnelstrekninger på Drammen-Kobbervikdalen ved bruk av ulike injeksjonsmaterialer. Verdier hentet fra injeksjonsrapporter.

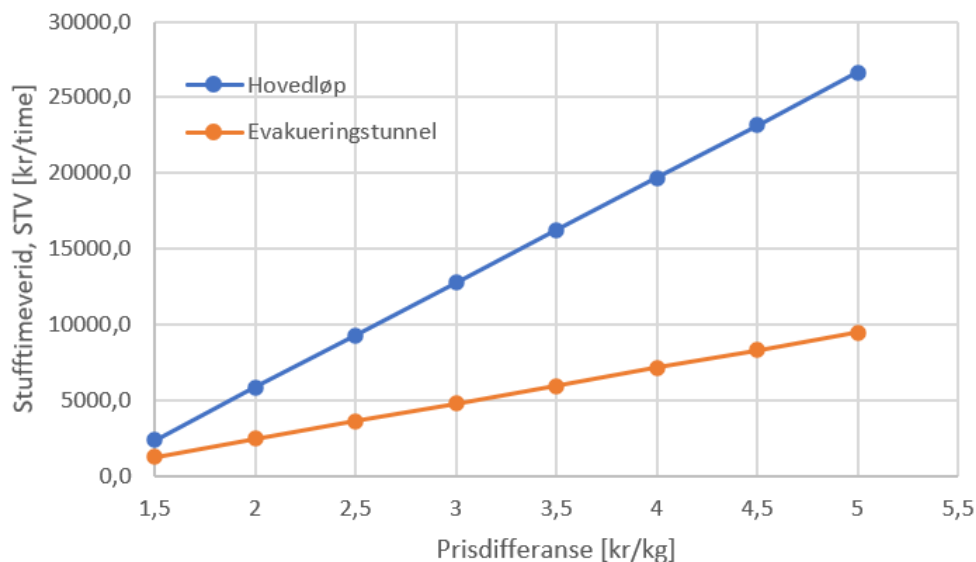
| Tunnelstrekning          | Industrisement |                   |         | Mikrosement |                   |         |
|--------------------------|----------------|-------------------|---------|-------------|-------------------|---------|
|                          | kg/skjerm      | pumpetimer/skjerm | kg/time | kg/skjerm   | pumpetimer/skjerm | kg/time |
| <b>Hovedløp</b>          | 26 502         | 14,5              | 1828    | 22 865      | 13,2              | 1732    |
| <b>Evakueringstunnel</b> | 13 030         | 17,4              | 748     | 13 594      | 14,6              | 930     |

Det fremgår at mikrosegment reduserer pumpetiden per skjerm i begge tilfeller. I tillegg trekker ingeniørgeolog Lausund (2021) frem at herdetiden til industrisement under normale forhold er 6 timer, mot mikrosegmentens 3 timer. For hovedløpet og evakueringstunnelen tilsvarer dette en total tidsbesparelse per skjerm på henholdsvis 3,3 timer og 5,8 timer. Ved bruk av mikrosegment fremfor industrisement, vil også det gjennomsnittlige mengdeforbruket per skjerm reduseres i hovedløpet. Derimot virker industrisement å være mengdebesparende i evakueringstunnelen.

Datagrunnlaget gjør det videre mulig å avgjøre hvilket injeksjonsmateriale som er mest kostnadseffektivt, ved å bruke ligning 1 presentert i kapittel 2.3.4. Ekstrakostnadene for bruk av mikrosegment er på denne måten sett i sammenheng med det ekstra tidsforbruket som medgår ved bruk av industrisement. Dersom det skal være kostnadseffektivt å benytte det rimeligste injeksjonsmaterialet, kan ikke entreprenørens stofftimeverdi overstige verdiene gitt i figur 38, som avhenger av materiales prisdifferanse. Det fremgår at mikrosegment kan være gunstig ved en lav prisdifferanse, selv om materialet i enkelte tilfeller gir større totalt mengdeforbruk per skjerm. Forholdet illustrerer hvor betydelig de tidsrelaterte kostnadene er for forinjeksjon. Det henvises til vedlegg A.2.4 for fremgangsmåte for beregninger.

Ifølge ingeniørgeolog Lausund (2021) er industrisement hovedsakelig benyttet på prosjektet grunnet uvanlig lang herdetid ved bruk av mikrosegment. Forholdene skyldes trolig benyttelse av gjenbruksvann til blandinger av injeksjonsmaterialet. Dersom skjermes med mikrosegment har høyere

materialkostnad og lenger herdetid, vil det ikke være kostnadseffektivt sammenlignet med industrisement.

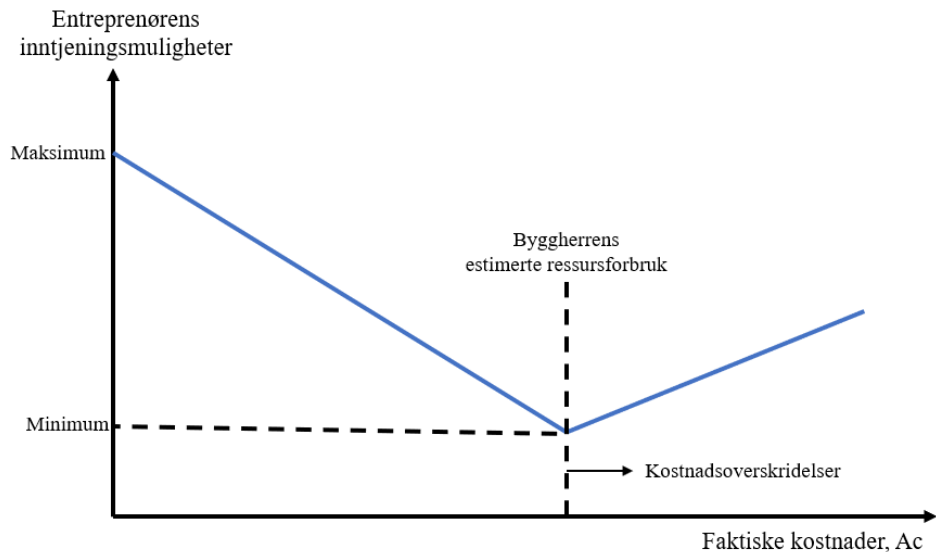


Figur 38: Maksimal stufftimeverdi som forsvarer bruk av industrisement, som funksjon av prisdifferansen mellom mikro- og industrisement. Beregningene er basert på reelle verdier fra Drammen-Kobbervikdalen.

## 2. Ressursforbruk overskrider estimerte mengder

For å forhindre at entreprenør står økonomisk ansvarlig for usikkerheten i byggherrens estimer av mengde- og tidsforbruk til injeksjonsarbeidene, inkluderer kontrakten reguleringsmekanismer som presentert i kapittel 4.1.5. Den valgte reguleringsmekanismen legger all risiko for kostnads-overskridelser for injeksjon- og sikringsarbeid på byggherre, som vist i figur 39.

Ratene (kr/enhet) som inngår i reguleringsmekanismen avgjør entreprenørens inntjeningsmulighet ved overskridelser. Ifølge Sveinsson (2021) ble det ikke stilt krav om at entreprenørens rater direkte skulle relateres til prisene som ble benyttet ved beregning av rundsummen for injeksjonsarbeidene. Dette betyr at entreprenør kan fremlegge en pris på eksempelvis 1 kr/kg industrisement i beregninger som inngår i rundsummen, men sette en rate på 4 kr/kg industrisement for overskridende mengder. På denne måten blir det økonomisk fordelaktig for entreprenør med ressursoverskridelser dersom forbruket nærmer seg byggherrens fastsatte prognoser, som vist av grafens knekkpunkt i figur 39.



Figur 39: Entreprenørens inntjeningsmuligheter ved kostnadsoverskridelser på Drammen-Kobbervikdalen.

Driftsleder Eggen (2021) bekrefter at entreprenørens fastsatte rater for mengdeoverskridelser gir en økt inntjeningsmulighet. Videre påpeker Lausund (2021) at byggherrens estimerte mengder var lavere ved kontraktsinngåelse, men ble senere justert opp som følge av høye priser på overskridende mengder og nye vurderinger av nødvendig ressursforbruk. På den måten er det vanskelig for entreprenør å oppnå et ressursforbruk der reguleringsmekanismens rater blir gjeldende.

## 5.2 Nordøyvegen

I dette kapittelet presenteres resultatene fra Nordøyvegen, knyttet opp mot analyseverktøy og begreper beskrevet i oppgavens teoridel. Injeksjonsarbeidets prosjektkarakteristikk er først analysert, for å avdekke hvilke krisike suksessfaktorer som kan håndtere utfordringer tilknyttet anleggsprosessen. Videre er ulike aktøres suksesskriterier kartlagt ved bruk av en interessentanalyse. Deretter er det gjennomført en detaljert gjennomgang av kontraktens fordeling av styringsmuligheter og ansvar for usikkerhet.

Tabell 20 presenterer intervjuobjektene fra Nordøyvegen med navn, prosjektrolle, selskap, dato og sted for gjennomføring. Det henvises til vedlegg A.1 for intervjueskjema.

Tabell 20: Intervjuobjekter fra Nordøyvegen.

| Navn                | Rolle og selskap                                    | Dato og sted             |
|---------------------|---|--------------------------|
| Roar Sve            | Prosjektsjef, Skanska                               | 04.02.21, Skjeltene      |
| Stian Olsen         | Prosjektleder Tunnel (Fjørtofta og Harøya), Skanska | 27.01.21, Fjørtofta      |
| Lars Erik Skjolden  | Prosjektleder Tunnel (Longva), Skanska              | 02.02.21, Longva         |
| Vidar Nybø          | Driftsleder (Longva), Skanska                       | 02.02.21, Longva.        |
| Ola Kjeka           | Injeksjonsoperatør (Fjørtofta), Skanska             | 29.01.21, Fjørtofta.     |
| Marianne Nærø       | Prosjektsjef, MRFK                                  | 01.02.21, Skjeltene.     |
| Kåre Ingolf Karlson | Fagansvarlig ingeniørgeolog, MRFK                   | 01.02.21, Skjeltene.     |
| Bjørnar Moen        | Byggeleder (Fjørtofta og Harøya), MRFK              | 03.02.21, Fjørtofta.     |
| Magne Heggem        | Kontrollingeniør (Fjørtofta), MRFK                  | 29.01.21, Fjørtofta.     |
| Åsmund Ryningen     | Kontrollingeniør (Fjørtofta), MRFK                  | 28.01.21, Fjørtofta.     |
| Øyvind Dammyr (*)   | Rådgiver, Norconsult                                | 16.03.21, virtuelt møte. |

\*Dammyr intervjuet for et generelt innblikk i konsulentens rolle og er ikke spesielt tilknyttet prosjektet.

### 5.2.1 Prosjektkarakteristikk

Dette delkapittelet viser hvilke karakteristikk som er av betydning for injeksjonsarbeidene på Nordøyvegen. Vurderingen er utført ved bruk av en skala fra 1 til 5, som beskriver i hvilken grad injeksjonsarbeidene preges av de ulike karakteristikkene. Forklaring av benyttet skala med ulike verdier er gitt i tabell 21. Videre vil det gjøres en vurdering basert på karakteristikkene presentert i teorikapittel 2.1.3.

Tabell 21: Forklaring av skala som er benyttet for å evaluere de ulike karakteristikkens innvirkning på injeksjonsarbeidene.

| Verdi       | 1        | 2     | 3       | 4    | 5       |
|-------------|----------|-------|---------|------|---------|
| Innvirkning | Marginal | Liten | Middels | Stor | Kritisk |

#### *Størrelse*

Nordøyvegen kan regnes som et stort samferdselsprosjekt. Som det fremgår av prosjektbeskrivelsen har prosjektet en geografisk krevende plassering, som har resultert i en prosjektstruktur i flere mindre enheter. Prosjektets geografiske størrelse er altså av betydning for prosjektorganiseringen (Sve, 2021).

Denne evalueringen skal derimot hovedsakelig fokusere på injeksjonsarbeidenes størrelse. I hvilken grad forinjeksjon er avgjørende for kontraktssummen vil først og fremst være avhengig av entreprenørens prising av arbeidene. Slik informasjon holdes konfidensielt og vil ikke fremkomme av oppgaven. Dersom estimert injeksjonsomfang på prosjektet ses i sammenheng med forbruk på eksempelvis urbane samferdselsprosjekter (som gitt i tabell 6 kapittel 2.3.1), kan størrelsen anses som lite betydelig.

På den andre siden vil tiden som medgår til forinjeksjon spille en avgjørende rolle for både entreprenøren og byggherrens økonomi. Prosjektleder Stian Olsen (2021) påpeker at et økt injeksjonsomfang, som avviker fra prognosene, reduserer prosjektets fremdrift betydelig og øker mannskapsbehov. I tillegg foreligger det en usikkerhet i entreprenørens rett på utsatt byggetid, som følge av at ekvivalenttidsregnskapet ikke tar høyde for ekstra tid til skjerm boring i krevende grunnforhold (Olsen, 2021). Størrelsen på *nødvendig* injeksjonsomfang har dermed stor innvirkning på entreprenørens inntjeningsmuligheter.

For byggherre vil fristforlengelser som følge av avvikende grunnforhold utløse økonomisk kompensasjon til entreprenør. I tillegg vil byggherrens administrative kostnader øke ved en fristforlengelse. Samlet vil dermed injeksjonsarbeidenes størrelse være av betydning for begge kontraktsparter, spesielt om det avviker fra kontraktens begrensninger/rammer for tids- og mengdeforbruk.

Faktoren som beskriver injeksjonsarbeidets *størrelse* er på bakgrunn av denne evalueringen satt til innvirkningsgrad 4.

### ***Lav frekvens***

Forinjeksjonen på Nordøyvegen gjennomføres behovsprøvd. Dette tilsier at injeksjonsarbeidene kan kategoriseres med en *lav* frekvens, ettersom forinjeksjonen ikke følger et bestemt system med høy hyppighet. Byggeleder Bjørnar Moen (2021) påpeker at den lave frekvensen har vært av betydning for prosjektet, ettersom en optimal utførelse av forinjeksjon er avhengig av et godt erfaringsgrunnlag og muligheter for prøving/feiling. Med andre ord reduserer en lav frekvens muligheter for å teste ut nye eller krevende tekniske løsninger, ettersom erfaringsgrunnlaget blir betydelig mindre under prosjektutførelsen. Det fremgår at både entreprenør og byggherre ønsker bedre kjennskap til egenskaper og bruksområder til forskjellige injeksjonsmaterialer og -metoder; eksempelvis kolloidal silika, polyuretan og styrt herding.

Sett fra en annen vinkel vil bruk av de samme metodene for hver injeksjonsomgang tilsvare en *høy* frekvens. Industrisement er hovedsakelig benyttet til forinjeksjon i de undersjøiske tunnelene, der kun en kort strekning på Nogvafjordtunnelen er injisert med mikrosegment (Skjolden, 2021). Mauringsmasse er også brukt i situasjoner med store utganger eller lite trykkoppbygning, fremfor styrt herding med akselerator (Kjeka, 2021).

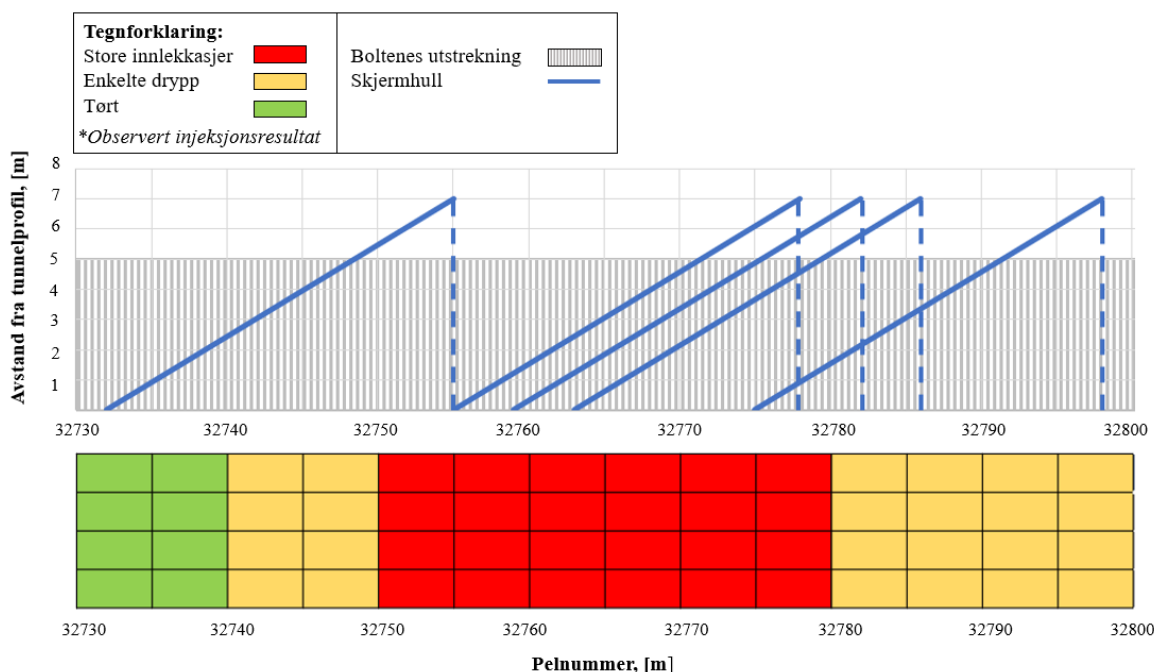
På bakgrunn av uttalelsene er det vurdert at karakteristikken *lav frekvens* har en stor innvirkning på injeksjonsarbeidene, slik at verdien settes til 4.

### ***Usikkerhet***

Basert på intervjuobjektens uttalelser fremgår det at injeksjonsarbeidene er en prosess preget av mye usikkerhet. Det er vurdert at følgende erfarte problemer med injeksjonsarbeidene på Nordøyvegen kan relateres til usikkerhet:

- *Utilstrekkelig overlapp og skjermpunktering.*

Ifølge byggeleder Moen (2021) kan behovsprøvd forinjeksjon gjøre det vanskelig å finne en optimal skjermgeometri som gir tilstrekkelig overlapp mellom skjerner i vannførende soner. I tillegg må skjermgeometrien ta hensyn til boltelengder som skal benyttes ved sikring av kommende salvelengder, ettersom boltelengdene kan punktere skjermen som vist i figur 40. Problemet kommer av at det er usikkert hvordan injeksjonsmaterialet faktisk spres seg i bergmassens sprekkesett. I tillegg er det krevende å fastslå hvor langt foran stuff den vannførende sonen faktisk ligger ved sonderboring. Dette kan medføre at tunnelen drives for nær den vannledende sonen før forinjeksjon initieres (Moen, 2021). Figur 40 viser kartlagte drypp langs en strekning i Fjortoftfjordtunnelen mot skjermenes plassering og anvendte boltelengder, og illustrerer problemer knyttet til skjermutforming og -plassering.



Figur 40: Boltelengder på 5 meter kan punktere injeksjonsskjermene. I tillegg kan det drives for nært vannledende soner (rødt område) før skjerner initieres. Illustrasjon basert på egen feltkartlegging og injeksjonsrapporter.

- *Nødvendig mengdebegrensning per skjerm.*

Ifølge Moen (2021) er det krevende å fastslå om en skjerm der det medgår 60 tonn injeksjonsmateriale gir bedre tetteresultater enn en skjerm på 30 tonn. Dette kommer av at nødvendig mengde injeksjonsmateriale er avhengig av den faktiske spredningen i bergmas-

sens sprekkesett. Usikkerhet knyttet til sprekkenes konduktivitetskontraster gjør det derfor vanskelig å avgjøre nødvendige mengdebegrensninger per skjerm for oppnåelse av tilstrekkelige resultater.

- *Egenskaper til materialer og utstyr.*

Det har vært problemer med injeksjonsmassens herdeegenskaper og  $\frac{v}{c}$ -tall, som har gitt behov for ulike undersøkelser og betraktninger (Skjolden, 2021). Til tross for involvering av sementleverandører var det vanskelig å avdekke bakenforliggende årsak. Følgende betraktninger ble gjennomført, der hvert enkelt punkt beskriver usikre momenter som kan påvirker injeksjonsarbeidene:

- Betydning av temperatur på vann i blandinger.
- Temperaturvariasjoner i bergmassen.
- Tilsetningsstoffenes innvirkning på herdetid og  $\frac{v}{c}$ -tall.
- Muligheter for kalkholdig grunnvann.
- Avvik mellom sementens faktiske egenvekt og kalibrert egenvekt for sement på injeksjonsrigg.

- *Usikkerhet i metodevalg og resultater*

Ettersom de geologiske forholdene stadig varierer er det vanskelig å vite hvilke metodevalg som er mest optimalt. Det er også usikkerhet knyttet til resultatet av enkelte metoder, der styrt herding trekkes frem som et konkret eksempel av flere prosjektroller (Kjeka, Heggem, Skjolden, 2021). Stufoperatørens tidligere negative erfaringer tilsier at det er stor teknisk usikkerhet tilknyttet metodevalget. Styrt herding er derfor ikke benyttet i tilfeller der det teoretisk sett er hensiktsmessig.

- *Usikkerhet i prognoser.*

Ifølge ingeniørgeolog Kåre Ingolf Karlson (2021) baserer byggherren mengdeestimeringene hovedsakelig på referanseprosjekters forbruk. Det er med andre ord stor usikkerhet i forventet injeksjonsomfang, ettersom det ikke finnes forundersøkelser som gir nøyaktige anslag for mengde- og tidsforbruk.



På bakgrunn av intervjuobjektene beskrivelse av problemene relatert til injeksjonsarbeider, er verdien for usikkerhet vurdert til en innvirkningsgrad på 5. Usikkerhet preger injeksjonsarbeidene både ved estimering av mengder, planlegging, valg av metode og teknisk utførelse.

### ***Delbarhet/kompleksitet***

Ingeniørgeolog Åsmund Rynningen (2021) trekker frem at det er en rekke ulike meninger om hvordan forinjeksjon bør gjennomføres. Dette kommer av at den tekniske prosessen inneholder en rekke valg og muligheter, samtidig som tetteresultatet er avhengig av flere usikre faktorer (se vurdering av faktoren *usikkerhet*). På denne måten kan både prosessen og resultatet anses som komplekst.

I tillegg er prosessen avhengig av en innsats fra flere ulike prosjektroller for å oppnå optimale tetteresultater og et begrenset ressursforbruk. Gjennomføringen krever blant annet en god kommunikasjon mellom byggherre som bestiller og entreprenør som utfører (Moen, 2021). Utførelsen bør tilpasses stedlige forhold, som tilsier at det gjennomføres kontinuerlige vurderinger og beslutninger om nødvendige justeringer av metodevalg. Ifølge enkelte av entreprenørens roller har byggherrens organisering og bestilling av injeksjonsarbeider tidvis vært misvisende som følge av ulike beskjeder eller hyppige endringer.

Byggherrestyrte kontrakter har derimot velkjente virkemidler for fordeling av styringsmuligheter. Prosjektrollene har med andre ord lang erfaring med kontraktsformens ansvarsfordeling og hvilke roller som sitter med beslutningsmyndighet. Dette reduserer den organisatoriske kompleksiteten.

Likevel anses injeksjonsarbeidene som både organisatorisk og teknisk komplekst, der verdien er vurdert til 4.

### ***Påvirkningskraft på forretning***

Ifølge ingeniørgeolog Karlson (2021) har byggherre valgt å inkludere forinjeksjon i sin tettestrategi for å blant annet redusere kostnader knyttet til utpumping av lekkasjevann i tunnelens driftsfase. Injeksjonsarbeidene kan på denne måten anses å ha en påvirkningskraft på byggherre, ettersom et ufullstendig tetteresultat vil øke drift- og vedlikeholdskostnader etter ferdigstillelse. Slike kostnader vil MRFK stå ansvarlig for i årene fremover, og bør derfor begrenses.

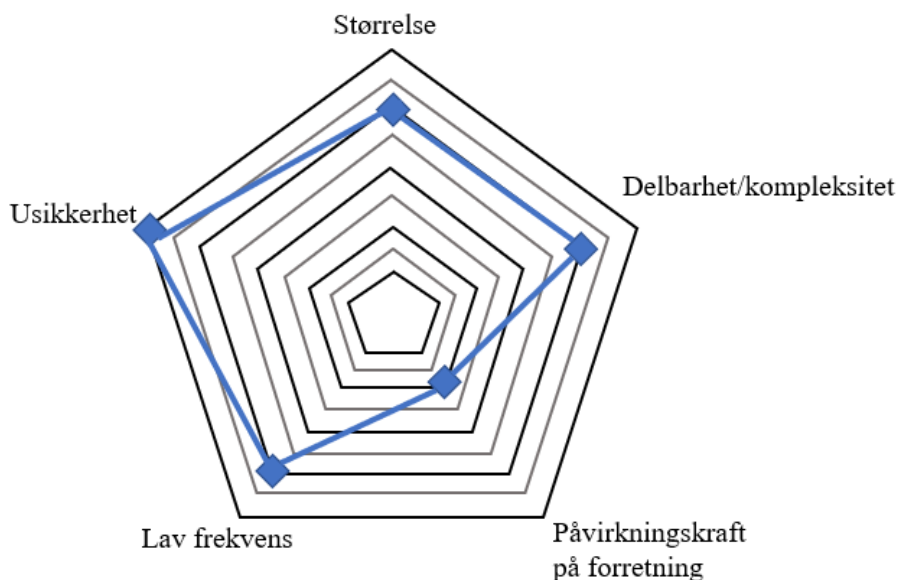
Ifølge prosjektleder Skjolden (2021) kan dokumentasjon på kompetanse innen bruk av ulike injeksjonsmetoder gi konkurransefortrinn til entreprenørselskaper. På tilsvarende måte er det strategisk

for entreprenør å oppnå tilstrekkelige tetteresultater med et begrenset ressursforbruk, ettersom prosjektet dermed kan bli et viktig referanseprosjekt i porteføljen ved senere anledninger. Skjolden (2021) trekker likevel frem at forinjeksjonens strategiske påvirkningskraft på entreprenørselskapet ikke har vært tilstrekkelig vektlagt ved prosjektgjennomførelsen. Ettersom uttalelsen til entreprenør antyder at faktoren *påvirkningskraft på forretning* har stått i begrenset fokus er karakteristikens verdi satt til 2.

### ***Oppsummering av prosjektkarakteristikk***

Prosjektkarakteristikken for injeksjonsarbeidene på Nordøyvegen oppsummeres av edderkoppdiagrammet i figur 41. Edderkoppdiagrammet viser at injeksjonsarbeidene i størst grad preges av karakteristikken *usikkerhet*. Tabell 22 angir identifiserte kritiske suksessfaktorer for injeksjonsarbeidene basert på edderkoppdiagrammet.

I tillegg preges injeksjonsarbeidet i vesentlig grad av faktorene *størrelse*, *kompleksitet* og *lav frekvens*. Dermed kan også suksessfaktorene i tabell 23 være essensielle å etterleve for å håndtere problemene knyttet til karakteristikken.



Figur 41: Edderkoppdiagram som illustrerer prosjektkarakteristikken for injeksjonsarbeidene på Nordøyvegen. Det henvises til teorikapittel 2.1.3 for forklaring av edderkoppdiagrammet.

Tabell 22: Kritiske suksessfaktorer for injeksjonsarbeidene på Nordøyvegen basert på analyse av prosjektkarakteristikk.

| Prosjektkarakteristikk | Suksessfaktor   |
|------------------------|---|
| Usikkerhet             | Evne til problemløsning<br>Fleksibilitet i planlegging og utførelse<br>Tilstrekkelig fagkompetanse<br>Strukturert og systematisk risikohåndtering |

Tabell 23: Suksessfaktorer knyttet til prosjektkarakteristikk som i vesentlig grad preger injeksjonsarbeidene på Nordøyvegen.

| Prosjektkarakteristikk | Suksessfaktor  |
|------------------------|--|
| Størrelse              | Planlegging i tidlig fase<br>Effektive team<br>Gode rutiner for avvikshåndtering<br>Klarhet i begrensninger, føringer og spesifikasjoner<br>Gode kravprosesser |
| Kompleksitet           | God informasjonsflyt<br>Tydelig rolle- og ansvarsfordeling.<br>Prosjektleders autoritet  |
| Lav frekvens           | Fokus på kompetanseheving<br>Deling av erfaringer  |

### 5.2.2 Identifisering av ulike perspektiver: Interessentanalyse

Beskrivelsen av interessentene på Nordøyvegen baserer seg på intervjuobjektene uttalelser, samt informasjonen gitt i prosjektbeskrivelsen. Det er tatt sikte på å kartlegge subjektive suksesskriterier, som videre er benyttet for å identifisere suksessfaktorer for injeksjonsarbeidene.

Under arbeidet med interessentanalysen for Nordøyvegen fremgikk det flere likhetstrekk med tilsvarende analyse utført for Drammen-Kobbervikdalen. For å unngå gjentakelser vil derfor dette delkapittelet vektlegge interessentene med andre perspektiver enn det som er kartlagt i delkapittel 5.1.2. Som det fremgår av tabell 24, er det kun avvik i perspektivene til enkelte interessenter i gruppe 3. Videre vil derfor kun perspektivene til disse interessentene presenteres.

Tabell 24: Interessenter med avvik i perspektiver, sammenlignet med interessentanalysen utført for Drammen-Kobbervikdalen, kapittel 5.1.2.

| Interessentgruppe | Interessenter                    | Avvik i perspektiver? |
|-------------------|----------------------------------|-----------------------|
| Gruppe 1          | Byggherre                        | Nei                   |
|                   | Entreprenør                      | Nei                   |
|                   | Konsulent                        | Nei                   |
| Gruppe 2          | Fagorganisasjoner                | Nei                   |
|                   | Forskningsintitusjoner           | Nei                   |
|                   | Underleverandører                | Nei                   |
| Gruppe 3          | Naboer, grunneiere og næringsliv | Ja                    |
|                   | Miljøvernorganisasjoner          | Ja                    |
|                   | Sluttbruker                      | Nei                   |
|                   | Drift- og vedlikeholdsaktør      | Ja                    |
| Gruppe 4          | Media                            | Nei                   |

### ***Naboer, grunneiere og næringsliv***

Tunneltraséene på Nordøyvegen går hovedsakelig under sjø, utenfor tettbebygde strøk. Interessenter som naboer, grunneiere og næringsliv vil dermed ikke ha like stor interesse av kvaliteten på tetttiltakene som utføres på prosjektet. Dette forutsetter at vurderingene i ingeniørgeologisk rapport av de kvartærgeologiske forholdene er korrekt, som tilsier lav sensitivitetsgrad for ytre omgivelser for landbaserte områder (Karlson & Grob 2018c,a). Det er derimot ingen garanti for at den geologiske tolkningen er i fullstendig samsvar med de virkelige forholdene. Aktørene vil trolig få større interesse av tetttiltakene dersom det inntreffer uforutsette scenarier som påvirker de ytre omgivelsene. På denne måten kan aktørenes interesse endres med tiden, og bli mer betydelig i enkelte situasjoner.

På bakgrunn av denne evalueringen er *naboer, grunneiere og næringsliv* plassert i interessegruppe 4 i analysen av Nordøyvegen.

### ***Miljøvernorganisasjoner***

Miljøvernorganisasjoner vil, på tilsvarende måte som naboer, grunneiere og næringsliv, ha liten interesse av tetttiltakene på Nordøyvegen. Risikoen for skade eller påvirkning av ytre naturomgivelser er kategorisert som lav, og derfor kan også denne interessenten flyttes til gruppe 4.

***Ansvarlig aktør for drift og vedlikehold.***

Ifølge Karlson (2021) utføres injeksjonsarbeidene hovedsakelig for å redusere drift- og vedlikeholdskostnader, ettersom innlekkasjen vil påvirke pumpekostnader og levetid for sikringsmidler, konstruksjoner og tekniske installasjoner (Statens Vegvesen 2012). Ettersom prosjektet har relativt moderate innlekkasjekrav kan det antas at aktøren for drift- og vedlikehold har større interesse av injeksjonsarbeidene, sammenlignet med prosjekter der bergmassens vannledende evne begrenses i høyere grad.

Ansvarlig aktør for drift- og vedlikehold er også underlagt MRFK, men det fremgår at avdelingens påvirkning på fastsettelse av innlekkasjekrav og teknisk utførelse av injeksjonsarbeider er minimal (Karlson, 2021). Interessenten beholder sin plass i gruppe 3, men det presiseres at aktørens perspektiver i større grad bør vektlegges for undergrunnsprosjekter der forinjeksjon benyttes i begrenset grad, med hensyn til påvirkningen etter resultatet kan ha på tunnelenes driftskostnader.

***Oppsummering av interessentkategorisering***

Interessentanalysen for Nordøyvegen oppsummeres av matrisen i figur 42, der det fremgår at primærinteressentene er byggherre, entreprenør og konsulent. Ettersom primærinteressentenes perspektiver er tilsvarende for både Drammen-Kobbervikdalen og Nordøyvegen, er også identifiserte suksessfaktorer sammenfallende, beskrevet i delkapittel 5.1.2.

|                                |          | <b>Interesse<br/>(Krav og forventninger)</b>  |  |
|--------------------------------|----------|---|--|
|                                |          | Liten   | Stor   |
| <b>Påvirkning<br/>(Bidrag)</b> | Kritisk  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Underleverandører</li> <li>• Fagorganisasjoner</li> <li>• Forskningsinstitusjoner</li> </ul>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Byggherre</li> <li>• Entreprenør</li> <li>• Konsulentselskaper</li> </ul>                                     |
|                                | Marginal | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Naboer, grunneier og næringsliv i nærområdet.</li> <li>• Miljøvernorganisasjoner</li> <li>• Media</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Statlig oppdragsgiver</li> <li>• Sluttbrukere</li> <li>• Ansvarlig aktør for drift- og vedlikehold</li> </ul> |

Figur 42: Kategorisering av interessenter på Nordøyvegen.

### 5.2.3 Fordeling av styringsmuligheter

Dette delkapittelet viser hvilke roller som er ansvarlig for styringsprosessen for forinjeksjon på Nordøyvegen. Resultatene baserer seg på gjennomførte intervjuer og observasjoner under feltarbeidet, der det ble forsøkt å kartlegge prosjektrollenes beslutningsmyndighet for injeksjonsarbeidet.

Organisasjonsstrukturen til både byggherre og entreprenør er relativt kompleks, som følge av prosjektets størrelse og plassering. Ifølge prosjektleder fra MRFK, Marianne Nærø (2021), blir dermed hennes rolle svært overordnet, og omfatter blant annet personalansvar, politisk rapporteringsansvar og langsiktig prosjektplanlegging. Ansvaret for prosessene som inngår i selve tunneldrivingen er derfor tildelt andre prosjektroller. Blant annet fremgår det av intervjuet med fagansvarlig ingeniørgeolog for MRFK, Karlson (2021), at han har et fagspesifikt ansvar for ingeniørgeologien på hele prosjektet. Byggeledere og kontrollingeniører er videre tildelt ulikt delansvar for enkelte stuffer, basert på påhuggsområdenes plassering. Eksempelvis forklarer byggeleder Moen (2021) at han er ansvarlig for de nordligste stoffene; Fjørtofta Nord, Fjørtofta Sør og Myklebust.

Prosjektsjef fra Skanska, Roar Sve (2021), trekker frem at ansvarsfordelingen måtte endres fra den opprinnelige planen på grunn av prosjektets målestokk. Lars Erik Skjolden og Stian Olsen ble derfor innsatt som prosjektledere for hver sin halvdel av prosjektet, mens Sve sitter med et overordnet ansvar for tunnelproduksjonen. Under entreprenørens prosjektledere sitter flere roller med delansvar. Tabell 20, presentert innledningsvis i kapittelet, gir oversikt over intervjuede ansvarsroller for ulike tunnelstrekninger/stuffer.

Kontraktstrategien anvendt på Nordøyvegen tilsier at prosjektet er byggherrestyrt, som betyr at byggherre hovedsakelig står ansvarlig for styringen av injeksjonsarbeidene. Entreprenør er derimot ansvarlig for selve utførelsen av forinjeksjon. Rollenes beslutningsmyndighet og styringsmuligheter vil videre beskrives med utgangspunkt i Karlsen (2012) sin styringsløyfe.

#### 1. *Målformulering*

Fagansvarlig ingeniørgeolog, Kåre Ingolf Karlson, har utarbeidet ingeniørgeologisk rapport for alle tunnelstrekningene på Nordøyvegen (Karlson & Grob 2018a,c). På denne måten har rollen vært sterkt styrende for formulering av mål for forinjeksjonen på prosjektet. I tillegg

trekker Moen (2021) frem at byggeledere er med på å formulere målsetninger relatert til ressursforbruk, på bakgrunn av prosjektets økonomiske og tidsmessige aspekter.

### 2. *Planlegging og strategivalg*

Strategivalget for tetting av tunnelene defineres av byggherre i kontraktsgrunnlaget, med bakgrunn i formulert målsetning. Videre er det, ifølge Ryningen (2021), kontrollingeniørene som hovedsakelig utarbeider injeksjonsprosedyrene og sender bestillinger til entreprenør. Kontrollingeniør Heggem (2021) påpeker at byggeleder involveres dersom beslutningene kan ha betydelig påvirkning på prosjektøkonomien, eller ved diskusjoner med entreprenør. Initiering av skjærmer besluttes av byggherrens kontrollingeniør ved oppfølging av sonderboring og påfølgende måling av vanninnstrømning på stuff.

Både intervjuobjekter fra entreprenør og byggherre påpeker at entreprenør har vært delaktig i prosessen som omfatter planleggingen og metodevalg for forinjeksjonen, til tross for at kontraktstrategien legger dette ansvaret på byggherre. Kontrollingeniør Ryningen og injeksjonsoperatør Kjeka (2021) anser en slik inkludering som svært hensiktsmessig, ettersom det i større grad tilrettelegger for samarbeid og felles målforståelse. Videre fremgår det at entreprenørens driftledere og formenn er ansvarlige for planlegging med hensyn til tilgang på materialer og utstyr ved utførelse (Nybø, 2021). Entreprenørens styringsmuligheter innen planlegging og strategivalg er likevel ansett som begrenset ettersom dette baserer seg på beslutninger tatt av byggherrens roller.

### 3. *Utførelse*

Selve utførelsen av forinjeksjon styres av baser og injeksjonsoperatører på stuff. Ifølge injeksjonsoperatør Kjeka (2021) kan entreprenøren ta egne beslutninger for iverksetting av tiltak under pumping, basert på de stedlige geologiske forholdene og erfaringer underveis ved pumping av enkeltskjærmer. Likevel begrenses beslutningsmyndigheten av byggherrens injeksjonsprosedyre, og injeksjonsoperatører må følge justeringer som byggherre fastsetter (Ryningen, 2021).

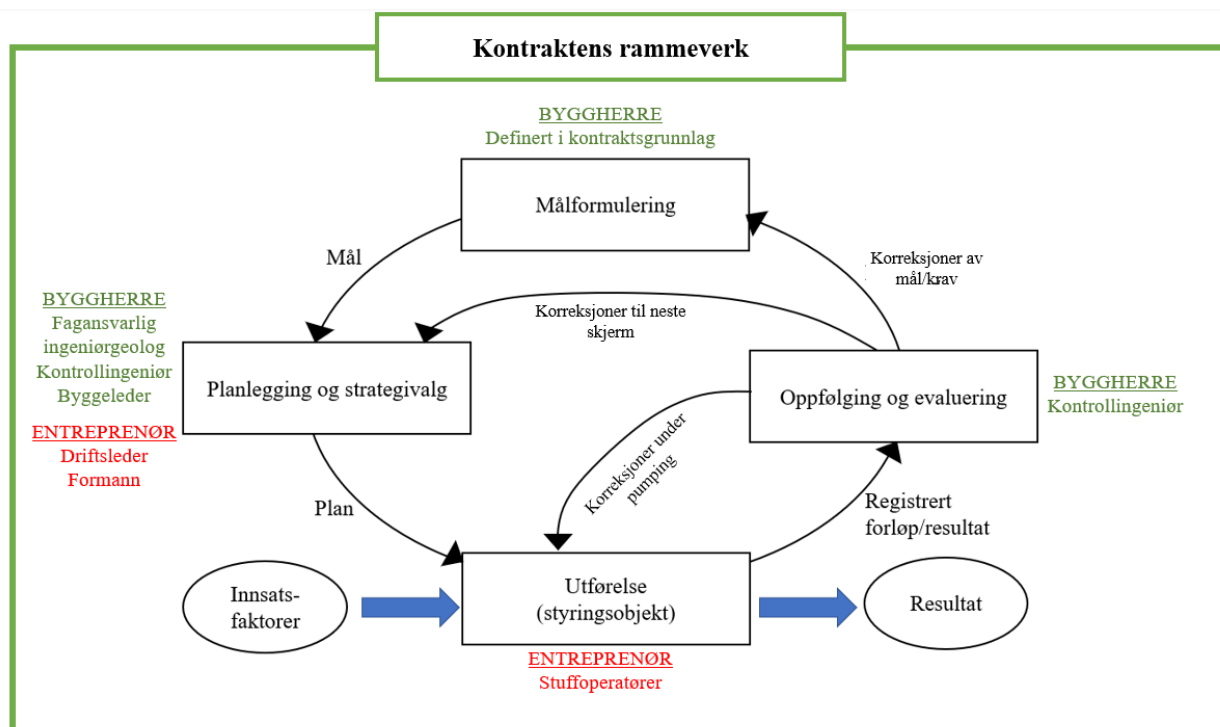
### 4. *Oppfølging og evaluering*

Byggherrens kontrollingeniører har ansvaret for å følge opp injeksjonsarbeidet aktivt underveis. Ifølge Heggem (2021) må entreprenør kontakte kontrollingeniørene for å foreta endrin-

ger eller justeringer som ikke samsvarer med tidligere avtaler. I tillegg kontrolleres medgåtte mengder og pumpetid, slik at det kan iverksettes tiltak for å redusere ressursforbruket. Etter fullført skjerm er kontrollingeniørene også ansvarlig for å vurdere tetteresultatet, samt beslutte når entreprenør får skyte påfølgende salve.

Ansvarlige roller for styringsprosessene for injeksjonsarbeidene oppsummeres av figur 43. Som det fremgår vil spesielt byggherrens kontrollingeniører ha stort ansvar for styringen av forinjeksjonen, og fungere som et bindeledd mellom stoffoperatører og funksjonærer. Entreprenørens driftsledere og formenn er plassert under planlegging og strategivalg ettersom rollene må planlegge entreprenørens utførelse med hensyn til utstyr og materialer.

Likevel bør det påpekes at det er byggherren som har beslutningsmyndigheten for strategivalget knyttet til valg av tekniske løsninger. Den grønne rammen illustrerer hvordan styringsprosessene må forholde seg til kontraktsbestemmelsene.



Figur 43: Styringsløyfe for injeksjonsarbeidet med ansvarlige roller på Nordøyvegen.



### 5.2.4 Fordeling av økonomisk usikkerhet

Det er tatt sikte på å evaluere hvordan oppgjør etter enhetspriser og tidsreguleringer med ekvivalenttidsregnskap kan påvirke fordeling av økonomisk usikkerhet og valg av tekniske løsninger. Dette er utført ved å se på entreprenørens inntjeningsmuligheter ved bruk av enhetspriser. I tillegg er det beregnet hvilket valg av injeksjonsmateriale som kan anses som mest kostnadseffektivt for byggherre. Entreprenørens økonomiske usikkerhet ved bruk av ekvivalenttidsregnskap er også vurdert basert på entreprenørens uttalelser.

#### 1. Oppgjørformens påvirkning på entreprenørens inntjeningsmulighet

Dersom ressursforbruket til injeksjonsarbeidene er innenfor estimerte mengder er det entreprenørens dekningsgrad for ulike enhetspriser som er avgjørende for deres inntjening (Grøv 2012a). På tilsvarende måte vil enhetsprisene være avgjørende for byggherrens kostnader. Det er rimelig å anta at entreprenør ønsker å benytte metoder som gir størst inntjeningsmuligheter, samtidig som byggherre ønsker å begrense prosjektets total kostnader ved bruk av ressursoptimale løsninger.

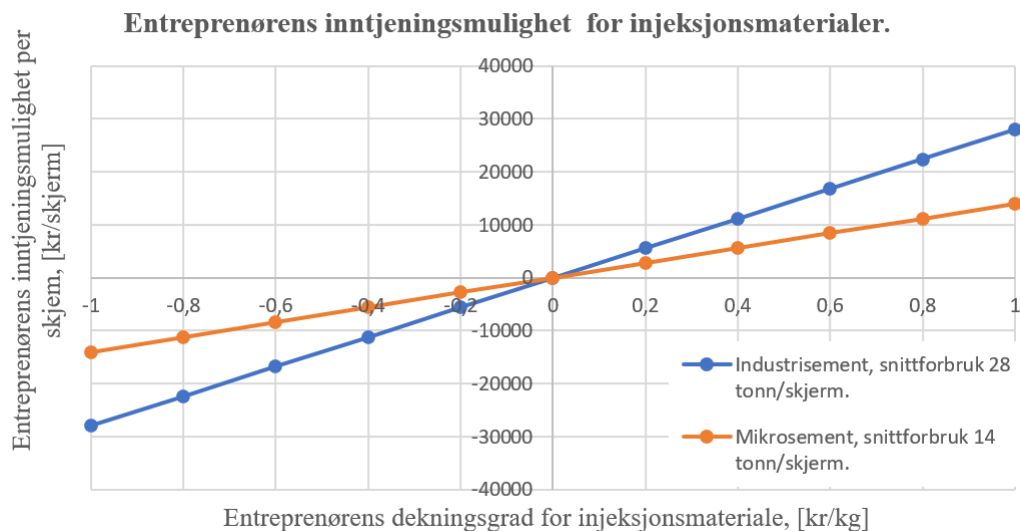
Basert på faktisk ressursforbruk ved bruk av ulike injeksjonsmaterialer er entreprenørens inntjeningsmuligheter analysert. Tabell 25 viser gjennomsnittlige verdier for sementforbruk og tid ved injeksjon med henholdsvis industri- og mikrosegment i Nogvafjordtunnelen, stuff Longva. Det fremgår at mikrosegmenten i gjennomsnitt gir et lavere mengde- og tidsforbruk per skjerm, sammenlignet med industrisementen.

Tabell 25: Gjennomsnittlig ressursforbruk per skjerm med henholdsvis industri- og mikrosegment. Verdiene basert på injeksjonsrapporter fra Nogvafjordtunnelen.

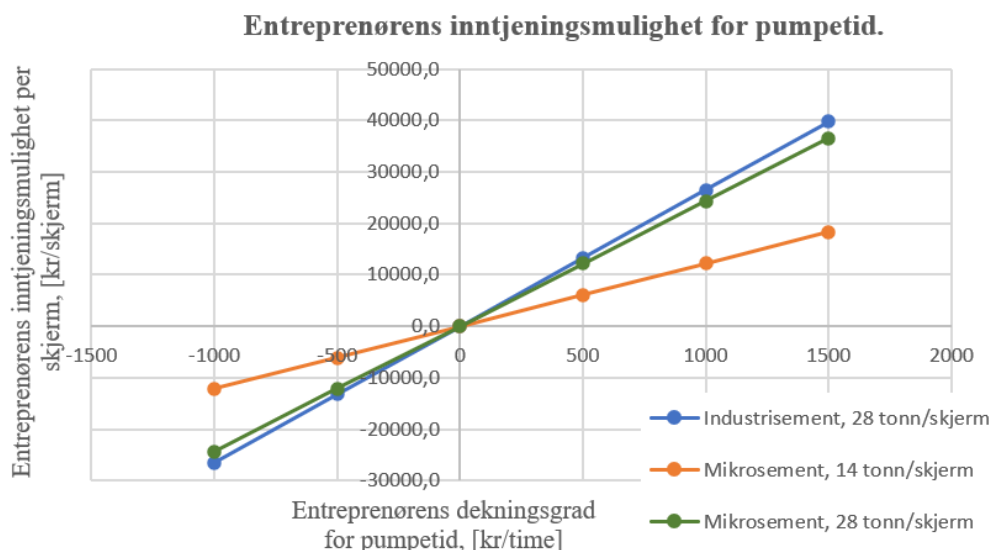
|                       | Gjennomsnittlig pumpetid | Gjennomsnittlig herdetid | Gjennomsnittlig mengde |
|-----------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|
|                       | timer/skjerm             | timer/skjerm             | kg/skjerm              |
| <b>Industrisement</b> | 22                       | 4,2                      | 27 740                 |
| <b>Mikrosegment</b>   | 9                        | 2,9                      | 13 630                 |

Dersom entreprenør har dekkende enhetspriser for både sementforbruk og pumpetid vil inntjeningsmuligheten øke med et større ressursforbruk, som vist av grafene i figur 44 og 45, videre beskrevet i vedlegg A.3.4. På tilsvarende måte vil en enhetspris som ikke dekker entreprenørens utgifter gi et økende tap ved store forbruk. Bruk av enhetspriser kan dermed medføre at entreprenør

ikke ønsker å benytte enkelte tekniske løsninger, dersom valg av andre metoder medfører bruk av enheter med større dekningsgrad. På tilsvarende måte kan byggherre ønske å benytte mengder og metoder med rimelige enhetspriser. Oppgjør etter enhetspriser kan på denne måten gi grunnlag for et taktisk metodevalg.



Figur 44: Entreprenørens inntjeningsmulighet som funksjon av dekningsgrad og mengdeforbruk av ulike injeksjonsmateriale. Verdiene er hentet fra tabell 25.



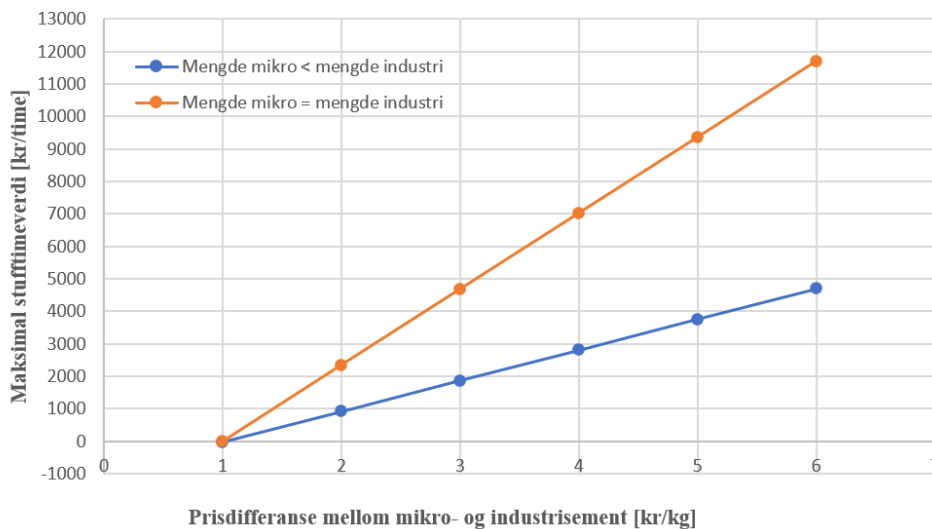
Figur 45: Entreprenørens inntjeningsmulighet som funksjon av pumpetid for ulike injeksjonsmateriale. Verdiene her hentet fra tabell 25.

Ettersom byggherre styrer forinjeksjonen på Nordøyvegen er det deres ansvar å frembringe en injeksjonsprosedyre som gir et optimalt forhold mellom ressursbesparelse og tetteresultat. Likevel påpeker kontrollingeniør Åsmund Ryningen (2021) at det er nødvendig å inkludere entreprenør i slike avgjørelser, ettersom deres erfaringer kan være avgjørende for resultatet av metodevalget. Ifølge Lars Erik Skjolden og Bjørnar Moen (2021) har både entreprenør og byggherre mest erfaring med bruk av industrisement i dette tilfellet. Dette reflekteres både i estimerte og faktiske mengder, ettersom industrisement hovedsakelig er benyttet på prosjektet.

Til tross for partenes erfaringsgrunnlag, er det tatt sikte på å evaluere hvilket injeksjonsmateriale som er mest kostnadseffektivt. Vurderingen er gjennomført ved hjelp av ligning 1 (teorikapittel 2.3.4), som tilsier at prosjektets stufftimeverdi,  $STV$ , bør være lavere enn  $\frac{K}{T}$  for kostnadseffektiv forinjeksjon med industrisement. Verdien  $K$  beskriver ekstrakostnadene for injeksjon med *mikrosement*, og  $T$  utgjør ekstra tid for injeksjon med *industrisement*.

De prosjektspesifikke verdiene for sement- og tidsforbruk i tabell 25 er benyttet til å beregne maksimal  $STV$  som funksjon av differansen i enhetspriser for mikro- og industrisement. Som det fremgår av grafen i figur 46 vil ressursbesparelsen som oppnås med mikrosegment i form av både mengder og tid gjøre dette alternativet gunstig, selv ved en prisdifferanse på over 6 kr/kg. Dersom mikrosegmenten samtidig gir tilfredsstillende tetteresultater antyder anslaget at prosjektet i større grad burde benyttet mikrosegment til forinjeksjon.

I tilfeller der forbruket av mikrosegment per skjerm tilsvarer det gjennomsnittlige forbruket av industrisement (omlag 28 tonn/skjerm), kan  $STV$  være mye høyere før det blir gunstig å benytte mikrosegment. Eksempelvis vil en *ekstrakostnad* for mikrosegment på 6 kr/kg gjøre det gunstig med bruk av industrisement så lenge  $STV \leq 11\,700$  kr/time. Det henvises til vedlegg A.3.5 for videre forklaring av fremstillingen til figur 46.



Figur 46: Maksimal stufftimeverdi som kan forsvare bruken av industrisement, som funksjon av prisdifferansen mellom mikro- og industrisement.

## 2. Entreprenørens økonomiske usikkerhet ved bruk av ekvivalenttidsregnskap

På grunn av usikkerheten i estimert tids- og mengdeforbruk for injeksjonsarbeider benyttes ekvivalenttidsregnskap; en reguleringsmekanisme som skal gi tidskompensasjon til entreprenør ved overskridelser av kontraktens estimerte mengder. Ekvivalenttidsregnskapet skal med andre ord sørge for at entreprenør ikke bærer økonomisk usikkerhet som følge av uforutsette grunnforhold som krever økt sikring- eller injeksjonsomfang (Grøv 2012a).

Prosjektleder Stian Olsen (2021) mener derimot at entreprenøren bærer økonomisk risiko dersom faktiske mengder avviker fra de estimerte mengdene i kontraktsgrunnlaget. For det første reguleres ikke byggetid ved borevansker, ettersom kapasitetene i ekvivalenttidsregnskapet ikke justeres som funksjon av bergmassens beskaffenhet. Dersom det faktiske antallet boremeter er *innenfor* kontraktens mengdeprognoser, kan dette medføre at entreprenør ikke får tilstrekkelig tidkompensasjon for skjermboingen i redusert bergkvalitet. Det er først ved overskridelser av estimerte mengder at ekvivalenttidsregnskapet regulerer byggetiden. Problemstillingen er illustrert av et eksempel i tabell 26.

Til tross for at pumpetimer reguleres av ekvivalenttidsregnskapet, vil et overskridende injeksjonsomfang påvirke gjennomførelsen av andre anleggsprosesser (Olsen, 2021). Skanska er hovedentreprenør på Nordøyvegen, som tilsier at de er ansvarlig for kontrakter med andre underleverandører.

Tabell 26: Eksempelet viser hvordan borevansker i reduserte bergforhold påvirker tidsforbruk. Faktiske mengder er lavere enn estimerte, men tidsforbruket blir likevel høyere.

|                            | Estimerte mengder | Faktiske mengder |
|----------------------------|-------------------|------------------|
| <b>Boremeter</b> [m]       | 270               | 200              |
| <b>Kapasitet</b> [timer/m] | 1/90              | 1,8/90           |
| <b>Tidsforbruk</b> [timer] | 3                 | 4                |

Forsinkelser i planlagt arbeid fra innleide underleverandører kan på denne måten gå på bekostning av hovedentreprenør, og skape negative ringvirkninger. Prosjektleder Olsen (2021) påpeker også at deres estimering av nødvendig bemanning baserer seg på estimert injeksjonsomfang. Overskridelser av mengde- og tidsforbruk kan dermed tilsi et økt behov for bemanning som ikke er tilgjengelig.

Til slutt påpeker Olsen (2021) at prosjektet består av tre undersjøiske tunneler, der kun én strekning er kritisk linje; Nogvafjordtunnelen. Kontraktens post for rigg og drift er derimot samlet for alle tre tunneler, som tilsier at det kun er forsinkelser på kritisk strekning som gir kompensasjon for rigg- og driftutgifter. Ved forsinkelser på enten Fjørtoftfjordtunnelen eller Haramsfjordtunnelen er det derfor nødvendig med en diskusjon om riktig kompensasjon for ekstrakostnader knyttet til rigg og drift.

## 6 Synteser av resultater

Dette kapitlet presenterer oppgavens hovedresultater og tar sikte på å besvare første del av formulert problemstilling: *Hvordan tilrettelegger ulike kontraktstrategier for oppnåelse av suksesskriterier for injeksjonsarbeider?*

Resultatene fra analysene er sammenstilt for å kartlegge generelle suksesskriterier for injeksjonsarbeider, samt identifisering av hvilke kritiske suksessfaktorer kontraktstrategiene bør ivareta. Avslutningsvis er det vurdert i hvilken grad kontraktene på henholdsvis Drammen-Kobbervikdalen og Nordøyvegen tilrettelegger for ivaretagelse av de kritiske suksessfaktorene.

### 6.1 Suksesskriterier og kritiske suksessfaktorer for injeksjonsarbeider

Dette kapitlet avdekker generelle suksesskriterier for injeksjonsarbeider, som videre brukes til å identifisere kritiske suksessfaktorer. Det er derfor først foretatt en syntese av resultatene knyttet til prosjektkarakteristikker og interessentenes perspektiver for å avdekke generelle målsetninger. Videre er syntesen benyttet til å identifisere kritiske suksessfaktorer for injeksjonsarbeider.

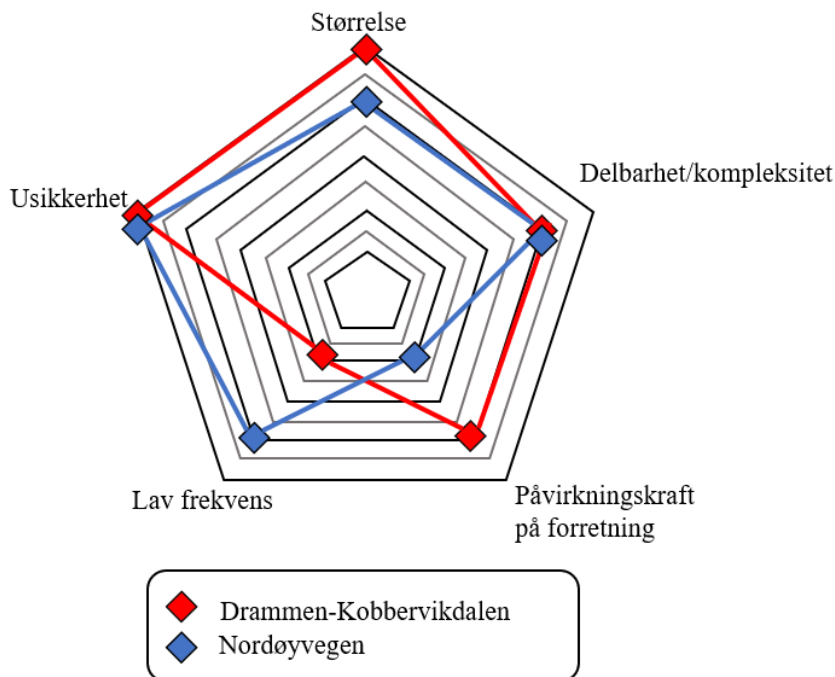
#### 6.1.1 Syntese av injeksjonsarbeidenes karakteristikker og interessentens perspektiver

I det følgende oppsummeres og sammenlignes prosjektenes karakteristikker og interessentenes perspektiver for å avdekke generelle suksesskriterier for injeksjonsarbeider.

##### *Likheter og forskjeller i prosjektkarakteristikk*

Edderkoppdiagrammet i figur 47 er fremstilt for å sammenligne hvilke prosjektkarakteristikker som preger injeksjonsarbeidene på henholdsvis Drammen-Kobbervikdalen og Nordøyvegen. Det fremgår at begge prosjekter i vesentlig grad preges av problemer tilknyttet karakteristikene *størrelse*, *kompleksitet* og *usikkerhet*, der sistnevnte er kritisk for begge prosjekter. Resultatene antyder at suksessfaktorer tilknyttet disse karakteristikkene er spesielt viktig å ivareta for å oppnå en suksessfull gjennomføring av injeksjonsarbeider.

Den største forskjellen ligger i prosjektenes utfordringer med karakteristikkene *lav frekvens* og *påvirkningskraft på forretning*. Årsaken til denne ulikheten er prosjektenes valg av tettestrategi, der både omfang og hensikt med forinjeksjon er forskjellig. Den valgte tettestrategien er igjen



Figur 47: Sammenligning av karakteristikk som preger injeksjonsarbeidene på Drammen-Kobbervikdalen og Nordøyvegen. Det henvises til teorikapittel 2.1.3 for forklaring av edderkoppdigram og karakteristikk.

avhengig av prosjektets geologiske forhold og ytre omgivelser (NFF 2010, Grøv & Woldmo 2012, Karlsrud et al. 2003).

Ifølge Kolltveit & Reve (2002) er faktoren *lav frekvens* forbundet med usikkerhet, ettersom en lav hyppighet av en prosess reduserer muligheter for å tilegne seg erfaringer og gjøre justeringer underveis. Med andre ord kan det antas at suksessfaktorer som reduserer usikkerhet, også vil bidra til å håndtere Nordøyvegens utfordringer tilknyttet lav frekvens på injeksjonsarbeidene.

Videre bør injeksjonsarbeidenes suksessfaktor også tilrettelegge for en positiv påvirkning på involverte forretninger. Som presentert i teorikapittel 2.1.3, krever dette tilstrekkelig kommunikasjon av mål og hensikt med forinjeksjonen i alle organisasjonsledd, samt et tydelig prosjektmandat (Hussein 2016). Som vist i tabell 1 i tilsvarende teorikapittel, er det mange likheter mellom suksessfaktorene knyttet til de to karakteristikkene *påvirkningskraft på forretning* og *delbarhet/kompleksitet*. Med andre ord er det mulig å identifisere enkelte suksessfaktorer som kan håndtere prosjektets utfordringer med kompleksitet, samtidig som ivaretagelse av faktoren bidrar til en positiv påvirkning på prosjektets involverte forretninger.

Basert på sammenligningen av karakteristikk for de to prosjektene er det essensielt å redusere problemer hovedsakelig knyttet til karakteristikkene *usikkerhet*, *størrelse* og *kompleksitet*. Håndtering av injeksjonsarbeidenes kompleksitet vil også sikre suksess i prosjekter der tetteresultatet har stor påvirkningskraft på forretninger; som for urbane undergrunnsprosjekter. Tiltak som reduserer usikkerhet vil, på tilsvarende måte, tilrettelegge for håndtering av utfordringer tilknyttet *lav frekvens* for prosjekter med behovsprøvd forinjeksjon; eksempelvis undersjøiske tunneler.

### ***Likeheter og forskjeller i interessentenes perspektiver***

For interessentanalysen er de ulike kontraktpartenes perspektiver tilsvarende på begge prosjekter. Skanska og Veidekke har altså de samme overordnede subjektive målsetningene som entreprenørselskaper, og det samme er tilfellet for byggherrene Bane NOR og MRFK.

Det er essensielt å ivareta primærinteressentenes økonomiske perspektiver for at det skal være en subjektiv opplevelse av suksess hos begge parter. Videre står også kvalitet på tetteresultat sentralt, der det er spesielt viktig for byggherre å oppnå tilstrekkelig kvalitet med et begrenset ressursforbruk. Opplevelse av samarbeidsvilje og tillit trekkes også frem som nødvendig for prosjektgjennomføringen.

De mest essensielle perspektivene kan oppsummeres gjennom tre suksesskriterier for injeksjonsarbeider:

1. Ivaretagelse av organisasjonenes økonomiske interesser.
2. Rett kvalitet på tetteresultat ved bruk av et optimalt ressursforbruk.
3. Kontraktspartene må få opplevelse av et godt samarbeid og tillit på tvers av organisasjonene.

### **6.1.2 Identifiserte kritiske suksessfaktorer for injeksjonsarbeider**

Foregående syntese viser hvilke kriterier som kan anses som essensielle for å oppnå suksess på prosjekter med injeksjonsarbeider. På bakgrunn av de generelle suksesskriteriene er det identifisert seks kritiske suksessfaktorer som kontrakten og prosjektrollene bør forsøke å ivareta. Disse kan defineres på følgende måte:

#### **1. *Balanse i økonomisk oppgjør***

For å ivareta primærinteressentenes økonomiske interesser er det nødvendig med et balan-



sert oppgjør, samt rettferdige reguleringsmekanismer for overskridelser av tids- og mengdeestimer. Suksessfaktoren kan tilrettelegge for bruk av tids- og kostnadseffektive tekniske løsninger, uten at enkelte metodevalg går på bekostning av entreprenørens inntjeningsmulighet eller byggherrens kostnadsrammer.

### 2. *Insentiver til entreprenør.*

Insentiver kan øke entreprenørens motivasjon til å oppnå rett kvalitet med et redusert ressursforbruk. Suksessfaktoren omfavner derfor også et behov for klarhet i prosjektets begrensninger, føringer og spesifikasjoner, slik at det står klart for entreprenør hvilke kvalitetskrav som skal oppnås, og hvordan byggherre ønsker at tetteresultatet skal frembringes.

### 3. *Tilstrekkelig fagkompetanse.*

Tilstrekkelig fagkompetanse reduserer teknisk usikkerhet, som vil gi større vilje og motivasjon til å prøve flere ukjente tekniske metoder som potensielt kan være optimaliserende for ressursforbruk og kvalitet.

### 4. *Felles målforståelse.*

Det er nødvendig med felles målforståelse som forankrer forinjeksjonens hensikt på tvers av organisasjoner. Suksessfaktoren kan også tilrettelegge for bedre samarbeid, tillit og deling av erfaringer mellom kontraktspartene. Samlet legger derfor felles målforståelse grunnlag for tilstrekkelig kvalitet i tetteresultat innenfor byggherrens estimerte mengdeforbruk.

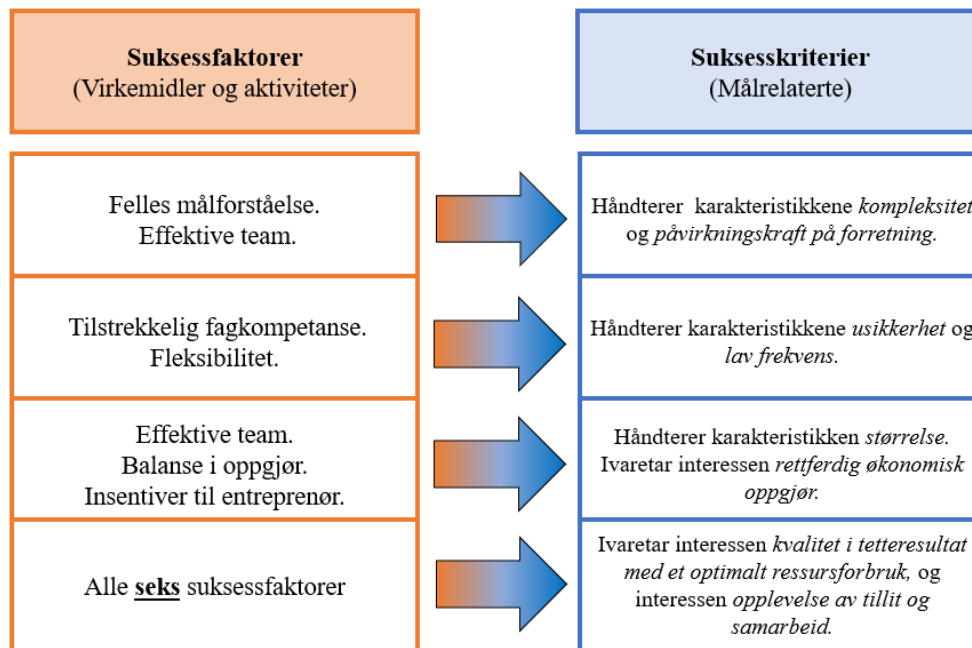
### 5. *Fleksibilitet i planlegging og utførelse.*

Ettersom de geologiske forholdene og innlekkasjekravene ofte varierer betydelig langs undergrunnstraseen er det nødvendig med fleksibilitet i planlegging og utførelse. Suksessfaktoren kan bidra til å redusere usikkerhet, samt føre til valg av teknisk optimale løsninger som er tilpasset stedlige forhold.

### 6. *Effektive team med god informasjonsflyt.*

God informasjonsflyt kan redusere den organisatoriske og tekniske kompleksiteten, samtidig som effektive roller kan redusere ressursforbruk, spesielt i form av tid. Suksessfaktoren krever en tydelig plassering av beslutningsmyndighet, der ansvar plasseres hos roller med tilstrekkelig styringsevner.

Dersom kontraktstrategien tilrettelegger for et injeksjonsarbeid etter disse suksessfaktorene, kan det antas at målet og hensikten med forinjeksjon oppnås. Denne sammenhengen mellom virkemidler (suksessfaktorer) og mål (suksesskriterier) for injeksjonsarbeider er illustrert i figur 48. Det kreves med andre ord ivaretagelse av flere suksessfaktorer for å nå enkelte målsetninger.



Figur 48: Sammenheng mellom kritiske suksessfaktorer og kartlagte suksesskriterier for injeksjonsarbeider.

## 6.2 Kontraktstrategiens ivaretagelse av kritiske suksessfaktorer

Dette kapittelet vurderer hvordan de identifiserte suksessfaktorer ivaretas av de ulike kontraktstrategiene. Vurderingen baserer seg på intervjuobjektene uttalelser og oppfatninger av kontraktens bruk av ulike virkemidler. For å kvantifisere resultatene, er det benyttet en rangering som angir i hvilken grad kontrakten ivaretar suksessfaktorer, vist i tabell 27.

En optimal kontraktstrategi burde gi en tilfredsstillende ivaretagelse av alle suksessfaktorer for å sikre optimal teknisk utførelse av injeksjonsarbeidene og ivaretagelse av interessentenes subjektive perspektiver.

Tabell 27: Kategorisering for kontraktens ivaretagelse av identifiserte suksessfaktorer.

| <i>Vurderingsgrad</i> | <i>Beskrivelse</i>          |
|-----------------------|-----------------------------|
| 1                     | Tilfredsstillende ivaretatt |
| 2                     | Delvis ivaretatt            |
| 3                     | Ikke ivaretatt              |

### 6.2.1 Vurdering av kontraktstrategi på Drammen-Kobbervikdalen

Resultatet for kontraktstrategiens ivaretagelse av kritiske suksessfaktorer på Drammen-Kobbervikdalen baserer seg på følgende vurdering av byggherrens og entreprenørens uttalelser:

#### 1. *Balanse i økonomisk oppgjør*

Bruk av rundsum (RS) gir ifølge driftsleder Eggen (2021) entreprenøren et insentiv til å ferdigstille prosjektet innenfor estimerte tids- og kostnadsrammer, ettersom det kan øke entreprenørens inntjening samtidig som kundens interesser ivaretas. Prosjektleder Aakre (2021) understreker at bruk av RS for forinjeksjon *uten* reguleringsmekanismer for overskridelser vil gjøre det vanskelig å prise risiko, og bør derfor ikke benyttes som oppgjørsform for injeksjonsarbeider. Derimot er det en hensiktsmessig oppgjørsform dersom kontrakten inneholder reguleringsmekanismer som ikke legger for stor risiko på entreprenør for potensielle overskridelser av estimerte mengder. Med en forhåndsbestemt RS vil også byggherrens usikkerhet rundt prosjektets total kostnader ved ferdigstillelse reduseres.

Ledelsen hos Bane NOR mener det er fordelaktig med reguleringsmekanismer som ikke plassere all usikkerhet for overskridelser hos entreprenør, ettersom mengdeprognosene for forinjeksjon inneholder usikkerhet. Derimot trekker byggeleder Sveinsson (2021) frem at det burde stilles krav til et samsvar mellom entreprenørens prising av arbeider som inngår i rundsummen og ratene satt i reguleringsmekanismen. Høye rater på overskridende mengder legger stor økonomisk risiko på byggherre, samtidig som det kan redusere entreprenørens motivasjon til å utføre injeksjonsarbeidene ressursbesparende. Med andre ord vil reguleringsmekanismen i dette tilfellet gjøre det gunstig for entreprenør å bruke et større ressursforbruk enn nødvendig dersom faktiske mengder nærmer seg de estimerte.

Videre påpeker også Sveinsson (2021) at kontrakten burde inkludere en fordeling av inntjening ved et redusert ressursbehov, spesielt for forinjeksjon der prognoser inneholder stor usikkerhet. En slik ordning reduserer entreprenørens inntjeningsmuligheter i en viss grad, men legger også mindre økonomisk risiko på byggherre.

Med hensyn til byggherrens synspunkt på reguleringsmekanismen ved overskridelser, burde kontrakten i større grad ivaretatt denne suksessfaktoren.

### 2. *Insentiver til entreprenør*

Kontrakten inneholder ingen direkte økonomiske insentiver som belønner entreprenør for rett kvalitet på tetteresultatet. Ifølge prosjektleder Wiig (2021), bør sensitivitetsvurderingene i ingeniør- og hydrogeologiske rapporter og kontraktens innlekkasjekrav motivere entreprenør til å levere et kvalitetssikkert tetteresultat, ettersom disse kravspesifiseringene legger ansvaret for tetteresultatet på entreprenør. Det fremgår av intervjurundene og feltobservasjonene at entreprenør har et stort fokus på tetteresultater og tar kontraktsbestemmelsene på alvor.

Likevel er innlekkasjekravene i enkelte tunnelstrekninger ikke tilfredsstillt, som ifølge Sveinsson (2021) potensielt kan skape diskusjon rundt hvilken kontraktspart som står økonomisk ansvarlig for supplerende tiltak som forhindrer grunnvannssenkning. Ettersom det er tilnærmet umulig å fastslå en fasit for enkeltskjermer, kan det være vanskelig å avgjøre om de ufullstendige tetteresultatene skyldes entreprenørens utførelse og styring eller avvikende hydrogeologiske grunnforhold (byggherrens ansvar).

Ifølge Wiig (2021) bør derfor kontraktsbestemmelsene i større grad vektlegge og tydeliggjøre hvilken part som står ansvarlig for tetteresultatet. En slik tydeliggjøring kan medføre en større bevissthet hos entreprenør overfor hvilke økonomiske konsekvenser utilstrekkelig kvalitet medfører. Eksempelvis foreslås en inkludering av bøter for seksjoner som ikke tilfredsstillende innlekkasjekravene. Ifølge Sveinsson (2021) bør det derimot inkluderes insentiver i form av belønninger, ettersom bruk av bøter kan medføre spekulasjoner i fordelene ved å betale boten.

Samlet antyder byggherrens uttalelser at kontraktens ivaretagelse av entreprenørens motivasjon til å oppnå rett kvalitet kunne vært mer tilfredsstillende ved bruk av tydeligere, og mer spesifikk, ansvars plassering for tetteresultat.

### 3. *Tilstrekkelig fagkompetanse*

Entreprenøren mener at ansvarsfordelingen legger til rette for en tettere og bedre oppfølging av injeksjonsarbeidene, ettersom deres roller i større grad har kontroll på prosessene som foregår på anlegget (Stien, 2021). I tillegg har injeksjonsoperatørene kjennskap til injeksjonsutstyrets begrensninger og muligheter. God kommunikasjon mellom stoffarbeidere og ingeniørgeologer vil dermed gi rollen med beslutningsmyndighet større forståelse for hvilke tiltak som kan og bør iverksettes under injeksjonsarbeidene. Dermed kan kontraktens ansvarsfordeling heve entreprenørens fagkompetanse på forinjeksjon, som trolig vil bidra til høyere kvalitet på utførelsen. Kontrakten inneholder også en bestemmelse som pålegger entreprenør å ha, eller tilknytte seg, fagpersoner med tilstrekkelig og relevant kompetanse på forinjeksjon.

Injeksjonsoperatør Andersen (2021) trekker også frem at Bane NOR har sørget for tilstrekkelig kompetanse hos byggherrens kontrollingeniører. Byggherrens kontrollingeniører består av en blanding av tidligere fagarbeidere og relativt nyutdannede ingeniører. Ettersom begge parter er tilfreds med fagkompetansen på prosjektet, er suksessfaktoren ivaretatt.

### 4. *Felles målforståelse*

Prosjektleder Wiig (2021) mener plassering av beslutningsmyndighet hos entreprenør kan øke deres følelse av eierskap til tetteresultatet og påfølgende virke motiverende for å finne optimale løsninger. Eksempelvis opplever byggherren at entreprenør er svært interessert i

utveksling av erfaringer og kunnskap på tvers av organisasjonene for å forbedre sin utførelse av forinjeksjon. Et slikt samarbeid anses som fordelaktig fra begge parter ettersom det gir prosjektet bedre forutsetninger for å håndtere utfordringer som oppstår underveis.

Entreprenørens perspektiv tilsier derimot at byggherre ikke ønsker å dele tilstrekkelig av sine erfaringer fra forinjeksjon, trolig for å unngå å så tvil om hvilken part som står ansvarlig for anvendt injeksjonsmetode og tetteresultat. Eksempelvis oppfatter enkelte prosjektroller hos entreprenør at byggherre *kun* kommer med innspill/pålegg dersom entreprenør ønsker å gjøre justeringer som ikke samsvarer med tidligere avtaler eller kontraktbestemmelser. Utover dette unngår byggherre å komme med forslag til optimaliserende justeringer. En slik innstilling og oppfatning kan være lite hensiktsmessig for samarbeidet og videre erfaringsutveksling. Fordelingen av styringsmuligheter kan dermed begrense byggherrens ønske om å involvere seg i beslutninger og utveksle erfaringer.

Ifølge formann Sandseter (2021) er det heller ikke tilstrekkelig fokus på å forankre hensikten og målet med forinjeksjon oppover og nedover i organisasjonene. Sammenlignet med andre fagspesifiserte anleggsoppgaver, foreligger det ikke et organisert fagmiljø for kompetanseheving og -utveksling for rollene med et spesielt ansvar for injeksjonsarbeidene. Et slikt tiltak ville ifølge Sandseter (2021) gitt større anerkjennelse og motivasjon til injeksjonsoperatører, og øke forståelsen for injeksjonsarbeidenes viktighet for tunneldrivingen i flere organisasjonsledd.

### 5. *Fleksibilitet i planlegging og utførelse*

Ifølge ingeniørgeolog Stien (2021) påvirker ikke oppgjørsformen deres beslutning av materialvalg. Slike valg styres av hvilke metoder som erfaringsmessig bringer gode resultater og begrenser ressursforbruket. På denne måten tyder entreprenørens synspunkt på at oppgjørsformen og styringsmulighetene tilrettelegger for en fleksibel utførelse av forinjeksjon, der utførende part får mulighet til å utnytte sin erfaring og kompetanse.

Likevel fremgår det av delkapittel 5.1.4, at oppgjørsformen kan virke begrensende for fleksibilitet i materialvalg grunnet ulike innkjøpspriser og tidsforbruk, samt teknisk usikkerhet knyttet til materialvalg. Under intervjuene med entreprenør kommer det tydelig frem at prosjektrollene er klar over at mikrosegment har høyere innkjøpskostnad sammenlignet med in-

dustrisement. Bruk av RS kan derfor føre til at entreprenør ønsker å benytte det rimeligste og tryggeste sementalternativet, til tross for at mikrosegment potensielt gir bedre tetteresultater og/eller lavere ressursforbruk. På denne måten kan oppgjørsformen være begrensende for fleksibiliteten i utførelsen.

### 6. *Effektive team med god informasjonsflyt*

Injeksjonsoperatørene tar direkte kontakt med ingeniørgeologer som har beslutningsmyndighet for å forhøre seg om justeringer av injeksjonsprosedyren. Til sammenligning går ofte denne kommunikasjonen via formenn i byggherrestyrte kontrakter (Andersen, 2021). Injeksjonsoperatøren mener terskelen for å ta kontakt med styrende roller blir lavere med ansvarsfordelingen som benyttes, og dermed kan det raskere gjøres endringer underveis i injeksjonsprosessen. Dette gavner utførelsen, ettersom det er enklere å diskutere bruk av tekniske tiltak med kjente kolleger fra egen bedrift. Kontraktens fordeling av styringsmulighet legger derfor til rette for effektive team med god informasjonsflyt.

Ifølge byggeleder Sveinsson (2021) ligger også injeksjonsarbeidene foreløpig innenfor forventede prognoser, som antyder at estimering av tid og mengder gjenspeiles i faktiske forhold. Realistiske mengdeprognoser legger derfor også til rette for mer effektiv beslutningstaking, planlegging og utførelse.

Tabell 28 oppsummerer hovedresultatene fra vurderingen. Som det fremgår av tabellen, er alle suksessfaktorene som omhandler effektive team og tilstrekkelig fagkompetanse ivaretatt av anvendt kontraktstrategi på Drammen-Kobbervikdalen. Likevel er det et forbedringspotensiale når det gjelder kontraktstrategiens tilfredsstillelse av faktorene *balanse i økonomisk oppgjør, motivasjon til rett kvalitet, felles målforståelse og fleksibilitet i utførelse*.

Tabell 28: Kontraktstrategiens ivaretagelse av ulike suksessfaktorer på Drammen-Kobbervikdalen.

| Kritisk suksessfaktor                                | Vurderingsgrad |
|--|----------------|
| Balanse mellom kostnadsrammer og inntjeningsmulighet | 2              |
| Motivasjon til rett kvalitet                         | 2              |
| Tilstrekkelig fagkompetanse                          | 1              |
| Felles målforståelse                                 | 2              |
| Fleksibilitet i utførelse                            | 2              |
| Effektive team                                       | 1              |

### 6.2.2 Vurdering av kontraktstrategi på Nordøyvegen

Vurderingen av kontraktens ivaretagelse av ulike suksessfaktorer på Nordøyvegen, baserer seg på følgende synspunkt og uttalelser fra intervjuobjektene:

#### 1. *Balanse mellom kostnadsrammer og inntjeningsmuligheter*

På Nordøyvegen får entreprenør kompensasjon for faktiske mengder som medgår, samtidig som byggetid reguleres av ekvivalenttidsregnskapet. Dersom entreprenør setter realistiske enhetspriser uten taktikk, samtidig som byggherre unngår taktisk mengdeestimering, legger oppgjørsformen tilrette for en balanse mellom kostnadsrammer og inntjeningsmuligheter. Samtidig vil kombinasjonen av oppgjørsform og entreprisform plassere usikkerhet hos parten med størst påvirkningsmulighet, ettersom byggherre styrer injeksjonsprosessen og er økonomisk ansvarlig for mengde- og tidsforbruk.

Likevel trekkes det frem at ekvivalenttidsregnskapet gir en falsk trygghet for entreprenør ettersom tidskompensasjonen ikke er realistisk og tilstrekkelig ved krevende geologiske forhold (Olsen, 2021). Det kan derfor diskuteres om kontraktstrategien gir en balanse mellom byggherrens kostnadsrammer og entreprenørens inntjeningsmuligheter dersom faktiske forhold avviker fra antatte prognoser.

For å unngå taktisk prising av injeksjonsmaterialer som påvirker valg av tekniske løsninger trekker rådgiver Dammyr (2021) frem at kontraktens mengdeestimeringer for industri- og mikrosement bør være omtrent tilsvarende hverandre. Dette kommer av at den totale kontraktssummen ikke vil påvirkes av høye enhetspriser på poster med estimerte lave mengder,



og dermed kan det være vanskelig å oppdage taktisk prising. På Nordøyvegen er det derimot estimert et forbruk på omtrent 7,5 ganger mer industrisement, sammenlignet med mikrosement. Likevel er det ingen forhold som antyder at entreprenør har gitt taktiske priser på injeksjonsmaterialet med lave mengdebeskrivelser.

Evalueringen tilsier derfor at kontraktstrategien på Nordøyvegen kun gir en delvis ivaretagelse av den kritiske suksessfaktoren.

### 2. *Insentiver til entreprenør*

Kontraktstrategiens ytelsesbeskrivelse, basert på mengdebeskrivelser med tilhørende funksjonskrav, legger tilrette for klarhet i begrensninger, føringer og spesifikasjoner for entreprenør. Det fremgår med andre ord tydelig av kontraktsgrunnlaget hvilken kvalitet entreprenøren må motiveres til å oppnå, og hvilke metoder som skal benyttes.

For at byggherrens perspektiver skal tilfredsstilles bør også kontraktens bruk av virkemidler motivere til kostnadsbesparelse, som for injeksjonsarbeider hovedsakelig betyr reduksjon i tidsforbruk (Garshol 2017). Etersom kontraktstrategien ikke plasserer styringsmuligheter eller økonomisk risiko på entreprenør, påpeker Lars Erik Skjolden (2021) at entreprenør ikke nødvendigvis må engasjere seg i valg av optimale tekniske løsninger som gir kostnadsbesparelser. Med andre ord presser ikke ansvarsfordelingen entreprenør til å være innovativ i sin utførelse. Dette fremgår også av eksemplene presentert i 5.2.4, der entreprenører med dekkende enhetspriser øker sin inntjening med økende ressursforbruk.

Videre trekker rådgiver Dammyr (2021) frem at en utførelsesentreprise begrenser entreprenørens muligheter til å velge metoder de selv anser som mest effektive og kvalitetsbringende. Dette kommer av kontraktens detaljerte beskrivelser av tekniske løsninger, der entreprenørens subjektive kompetanse blir mindre hensyntatt. Feltobservasjoner og intervjuer tilsier at stoffoperatører setter pris på å benytte tekniske metoder de har kjennskap til og føler mestring av. På denne måten kan rigide beskrivelser av tekniske valg i kontrakten påvirke entreprenørens insentiv.

I tillegg kunne kontrakten i større grad ivareta entreprenørens motivasjon til oppnåelse av rett kvalitet innenfor byggherrens tidsestimater ved å inkludere insentivordninger. Pro-

sjektleder Skjolden (2021) tror inkludering av økonomiske bonusordninger som belønner entreprenøren for tilstrekkelig kvalitet og økt effektivitet kan være hensiktsmessig. Derimot trekker driftsleder Nybø (2021) frem at utarbeidelse av rettferdige og velfungerende insentiver vil være krevende, ettersom reguleringen må ta høyde for kvalitet- og HMS-mål opp mot ressursforbruk.

### 3. *Felles målforståelse.*

Enkelte av entreprenørens roller mener byggherre har vært inaktiv i vurderinger av optimale metodevalg for forinjeksjonen. Ledelsen mener dermed et vesentlig ansvar for tilpasninger, endringer og vurderinger av anvendt prosedyre har havnet hos entreprenør (Skjolden, 2021). Injeksjonsoperatør Ola Kjeka (2021) har derimot en oppfatning av at større styringmuligheter og ansvar burde tildeles stoffoperatørene, slik at flere tilpasninger for enkeltskjermer kan iverksettes uavhengig av byggherrens tillatelse. Dette tilsier at entreprenør på den ene siden ønsker større tillit (styringsmuligheter) fra byggherre, men at ansvarfordelingen også må være forankret i kontrakten.

På den andre siden har byggherre et inntrykk av motvilje hos entreprenør til å ta i bruk enkelte injeksjonsmetoder (videre omtalt i neste punkt). I tillegg fremgår det spekulasjoner rundt entreprenørens rett på tidskompensasjon, sett i forhold til deres evne til å planlegge og tilrettelegge for effektivt arbeid på stoff. Slike spekulasjoner kan trolig påvirke byggherrens vilje til å fraskrive seg kontroll og ansvar.

Det er vanskelig å avgjøre om selve kontraktsgrunnlaget er bakgrunnen for nevnte utfordringer med samarbeid og tillit. Blant annet har entreprenør skiftet ut en rekke nøkkelpersoner underveis i prosjektgjennomføringen, som kan ha betydning for samarbeidet. I tillegg bør det påpekes at enkelte intervjuobjekter virker svært fornøyd med samarbeidet. Likevel er utfordringene vektlagt i denne vurderingen, og dermed tyder observasjonene på at kontraktens virkemidler for fordeling av ansvar for usikkerhet og styringsmulighet gir rom for enkelte spekulasjoner. Vurderingen av ivaretagelsen av suksessfaktoren er derfor satt til delvis.

### 4. *Tilstrekkelig fagkompetanse/kompetanseheving.*

Ifølge Bjørnar Moen (2021) bør også kontrakter med moderate innlekkasjekrav inkludere kontraktsbestemmelser som omhandler partenes kompetanse på forinjeksjon. Det fremgår av

både intervjurundene og feltobservasjonene at manglende og/eller negative erfaringer med relevante injeksjonsmetoder gir stor teknisk usikkerhet for begge kontraktsparter. Dette har medført motvilje hos entreprenør til bruk av mikroement, styrt herding og testing av hydrauliske pakkere for skjerner der tiltakene kan anses som hensiktsmessige. Byggherre har heller ikke ønsket å presse eller overtale entreprenør til å bruke slike metoder, ettersom deres prosjektroller også anser industrisement, muring og tilsetning av sagflis som velkjente løsninger.

Likevel trekker både byggherre og entreprenør frem at selskapene har et mål om å øke sin kompetanse på forinjeksjon. Ifølge prosjektleder Lars Erik Skjolden (2021) er derimot entreprenøren avhengig av at slike målsetninger fremlegges i tidlig planleggings- og kontraheringsfase. På den måten kan både entreprenør og byggherre sette av nødvendig tid og ressurser til kompetanseheving, videreutvikling og testing. Entreprenør trekker eksempelvis frem at de ønsker inkludering av flere forskningsprosjekter på forinjeksjon under prosjektgjennomføring, ettersom erfaringene trolig vil gavne begge kontraktsparter. Likevel understrekes det at eventuelle ordninger for kompetanseheving ikke kan gå utover entreprenørens ansvar for usikkerhet og inntjeningsmuligheter.

Vurderingen tilsier at kontrakten ikke ivaretar suksessfaktoren om tilstrekkelig fagkompetanse og kompetanseheving.

### **5. *Fleksibilitet i planlegging og utførelse.***

Flere av entreprenørens roller mener at kontrakten tilrettelegger for et samarbeid med byggherre om å finne frem til egnede tekniske løsninger. Blant annet påpeker injeksjonsoperatør Kjeka (2021) at byggherrens kontrollingeniører er svært interessert i stoffarbeiderens erfaringer knyttet til bruk av bestilt injeksjonsprosedyre, for deretter å foreta eventuelle justeringer.

Byggeleder Moen (2021) understreker også at det er gjort en rekke endringer av injeksjonsprosedyren underveis i prosjektgjennomføringen, med formål om å tilpasse skjermutførelsen til stedlige forhold. Foretatte justeringer omfatter endring av skjermens stikning og antall borehull, samt forsøk med ulike injeksjonsmaterialer og pakkertyper. Likevel har enkelte av entreprenørens roller en oppfatning av en lite involvert byggherre, der justeringene først kommer etter gjentatte skjerner med utilstrekkelige resultater. Dette kan tyde på at kon-

traktsforholdet ikke tilrettelegger for tilstrekkelig fleksibilitet i utførelse av injeksjonsarbeider.

Kontrollingeniør Rynningen (2021) påpeker også at det er et velkjent problem ved utførelsesentrepriser at byggherrens roller henger seg opp i detaljerte tekniske spesifikasjoner i kontrakten, som ikke nødvendigvis er av stor betydning for resultatet. Muligheter for spekulasjoner rundt taktisk prising av enkelte enheter kan også redusere byggherrens tillit til utførende part (Moen, 2021). Det fremgår ingen observasjoner eller uttalelser som tyder på at sistnevnte er et utpreget problem på Nordøyvegen. Derimot virker det som organisasjonenes tidligere erfaringer og kompetanse har vært mest begrensende for fleksibiliteten, ettersom teknisk usikkerhet har medført vegring for bruk av enkelte injeksjonsmetoder.

Samlet tilsier funnene at kontraktstrategien kun gir en delvis ivaretagelse av suksessfaktoren. Prosjektleder Skjolden (2021) tror derimot at entreprenørens motivasjon til å være løsningsorientert og håndtere den tekniske usikkerheten vil øke med større styringsmuligheter.

### 6. *Effektive team med god informasjonsflyt.*

En av fordelene med kontraktstrategien på Nordøyvegen er prosjektrollenes kjennskap til byggherrestyrte kontrakter. Dette gir klarhet i hvilke prosjektroller som sitter med beslutningsmyndighet i enkelte situasjoner, samt hvilken kontraktspart som står ansvarlig for håndtering av eventuelle avvik eller mangler. En velkjent styringsstruktur legger trolig tilrette for effektivt arbeid.

På den andre siden er det en fremtredende utfordring at prosjektrollenes oppfatning rundt optimale metodevalg er varierende. Dersom det foreligger uenigheter innad i byggherreorganisasjonen, som i dette tilfellet har styringsansvar og beslutningsmyndighet, kan det skape forvirring hos entreprenørens roller rundt hvilke metoder og tiltak som faktisk skal benyttes. På denne måten er byggherrestyrte kontrakter i stor grad avhengig av presis og tilstrekkelig informasjonsflyt, både innad i egne organisasjoner og mellom de ulike kontraktspartene. En større styringsmulighet hos entreprenør kan derimot minimere antall kommunikasjonsledd for enkelte beslutninger. Entreprenørens roller påpeker at beslutninger tilknyttet injeksjonsprosedyrene delvis er preget av misforståelser og/eller uenigheter.

Som nevnt er det også ønskelig med et større fokus på involvering av entreprenør i tidlig fase i prosjektet, for reduksjon av usikkerhet i prognoser og optimalisering av metodevalg (Skjolden, 2021). Slik involvering gjør det også enklere for entreprenør å vurdere om byggherrens estimerte mengder kan anses som realistiske, som gir større muligheter for effektiv planlegging av utførelsen av injeksjonsarbeidene opp mot annet tunnelarbeid.

Til tross for at kontraktstrategien gir en velkjent fordeling av beslutningsmyndighet, tilsi- er entreprenørens uttalelser at en begrensning av deres styringsmulighet og involvering kan redusere effektiviteten. Kontrakten ivaretar derfor ikke suksessfaktoren som omhandler ef- fektive team.

Som det fremgår av tabell 29 er ingen av de kritiske suksessfaktorene tilstrekkelig ivaretatt på Nordøyvegen. Resultatet antyder at kontraktens bruk av virkemidler ikke tilrettelegger for interes- sentenes perspektiver og injeksjonsarbeidenes karakteristikk.

Tabell 29: Kontraktstrategiens ivaretagelse av kritiske suksessfaktorer på Nordøyvegen.

| Suksessfaktor  | Vurderingsgrad |
|--|----------------|
| Balanse mellom kostnadsrammer og inntjeningsmuligheter | 2              |
| Motivasjon til oppnåelse av rett kvalitet              | 2              |
| Felles målforståelse                                   | 2              |
| Tilstrekkelig fagkompetanse/kompetanseheving           | 3              |
| Fleksibilitet i utførelse                              | 2              |
| Effektive team med god informasjonsflyt                | 3              |

## 7 Diskusjon

I dette kapittelet diskuteres hovedresultatene, og det tas sikte på å besvare siste del av oppgavens problemstilling: *Hva utgjør en optimal kontraktstrategi?* Videre er også resultatenes gyldighet og pålitelighet diskutert for å vise styrker og svakheter ved anvendt forskningsmetode.

### 7.1 Optimalisering av kontraktstrategi for injeksjonsarbeider

En optimal kontraktstrategi for injeksjonsarbeider vil redusere teknisk usikkerhet og tilrettelegge for bruk av tids- og kostnadsoptimale løsninger. I tillegg vil involverte aktører oppleve suksess, ettersom deres subjektive interesser og målsetninger tilfredsstilles.

Resultatene tilsier derimot at ingen av de evaluerte kontraktstrategiene gir tilstrekkelig ivaretagelse av alle de kriteriske suksessfaktorene, som oppsummert i tabell 30. Det er derfor videre tatt sikte på å diskutere hvilke kombinasjoner og bruk av kontraktuelle virkemidler som i større grad tilrettelegger for en optimal kontraktstrategi for injeksjonsarbeider. Det er fokusert på virkemidler som fordeler ansvar og som kan påvirke selve prosessen, fremfor virkemidler for utvelgelse av leverandør.

Tabell 30: Sammenligning og oppsummering av kontraktens ivaretagelse av kritiske suksessfaktorer. 1 = tilstrekkelig, 2 = delvis og 3 = ingen ivaretagelse.

| Suksessfaktor                              | Vurderingsgrad         |             |
|--|------------------------|-------------|
|  | Drammen-Kobbervikdalen | Nordøyvegen |
| <i>Beskrivelse:</i>                        |                        |             |
| Balanse i oppgjør og reguleringsmekanismer | 2                      | 2           |
| Insentiver til entreprenør                 | 2                      | 2           |
| Felles målforståelse                       | 2                      | 2           |
| Tilstrekkelig fagkompetanse                | 1                      | 3           |
| Fleksibilitet i planlegging og utførelse   | 2                      | 2           |
| Effektive team og kommunikasjonsflyt       | 1                      | 3           |

#### 7.1.1 Virkemidler for fordeling av ansvar

Dette delkapittelet sammenligner virkemidlene for fordeling av ansvar for de to evaluerte kontraktstrategiene, for å videre diskutere om det eksisterer kontraktuelle virkemidler som i større grad tilrettelegger for ivaretagelse av alle suksesskriteriene.

***Optimal fordeling av ansvar for styringsprosesser***

Tabell 31 oppsummerer og sammenligner fordelingen av styringsmuligheter for de to prosjektene. På Drammen-Kobbervikdalen er det entreprenørens roller som hovedsakelig står ansvarlig for styringsprosessen for injeksjonsarbeidene, til motsetning fra Nordøyvegen der ansvaret er plassert hos byggherre.

Tabell 31: Sammenligning av fordeling av styringsmuligheter for Drammen-Kobbervikdalen og Nordøyvegen.

| <b>Styringsansvar for:</b>  | <b>Drammen-Kobbervikdalen</b> | <b>Nordøyvegen</b> |
|-----------------------------|-------------------------------|--------------------|
| Målformulering              | Byggherre                     | Byggherre          |
| Planlegging og strategivalg | Entreprenør                   | Byggherre          |
| Utførelse                   | Entreprenør                   | Entreprenør        |
| Oppfølging og evaluering    | Entreprenør                   | Byggherre          |
| Resultat                    | Entreprenør                   | Byggherre          |

Dersom kontraktens fordeling av styringsmuligheter ses i sammenheng med evalueringen av de enkelte kontraktstrategiene, virker det som større styringsmuligheter hos entreprenør tilrettelegger for tilstrekkelig fagkompetanse og effektive team med god kommunikasjonsflyt. Årsaken til dette kan forklares av at byggherre må stille strengere krav til kompetanse hos utførende part for å gi fra seg styringsansvaret. Dersom byggherre opplever at entreprenør har dyktige styringsroller og tilstrekkelig kompetanse hos fagpersonell vil det trolig skape bedre tillit mellom kontraktspartene.

Videre kan det også bli viktigere for byggherre å presisere hvilke kvalitetskrav som skal oppnås dersom entreprenør skal få styringsmuligheter. Dette kan bidra til et større fokus på å formidle forinjeksjonens hensikt, og vil dermed legge til rette for felles målforståelse på tvers av organisasjonene. Prosjektleder Wiig (2021) påpeker også entreprenørens ledelse og fagarbeidere får større eierskapsfølelse til tetterresultatet dersom de i større grad involveres i planlegging og utførelse. Eierskap til leveransen kan øke entreprenørens motivasjon til å oppnå tilstrekkelige tetterresultater med optimale tekniske løsninger.

I tillegg tilsier resultatene at kommunikasjonsflyten mellom styrende og utførende prosjektruller optimaliseres ved plassering av styringsansvar hos entreprenør. Antall kommunikasjonsledd reduseres, samtidig som bedre personlig kjennskap til egne kolleger gjør det enklere å diskutere tekniske valg og løsninger (Andersen, 2021).

Samlet tilsier derfor resultatene at bruk av *totalentrepriser* utgjør den mest optimale entreprisefor- men med hensyn til injeksjonsarbeider, der prosjekteringsansvar og beslutningsmyndighet i større grad er lagt over på entreprenør. Totalentrepriser gir muligheter for tidlig involvering av utførende part, og kan bidra til valg av tekniske løsninger som er tilpasset entreprenørens kompetanse og erfaringer. Kommunikasjonsflyten optimaliseres, og det blir større fokus på å formidle målet med injeksjonsarbeidene både innad og på tvers av organisasjonene.

På den andre siden fremgår det at ansvarsfordelingen er svært avhengig av tillit og stor forståelse for kontraktpartenes ulike interesser. Det kan med andre ord virke som at suksessfaktoren som omhandler *felles målforståelse* er mer kritisk å ivareta på Drammen-Kobbervikdalen, sammenlig- net med den byggherrestyrte kontrakten på Nordøyvegen. Uten tilstrekkelig fagkompetanse hos kontrahert entreprenør er det vanskeligere å kommunisere målet og hensikten med injeksjonsar- beidene. Som prosjektleder Wiig (2021) påpeker har derfor Veidekkes tidligere erfaringer med injeksjonsarbeider hatt en svært positiv innvirkning på prosjektgjennomføringen, der det trolig vil- le oppstått flere utfordringer med en mer uerfaren entreprenør.

Videre fremgår det også at plassering av styringsmuligheter hos entreprenør byr på utfordringer når det gjelder fordeling av ansvar for kvalitetsavvik i tetteresultatet. Det kan være svært krevende å av- gjøre om ufullstendige tetteresultater skyldes geologiske forhold eller entreprenørens planlegging og utførelse. Byggherre må i slike diskusjoner henviser til usikkerheten i geologiske forhold beskre- vet i ingeniørgeologisk rapport og eventuelt andre kontraktsdokumenter. Entreprenør må derimot dokumentere at injeksjonsarbeidene er utført i samsvar med NFF sine beskrivelser i *Håndbok 06, Praktisk berginjeksjon for underjordsanlegg*. Problemet er at verken ingeniørgeologisk rapport el- ler håndboken til NFF gir klare fasitsvar på henholdsvis: 1) hvilke geologiske forhold som kan forventes og 2) hvilken injeksjonsmetodikk som er mest egnet for hver enkelt situasjon. Bygg- herrens lederroller påpeker at det derfor bør kontraktfestes et økonomisk fordelingsprinsipp som blir gjeldende dersom innlekkasjekravene ikke tilfredsstilles. Slike kontraktsbestemmelser vil være krevende å utforme, men kan begrense muligheten for kontraktuelle diskusjoner ved utilstrekkelige tetteresultater.



***Optimal fordeling av ansvar for økonomisk usikkerhet***

Tabell 32 oppsummerer og sammenligner fordelingen av økonomisk usikkerhet på de to prosjektene. Overordnet er det ingen store forskjeller i den økonomiske ansvarsfordelingen i de to evaluerte kontraktene, til tross for at benyttet oppgjørsform og reguleringsmekanismer er forskjellige. Bane NOR og MRFK bærer risiko for kostnadsoverskridelser og avvikende grunnforhold, mens Skanska og Veidekke bærer risiko for å sette dekkende enhetspriser eller rundsummer.

Tabell 32: Sammenligning og oppsummering av fordeling av ansvar for usikkerhet på Drammen-Kobbervikdalen og Nordøyvegen.

| <b>Økonomisk ansvar for:</b>                  | <b>Nordøyvegen</b> | <b>Drammen-Kobbervikdalen</b> |
|---|--------------------|-------------------------------|
| 1) Overskridelser av mengde- og tidsprognoser | Byggherre          | Byggherre                     |
| 2) Kvalitetsavvik i tetteresultat             | Byggherre          | Entreprenør/byggherre (*)     |
| 3) Dekkende enhetspriser/rundsum              | Entreprenør        | Entreprenør                   |
| 4) Avvik i geologiske forhold                 | Byggherre          | Byggherre                     |

\*avhengig av om kvalitetsavvik skyldes mangler ved styring/utførelse eller avvikende geologiske forhold.

Oppgavens resultater tilsier derimot at ingen av oppgjørsformene gir tilstrekkelig balanse mellom byggherrens behov for kostnadskontroll og entreprenørens inntjeningsmuligheter. En slik manglende balanse kan motivere til taktiske valg av tekniske løsninger som gavner én av kontraktens parter, uten at valget nødvendigvis tilrettelegger for prosjektets samlede mål. Det bør med andre ord vurderes om det eksisterer virkemidler for fordeling av økonomisk ansvar som gir bedre forutsetninger for ivaretagelse av de kritiske suksessfaktorene. Det er derfor nødvendig å se nærmere på de avdekkede utfordringene knyttet til bruk av enhetspriser og rundsummer med tilhørende reguleringsmekanismer:

- *Enhetspriser og ekvivalenttidsregnskap.*

Bruk av enhetspriser gir ingen direkte insentiv til å være ressursbesparende og kostnadseffektiv i utførelsen av injeksjonsarbeidene (Skjolden, 2021). Tvert imot viser beregningene i resultatkapittel 5.2.4 at dekkende enhetspriser for både mengder og tidsforbruk kan øke entreprenørens inntjeningsmuligheter ved et større ressursforbruk.

Ekvivalenttidsregnskapet skal bidra til å forhindre et unødvendig tidsforbruk fra entreprenørens side, samt sørge for tidskompensasjon ved krevende geologiske forhold. Dersom den bereg-

nede kompensasjonen derimot ikke er tilstrekkelig dekkende for ekstratiden som medgår i krevende bergforhold, vil reguleringsmekanismen bli en falsk trygghet for entreprenøren (Olsen, 2021) (Verling & Neraal 2020).

- *RS med reguleringsmekanismer*

På Drammen-Kobbervikdalen virker både byggherre og entreprenør fornøyd med hvordan oppgjørsformens prinsipper fordeler den økonomiske usikkerheten mellom kontraktspartene (Wiig, Aakre, 2021). Bruk av RS gir et økt insitament til valg av kostnadseffektive løsninger for entreprenør, samtidig som reguleringsmekanismen forhindrer at utførende part bærer risiko for kostnadsoverskridelser.

Reguleringsmekanismen som er anvendt på prosjektet fjerner derimot deler av entreprenørens insitament til å være ressursbesparende (Sveinsson, 2021). For å bevare insitamentet bør derfor ikke entreprenørens inntjeningsmulighet stige etter passering av fastsatt målkostnad/rundsum.

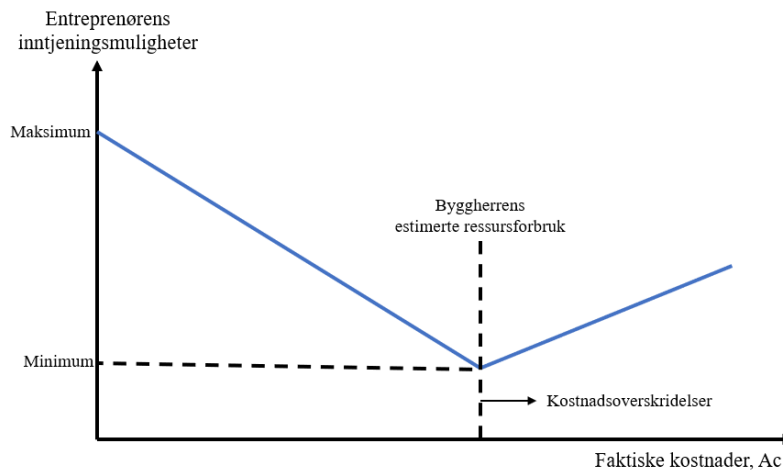
- *Taktisk prising/mengdeestimering.*

Begge oppgjørsformene tilrettelegger også for mulig taktikk i både prising og mengdeestimering. I kontrakten for Nordøyvegen, der estimerte mengder for mikrosegment er svært mye lavere enn mengdene for industrisement, kan entreprenør fristes til å sette en høy enhetspris mikrosegment (Dammyr, 2021). Deretter kan entreprenør forsøke å påvirke utførelsen slik at det generelt benyttes enheter med gunstigst pris.

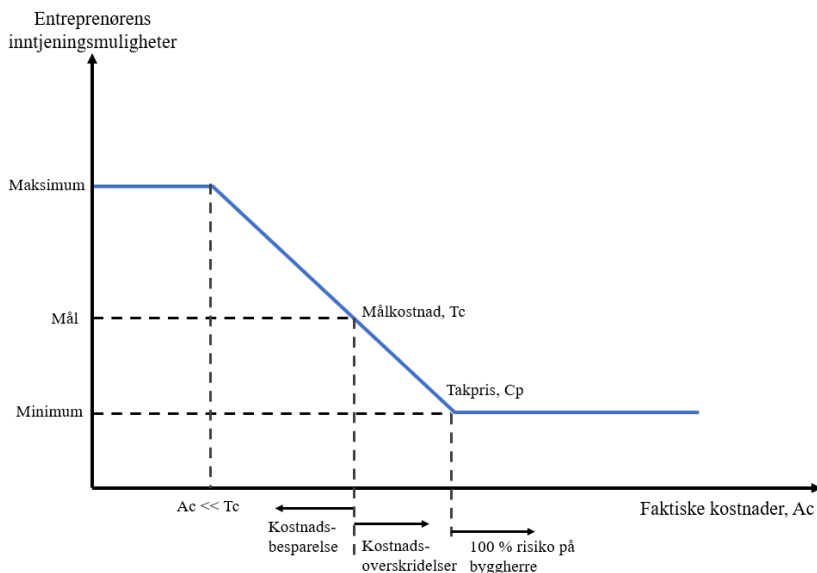
Kontrakten på Drammen-Kobbervikdalen gir entreprenør mulighet for taktisk prising av rater i reguleringsmekanismen for overskridende mengder (Sveinsson, 2021). På den måten blir det økonomisk gunstig for entreprenør å overskride kontraktens estimerte ressursforbruk, dersom faktisk forbruk nærmer seg prognosene. Tilsvarende kan bruk av RS påvirke byggherre til å oppgi urealistiske mengder i konkurransegrunnlaget for å sikre en lav fastpris.

Sett i sammenheng med de ulike oppgjørsformene og insentivordningene presentert i teorigapittel 2.2.4, kan det med bakgrunn i avdekkede interesser virke som *kost pluss med insentiver*, KPI, kan utgjøre en mer optimal oppgjørsform for injeksjonsarbeider. Oppgjørsformen bruker en form for regningsarbeid etter overskridelser av en fastsatt takpris,  $C_p$ , som forhindrer at entreprenørens inntjeningsmuligheter øker i takt med kostnadsoverskridelsene (Ward & Chapman 1995). På denne

måten bevares også insitamentet til entreprenør om å være kostnadseffektiv og ressursbesparende. Figur 49 illustrerer prinsippet for KPI mot oppgjørsformen benyttet på Drammen-Kobbervikdalen. Videre kan KPI også begrense den økonomiske usikkerheten til entreprenør dersom grensen for *minimal* inntjening er tilstrekkelig og sikrer økonomisk gevinst. På tilsvarende måte kan byggherres økonomiske risiko reduseres ved å fastsette en *maksimal* grense for entreprenørens inntjening, slik at den økonomiske fordel av besparelser fordeles mellom de to kontraktspartene.



(a) Oppgjørsform på Drammen-Kobbervikdalen.



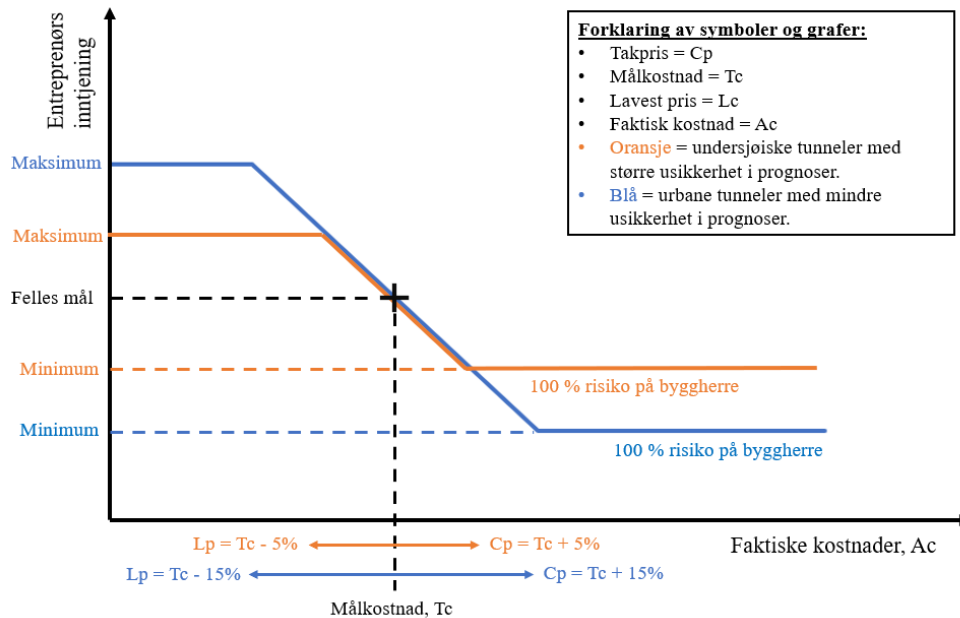
(b) Prinsippet for bruk av KPI.

Figur 49: Sammenligning av oppgjørsform og reguleringsmekanisme på Drammen-Kobbervikdalen og bruk av prinsippet KPI.

En av utfordringene med KPI er å avgjøre den %-vise avstanden mellom grensene for maksimal og minimal inntjeningsmulighet i forhold til prosjektets målkostnad,  $T_c$ . For å forhindre plassering av ugunstig økonomisk risiko på begge kontraktsparter, kan intervalllets størrelse reflektere usikkerheten i prosjektets estimerte ressursforbruk. Omfanget av utførte forundersøkelser, samt i hvilken grad undersøkelsesresultatene er egnet til å tolke bergmassens hydrauliske egenskaper og beregne nødvendig ressursforbruk, blir essensielt for fastsettelse av grenseverdiene. Oppgjørsformen kan derfor tilpasses det aktuelle undergrunnsprosjektet på følgende måte:

- Undersjøiske tunneler, som på Nordøyvegen, er ofte knyttet til større usikkerhet i prognoser på bakgrunn av reduserte muligheter for forundersøkelser (Nilsen & Palmstrøm 2017). Takprisen,  $C_p$ , bør derfor utgjøre en verdi uten stor differanse til målkostnaden,  $T_c$ . Eksempelvis kan en overskridelse av  $T_c$  med 5 % medføre at byggherre bærer 100 % risiko for påfølgende mengder. Bakgrunnen for en relativt liten differanse mellom målkostnad og takpris er at det vil være mer krevende for entreprenør å avgjøre om byggherrens estimerte ressursforbruk er realistisk på prosjekter med et redusert omfang av forundersøkelser.
- For urbane prosjekter som Drammen-Kobbervikdalen vil derimot entreprenør som regel ha et bedre vurderingsgrunnlag for å avgjøre om estimerte prognoser er realistiske. Entreprenørens minimale inntjeningsmulighet, som tilsvarer  $C_p$ , kan dermed stå i større kontrast til målprisen,  $T_c$ . Eksempelvis vil det kreves en overskridelse på hele 15 % av  $T_c$  før byggherre bærer 100 % risiko for videre ressursforbruk.

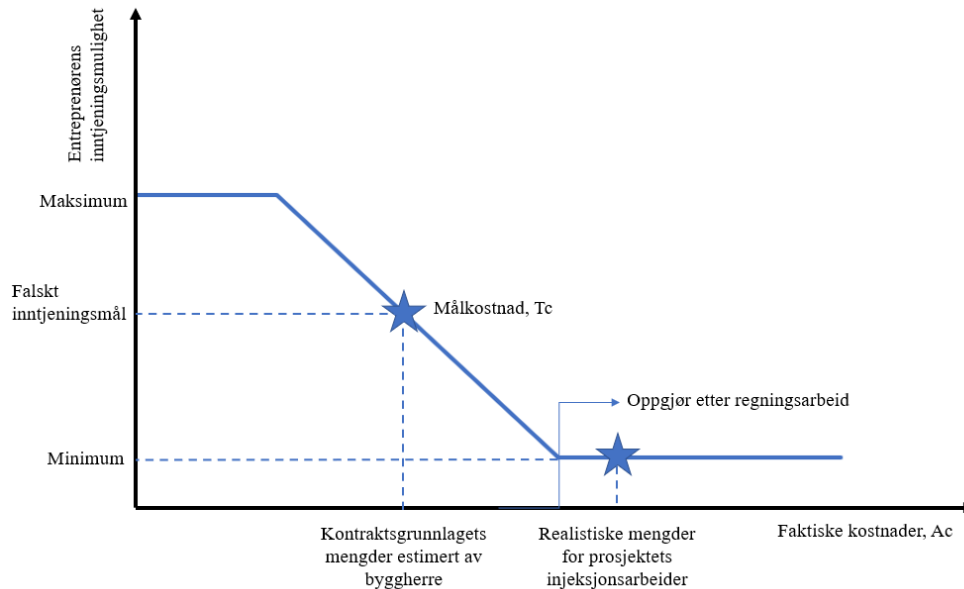
Eksemplet på bruk av ulike grenseverdier for maksimal og minimal inntjeningsmulighet, avhengig av usikkerhet tilknyttet injeksjonsomfang, er illustrert i figur 50. Som det fremgår av figuren, begrenses også byggherrens økonomiske risiko som funksjon av deres mulighet til å frembringe realistiske prognoser. Med andre ord bør entreprenørens maksimale inntjeningsmulighet settes nærmere målkostnaden for prosjekter med stor usikkerhet i prognoser.



Figur 50: Ulike maksimale og minimale inntjeningsmuligheter som følge av graden av usikkerhet i prognoser for ressursforbruk. Oransje beskriver undersjøiske tunneler og blå beskriver urbane tunneler.

Til tross for flere fordeler med oppgjør etter KPI-prinsippets fordeling av økonomisk usikkerhet, fjerner ikke oppgjørformen muligheter for taktikk i mengdeestimering. Dersom byggherre anser det kostnadmessig gunstig å raskt nå entreprenørens minimale inntjeningsmulighet, slik at oppgjøret videre beregnes av regningsarbeid, kan de fristes til å oppgi urealistisk lave mengder i konkurransegrunnlaget. En taktisk mengdeestimering gir entreprenøren en falsk oppfatning av deres inntjeningsmuligheter, som vist av figur 51.

På den andre siden krever trolig KPI et tettere samarbeid med tidlig involvering av kontrahert entreprenør for å bli enig om målpriser og grenseverdier. Et slikt samarbeid om en felles målkostnad/målpris for injeksjonsarbeidene kan bidra til å redusere entreprenørens usikkerhet rundt taktisk mengdeestimering. Oppgjørformen fjerner i tillegg entreprenørens mulighet for taktisk prising av overskridende mengder (til motsetning fra kontrakten på Drammen-Kobbervikdalen), ettersom reguleringsmekanismen sørger for konstante inntjeningsmuligheter etter passering av takpris.



Figur 51: Byggherrens mulighet for taktisk mengdeestimering som gir entreprenør falske mål om inntjeningsmuligheter ved bruk av KPI.

### 7.1.2 Virkemidler for prosess

Flere av de kritiske suksessfaktorer kan påvirkes positivt ved bruk av virkemidler for prosess. Utradisjonelle kontraktbestemmelser kan øke insitamentet til entreprenør, og tilrettelegge for bruk av teknisk krevende metoder (Lædre 2013). Ved å skape et vann-vinn-spill er det også større sannsynlighet for oppnåelse av felles målsetninger, samtidig som interessentenes subjektive perspektiver ivaretas (Turner 2004).

Det fremgår fra intervjurundene at roller fra begge prosjekter er interessert i større inkludering av insitamentordninger i kontrakten, så lenge disse er tilstrekkelig gjennomtenkt i sin utforming. Blant annet fremkommer det forslag om bøter som ilegges entreprenør dersom tetteresultatet ikke er tilstrekkelig. Slike ordninger er derimot både roller hos entreprenørene og byggherrene skeptiske til, ettersom det kan lede til at entreprenør kan spekulere i økonomiske fordeler av å drive raskt gjennom en sone og ta boten. Videre vil bøter også være en dobbelt straff dersom entreprenør er satt ansvarlig for kostnadene tilknyttet forbedrende tiltak, som eksempelvis etterinjeksjon eller vanninnfiltrasjon til grunnen. Det virker derfor mer hensiktsmessig med en kontrakt som tydelig definerer økonomisk ansvar for kvalitetsavvik, samt benyttelse av bonusordninger som gir økono-

misk gevinst ved oppnåelse av gode tetteresultater.

Utforming av målrelaterte bonusordninger må ta høyde for kvalitetskrav og HMS. Eksempelvis kan bonusen utløses ved sluttoppgjør dersom entreprenør har tilfredsstilt fastsatte innlekkasjekrav, der størrelsen på summen beregnes som følge av oppnådd reduksjon i totalt tidsforbruk og ivaretagelse av HMS-mål for injeksjonsarbeidene. Det overordnede prinsippet for en slik ordning er beskrevet i tabell 33, der bonusverdiene  $\text{sum } 1 > \text{sum } 2 > \text{sum } 3$ .

Tabell 33: Eksempel på bonusordning beregnet av oppnådd tidsbesparelse og oppnåelse av HMS-mål. Bonus utløses kun ved tilfredsstillelse av kontraktens innlekkasjekrav.

| <b>Tidsbesparelse</b> | <b>HMS-mål</b>            | <b>Størrelse på bonus</b> |
|-----------------------|---------------------------|---------------------------|
| <i>Tidsintervall</i>  | <i>Beskrivelse av mål</i> | <i>Bonusverdi</i>         |
| Stor besparelse       | Alle HMS-mål              | Sum 1                     |
| Mindre besparelse     | Alle HMS-mål              | Sum 2                     |
| Liten besparelse      | Alle HMS-mål              | Sum 3                     |

Det er spesielt viktig at insitamentordningen gir en *ekstra* økonomisk gevinst. Med andre ord bør ikke bonusen knyttes direkte til valgt oppgjørsform, slik at det unngås å gi *dobbel* straff dersom entreprenøren ikke klarer å redusere tidsforbruket. Videre er også ordningen avhengig av at kontraktsparten som fastsetter bonusgrensene angir realistiske estimater for mulig tidsreduksjon og HMS-mål. Dette betyr at entreprenør må ha en reell sjanse til å oppnå bonus, dersom ordningen skal ha en virkning på deres motivasjon.

Bonussummen kan beregnes ved å se på det estimerte totale tidsforbruket mot faktisk forbruk ved prosjektgjennomføring. Ordningen forutsetter gode prognoser, og det kan derfor være krevende å fastslå reelle verdier for tidsreduksjon. Det kan derfor være mer hensiktsmessig å vurdere entreprenørens tidsforbruk per skjerm sammenlignet med standardiserte kapasiteter for pumpetid, herdetid og boring. På bakgrunn av avdekkede problemer med bruk av kapasiteter for boring i varierende grunnforhold, kan det være hensiktsmessig at det kun er pumpe- og herdetid som inngår i ordningen. På den måten utelukkes problemet med tidsavregning som følge av skjemboring i redusert bergkvalitet. Prinsippet er forklart i tabell 34, der entreprenør og byggherre blir enige om standard kapasiteter for pumpe- og herdetid, og videre kontrollerer %-andelen av utførte skjerner i henhold til kapasitetene. Bonusverdien blir dermed en funksjon av antallet skjerner som kan anses

som vellykket.

Tabell 34: Eksempel på bonusordning som standard kapasiteter for utelukkende pumpe- og herdetid.

| <b>Standard kapasitet for pumpe- og herdetid</b> | <b>Antall skjermer innenfor standard kapasitet</b> | <b>Bonus</b> |
|--|--|--------------|
| [enhet/time]                                     | [%]  | [kr]         |

Videre kan hensikten med å inkludere kontraktbestemmelser om *samspill* diskuteres. Til tross for at det i realiteten er opp til kontraktspartene å skape et godt samarbeid, kan kontraktbestemmelsen øke bevissthet rundt hvor viktig det er med felles målforståelse for å lykkes med injeksjonsarbeidene (Grøv 2012a). Virkemiddelet ”tvinger” kontraktspartene til å ta stilling til hverandres perspektiver, og kan trolig også påvirke byggherren til å inkludere entreprenør i en tidlig fase av prosjektet. Kontraktbestemmelser om samspill kan derfor anses som et virkemiddel som bringer frem primærinteressentenes perspektiver og tilrettelegger for ivaretagelse av de kritiske suksessfaktorene for injeksjonsarbeider.



### 7.2 Resultatenes gyldighet og pålitelighet

Det er foretatt en vurdering av resultatenes *interne* og *eksterne* gyldighet. Resultatenes interne gyldighet omhandler tolkningen og forklaringen av resultatene, mens den eksterne gyldigheten går ut på om resultatene kan anses som generaliserende (Jacobsen 2015). Ettersom de definerte suksessfaktorene legger grunnlaget for vurderingen av kontraktstrategiene, er deres gyldighet hovedsakelig evaluert.

I tillegg er det vurdert om datagrunnlaget er påvirket av anvendt forskningsmetode, som videre kan ha innvirkning på påliteligheten til resultatene som omhandler kontraktens ivaretagelse av kritiske suksessfaktorer.

#### 7.2.1 Resultatenes interne gyldighet

Resultatene i denne oppgaven baserer seg på å vurdere kontraktstrategienes ivaretagelse av seks definerte suksessfaktorer. Det bør derfor diskuteres om de identifiserte suksessfaktorene, avledet av utførte analyser av prosjektkarakteristikk og interesser, er gyldige. Dette kan gjøres ved å diskutere om anvendt analyseverktøy faktisk kan benyttes til å identifisere slike suksessfaktorer.

##### 1. *Analyse av prosjektkarakteristikk*

Analysen av prosjektkarakteristikk benytter eksisterende definisjoner av karakteristikk som kan knyttes til utfordringer på et bestemt prosjekt. Analyseverktøyet er dermed et godt hjelpemiddel for å sette prosjektets utfordringer i et definert system, slik at ulike problemstillinger knyttet til injeksjonsarbeider kategoriseres. Ifølge Hussein (2016) fremgår det også tydelige sammenhenger mellom prosjektsuksess og etterlevelse av kritiske suksessfaktorer. Teoriens sammenheng baserer seg på et studie av over 30 ulike prosjektcaser, og kan derfor anses som reell. På denne måten er analyser av prosjektkarakteristikk egnet for å avdekke kritiske suksessfaktorer.

##### 2. *Interessentanalyse*

Tilstrekkelige analyser av involverte aktørers muligheter til å påvirke og bli påvirket av injeksjonsarbeidene bidrar til å avdekke deres interesser. Til tross for at det er vanskelig å definere suksesskriterier som er gjeldende for hele prosjektgjennomføringen (Hussein 2016), gir en

kartlegging av interessentenes perspektiver større forutsetninger for å få forståelse for subjektive målsetninger. Med en oversikt over spesielt primærinteressentenes mål er det også enklere å avgjøre hvilke interesser kontraktsforholdet skal ivareta. En interessentanalyse er dermed et nyttig verktøy for å identifisere kritiske suksessfaktorer.

Det kan videre diskuteres om evalueringen av de ulike kontraktstrategiene etter tilsvarende suksessfaktorer er riktig ettersom hensikten med injeksjonsarbeidene er ulik for de to prosjektene. Som det fremgår av syntesen i resultatkapittel 6.1.1, er tre av karakteristikkenes som i størst grad preger injeksjonsarbeider sammenfallende for de to prosjektene. Dette styrker gyldigheten til bruk av identiske suksessfaktorer for evaluering av de ulike kontraktstrategiene.

Videre er det også avdekket at suksessfaktorer som i teorien tilhører enkelte karakteristikker, vil ha positiv innvirkning på oppnåelse av flere suksesskriterier. Sammenlignet med teoriens fremstilling er det derfor mer flytende hvilke suksessfaktorer som sikrer prosjektsuksess. Det er derfor ansett hensiktsmessig å fremstille egendefinerte kritiske suksessfaktorer, som samlet tilfredsstillende alle de kartlagte målkriteriene.

Analysen avdekker også målrelaterte kriterier som sammenfaller med Grøv (2012a) sin beskrivelse av hvilke suksesskriterier som generelt pleier å være gjeldende ved utbygging av undergrunnsanlegg. Det er med andre ord ingen markante avvik mellom tidligere erfaringer med viktige suksesskriterier presentert i teorien, og forskningsstudiets resultater som gjelder kun injeksjonsarbeider.

### **7.2.2 Resultatens eksterne gyldighet**

For å vurdere den eksterne gyldigheten er resultatene av analysene diskutert opp mot eksisterende teori, som beskriver tidligere erfarte problemer med forinjeksjon og generelle interesser for to kontraktsparter. Dersom oppgavens resultater sammenfaller med tidligere beskrivelser av utfordringer (karakteristikker) og kontraktpartenes perspektiver (interesser) er det større grunn til å anta at suksessfaktorene er gyldige for flere undergrunnsprosjekter med injeksjonsarbeider.

#### *1. Analyse av prosjekt-karakteristikk*

Flere av problemene som beskrives av intervjuobjektene samsvarer med litteraturens beskrivelse av tidligere erfarte utfordringer knyttet til injeksjonsarbeider. Eksempelvis trekker

Grøv & Woldmo (2012) frem hvordan vanninnstrømning til bergrom kan ha store konsekvenser for tunnelprosjekters tids- og kostnadsrammer. Dette samsvarer med byggherrenes og entreprenørenes beskrivelse av hvor avgjørende usikkerheten knyttet til kontraktens prognoser er for prosjektets fremdrift og ressursforbruk.

Videre tilsier også resultatene at forinjeksjon er en kompleks prosess, der flere intervjuobjekter spesielt påpeker at det er svært krevende å fastslå hvilke tekniske metoder som utgjør fasitsvaret for enkeltskjerner. Dette resultatet sammenfaller spesielt med NFF (2010) og Klüver & Kveen (2004) sine beskrivelser av hvordan forinjeksjon bør utføres. Litteraturen er av svært anbefalende karakter når det gjelder hvilke metoder som bør benyttes ved forinjeksjon i ulike forhold, til tross for at det gis en rekke detaljerte tekniske beskrivelser av material- og metodevalg. Forinjeksjon blir derfor en kompleks anleggsprosess, ettersom valg av tekniske løsninger kontinuerlig må vurderes opp mot en rekke ulike varierende faktorer.

Resultatene fra analyse av prosjektkarakteristikk virker dermed å være generaliserende for undergrunnsprosjekter med forinjeksjon inkludert i tettestrategien, og det bør derfor tilrettelegges for håndtering av utfordringer tilknyttet de tre karakteristikkene: *usikkerhet*, *størrelse* og *kompleksitet*. På denne måten kan selve injeksjonsprosessen optimaliseres med hensyn til tid og mengder, samtidig som tetteresultatet med større sannsynlighet blir tilstrekkelig.

### 2. Interessentanalyse

Det teoretiske perspektivet til de to kontraktspartene, presentert av Lædre (2013), går ut på at byggherre ønsker mest mulig for lavest mulig pris. Entreprenør vil derimot gjøre minst mulig for størst mulig kompensasjon. For injeksjonsarbeider virker det derimot som perspektivene til primærinteressentene er mer nyansert:

- Byggherre er ikke interessert i et tetteresultat med en bedre kvalitet enn det som er nødvendig, ettersom dette potensielt øker mengde- og tidsforbruk. Kvaliteten på entreprenørens leveranse trenger med andre ord ikke være bedre enn det som beskrives i kontrakten.
- Entreprenør er også svært interessert i å levere et produkt til rett kvalitet, både for å sikre at oppdragsgiver blir fornøyd og for å oppnå et strategisk utbytte ved senere

kontraheringskonkurranser.

Til tross for at primærinteressentenes suksesskriterier er mer nyansert enn enkelte fremstillinger i teorigrunnlaget, er det også mange overordnede likhetstrekk. Det fremgår tydelig fra intervjurundene at et av de primære målene til entreprenøren er å få betalt for arbeidet som faktisk utføres. Videre står det også svært sentralt hos byggherre at kvaliteten på leveransen skal være tilstrekkelig, samtidig som totalkostnadene må begrenses.

Vurderingen av resultater opp mot teori tilsier at identifiserte kritiske suksessfaktorer har en ekstern gyldighet, altså er de gjeldende for flere undergrunnsprosjekter enn casene presentert i denne oppgaven.

Det er likevel viktig å påpeke at prosjektet på Drammen-Kobbervikdalen ikke kan anses som en fullverdig totalentreprise, ettersom ytelsesbeskrivelsen er basert på mengdebeskrivelser estimert av byggherre, samtidig som kontrakten inneholder en rekke *skal*-krav fremfor *bør*-krav. Med andre ord bør det undersøkes nærmere om definerte suksessfaktorer er gyldige for totalentrepriser der entreprenør bærer mer ansvar og økonomisk risiko.

### 7.2.3 Datagrunnlaget og resultatenes pålitelighet

Det kvalitative datagrunnlaget baserer seg hovedsakelig på utførte intervjuer og feltobservasjoner. Påliteligheten vil dermed være avhengig av hvordan uttalelsene til de ulike intervjuobjektene er vektlagt, samt hvilke prosjektroller som er intervjuet.

Det har vært fokus på å inkludere flere *ulike* prosjektroller, både fagarbeidere og funksjonærer, med den hensikt å få frem ulike perspektiver på injeksjonsarbeidene. Dette styrker datagrunnlaget og resultatenes pålitelighet. På den andre siden har de fleste intervjuobjekter lang erfaring med forinjeksjon, som kan ha utslag på vurdering av kontraktens ivaretagelse av suksessfaktoren *tilstrekkelig fagkompetanse*. Det kan med andre ord diskuteres om intervjuobjektene kunnskap er representativ for andre personer med tilsvarende ansvarsrolle/beslutningsmyndighet på prosjektet.

Under de ulike analysene av det kvalitative datagrunnlaget er begge kontraktsparter hensyntatt og forsøkt å vektlegges på lik måte. Det kan likevel trekkes frem at feltarbeidet ble tilrettelagt fra entreprenørens side. Innsamling av datagrunnlag via samtaler med deres prosjektroller og observasjoner

av deres arbeid kan derfor være delvis overrepresentert. Feltobservasjoner har likevel gitt muligheter til å gjøre egne vurderinger med hensyn til fordeling av styringsmuligheter på prosjektene, samt kontrollere eventuelle påstander og utsagn fra intervjuobjektene. Dette styrker resultatenes pålitelighet.

For vurderingen av fordeling av økonomisk usikkerhet er det benyttet data fra eksisterende injeksjonsrapporter. For det første representerer ikke disse dataene alle injeksjonsarbeider på prosjektet, ettersom tunnelene fremdeles er under driving. I tillegg er det hovedsakelig benyttet industrisement ved forinjeksjon på begge samferdselsprosjektene. Det kvantitative datagrunnlaget for skjerm utført med mikrosegment er dermed betydelig mindre, som kan påvirke sammenligningsgrunnlaget for vurdering av kostnadseffektivt valg av injeksjonsmateriale.

Likevel viser datagrunnlaget fra begge prosjekter at en skjerm med mikrosegment går raskere, samtidig som flere prosjektroller påpeker at mikrosegment generelt har en kortere herdetid enn industrisement. Datagrunnlaget sammenfaller også med presentert teori (Garshol 2017). Samlet kan derfor analysene av hvilket injeksjonsmateriale som er kostnadseffektivt anses som pålitelig.

### **7.3 Videre arbeid**

For videre arbeid er det interessant å samle inn et datagrunnlag fra flere utførte undergrunnsprosjekter for å evaluere hvordan kontraktstrategien påvirker injeksjonsarbeidene og ivaretar interessentenes perspektiver. I en slik undersøkelse kan det være spesielt viktig å se nærmere på undergrunnsprosjekter der injeksjonsarbeidene er direkte årsak til konflikt mellom kontraktspartene. På den andre siden kan prosjekter med opplevelse av suksess bringe klarhet i hvilke av de kritiske suksessfaktorer som i høyest grad er essensielle å ivareta.

I tillegg kan det være nødvendig å se nærmere på hvilken kombinasjon av virkemidler for utvelgelse av leverandør som i størst grad tilrettelegger for suksess ved injeksjonsarbeider. Spesielt bruk og vektning av ulike tildelingskriterier bør undersøkes nærmere. Dette vil kreve tilstrekkelig innsikt i ulike konkurransegrunnlag, gjerne for flere prosjekter der hensikten med injeksjonsarbeidene er varierende.

Det bør videre undersøkes om teoretisk optimale metoder er kostnadseffektive i praksis, eller om

det fremdeles er stor teknisk usikkerhet knyttet til anvendelsen av slike løsninger. Dette vil kreve tilstrekkelig feltarbeid med observasjoner av forinjeksjon med ulike materialer og utstyr. Prosjektrollenes opplevelse av bruk av de ulike metodene bør også kartlegges nærmere. En slik forskningsstudie kan bidra til avdekking av viktige områder for kompetanseheving; både blant byggherreorganisasjoner og entreprenørselskap.

## 8 Konklusjoner

Den anvendte forskningsmetoden har ledet frem til flere hovedfunn som oppsummeres kort i dette kapitlet. Avslutningsvis foreslås videre arbeid i tilknytning til disse funnene.

### 8.1 Hovedfunn

Hovedfunnene kan deles inn i tre kategorier som omhandler: 1) identifiserte kritiske suksessfaktorer, 2) kontraktstrategienes ivaretagelse av kritiske suksessfaktorer og 3) optimalisering av kontraktstrategi for injeksjonsarbeider.

#### 8.1.1 Kritiske suksessfaktorer for injeksjonsarbeider

Kontraktgrunnlaget bør tilrettelegge for ivaretagelse av seks kritiske suksessfaktorer:

1. Balanse i oppgjør.
2. Insentiver til entreprenør.
3. Felles målforståelse.
4. Tilstrekkelig fagkompetanse.
5. Fleksibilitet i planlegging og utførelse.
6. Effektive team med god informasjonsflyt.

Etterlevelse av de seks faktorene ved gjennomføring av injeksjonsarbeider vil sikre oppnåelse av interessentes subjektive suksesskriterier, samt håndtere utfordringer knyttet til den tekniske utførelsen.

#### 8.1.2 Kontraktstrategienes ivaretagelse av kritiske suksessfaktorer

Kontraktstrategien på Drammen-Kobbervikdalen tilrettelegger for ivaretagelse av suksessfaktorene *tilstrekkelig fagkompetanse* og *effektive team med god informasjonsflyt*, i motsetning til kontraktstrategien på Nordøyvegen som ikke ivaretar disse faktorene tilstrekkelig.

Resterende suksessfaktorer er kun delvis ivare tatt av de to evaluerte kontraktstrategiene.

### 8.1.3 Optimalisering av kontraktstrategi

Sammenligning og evaluering av to ulike kontraktstrategier tilsier at følgende kontraktuelle virkemidler bør benyttes for å tilrettelegge for suksess ved injeksjonsarbeider:

- Styringsmuligheter og prosjekteringsansvar for injeksjonsarbeider bør plasseres hos entreprenør ettersom det tilrettelegger for:
  - Tidlig involvering av utførende part og valg av optimale tekniske løsninger.
  - Et økt fokus på kompetanseheving og formidling av injeksjonsarbeidernes hensikt.
  - Eierskapsfølelse til tetteresultat hos utførende part.
- Oppgjør etter prinsippet *Kost pluss med insentiver* (KPI) vil være hensiktsmessig for injeksjonsarbeider ettersom:
  - Entreprenør får et økt insentiv til å være kostnadseffektiv og ressursbesparende.
  - Økonomisk risiko for overskridelser av mengder plasseres hos byggherre.
  - Reguleringsmekanismen begrenser entreprenørens mulighet for taktisk prising.
  - Oppgjørsformen kan tilrettelegge for tidlig inkludering av kontrahert entreprenør, tettere samarbeid og felles økonomisk målforståelse.
- Bruk av insitamentordninger kan gi et redusert ressursforbruk og skape felles målforståelse dersom det benyttes bonusordninger som ivaretar:
  - HMS- og kvalitetskrav.
  - Entreprenørens inntjeningsmulighet regulert av oppgjørsform.

For videre arbeid mot en optimal kontraktstrategi for injeksjonsarbeider bør det foretas en vurdering av: 1) flere kontraktsforhold benyttet på utførte utbyggingsprosjekter, 2) bruk og vektning av tildelingskriterier og 3) teoretisk optimale injeksjonsmetodikkens kostnadsbesparende effekt i praksis.



## Referanser

- Ahsan, K. & Matsukawa, H. (2012), 'Project price modeling by optimal fixed price incentive contract'. *Proceedings of the 2012 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. Istanbul, Turkey, July 3-6, 2021. s. 1971-1980.
- Andersen, E. S., Grude, K. V., Haug, T., Katagiri, M. & Turner, J. R. (2004), 'Goal directed project management: effective techniques and strategies'. 3. utg. London: Kogan Page.
- Anskaffelsesloven (2017), 'Lov om offentlige anskaffelser', Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2016-06-17-73>. (Hentet: 17.03.21).
- Arnesen, F. (2012), 'The Consultant's Contribution in a Tunnel Contract'. Nilsen F., Haug R. G., Grøv E. (red.) *Publication 21: Contracts in Norwegian Tunneling*. Oslo: NFF, s. 57-59.
- Bane NOR (2018), 'Om Bane NOR', Tilgjengelig fra: [https://www.banenor.no/Om-oss/Om\\_Bane-NOR/](https://www.banenor.no/Om-oss/Om_Bane-NOR/). (Hentet: 25.02.21).
- Bane NOR (2019), 'Vedlegg B - Vederlaget'. Kontraktgrunnlag: Vestfoldbanen Drammen-Kobbervikdalen, Totalentreprise, UDK 01 Bergtunnel og dagsoner Skoger.
- Bane NOR (2020a), 'Drammen-Kobbervikdalen', Tilgjengelig fra: <https://www.banenor.no/drammen-kobbervikdalen>. (Hentet: 25.02.21).
- Bane NOR (2020b), 'Teknisk regelverk', Tilgjengelig fra: <https://trv.banenor.no/wiki/Tunneler>. (Hentet: 25.02.21).
- Beitnes, A. (2002), 'Lessons to be learned from long railway tunnels'. i *Publication 12: Water Control*. NFF, s. 51-57.
- Byggesaksforskriften (2010), 'Forskrift om byggesak', Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2010-03-26-488>. (Hentet: 22.05.21).
- Dragstad, A., Hansen, L. & Braathen, A. (2003), 'Hydrauliske egenskaper i løsmasser og fjell sett i sammenheng med EU-direktivet for deponering av avfall'. (Rapport 2003.016). NGU.
- Forslund, T. (1988), 'Kartlegging av forkastninger og bruddsoner i berggrunnen i Møre og Romsdal Fylke.'. (Rapport nr. 88.219). NGU.
- Garshol, K. (2017), 'Mælefjelltunnelen gjenstående 628 m driving - Optimalisering av forinjeksjon'. Teknisk rapport, KGRE.
- Garshol, K. F. (2003), 'Pre-Excavation Grouting in Rock Tunneling'. MBT International Underground Construction Group, Division of MBT (Switzerland).

- Grøv, E. & Woldmo, O. (2012), 'Modern pre-grouting technology in Norway'. *Proceeding of the Fourth International Conference on Grouting and Deep Mixing*. New Orleans, 2012. American Society of Civil Engineers, s. 805-815.
- Grøv, E. (2012a), 'Contract Philosophy in Norwegian Tunneling'. Nilsen F., Haug R. G., Grøv E. (red.) *Publication 21: Contracts in Norwegian Tunneling*. Oslo: NFF, s. 15-21.
- Grøv, E. (2012b), 'Norwegian contract practice suitable also for dealing with unexpected geological conditions. Three project examples.'. Nilsen F., Haug R. G., Grøv E. (red.) *Publication 21: Contracts in Norwegian Tunneling*. Oslo: NFF, s. 61-68.
- Grøv, E. (2020), 'Rock mass grouting'. *TGB4190, Ingeniørgeologi - Berg, videregående kurs*.
- Grøv, E., Morgan, E. K., Bohloli, M., Skjølvold, O. & Hogestad, H. O. (2018), 'Strength and filtration stability grouts at room and true tunnelling temperatures'. *Tunneling and Underground space Technology*, **71**(91), s. 193-200.
- Grøv, E. & Woldmo, O. (2012), 'Planning for water inflow control in tunnels and caverns'. Zhou Y., Cai J. and Sterling R. (red.) *Advances in Underground Space Development*. Vol. 1. Research Publishing Services, s. 1-9.
- Gustafson, G. (2009), *Hydrogeologi för bergbyggare*, 1. utgave, Forskningsrådet Formas.
- Holmøy, K. H. (2008), 'Significance of geological parameters for predicting water leakage in hard rock tunnels'. PhD. NTNU.
- Holmøy, K. H., Langford, J., Hansen, T. F., Holter, K. G. & Karlsrud, K. (2019), 'Utfordringer med vann i undergrunnsprosjekter i urbane områder'. *Fjellsprengningsdagen*. Oslo, 21.-22.11.2019. Oslo: NGI, s. 20.1-20.19.
- Holter, K. G. (2020), 'Permanent lining and waterproofing systems for hard rock tunnels'. *TGB4190, Ingeniørgeologi - Berg, videregående kurs*.
- Hussein, B. A. (2016), *Veien til suksess: Fortellinger og refleksjoner fra reelle prosjektcaser*, Bergen: Fagbokforlaget.
- Jacobsen, D. I. (2015), *Hvordan gjennomføre undersøkelser? Innføring i samfunnsvitenskapelig metode*. Capellen Damm akademisk.
- Jugdev, K. & Müller, R. (2005), 'A retrospective look at our evolving understanding of project success'. *Project management Journal*, **36**(4), s. 19-31.
- Karlsen, J. T. (2012), *Prosjektledelse: fra initiering til gevinstrealisering*. 3. utg. Oslo: Universitetsforlaget.

- Karlson, K. I. & Grob, C. (2018a), ‘*Geologi: Fv. 659 Nordøyvegen, Fjortoftfjordtunnelen, ingeniørgeologisk rapport for konkurransegrunnlag*’. SVV Region Midt, Ressursavdelingen, Berg- og geoteknikksekjonen.
- Karlson, K. I. & Grob, C. (2018b), ‘*Geologi: Fv. 659 Nordøyvegen, Haramsfjordtunnelen, ingeniørgeologisk rapport for konkurransegrunnlag*’. SVV Region Midt, Ressursavdelingen, Berg- og geoteknikksekjonen.
- Karlson, K. I. & Grob, C. (2018c), ‘*Geologi: Fv. 659 Nordøyvegen, Nogvaffjordtunnelen, ingeniørgeologisk rapport for konkurransegrunnlag*’. SVV Region Midt, Ressursavdelingen, Berg- og geoteknikksekjonen.
- Karlsrud, K., Erikstad, L. & Snilsberg, P. (2003), ‘*Undersøkelser og krav til innlekkasje for å ivareta ytre miljø*’. (Miljø- og samfunnstjenlige tunneler, publikasjon nr. 103). Oslo: Vegdirektoratet.
- Klüver, B. H. & Kveen, A. (2004), ‘*Berginjeksjon i praksis*’. (Miljø- og samfunnstjenlige tunneler, publikasjon 104). Oslo: Vegdirektoratet.
- Kolltveit, B. J. & Reve, T. (2002), ‘*Prosjekt - organisering, ledelse og gjennomføring*’. Oslo: Universitetsforlaget.
- Lædre, O. (2013), ‘*Gjør det selv eller betal andre for jobben. Byggherrens valg av kontraktsstragi i bygg- og anleggsprosjekt*’. Forskningsprogrammet Concept, NTNU.
- Løset, F. (2006), ‘*Norges Tunnelgeologi*’. Oslo: NGI.
- Maylor, H. (2010), *Project managment*. 4. utg. Harlow: Financial Times Prentice Hall.
- NFF (2010), ‘*Praktisk berginjeksjon for underjordsanlegg*’. (Håndbok nr. 06), NFF Utviklingskomiteen.
- Nilsen, B. & Palmstrøm, A. (2017), ‘Stability and water leakage of hard rock subsea tunnels’. Adachi T., Tateyama K. and Kimura M. (red.) *Modern Tunneling Science and Technology*. 2. utg. London: Routledge, s. 479-502.
- Norconsult (2018a), ‘*Vestfoldbanen, (Drammen)-Larvik. Fagrappport hydrogeologi UDK 01*’. Konkurransegrunnlag: UDK 01 Bergtunnel og dagsone Skoger, Totalentreprise, Vedlegg E, del II, Revisjon 00E.
- Norconsult (2018b), ‘*Vestfoldbanen, (Drammen)-Larvik. Fagrappport ingeniørgeologi UDK 01*’. Konkurransegrunnlag: UDK 01 Bergtunnel og dagsone Skoger, Totalentreprise, Vedlegg E, del II. Revisjon 00E.

- Norconsult (2019), '*Vestfoldbane (Drammen)-Larvik. Spesifikasjon bergarbeider tunnel*'. Kontraktgrunnlag: Vestfoldbanen Drammen-Kobbervikdalen, Totalentreprise, UDK 01 Bergtunnel og dagsoner Skoger, vedlegg E, Del I.
- Plan- og bygningsloven (2013), '*Lov om planlegging og byggesaksbehandling*', Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71>. (Hentet: 17.03.21).
- Pran, B. K. (2020), '*Optimalisering av tettestrategi for tunneler på Fornebu*'. Masteroppgave, NTNU.
- Ramberg, I. B., Bryhni, I. & Nøttvedt, A. (2013), '*Landet blir til: Norges geologi*'. 2. utg. Norsk Geologisk forening.
- Ravlo, A. (2012), 'Introduction'. Nilsen F., Haug R. G., Grøv E. (red.) *Publication 21: Contracts in Norwegian Tunneling*. Oslo: NFF, s. 11-13.
- Rohr-Torp, E. (1994), 'Present uplift rates and groundwater potential in Norwegian hard rocks'. *NGU Bulletin* (426), s. 47-54.
- Standard Norge (2008), '*NS 8405 Norsk bygge- og anleggskontrakt*', Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=347202>. (Hentet: 17.03.21).
- Standard Norge (2010), '*NS 8401 Alminnelige kontraktsbestemmelser for prosjekteringsoppdrag*', Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=447601>. (Hentet: 17.03.21).
- Standard Norge (2011), '*NS 8407 Alminnelige kontraktsbestemmelser for totalentrepriser*', Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=489899>. (Hentet: 17.03.21).
- Statens Vegvesen (2003), '*Injeksjon - erfaringer fra Hagantunnelen*'. (Miljø- og samfunnstjenlige tunneler, rapport nr. 31) Oslo: Veidirektoratet.
- Statens Vegvesen (2005), '*Injeksjon - erfaringer fra Jong-Askertunnelene*'. (Teknologirapport nr. 2424). Oslo: Veidirektoratet.
- Statens Vegvesen (2011), '*Vegtunnelers oppetid*'. (Etatsprogrammet Moderne veitunneler, rapport nr. 143). Oslo: Vegdirektoratet.
- Statens Vegvesen (2012), '*Strategi for bygging av nye veitunneler*'. (Etatsprogrammet Moderne veitunneler, rapport nr. 130). Oslo: Vegdirektoratet.
- Statens Vegvesen (2020), '*Håndbok N500, Vegtunneler*'. Oslo: Vegdirektoratet.

- Statsbygg (2019), '*Kontraksbestemmelser. Totalentreprise med Samspill*'. (1004911 RKV Energiforsyning, K601 Samspill Energi).
- Strømsvik, H. (2019), 'The significance of hydraulic jacking for grout consumption during high pressure pre-grouting in norwegian tunnelling', *Tunnelling and Underground Space Technology* **90**, s. 357–368.
- Tattersall, J. W., Tam, J. K. W., Garshol, K. F. & Lau, K. C. K. (2012), 'Engineering geological approach for assessment of quantities and programme for deep tunnels in hong kong'. *The HKIE Geotechnical Division 32 Annual Seminar–Geotechnical Aspects of Tunnelling for Infrastructure*, s. 1-7.
- Turner, J. R. (2004), 'Farsighted project contract management: incomplete in its entirety', *Construction Management and Economics* **22**(1), s. 75–83.
- Turner, J. R. & Simister, S. J. (2001), 'Project contract management and a theory of organization', *International journal of project management* **19**(8), s. 457–464.
- Verling, F. & Neraal, H. (2020), 'Ekvivalenttidsregnskap - en falsk trygghet?'. *Byggeindustrien*. NR. 4, 2020.
- Ward, S. & Chapman, C. (1995), 'Evaluating fixed price incentive contracts', *Omega* **23**(1), s. 49–62.
- Wiegers, K. E. (2003), '*Software requirements: practical techniques for gathering and managing requirements throughout the product development cycle*'. 2. utg. Redmond, Wash: Microsoft Press.

## A Vedlegg

### A.1 Intervjuskjema

*Overordnet intervjuskjema benyttet på Drammen-Kobbervikdalen og Nordøyvegen.*

1. Hva er din rolle på prosjektet og hvilket ansvar innebærer det knyttet til injeksjonsarbeider?
  - Påvirker/blir påvirket?
2. Hva er hensikten med bruk av forinjeksjon på dette prosjektet?
3. Hvilke problemer har dere opplevd med injeksjonsarbeidet?
  - Tekniske problemer?
  - Organisatoriske problemer?
4. Hva er dine målsetninger/interesser med arbeidet?
  - Suksesskriterier
  - Hva anser du som nødvendig for å oppnå disse målene? (Suksessfaktorer)
5. Har du noen tanker rundt kontraktens fordeling av ansvar og risiko?
  - Utfordringer/fordeler med anvendt kontraktstrategi?
  - Tidligere erfaringer fra andre prosjekter?

## A.2 Drammen-Kobbervikdalen

### A.2.1 Arbeidsprosedyre for injeksjon

|   |                                       |                       |               |   |               |                   |
|---|---------------------------------------|-----------------------|---------------|---|---------------|-------------------|
|  | <b>Arbeidsprosedyre for injeksjon</b> |                       |               |   |               |                   |
|   | Prosjektnummer: 36459                 |                       |               | Prosjektnavn: UDK 01 Bergtunnel og dagsone Skoger |               |                   |
| I fagsystemet   | Dokumentnr:                           | <b>KS-TUN.40.3160</b> | Versjons nr.: | 4   | Versjonsdato: | <b>09.09.2019</b> |
| På prosjektet   | Revidert dato:                        | <b>28.10.2020</b>     | Utarbeidet:   | Ingvild Lausund                                   | Godkjent av:  | Ivar Sletta       |

| <b>Organisasjon</b> | <p>Ansvarlig for ledelse av injeksjon er formann. Stedlig tilpassing av injeksjonsprosedyren gjøres av ansvarlig kontrollingeniør/VDs geolog. Alle som deltar i injeksjon skal gjennomgå arbeidsprosedyren.</p>   |                  |                 |                  |     |    |    |      |    |    |     |    |    |
|---------------------|---|------------------|-----------------|------------------|-----|----|----|------|----|----|-----|----|----|
| <b>Utførelse</b>    | <p><b>Planlegging</b><br/>         Ansvarlig kontrollingeniør/VDs geolog utfører stedlige tilpasninger av injeksjonsprosedyre basert på kartlegging, sonder-/injeksjonsboring og erfaringer fra tidligere injeksjoner og underveis.<br/>         Fra km 54,500 og mot UDK02 er det usikker bergoverdekning, og det skal det utarbeides en spesialtilpasset plan.</p> <p>Prosedyren skal i tillegg til hullplassering og -lengde, inneholde reguleringsmekanismer for mengder, v/c-tall og stoppkriterier.</p> <p>Injeksjonsprosedyren skrives på skjema KS-TUN.50.3150 Bestilling av langhull. Det fylles ut nytt skjema (med nytt løpenummer) når det er endring i injeksjonsprosedyre.</p> <div data-bbox="548 930 1289 1304" data-label="Diagram"> <pre> graph TD     Start[Start<br/>Sement: Industri<br/>v/c-tall: 0,8<br/>Mengde: Inntil 1000 liter] --&gt; Jevn1[Jevn trykkoppbygging<br/>Sement: Industri<br/>v/c-tall: 0,8<br/>Mengde: Inntil 2000 liter]     Start --&gt; Liten1[Liten trykkoppbygging]     Liten1 --&gt; Jevn2[Jevn trykkoppbygging<br/>Sement: Industri<br/>v/c-tall: 0,5<br/>Mengde: Inntil 1000 liter]     Liten1 --&gt; Liten2[Liten trykkoppbygging]     Liten2 --&gt; Tiltak[Tiltak iverksettes<br/>Mauring? Vent? Styrt herding?<br/>Mengde: Inntil 2000 liter]     Tiltak --&gt; Jevn3[Jevn trykkoppbygging<br/>Sement: Industri<br/>v/c-tall: 0,5<br/>Mengde: Inntil 2000 liter]     Jevn1 --&gt; Defintert[Definert stående trykk<br/>Hullet er OK!]     Jevn2 --&gt; Defintert     Jevn3 --&gt; Defintert     </pre> </div> <p><i>Figur 1 Flytdiagram for regulering av mengder, v/c-tall og trykk</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Flow tilpasses av operatør på stedet, anslagsvis             <ul style="list-style-type: none"> <li>Ved stor inngang og lite trykk, 30 liter/minutt</li> <li>Moderat inngang og/eller trykkoppbygging, 10-20 liter/minutt</li> <li>Nærme definert slutt trykk, 5 liter/minutt</li> </ul> </li> <li>Stoppkriterier er definert i figur 2. Men i soner med dårlig fjell justeres trykket ned til forsvarlige stoppkriterier, og avsluttes helt dersom det oppstår fare for helse, miljø og sikkerhet.</li> </ul> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Overdekning [m]</th> <th>Heng/vegg [bar]</th> <th>Såle/stuff [bar]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-5</td> <td>20</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>5-15</td> <td>40</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>&gt;15</td> <td>80</td> <td>80</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Figur 2 Stoppkriterier basert på stående trykk</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Reseptene er beskrevet i KS-05.TUN.3166 Vannsement Resepter R1_1</li> </ul> | Overdekning [m]  | Heng/vegg [bar] | Såle/stuff [bar] | 0-5 | 20 | 30 | 5-15 | 40 | 60 | >15 | 80 | 80 |
| Overdekning [m]     | Heng/vegg [bar]   | Såle/stuff [bar] |                 |                  |     |    |    |      |    |    |     |    |    |
| 0-5                 | 20  | 30               |                 |                  |     |    |    |      |    |    |     |    |    |
| 5-15                | 40  | 60               |                 |                  |     |    |    |      |    |    |     |    |    |
| >15                 | 80  | 80               |                 |                  |     |    |    |      |    |    |     |    |    |

|   |                                       |                |   |                 |                          |
|---|---------------------------------------|----------------|---|-----------------|--------------------------|
|  | <b>Arbeidsprosedyre for injeksjon</b> |                |   |                 |                          |
|   | Prosjektnummer: 36459                 |                | Prosjektnavn: UDK 01 Bergtunnel og dagsone Skoger |                 |                          |
| I fagsystemet   | Dokumentnr:                           | KS-TUN.40.3160 | Versjons nr.:                                     | 4               | Versjonsdato: 09.09.2019 |
| På prosjektet   | Revidert dato:                        | 28.10.2020     | Utarbeidet:                                       | Ingvild Lausund | Godkjent av: Ivar Sletta |

Bakgrunn for ovenstående er nærmere forklart i dok.nr. UVB-01-Q-131 Plan for utførelse av injeksjonsarbeidet, der også kriterier for kontrollskjerm er beskrevet.

#### Pakkere og staver

Pakkere plasseres 1-5 meter inn i fjellet, strammes med muttertrekker og ettertrekkes med nøkkel. Før pumping skal tiltrekking kontrolleres med fastnøkkel. Dersom samme staven blir injisert for andre gang, skal staven ettertrekkes på ny før pumping. Dimensjonen til pakkere skal tilpasses diameteren til injeksjonshullet slik at største mulige dimensjon pakker brukes. Dersom det ikke er god heft mellom borehull og pakker, og det ikke oppnås ved å flytte pakker/bytte stavlengde, brukes mekaniske pakkere.

Hver injeksjonsstav sikres med kjetting før pumping starter. Stav festes enten med kjetting til to nabostaver eller med en stk griserumpe-bolt nærme staven. Der kjettingspennet til neste stav blir større enn stavens lengde, skal staven sikres med kjetting forankret i griserumpe-bolt ved staven. Staven skal ikke kunne komme ut av hullet før den stoppes av forankringen. Ved forankring av staver i hovedskjerm vil staver kunne forankres til to nabostaver i konturen. For hull i strossen eller andre hull som ikke står i konturen må forankringspunkter tilføres slik at stav ikke kan komme ut mer enn maks halve stavlengden. Kjettingen skal være påmontert helt til staven er løsnet fra pakkere. Det skal være en sikkerhetsanordning som gjør at innerstaven ikke kan skytes ut av ytterstaven ved evt. kollaps av tuppen på pakkere etter trykk fra injeksjonsmassen.

**Det viktigste sikkerhetstiltaket er å aldri stå rett foran stav med trykk, spesielt ikke når staven skal løsnes.** Se øvrige sikkerhetstiltak under HMS-avsnittet.

#### Utførelse av injeksjon

- Injeksjonen starter i sålen
- Injeksjonsmassen skal kontrolleres minimum en gang per injeksjonsrunde
- Behov for herdetid etter endt injeksjon vurderes
- Injeksjonsriggen skal vaskes og vedlikeholdes under og mellom injeksjonsrunder
- Ved gjennomgang mellom hull bør det pumpes på hullet som har fått lekkasje så fort som mulig
- Dersom det er fare for utgang i dagen vurderes visuell kontroll og eventuelle justeringer av reguleringsmekanismer/resepter
- Raskt trykkfall eller stor inngang kan bety at det er utgang i dagen eller i brønn. Ved mistanke om utgang i dagen/brønn settes hullet på hold og kontrollingeniør tilkalles.
- Ved utgang i stuff utføres tiltak i forhold til lekkasjen (eksempelvis trekiler, kortere stav, ekstra pakker, kjemisk, tykkere masse eller sette hullet på vent)
- Det skal avtales overlappende injeksjonsskjerm med UDK02

#### Kontroll av injeksjonsmasse

Kontroll av densitet (egenvekt), Marsh-viskositet, avbindingstid og vannutskillelse («bleeding») skal utføres minst én gang pr. omgang, og resultatene skal føres i injeksjonsrapporten.

#### Dokumentering

Injeksjonsforløpet logges digitalt og fortløpende observasjoner registreres i manuell injeksjonslogg. Digital logg blir prosessert gjennom «bever team grouting module» og data fra manuell logg blir ført inn manuelt i samlet injeksjonsrapport.

#### Vurderinger

Kontrollingeniør (selskapet og leverandør) skal få beskjed om bergmasse- og/eller vannforhold som har betydning for videre vurderinger av arbeidet.





## 322 KS-TUN.50.3150.2.22 Bestilling av langhull 322

|          |        |              |                      |
|----------|--------|--------------|----------------------|
| Prosjekt | UDK 01 | Opprettet av | Vemund Køber         |
| Saksnr.  | 36459  | Opprettet    | 15. feb. 2021, 13.09 |
|          |        | Endret av    | Vemund Køber         |
|          |        | endret       | 19. feb. 2021, 07.00 |
|          |        | Status       | Avsluttet            |

|   |  |
|---|--|
| Område  | 322 Austad Evakueringstunnel - Venstre |
| <i>Endret av Vemund Køber, 15. feb. 2021, 13.09</i> |  |

|   |     |
|---|-----|
| Fra pel   | 304 |
| <i>Endret av Vemund Køber, 15. feb. 2021, 13.09</i> |     |

## Melding om bestilling av langhullsboring og injeksjon

EKSTRASKJERM, tilbaketrukket ifra salveskjøt.

Bestilling av injeksjonsskjerm, 26 hull rundt med hullengde 19m og stikk 5m.  
Ved vannførende hull bores det ekstra hull i mellom eksisterende.

## Injeksjonsprosedyre:

1. v/c 1,0 500-1000 liter
2. v/c 0,8 500-1000 liter
3. v/c 0,5 500-1000 liter

Veiledende maksimumsmenge 2000 liter.

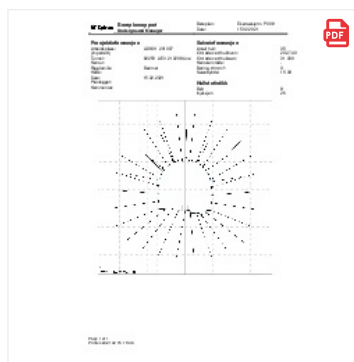
Vurderes om det startes med tykkere blanding på hull med mye vann.

Sement: industri

Stopptrykk: 60 bar, vurderes etter injeksjonsforløpet om det må reduseres.

Mengder er veiledende. Herdetid vurderes etter kopptest og injeksjonsforløpet.

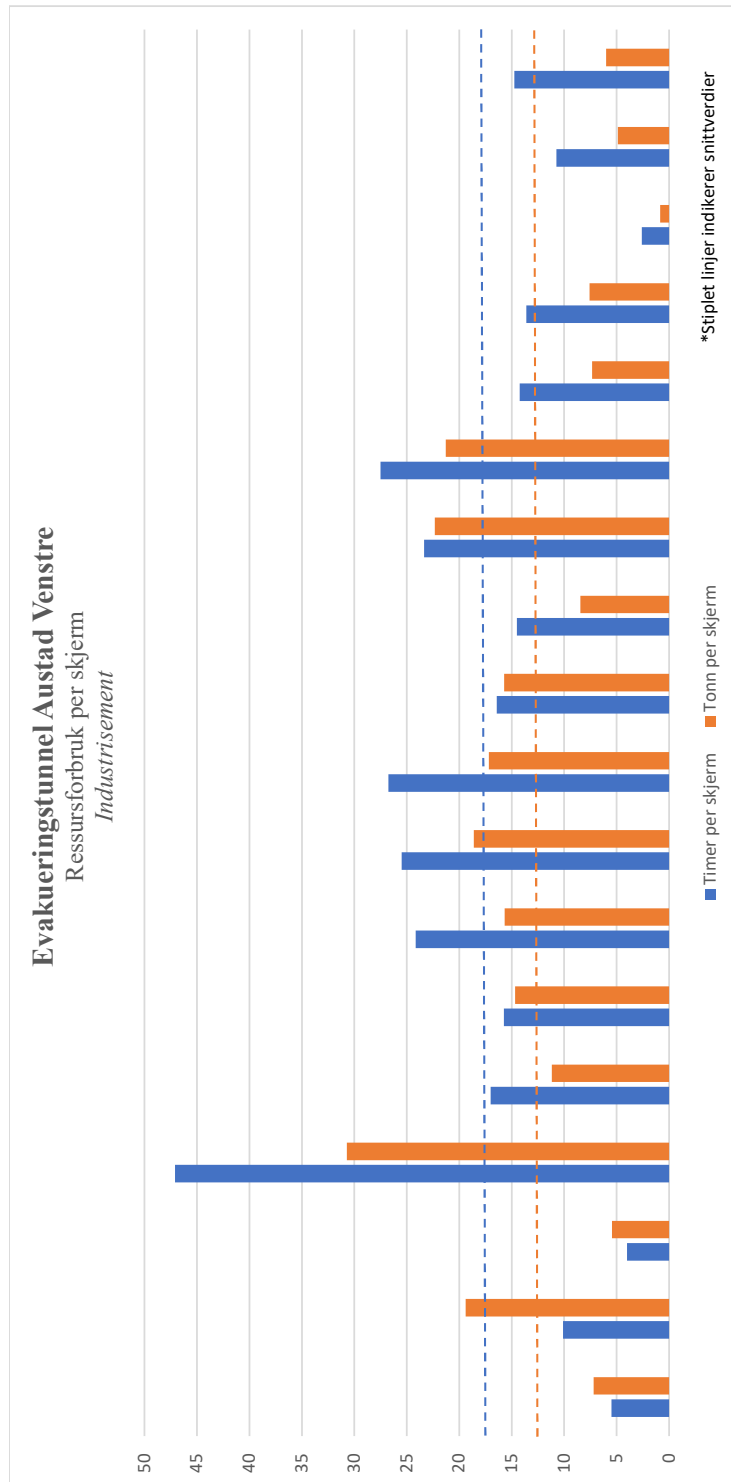
*Endret av Vemund Køber, 19. feb. 2021, 07.00*

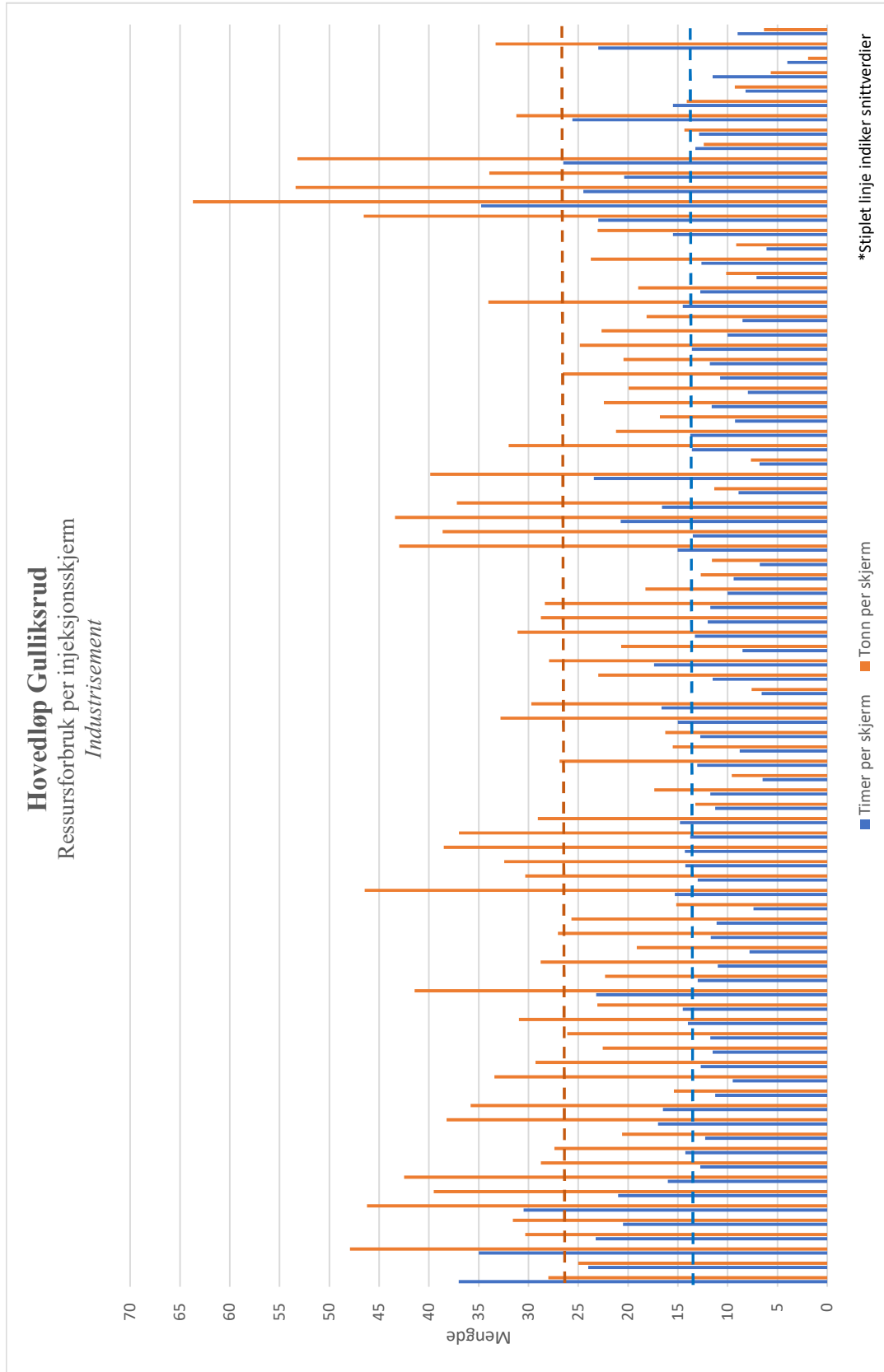


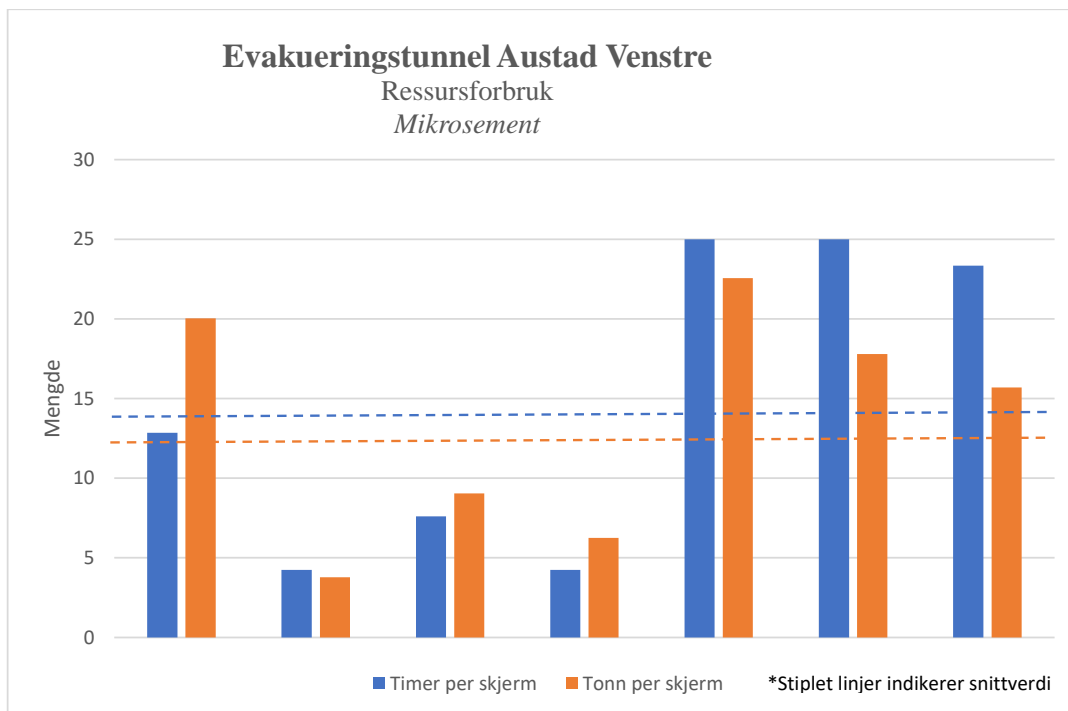
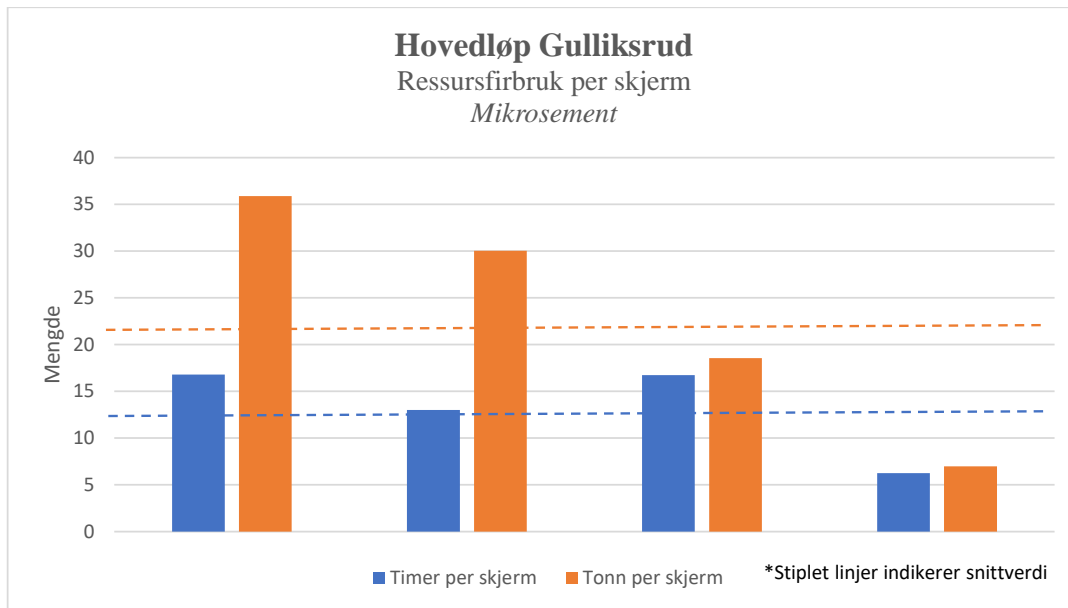
Austad Evakuering Venstre Ekstraskjerm\_P309.pdf

Kommentar

## A.2.2 Datagrunnlag injeksjonsrapporter







## A.2.3 Faktisk forbruk mot estimerte mengder

**Faktiske mengder**

| Tunnelseksjon  | Industrisement<br>kg | Mikrosegment<br>kg | Totalt mengde<br>kg | Andel industri<br>% | Andel mikro<br>% |
|----------------|----------------------|--------------------|---------------------|---------------------|------------------|
| Gulliksrud     | 2332173,9            | 91459              | 2423632,9           | 96,23               | 3,77             |
| Gunnerud       | 483291               | 21763              | 505054              | 95,69               | 4,31             |
| Danserud       | 1166442,1            | 2084,6             | 1168526,7           | 99,82               | 0,18             |
| Danserud ETV   | 71090                | 0                  | 71090               | 100                 | 0                |
| Danserud ETH   | 46293                | 0                  | 46293               | 100                 | 0                |
| Danserud HLV   | 273012               | 0                  | 273012              | 100                 | 0                |
| Danserud HLH   | 102070               | 0                  | 102070              | 100                 | 0                |
| Austad         | 783371,4             | 65254              | 848625,4            | 92,31               | 7,69             |
| Austad ETV     | 253907               | 95158              | 349065              | 72,74               | 27,26            |
| Austad ETH     | 188792               | 31462              | 220254              | 85,72               | 14,28            |
| Austad HLV     | 590839               | 312009             | 902848              | 65,44               | 34,56            |
| Austad HLH     | 114499               | 14194              | 128693              | 88,97               | 11,03            |
| <b>Totalt:</b> | <b>6405780,4</b>     | <b>633383,6</b>    | <b>7039164</b>      | <b>91,00</b>        | <b>9,00</b>      |

\*Det påpekes at tunneldrivingen ikke er ferdigstilt ved datainnsamling.

og dermed vil beregningene avvike fra faktisk forbruk og prosentfordeling ved ferdigstillelse av prosjektet.

**Estimerte mengder:**

| Tunnelseksjon         | Industri<br>kg | Mikro<br>kg | Total mengde<br>kg | Andel industri<br>% | Andel mikro<br>% |
|-----------------------|----------------|-------------|--------------------|---------------------|------------------|
| Alle tunnelseksjoner: | 15652364,00    | 10254997,00 | 25907361,00        | 60,42               | 39,58            |

\*Henvises til kontraktgrunnlag for mengdebeskrivelser per tunnelseksjon.

## A.2.4 Beregning av stofftimeverdi

| <b>Hovedløp:Gulliksrud</b>   |           |              |           |
|--|-----------|--------------|-----------|
| <i>Industri</i>  |           | <i>Mikro</i> |           |
| timer/skjerm   | kg/skjerm | timer/skjerm | kg/skjerm |
| 14,5   | 26502,0   | 13,2         | 22864,8   |
| <p>Resultat: Tidsbesparelsen for pumpetid med mikrosegment er i snitt på 1,3 timer/skjerm. Mengdeforbruket per skjerm reduseres også med gjennomsnittlig 3640 kg/skjerm.</p> |           |              |           |

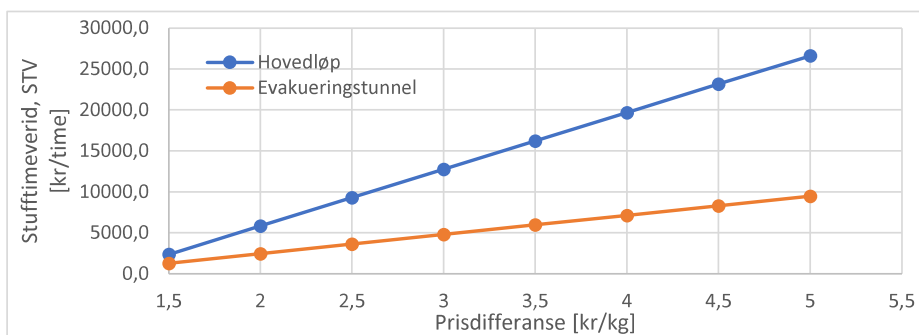
| <b>Evakueringstunnel: Austad Venstre</b>  |           |              |           |
|---|-----------|--------------|-----------|
| <i>Industri</i>   |           | <i>Mikro</i> |           |
| timer/skjerm  | kg/skjerm | timer/skjerm | kg/skjerm |
| 17,4  | 13028,3   | 14,6         | 13594,0   |
| <p>Resultat: Tidsbesparelse for pumpetid med mikrosegment er i snitt på 2,8 time/skjerm. Mengdeforbruket øker med omtrent 570 kg/skjerm ved bruk av mikrosegment.</p> |           |              |           |

| Hovedløp: Beregning av maksimal stufitimeverdi |                   |                 |                      |
|--|-------------------|-----------------|----------------------|
|  | <i>Mikro</i>      | <i>Industri</i> |                      |
|  | Snittforbruk      | Snittforbruk    |                      |
|  | kg/skjerm         | kr/skjerm       |                      |
|  | 22864,8           | 26502,0         |                      |
|  | <i>Mikro</i>      | <i>Industri</i> |                      |
| Prisdifferanse                                 | Ekstrakostnad (K) | Ekstra tid (T)  | Stufitimeverdi (STV) |
| kr/kg  | kr/skjerm         | timer/skjerm    | kr/time              |
| 1,5  | 7795,1            | 3,3             | 2362,2               |
| 2  | 19227,5           | 3,3             | 5826,5               |
| 2,5  | 30659,9           | 3,3             | 9290,9               |
| 3  | 42092,3           | 3,3             | 12755,2              |
| 3,5  | 53524,6           | 3,3             | 16219,6              |
| 4  | 64957,0           | 3,3             | 19683,9              |
| 4,5  | 76389,4           | 3,3             | 23148,3              |
| 5  | 87821,8           | 3,3             | 26612,7              |

\*Det er antatt en *ekstra* herdetid på 3 timer for industrisement.

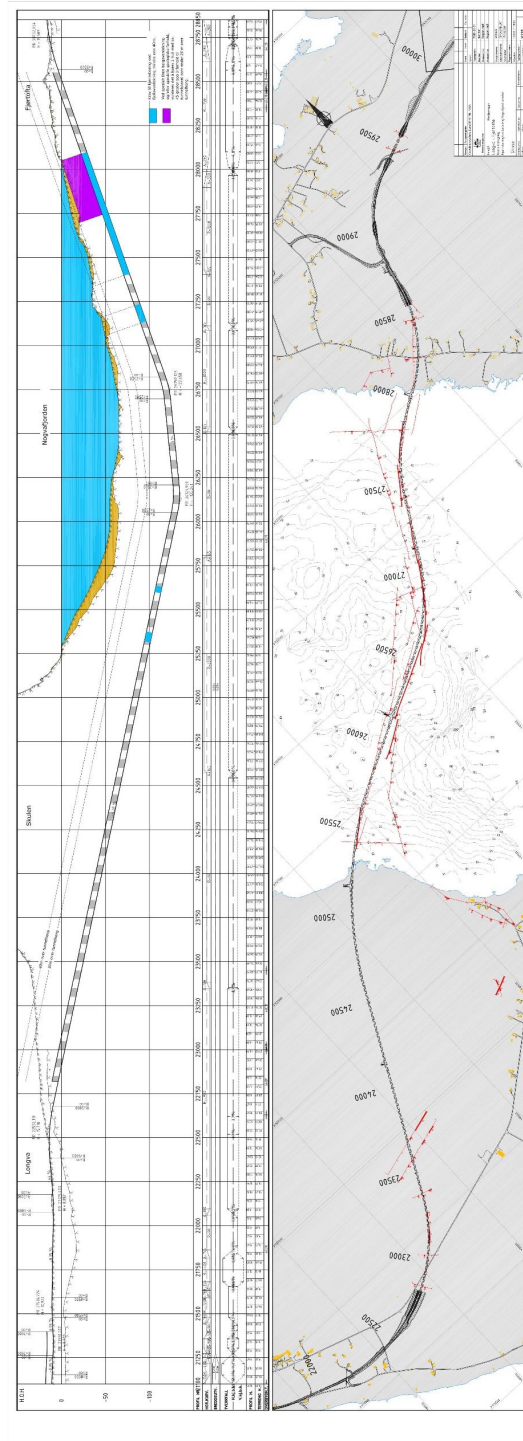
| Evakueringstunnel: Beregning av maksimal stufitimeverdi |                   |                 |                      |
|---|-------------------|-----------------|----------------------|
|   | <i>Mikro</i>      | <i>Industri</i> |                      |
|   | Snittforbruk      | Snittforbruk    |                      |
|   | kg/skjerm         | kr/skjerm       |                      |
|   | 13594,0           | 13028,3         |                      |
|   | <i>Mikro</i>      | <i>Industri</i> |                      |
| Prisdifferanse  | Ekstrakostnad (K) | Ekstra tid (T)  | Stufitimeverdi (STV) |
| kr/kg   | kr/skjerm         | timer/skjerm    | kr/time              |
| 1,5   | 7362,7            | 5,8             | 1269,4               |
| 2   | 14159,7           | 5,8             | 2441,3               |
| 2,5   | 20956,7           | 5,8             | 3613,2               |
| 3   | 27753,7           | 5,8             | 4785,1               |
| 3,5   | 34550,7           | 5,8             | 5957,0               |
| 4   | 41347,7           | 5,8             | 7128,9               |
| 4,5   | 48144,7           | 5,8             | 8300,8               |
| 5   | 54941,7           | 5,8             | 9472,7               |

\*Det er antatt en *ekstra* herdetid på 3 timer for industrisement.



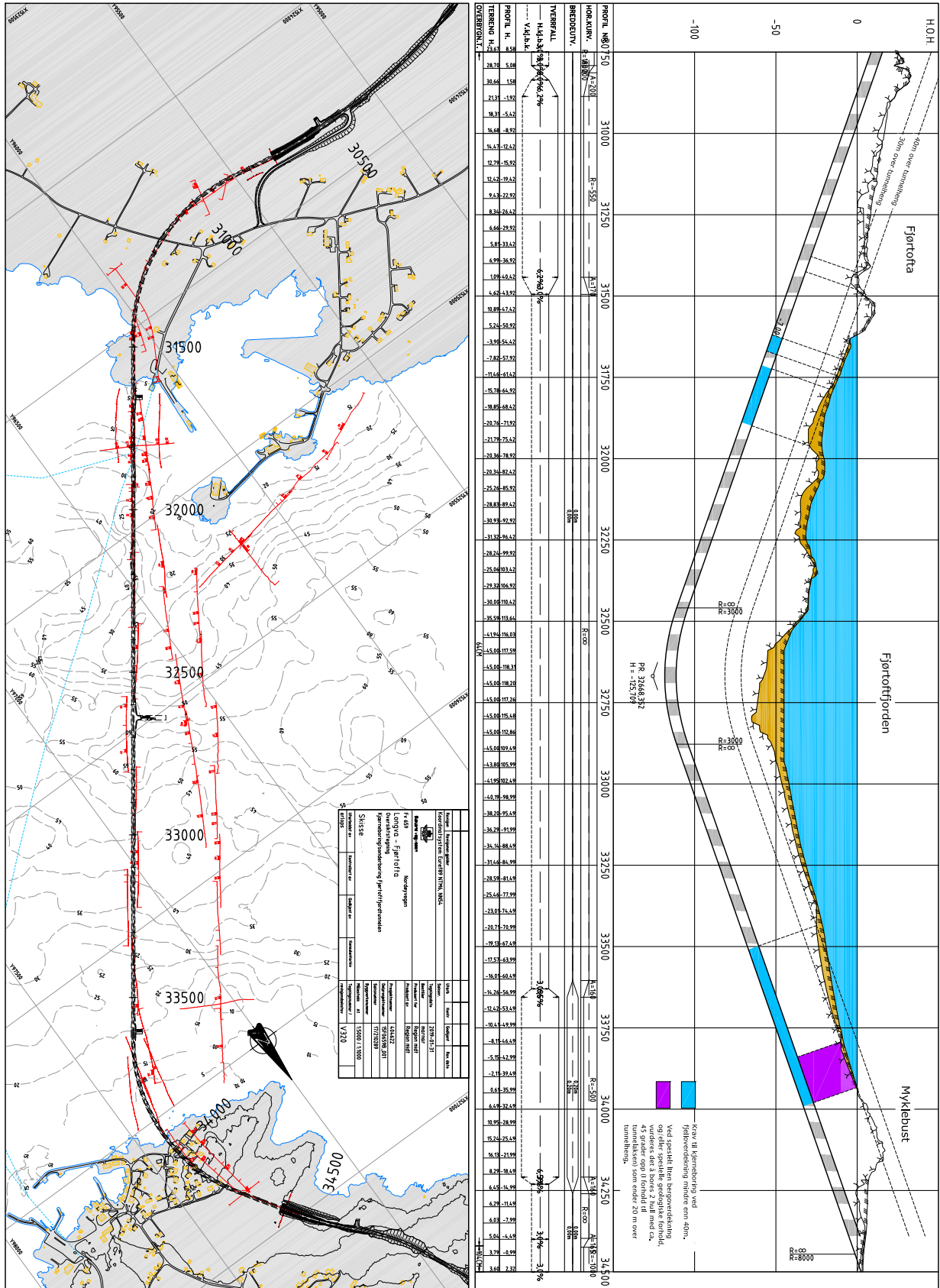
### A.3 Nordøyvegen

#### A.3.1 Vertikalprofiler



Figur 52: Vertikalprofil Nogaufjordtunnelen.





Figur 53: Vertikalprofil Fjortoftfjordtunnelen.

## A.3.2 Eksempel på kontrollørmelding

|                               |                                    |                      |            |
|-------------------------------|------------------------------------|----------------------|------------|
| Møre og Romsdal fylkeskommune | Prosjekt-/delprosjektnr:<br>404622 | Fasenr:<br>Byggefase | Arkivref.: |
|-------------------------------|------------------------------------|----------------------|------------|

|                          |                     |              |                    |
|--------------------------|---------------------|--------------|--------------------|
| <b>KONTROLLØRMELDING</b> |                     |              | <b>Nr.: 0429</b>   |
| Prosjekt:                | Fv. 659 Nordøyvegen | Byggherre:   | Møre og Romsdal fk |
| Kontrakt:                | K5 Skjeltene-Harøya | Entreprenør: | Skanska Norge AS   |

|              |   |   |
|--------------|---|---|
| <b>Emne:</b> | <input type="checkbox"/> Teknisk kvalitet                   | <input checked="" type="checkbox"/> Kontraktsgrunnlag |
|              | <input type="checkbox"/> Sikkerhet-, Helse- og Arbeidsmiljø | <input type="checkbox"/> Orientering                  |
|              | <input type="checkbox"/> Ytre miljø                         | <input type="checkbox"/> Annet:                       |

**Melding til entreprenør:**

Byggherren ønsker å gjøre nokon justeringar på gjeldande injeksjonsprosedyre, justerte punkt markert med raudt.

Tal på hol inkl. 4 hull i stuff T8,5: 30

Stikning på hol i utgangspunktet: 5 – 10 m

Lengd injeksjonshol: 24 m

Pakkarplassering:

2 m inn i injeksjonshol. Stavar i alle hol før ein byrjar å pumpe. Pakkarane lyt då vere opne. Maks injeksjonstrykk (stopptrykk): 80 bar i ligg og heng.

Resept 1: Industrisement

v/c = 0,9

Sp = 2 % (1,5 %)

Silicaslurry = 10 %

Opp til 500 L pr. hol før ein går ned til lågare v/c-tal . Dersom ein har inngong < 500 L, skal stopptrykket haldast i 2 min. før injeksjonen vert avslutta i dette holet.

Resept 2: Industrisement

v/c = 0,7

SP = 2 % (1,5 %)

Silicaslurry = 10 %

Opp til 1000 L pr. hol før ein går ned til lågare v/c-tal . Dersom ein har inngong < 1000 L, skal stopptrykket haldast i 2 min. før injeksjonen vert avslutta i dette holet.

Resept 3: Industrisement

v/c = 0,5

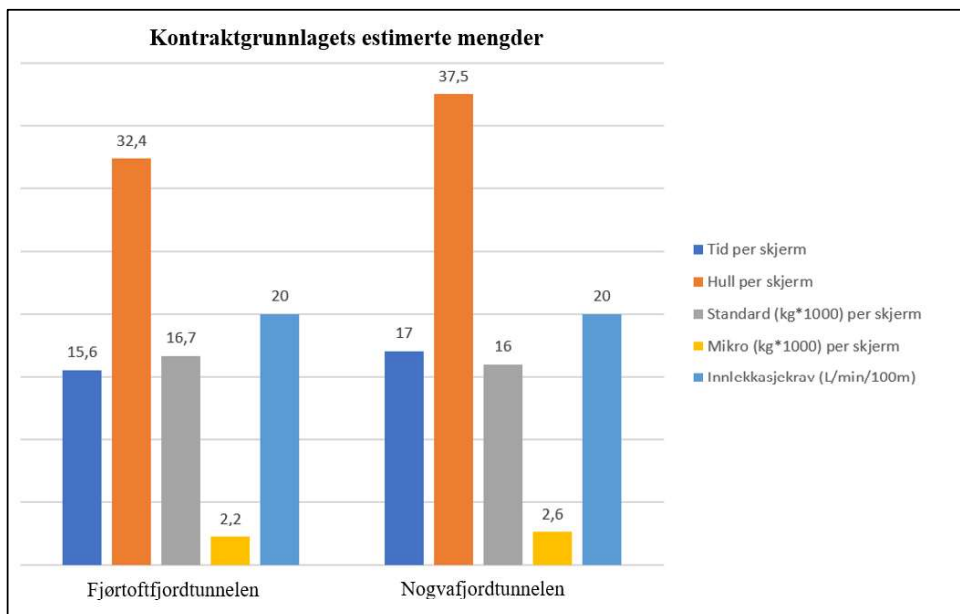
SP = 2 % (1,5 %)

Silicaslurry = 8 %

Etter til saman 2500 L i same holet utan at ein har nådd maks injeksjonstrykk, skal ein late holet «kvile» (1-2 timar) før ein held fram med å pumpe med v/c= 0,5.

Etter tilsaman 5000 L i same holet vert akseptabelt sluttrykk justert ned til 50 bar.

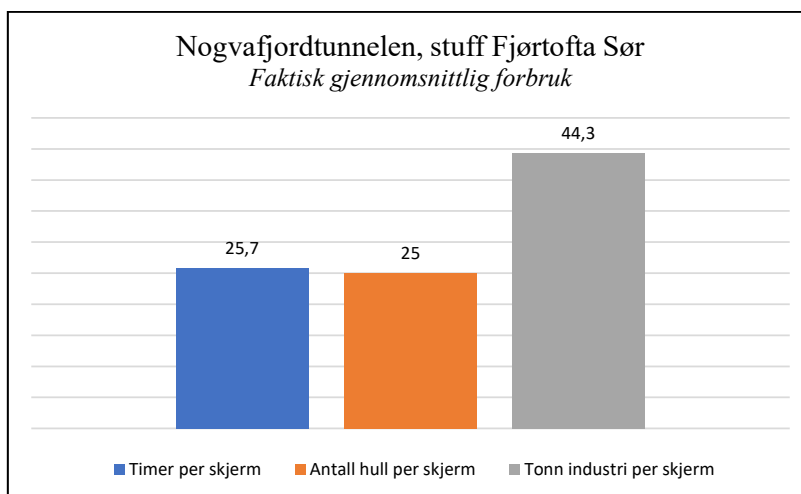
### A.3.3 Datagrunnlag injeksjonsrapporter og kontraktgrunnlag

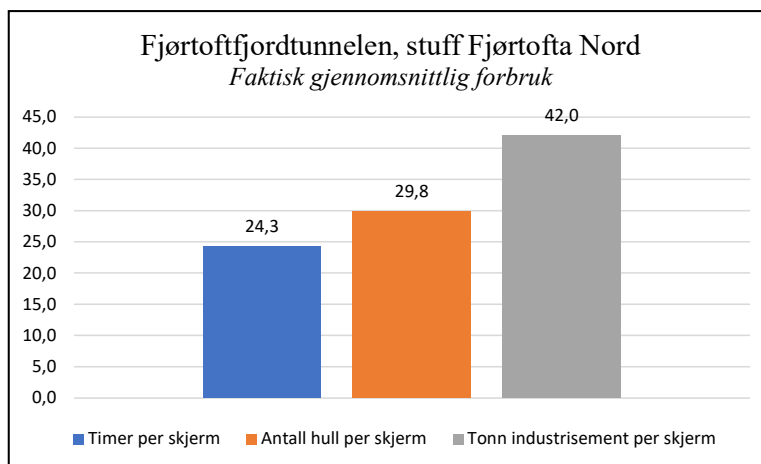
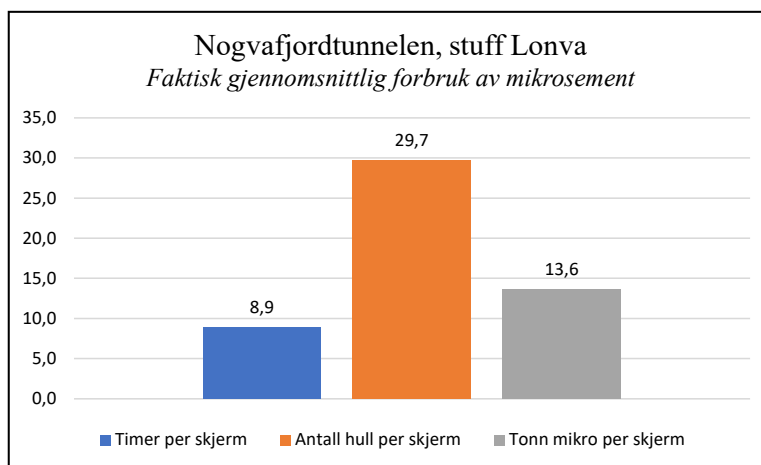
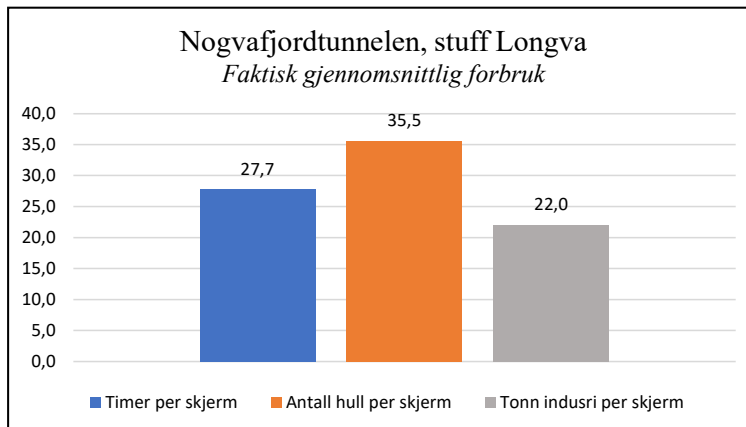


\*Det gjennomsnittlige forbruket per skjerm er basert på kontraktens mengdebeskrivelser, og deretter fordelt på oppgitte opp- og nedrigg per tunnelstrekning; 50 for Fjortoftfjordtunnelen og 45 for Nøgvafjordtunnelen.

#### Datagrunnlag fra injeksjonsrapporter:

*Merknad: Tunnelene var ikke ferdig drevet ved innhenting av datagrunnlag.*



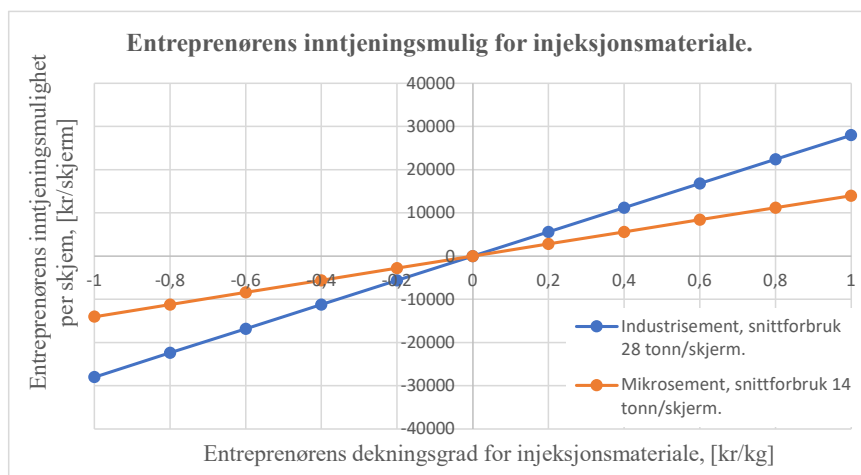


## A.3.4 Entreprenørens inntjeningsmulighet

Eksempel på oppgjør etter enhetspriser.

| Utgifter<br>kr/kg | Materialpris<br>kr/kg | Dekningsgrad<br>kr/kg |
|-------------------|-----------------------|-----------------------|
| 2                 | 3                     | -1                    |
| 2,2               | 3                     | -0,8                  |
| 2,4               | 3                     | -0,6                  |
| 2,6               | 3                     | -0,4                  |
| 2,8               | 3                     | -0,2                  |
| 3                 | 3                     | 0                     |
| 3,2               | 3                     | 0,2                   |
| 3,4               | 3                     | 0,4                   |
| 3,6               | 3                     | 0,6                   |
| 3,8               | 3                     | 0,8                   |
| 4                 | 3                     | 1                     |

| Industrisement            |                       |                             | Mikroosement              |                       |                             |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| Snittforbruk<br>kg/skjerm | Dekningsgrad<br>kr/kg | Inntjening/tap<br>kr/skjerm | Snittforbruk<br>kg/skjerm | Dekningsgrad<br>kr/kg | Inntjening/tap<br>kr/skjerm |
| 28000                     | -1                    | -28000                      | 14000                     | -1                    | -14000                      |
| 28000                     | -0,8                  | -22400                      | 14000                     | -0,8                  | -11200                      |
| 28000                     | -0,6                  | -16800                      | 14000                     | -0,6                  | -8400                       |
| 28000                     | -0,4                  | -11200                      | 14000                     | -0,4                  | -5600                       |
| 28000                     | -0,2                  | -5600                       | 14000                     | -0,2                  | -2800                       |
| 28000                     | 0                     | 0                           | 14000                     | 0                     | 0                           |
| 28000                     | 0,2                   | 5600                        | 14000                     | 0,2                   | 2800                        |
| 28000                     | 0,4                   | 11200                       | 14000                     | 0,4                   | 5600                        |
| 28000                     | 0,6                   | 16800                       | 14000                     | 0,6                   | 8400                        |
| 28000                     | 0,8                   | 22400                       | 14000                     | 0,8                   | 11200                       |
| 28000                     | 1                     | 28000                       | 14000                     | 1                     | 14000                       |

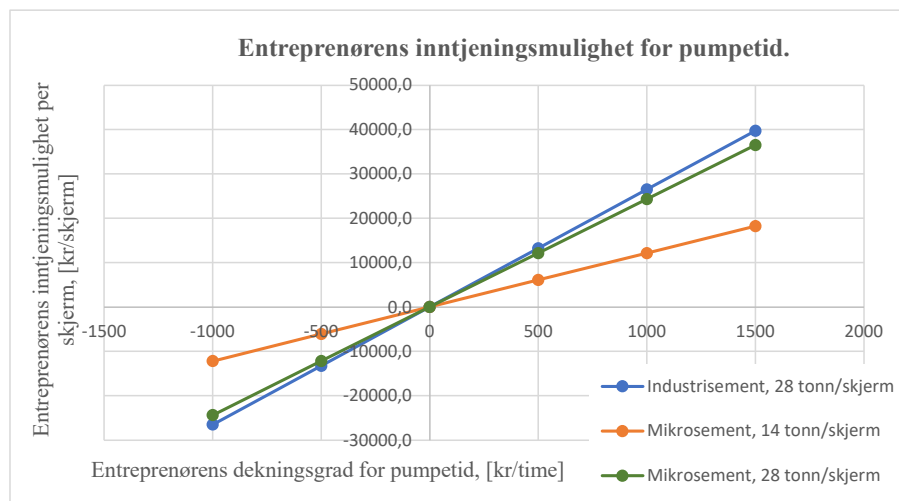


**Eksempel for oppgjør etter enhetspriser.**

Merknad: Snittmengder og tidsfaktorer for ulike injeksjonsmaterialer er basert på injeksjonsrapporter fra Longva.

| <b>Eksempelverdier for beregning av dekningsgrad.</b> |          |              |
|---|----------|--------------|
| Entreprenørs utgifter                                 | Timepris | Dekningsgrad |
| kr/time   | kr/time  | kr/time      |
| 1000  | 2500     | 1500         |
| 1500  | 2500     | 1000         |
| 2000  | 2500     | 500          |
| 2500  | 2500     | 0            |
| 3000  | 2500     | -500         |
| 3500  | 2500     | -1000        |

| <b>Inntjening/tap for pumping av skjerm for ulike materialer.</b> |                 |                |                |  |
|---|-----------------|----------------|----------------|--|
|   | <i>Industri</i> |                | <i>Mikro</i>   |  |
|   | Tidsfaktor      | Tidsfaktor     |                |  |
|   | timer/kg        | timer/kg       |                |  |
|   | 0,000946        | 0,000870       |                |  |
| Snittmengde   | Snittmengde     | Likt forbruk   |                |  |
| kg/skjerm   | kg/skjerm       | kg/skjerm      |                |  |
| 28000   | 14000           | 28000          |                |  |
| Pumetid   | Pumetid         | Pumetid        |                |  |
| timer/skjerm  | timer/skjerm    | timer/skjerm   |                |  |
| 26,5  | 12,2            | 24,4           |                |  |
| Dekningsgrad  | Inntjening/tap  | Inntjening/tap | Inntjening/tap |  |
| kr/time   | kr/skjerm       | kr/skjerm      | kr/skjerm      |  |
| 1500  | 39731,9         | 18266,5        | 36533,01699    |  |
| 1000  | 26487,9         | 12177,7        | 24355,34466    |  |
| 500   | 13244,0         | 6088,8         | 12177,67233    |  |
| 0   | 0,0             | 0,0            | 0              |  |
| -500,00   | -13244,0        | -6088,8        | -12177,67233   |  |
| -1000,00  | -26487,9        | -12177,7       | -24355,34466   |  |



## A.3.5 Beregning av stofftimeverdi

Beregning av maksimal stofftimeverdi som funksjon av kostnadsdifferanse mellom mikrosement og industri.

| <b>Beregnet gjennomsnittlig tidsforbruk injeksjonsmaterialer</b> |                 |              |
|--|-----------------|--------------|
| <i>Industrisement</i>  |                 |              |
| Pumpetid   | Ekstra herdetid | Totaltid     |
| timer/skjerm   | timer/skjerm    | timer/skjerm |
| 22   | 4,2             | 26,2         |
| <i>Mikrosement</i>   |                 |              |
| Pumpetid   | Ekstra herdetid | Totaltid     |
| timer/skjerm   | timer/skjerm    | timer/skjerm |
| 9  | 2,9             | 11,9         |
| <i>Tidsbesparelse ved bruk av mikrosement</i>                    |                 |              |
| Differanse [timer/skjerm] =                                      |                 | <b>14,4</b>  |

| <b>Materialkostnader</b> |                   |           |
|--------------------------|-------------------|-----------|
| <i>Industrisement</i>    |                   |           |
| Gj.snittlig mengde       | Antatt enhetspris | Kostnad   |
| kg/skjerm                | kr/kg             | kr/skjerm |
| 27737,0                  | 1,0               | 27737,0   |
| <i>Mikrosement</i>       |                   |           |
| Gj.snittlig mengde       | Enhetspris        | Kostnad   |
| kg/skjerm                | kr/kg             | kr/skjerm |
| 13628,1                  | 2                 | 27256,2   |
| 13628,1                  | 3                 | 40884,3   |
| 13628,1                  | 4                 | 54512,3   |
| 13628,1                  | 5                 | 68140,4   |
| 13628,1                  | 6                 | 81768,5   |
| 13628,1                  | 7                 | 95396,6   |

| <b>Beregning av maksimal stofftimeverdi som funksjon av prisdifferanse</b> |                    |                |                   |
|--|--------------------|----------------|-------------------|
| Prisdifferanse   | Kostnadsdifferanse | Tidsdifferanse | STV               |
| kr/kg  | kr/skjerm          | timer/skjerm   | kr/time           |
| 1  | -480,9             | 14,4           | <b>-33,42792</b>  |
| 2  | 13147,2            | 14,4           | <b>913,955998</b> |
| 3  | 26775,3            | 14,4           | <b>1861,33992</b> |
| 4  | 40403,4            | 14,4           | <b>2808,72383</b> |
| 5  | 54031,5            | 14,4           | <b>3756,10775</b> |
| 6  | 67659,6            | 14,4           | <b>4703,49167</b> |

| <b>Beregning av stufftimeverdi ved likt forbruk av begge sementtyper</b> |                    |               |                    |
|--|--------------------|---------------|--------------------|
| Gj.snittlig mengde   | Industri           | Mikro         | Tidsdifferanse     |
| kg/skjerm  | timer/skjerm       | timer/skjerm  | timer/skjerm       |
| 27737,0  | 26,2               | 11,9          | 14,4               |
| Prisdifferanse   | Kostnadsdifferanse | Tiddifferanse | STV                |
| kr/kg  | kg/skjerm          | timer/skjerm  | kr/time            |
| 1  | 0                  | 11,9          | <b>0</b>           |
| 2  | 27737,02609        | 11,9          | <b>2339,854573</b> |
| 3  | 55474,05217        | 11,9          | <b>4679,709146</b> |
| 4  | 83211,07826        | 11,9          | <b>7019,56372</b>  |
| 5  | 110948,1043        | 11,9          | <b>9359,418293</b> |
| 6  | 138685,1304        | 11,9          | <b>11699,27287</b> |

