



Erfaringsrapport senketunnel.

E18 mellom Festningstunnelen og Ekeberg tunnelen. Entreprise Sjødelen.

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 336



Tittel

Erfaringsrapport senketunnel.

Undertittel

E18 mellom Festningstunnelen og Ekeberg-tunnelen. Entreprise Sjødelen.

Forfatter

Geir Sorte (SVV), Ian Markey (SVV), Lars Narvestad (AAJ) og Kjell Karlsrud (NGI)

Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen

Seksjon

Geoteknikk og skred

Prosjektnummer**Rapportnummer**

Nr. 336

Prosjektleder

Svein Røed / Grete Tvedt

Godkjent av

Frode Oset

Emneord

Senketunnel, mudring, fundamentering, setninger

Sammendrag

Senketunnelen inngår som en del av Operatunnelen for E18 gjennom Bjørvika og Bispevika i Oslo.

Rapporten beskriver grunnlaget for valg av direkte fundamentering for senketunnelen, og arbeidsgangen ved etablering av byggegrop, plassering av tunnelelementene og tilbakefylling rundt tunnelen.

Videre beskriver rapporten måleprogrammet for setningsmålinger, og resultater fram til ca. 5 år etter bygging.

Title**Subtitle****Author**

Geir Sorte, Ian Markey, Lars Narvestad og Kjell Karlsrud.

Department

Traffic Safety, Environment and Technology Department

Section

Geotechnical Section

Project number**Report number**

No. 336

Project manager

Svein Røed / Grete Tvedt

Approved by

Frode Oset

Key words**Summary**



Innhold

1 Innledning	3
2 Grunnforhold	6
2.1 Grunnundersøkelser	6
2.2 Oversikt.....	6
2.3 Tolkning, designprofiler	7
3 Prosjekttert og beskrevet løsning	12
3.1 Alternative konsepter for kryssing av Bjørvika.....	12
3.2 Direkte fundamentering	13
3.2.1 Forventede setninger	13
3.2.2 Grunnforsterkning mot Havnelageret	17
3.2.3 Kontakt med fjell i Bispevika	19
3.3 Graveskrånninger	20
3.3.1 Generelt.....	20
3.3.2 Mot Operaen - skipstøtvoll	20
3.3.3 Gjennom Bjørvikautstikkeren	21
3.3.4 Møt Sørenga og Havnelageret	21
4 Mudring	23
4.1 Mudringsmetode	23
4.2 Mengder og type masser.....	24
4.3 Utførelse av mudringsarbeidene.....	26
4.4 Mudring oppfølging og kontroll	27
4.5 Rene masser – Leire.....	28
4.6 Arkeologi.....	30
4.7 Andre forhold	33
4.7.1 Vandringskorridor for fisk	33
4.7.2 Siltgardiner.....	34
4.8 Miljøoppfølging	35
5 Sluttrensk og forberedelser for installasjon	36
5.1 Mudring ned til traubunn	36
5.2 Kontroll av traubunn.....	36
5.3 Fiberduk	36
6 Grusstriper ”Scrading” og installasjon	37
6.1 Grusstriper	37
6.2 Kalibrering av høyder	39
6.3 Installasjon	39
7 Installasjon	40
8 Tilbakefylling	44
8.1 Låsefylling.....	44
8.2 Pukk på taket	44
8.3 Sprengsteinsfylling.....	44



8.4	Plastring med stor stein	45
8.5	Tilbakefylling av masser	45
9	Tilkoblingssoner Havnelageret og Sørenga	46
9.1	Havnelageret.....	46
9.2	Sørenga	47
10	Måleprogram for setninger	50
10.1	Beskrivelse av måleprogrammet	50
10.2	Fugeåpninger.....	50
10.3	Måleresultater	51
10.3.1	Setningsmålinger	51
10.3.2	Måling av horisontale bevegelser	57
10.3.3	Fugebevegelser	58
10.4	Målenøyaktighet og usikkerhet	59
11	Anbefalt videre oppfølging.....	60
11.1	Setninger og fugebevegelser	60
11.2	Bygging tett opp til senketunnelen	61
12	Kontrakten	63
13	Referanseliste.....	64
13.1	Prosjektdokumenter	64
13.2	Andre referanser	66

VEDLEGG A: Beskrivelse av måleprogram og metode

1 Innledning

Denne erfaringsrapporten om senketunnelen i Bjørvika gir en gjennomgang av prosjektering, utførelse fra start mudring, installasjonsfasen, tilbakefylling, og setningsoppfølging av installert senketunnel.

Rapporten beskriver også hva som er den anbefalte videre oppfølging med tanke på måling av setninger. Senketunnelen er plassert i et område hvor det kan forventes ønske om byggearbeider tett opp til senketunnelen.

Materialet er så langt mulig tatt direkte fra ulike dokumentasjon som er utarbeidet under prosjekterings- og gjennomføringsfasen. Materialet har derfor ulike karakterer.

Rapporten er utarbeidet i fellesskap av:

Geir Sorte	SVRØ	Byggeleder
Ian Markey	SVRØ	Teknisk byggeleder
Lars Narvestad	Aas-Jakobsen AS	Fagansvarlig konstruksjoner K203
Kjell Karlsrud	NGI	Fagansvarlig geoteknikk K203

Senketunnelen går fra Havnelageret i vest, til Sørenga i øst og er 675 m lang.



Figur 1.1 Senketunnel mellom Havnelageret og Sørenga. Veisystem bygget i Bjørvika Etappe 1.

Senketunnelen består av 6 element, som igjen er delt opp i 5 segmenter. De 6 senketunnel elementene på 112,5m ble produsert i tørrdokk på Hanøytangen, Askøy utenfor Bergen. Det

ble produsert to og to elementer om gangen. Elementene ble videre tauet sjøveien til Bjørvika og lagt opp mot kai i påvente av at installasjon skulle begynne.



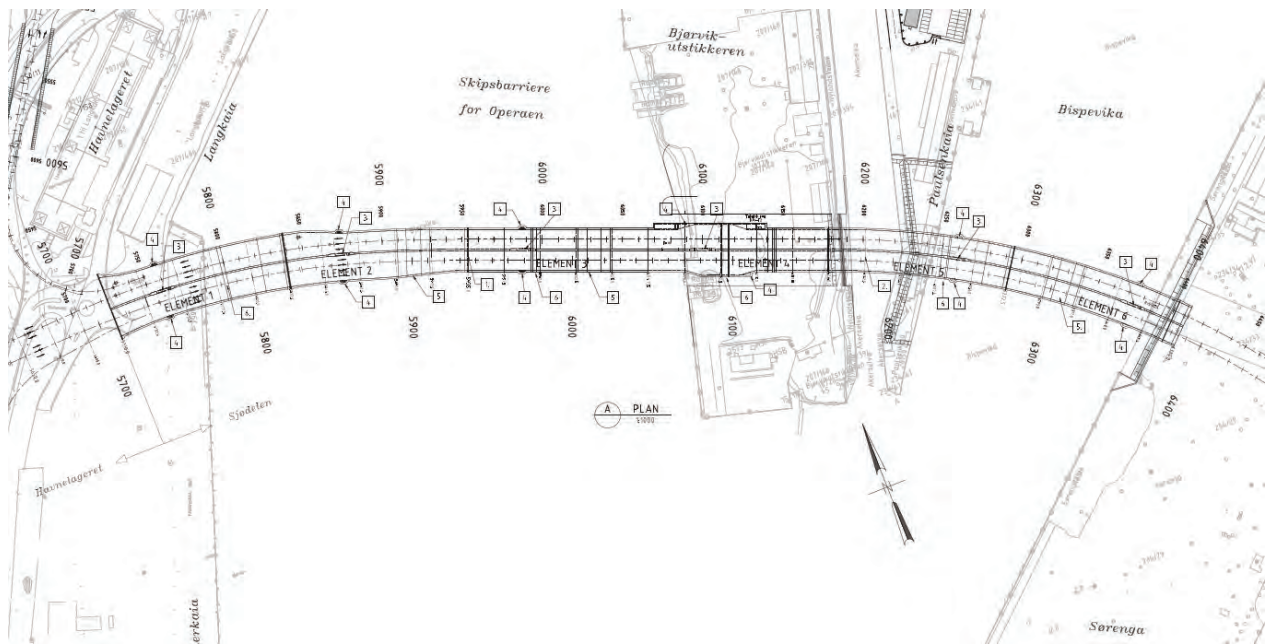
Figur 1.2 Tauing av elementer

Byggearbeidet Med senketunnel elementene startet høsten 2005. Sommeren 2006, 2007 og 2008, ble det transportert 2 elementer fra Hanøytangen til Bjørvika. Installasjon av elementene startet august 2008. Alle elementene var plassert på sjøbunnen til slutten av oktober 2008. Deretter ble lukkeskjøt og tilbakefylling utført i løpet av tidlig vinter. Parallelt ble omfattende arbeider utført fra innsiden for å slutføre installasjon og etablere tunnelens innredning.

Parallelt med byggearbeidene på Hanøytangen startet grave- og mudringsarbeidene opp i Bjørvika og Bispevika. Dette arbeidet pågikk frem til 2008.

Sjøtransport av elementene krever at det legges inn spennarmering i tak og bunnplate for å spenne segmentene sammen i elementets lengderetning. På dette viset fikk hele elementene tilstrekkelig styrke mot bølgekrefter som kunne oppstå under sjøtransport fra Hanøytangen til Bjørvika.

Etter at hvert element ble montert på sjøbunnen i Bjørvika ble spennarmeringen kappet. Tunnel består da av segmenter på 22,5m. Segmentskjøtene kan åpne seg (rottere), dette gjør at senketunnelen kan tilpasse seg differansesetninger uten at det bygges opp store krefter i betongkonstruksjonen. Det er begrensninger på hvilke fugebevegelser som kan aksepteres. Se /1.25/.



Figur 1.3 Senketunnel med elementinndeling fra tegning K203-02. Element 1 mot Havnelageret og element 6 mot Sørenga

Det er skrevet flere artikler om Bjørvikaprojektet og om senketunnelen. Se /2.1/, /2.2/ /2.3/ og /2.4/

2 Grunnforhold

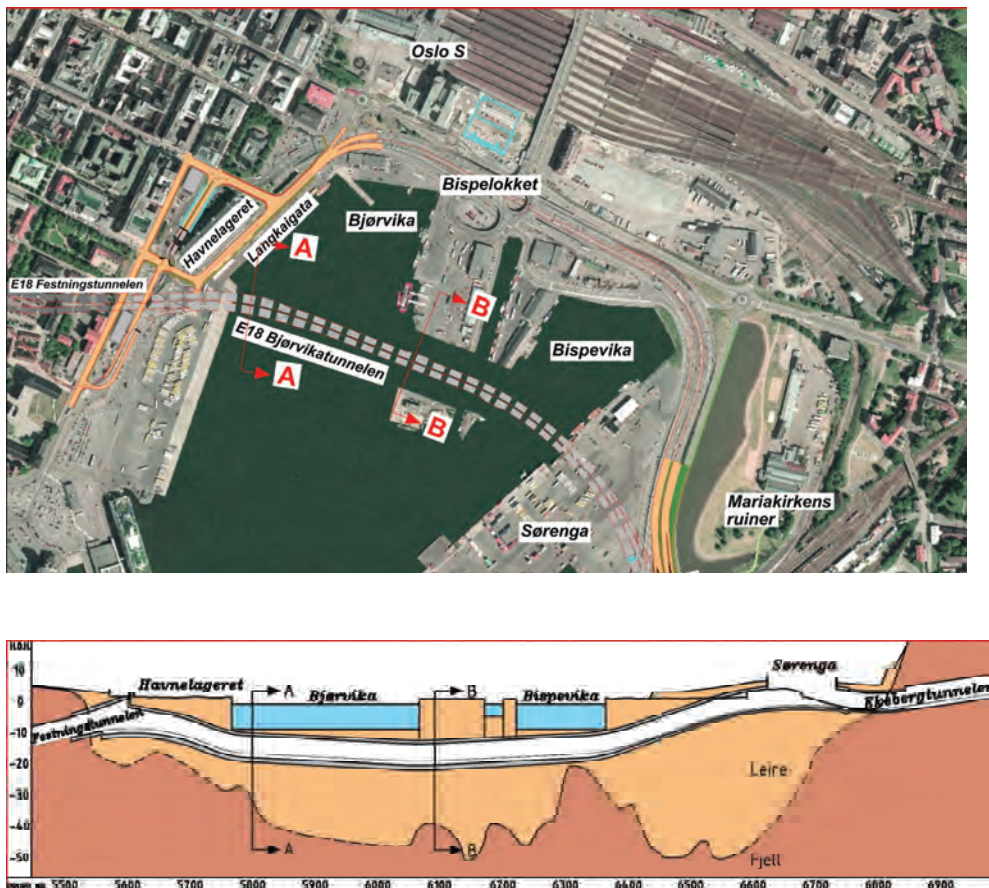
2.1 Grunnundersøkelser

Grunnforholdene er dokumentert i en rekke grunnundersøkelser utført i flere omganger. Hovedtyngden av nye grunnundersøkelser ble gjennomført av Vegteknisk avdeling i Vegdirektoratet. Referanse /1.1/ t.o.m. /1.6/ inneholder de mest relevante data.

NGI utførte i tillegg ødometreforsøk med spesiell fokus på å bestemme av- og re-belastningsmodul, /1.5/, og for å bestemme egenskaper av det øverste slamlaget, /1.6/.

2.2 Oversikt

Figur 2.2.1 viser en forenklet plan og lengdesnitt av tunnelen.



Figur 2.2.1 – Forenklet plan og lengdesnitt av senketunnelen

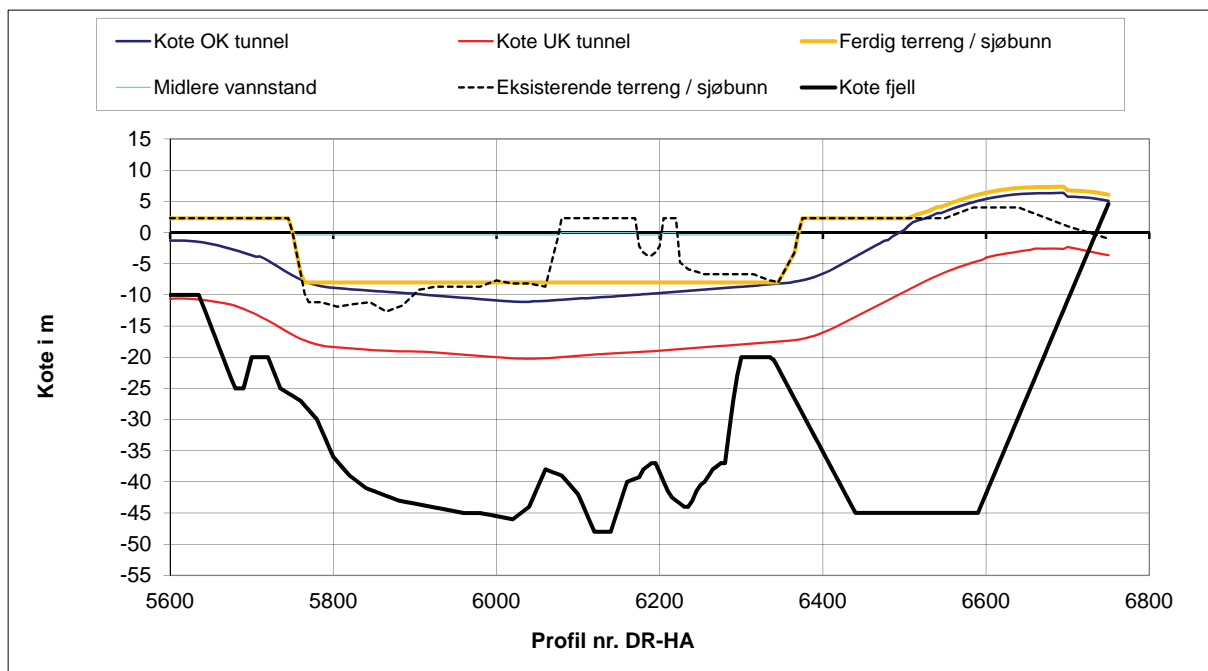
Figur 2.2.2 viser nivå sjøbunn, tunnel og nivå tilbakefylling i mer detalj, inkludert tunnelen som er bygget over Sørenga. I Bjørvika lå opprinnelig sjøbunn på ca. kote -8 til -11, og i

Bispevika omkring kote -6 til -7. Nivået i Bjørvika er antagelig påvirket av tidligere mudring og har fra gammelt av antagelig ligget nærmere kote -6 til -7.

I alle sjøområdene lå det øverst et forurenset slamlag med tykkelse stort sett i området 1 til 2 m, men også delvis fraværende der det sist var mudret. Under slamlaget er det stort sett leire eller siltig leire videre ned til berg, men leira inneholder stedvis tynne sjikt av silt/sand, spesielt nærmest Akerselva.

Fyllingene for Bjørvika utstikkeren og Paulsenkaia består av 3-4 m grovere fyllmasser i toppen ("byfyll"), derunder noen meter sand/silt over 4-5 m med sandblandet flis. Fyllingene innover på land ved Havnelageret og Sørenga består vesentlig av grove masser, primært sprengstein og noe "byfyll". Det fantes på Havnelageret også rester etter tidligere blokkmurskai.

Som vist i fig. 2.2.2 varierer nivået til berg langs sjødelen fra ca. kote -20 til på det grunneste til -48 på det dypeste partiet midt under Bjørvika utstikkeren. Det kan nevnes at omkring Pr. 6320 viste det seg at berget lå helt oppunder senketunnelen, og delvis inntil 1 m over bunn av senketunnelen. Her ble det derfor undersprengt og lagt grusfylling før senketunnelen ble satt ned.



Figur 2.2.2 Lengdeprofil med koteangivelser

2.3 Tolkning, designprofiler

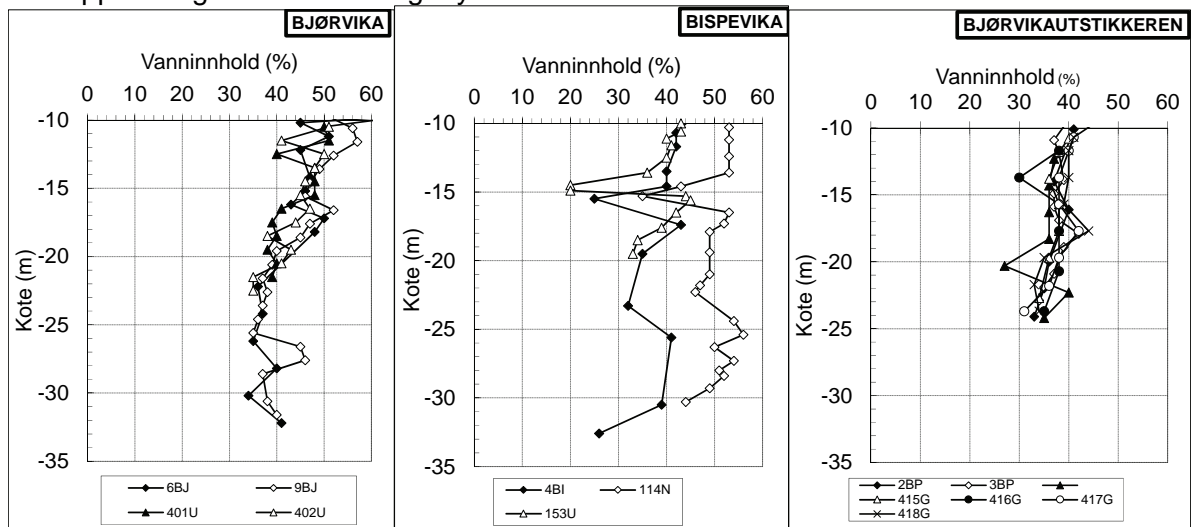
Tolkning og bestemmelse av karakteristiske jordparametere er behandlet i ref. /1.9/ t-o.m. /1.12/. Det etterfølgende gir derfor bare et kort utdrag av de vesentligste parametere brukt som grunnlag for endelig prosjektering.

Det øverste slamlaget kan karakteriseres som sterkt organisk leirig silt/sand. Vanninnholdet varierer fra ca. 80 til 160 %. Hele dette laget ble fjernet langs senketunnelen før start av uttrauing. Håndtering av forurenset masse og tildekking behandles ikke nærmere i denne rapporten.

Leira under det forurensede laget er relativt homogen. Som vist i fig. 2.3.1 viser leira et vanninnhold som avtar med dybden, fra ca. 45-55 % øverst til 35-40 % på kote -30. Under Bjørvikautstikkeren er det en tendens til noe lavere vanninnhold enn under BJ og BI buktene, som må tilskrives konsolidering under fyllingen.

Leiras totale romvekt er nær knyttet til vanninnholdet, og er typisk $17,3 \text{ kN/m}^3$ ved vanninnhold på 50 % økende til $19,3 \text{ kN/m}^3$ ved vanninnhold på 30 %. I beregninger ble det forenklet antatt midlere romvekt $17,8 \text{ kN/m}^3$ over kote -20 og $18,5 \text{ kN/m}^3$ under kote -20.

Basert ødometerforsøk og empiriske data ble det antatt at leira i Bjørvika og Bispevika viser et tilsynelatende forkonsolideringstrykk, p'_c , tilsvarende $1.3\sigma'_{v0}$, der σ'_{v0} = vertikal effektivspenning. Under BP-utstikkeren og Paulsenkaia var dagens effektivspenning større enn opprinnelig forkonsolideringstrykk ned til ca. kote -30.



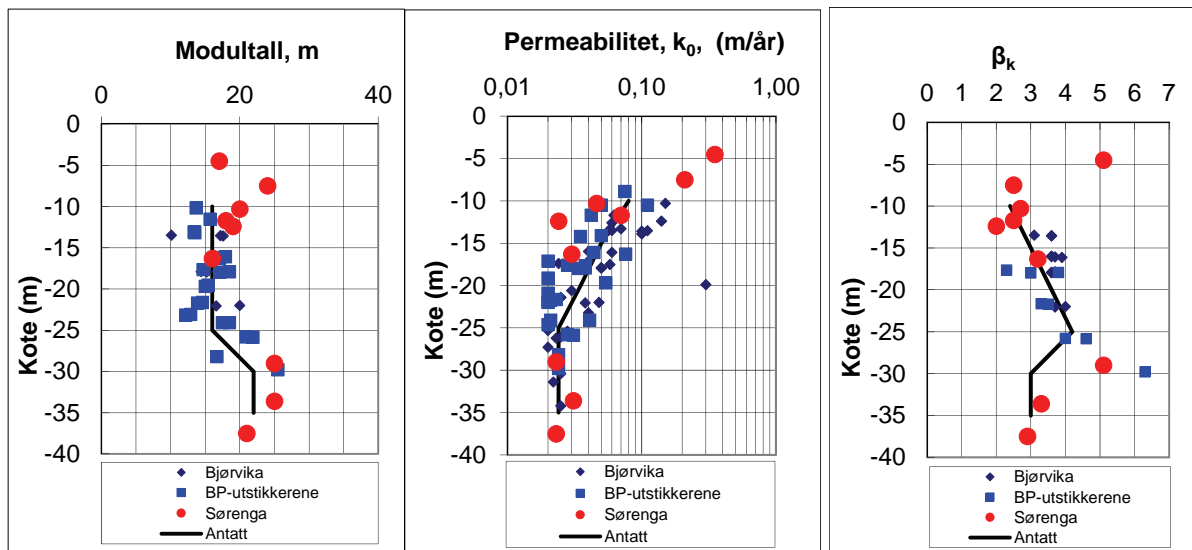
Figur 2.3.1 – Sammenstilling av vanninnhold av leira langs ulike deler

Figur 2.3.2 viser andre nøkkeldata fra konvensjonelle ødometerforsøk og som har inngått i setningsberegninger. Modultallet, m , som definert av Janbu, /2.3/, er ganske typisk for norske leirer. Merk at det modultallet for alle forsøk ble tolket som beste tilpasning av modulforløpet i normalkonsolidert område med valgt referansetrykk, $p'_r = 0$.

Det fremgår at det er en klar tendens til at leiras permeabilitet, k_0 , ved null volumtøyning avtar med dybden. Ved kote -10 er $k_0 = 0,08 \text{ m/år} = 2,5 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$, og under kote -25 $k_0 = 0,023 \text{ m/år} = 0,73 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$. Alle forsøkene viser en klassisk logaritmisk sammenheng mellom permeabilitet, k , og volumtøyning, ε_{vol} , som kan uttrykkes ved:

$$\log(k) = \log(k_0) - \beta_k \times \varepsilon_{vol} \quad \text{der} \quad (2.3.1)$$

Verdier for konstanten β_k ligger stort sett i området 2,5 til 4,0.



Figur 2.3.2 – Sammenstilling av resultater fra ødometerforsøk

Som vist senere utgjør tunnelen inkludert tilbakefylling er netto avlastning på grunnen. Grunnens egenskaper under avlastning og re-belastning vil derfor bestemme hva som vil kunne inntreffe av svelling/heving av bunnen etter uttrauing, og setning ved re-belastning når tunnelen ble satt ned og det ble tilbakefylt på siden og over tunnelen. Det ble derfor utført en rekke spesielle ødometerforsøk med ulike nivåer på av-og re-belastning. Dataene ble presentert i /1.7/. De parametere som på dette grunnlag ble valgt og lagt til grunn for de endelige setningsberegninger ble oppsummert i Vedlegg F til Notat 2-G-103, ref. /1.19/, men ble også behandlet i /1.11/.

For beregning av svelling (hevning) etter avlastning av leira ble det funnet at svellemodulen fra ødometerforsøkene kunne uttrykkes ved følgende korrelasjon:

$$M_s = a \cdot \sigma'_a \cdot (\sigma'_a / (p'_c - \sigma'_a))^{ns} \quad (2.3.2)$$

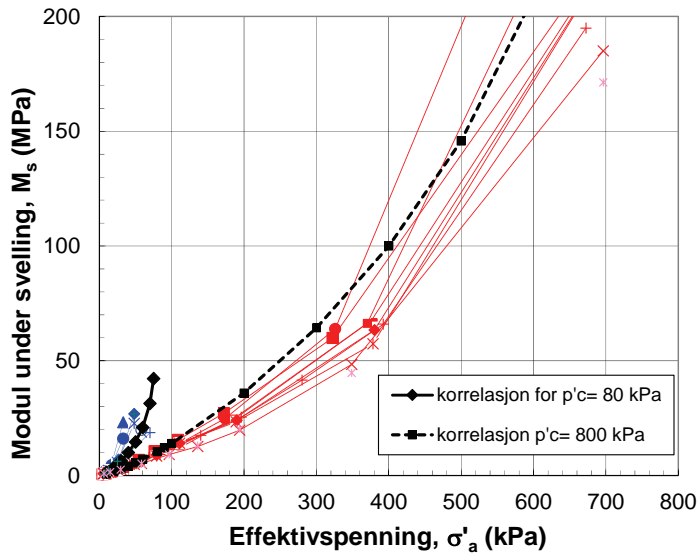
σ'_a = gjeldende aksial effektivspenning under avlastning

p'_c = maksimal aksial effektivspenning (eller forkonsolideringstrykk) før avlastning

a = konstant = 250

ns = eksponent svelling = 0.3

Figur 2.3.3 viser svellemodul for prøver forkonsolidert til respektivt 80 og 800 kPa. Anbefalt korrelasjon viser godt tilpass til begge datasett.



Figur 2.3.3 – Målt og anbefalt svellmodul for prøver forbelastet til respektivt 80 og 800 kPa

Ved re-belastning viste ødometerforsøkene at re-belastningsmodulen kunne beskrives ved:

$$M_{re} = m \cdot p'_c \cdot (b + (c / (p'_c / \sigma'_{min} - 1))^{nr}) \quad (2.3.3)$$

σ'_{min} = effektivspenning ved start re-belastning

m = Janbus's modultall (fig. 2.3.2)

b = konstant = 2.5

c = konstant = 14

nr = eksponent re-belastnings = 1.2

Figur 2.3.4 viser hvordan denne korrelasjonen for re-belastning ser ut.

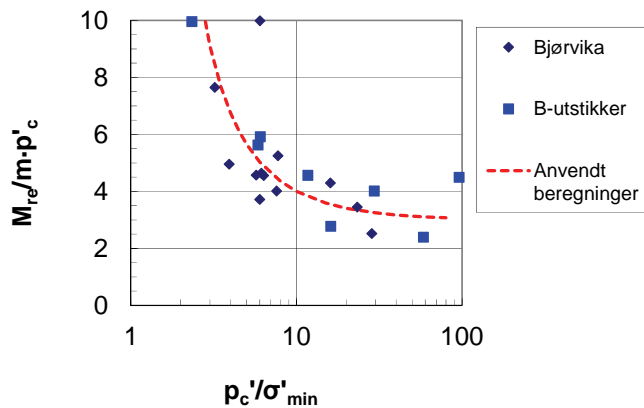
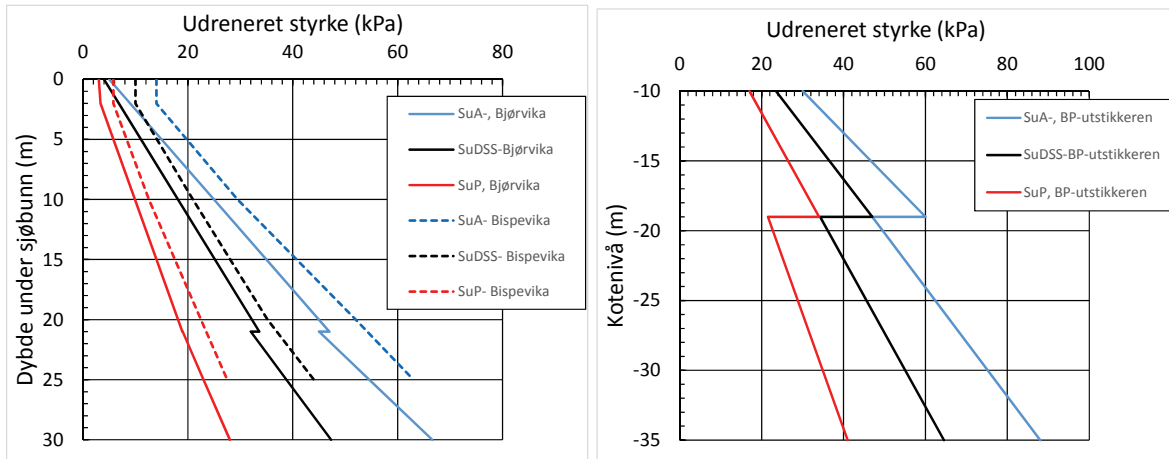


Fig. 2.3.4 – Normalisert re-belastningsmodul fra ødometerforsøk

I alle setningsberegninger er det benyttet en konsolideringskoeffisient, c_v , bestemt av den til enhver tid gjeldende modul og permeabilitet i henhold til:

$$c_v = M \times k / \gamma_{vann} \quad \text{der } \gamma_{vann} = \text{romvekt av vann} \quad (2.3.4)$$

Bestemmelse av leiras udrenerte skjærstyrke for beregning av stabilitet under uttrauing for tunnelen ble basert dels på utførte aktive og passive treaksialforsøk, direkte skjærforsøk og CPTU-type trykksonderinger, /1.11/. Figur 2.3.5 viser typiske valgte styrker over Bjørvika og Bispveika til venstre og Bjørvika-utstikkeren og Paulsenkaia til høyre. Under Bjørvika-utstikkeren og Paulsenkaia bekreftet laboratorieforsøk og CPTU-sonderinger at leira var tilnærmet normalkonsolidert under dagen fyllingslast.



Figur 2.3.5 – Typisk valgt karakteristisk udrenert styrke i Bjørvika, Bispevika og BP-utstikkerne

Ved vurdering av stabilitet etter uttrauing ble det også tatt hensyn til en viss reduksjon av udrenert styrke som følge av svelling, dette sett i lys av at det kunne ta ganske lang tid fra uttrauing til nedsetting av tunnelsegmentene. Dette ble behandlet i vedlegg A i ref. /1.14/.

3 Prosjektet og beskrevet løsning

3.1 Alternative konsepter for kryssing av Bjørvika

Det er gjennomført mange utredninger for kryssinger av Bjørvika. Før NGI/AAJ ble involvert i 1995 var det lagt til grunn et konsept med bygging i tørr byggegrop ved å etablere fyllinger langs hver side av tunnelen med en sentral spuntvegg midt i fyllingene for å tette mot inntrengning av vann. Tunnelen skulle da ligge med underkant i nivå med dagens sjøbunn.

NGI/AAJ foreslo å sløyfe fyllingene og heller gå for et spesielt spuntveggkonsept. Prinsippet for dette var først å presse ned pre-fabrikkerte avstivingsrammer til ca. 10 m under sjøbunn og så ramme en flat cellespunt mellom de pre-installerte avstivningsrammene. I løsningen inngikk også en skipsbarriere på utsiden av tunnelen.



Figur 3.1.1 – Fra tidligere utredninger

Senketunnel alternativet begynte AAJ/NGI å arbeide med høsten 1999. Det var først et grunt alternativ som også krevde skipsbarriere på utsiden. Traseen ble så senket, først til bare å gå dypt på midtre del, og senere til det endelig valgte alternativ som går så dypt at behovet for skipsbarriere på utsiden av tunnelen ikke lenger var til stede langs noen partier. Et vesentlig element for dette valget var også at tunnelen fortsatte å gå så dypt innover Sørenga at store arealer her kunne frigis for andre utbyggingsformål. En dyp løsning åpnet også for direkte fundamentering av tunnelen.

Ved vurdering og valg av fundamenteringsløsning for senketunnelen ble forskjellige varianter av løsninger med peler vurdert. Betydelige kostnader og tekniske utfordringer med å senke elementene ned på forhåndsinstallerte peler var et viktig argument for å undersøke muligheten for direkte fundamentering som metode, slik det også til slutt ble valgt. Grunnlaget for dette er nærmere beskrevet i neste under-kapittel.



3.2 Direkte fundamentering

Den første utredning av mulighet for direkte fundamentering ble gjort tidlig i 2001, ref. /1.11/. Dette notatet konkluderte med at direkte fundamentering kunne være en forsvarlig og gjennomførbar løsning, og dette ble også endelig det valgte fundamenteringskonseptet. Hovedgrunnen til at dette ble ansett for en forsvarlig løsning var at tunnelen med sin valgte dype linjeføring ville representere en netto avlastning på grunnen langs hele sjødelen og mye av Sørenga, og derved i utgangspunktet ville få ganske beskjedne setninger.

3.2.1 Forventede setninger

Under prosjekteringen ble det sett på følgende mulige bidrag til setninger under og etter nedsetting og tilbakefylling:

a) Setninger i slam/leirklumper som eventuelt blir liggende igjen etter uttrauing

Etter uttrauing/mudring vil det kunne ligge igjen noe slam og bløte leirklumper over traubunn som kan være ganske kompressibelt og gi noe setninger. Med de krav som ble satt til uttrauing, kontroll og rensk før utlegging av gruslag ble dette anslått til bare å bidra med noen få cm setning som i all hovedsak ville inntreffe under nedsetting av tunnelen, og før sammenkobling av elementene.

b) Setninger på grunn av forstyrrelse av leira under traubunn

Under mudring/uttrauing kan man også få noe forstyrrelse av leira under det nivå som det traues ut til som følge av mudringsutstyrets operasjon. Hvis leira for eksempel grabbes ut, vil man få skjærdeformasjoner ned i leira når massene "rives" løs fra sjøbunnen. Dette kan gi noe forstyrrelse av leira ned til en dybde av inntil ca. 0,5 m under nivået det grabbes ut til. Tilhørende setninger når en slik noe forstyrret leire rebelastes ble anslått til ca. 2-10 %, eller ca. 1-5 cm. Det aller meste av slike setninger vil også finne sted under ballastering og sammenkobling av tunnel elementene.

c) Setning i avrettingsmassene

Før nedsetting av senketunnelen ble det lagt ut et gruslag i strenger på tvers av tunnelen med krav til minimum 0,5 m tykkelse (se kapittel 6 for detaljer). Rene konsolideringssetninger (volumendringer) i dette laget ble anslått som meget beskjedne, anslagsvis 5-10 mm. Før utlegging av gruslag ble det plassert en fiberduk på sjøbunnen.

Hvis dette underlaget/strengene ikke blir helt jevnt vil det også kunne bli noe skjærdeformasjoner og setninger som følge av at områder med relativ overhøyde presses ned og de lavere områder presses opp. Mulige deformasjoner av slike årsaker ble også vurdert og er tatt inn i de detaljerte jord-konstruksjonsanalysene av senketunnelen, se /1.24/.

d) Skjærdeformasjoner ved nedsetting og tilbakefylling

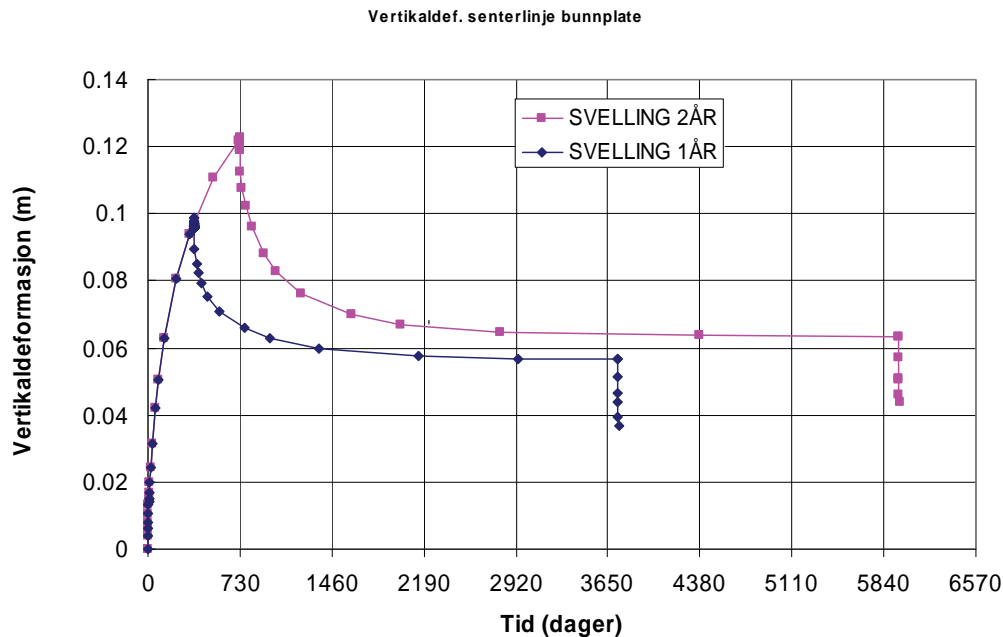
Beregninger med elementmetoden (programmet PLAXIS) presentert i ref. /1.18/ viste at last fra senketunnelen vil medføre en setning på bare 0,6 til 0,8 cm, og at videre at tilbakefylling til kote –8,0 inntil vegger og over tak i Bjørvika kunne medfører setninger fra 1,2 til 2,0 cm.

At setninger på grunn av udrenerte skjærdeformasjoner ville bli små ble også dokumentert ved beregninger for profil 6135 gjennom Bjørvikautstikkeren utført med PLAXIS og reviderte jordparametere. Dette viste bare 0,4 cm setning som følge av tilbakefylling til kote -6 over taket (tilsvarende 3,7 m masse).

e) Svelling og setning som følge av konsolidering etter uttrauing og belastning fra tunnel og tilbakefylling

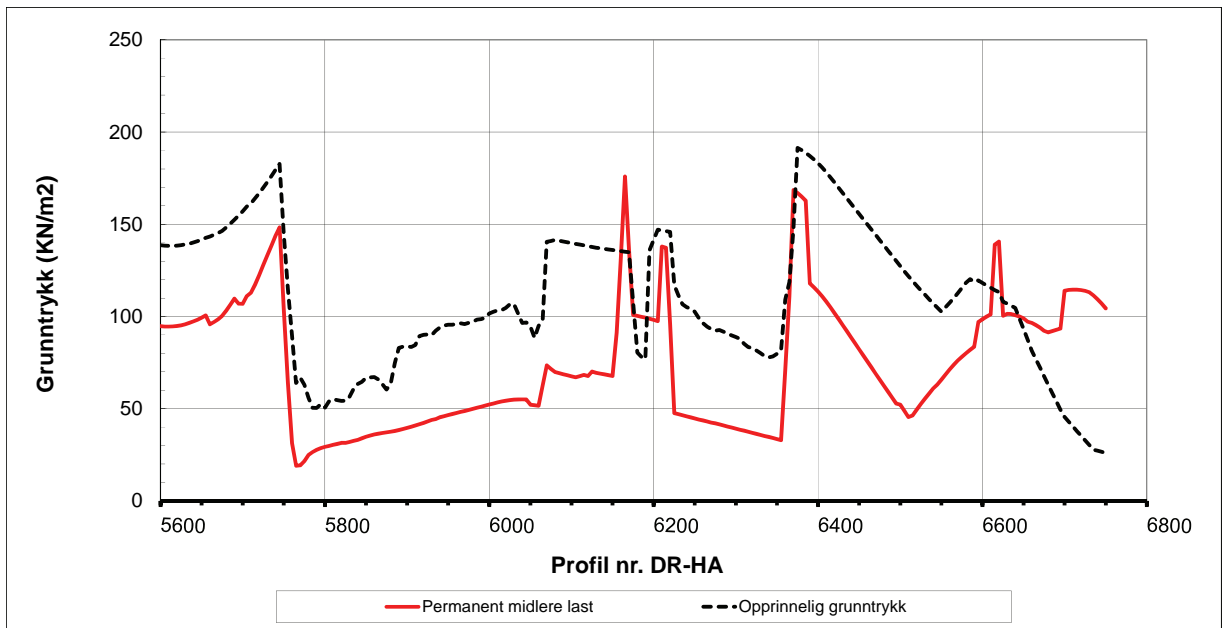
Avlastningen som følge av utmudringen vil sette i gang en svelleprosess i den underliggende leira. Når lasten fra tunnel inkludert tilbakefylling påføres vil man i prinsippet både kunne få svelling (hevning) og re-konsolidering (setning) i leiravsetningen, avhengig av hvilken konsolideringsgrad som er oppnådd i svellefasen før tunnellast påføres.

Etter uttrauing vil leira under traubunn begynne å svulle. Hvor lang tid leira får stå å svulle før last fra tunnel påføres har betydning for den etterfølgende setningsutviklingen. Figur 3.2.1 viser eksempel på beregnet svelling- og setningsforløp utført med programmet PLAXIS tatt fra ref. /1.18/. Beregningene viser at re-belastning etter 2 år gir ca. 1,5 cm større setning enn om det re-belastes etter ett år. Det er også verd å merke seg at svellefasen ikke er avsluttet selv etter 2 år, men ville pågått i ca. 6-8 år hvis det ikke ble re-belastet med last fra tunnel og tilbakefylling.



Figur 3.2.1 – Eksempel på beregnet forløp av svelling og setning ved traubunn for snitt gjennom Bjørvika utstikkeren.

Tilsvarende konsolideringsberegninger ble utført for et snitt ved Pr. 6310 inne på Sørøenga. For andre representative snitt ble beregningene utført manuelt. Beregningene for ulike snitt tar hensyn til variasjon i grunntrykk før og etter bygging av tunnelen, fig. 3.2.2.



Figur 3.2.2 – Variasjon i grunntrykk ved nivå u.k. tunnel før og etter bygging av tunnelen.

Som vist i tabell 3.2.1 viste de manuelle beregningene svært god overenstemmelse med PLAXIS beregningene i samme snitt. Tabell 3.2.1 viser også anslått udrenert setning i leira som følger av nedsetting og tilbakefylling.

Tabell 3.2.1 – Sammenstilling av beregnet setning i leira under senketunnelen (fra ref. /1.18/)

Profil Nr. Nr. HA-DR	Kote u.k. tunnel	Kote fjell	Dybde fjell fra u.k. (m)	Permanent grunntrykk (kPa)	Beregnet kons. setning (mm)	Anslått udrenert setn. (mm)	Total setning (mm)	Ekivalent fjærstivhet ks(kPa/m)	Ref.setning ved 5m til fjell (mm)	Ref. stivhet ved 5m til fjell ks5 (kPa/m)
5730	-15	-24	9	125	90	5	95	1316	67	1866
5745	-15,5	-26	10,5	140	75	5	80	1750	53	2642
5800	-18,4	-36	17,6	30	21,7	3	24,7	1215	14	2143
6000	-20	-45,5	25,5	51	40,2	4	44,2	1154	24	2125
6000-PLAXIS	-20	-45,5	25,5	52	40	5	45	1156	24	2167
6135	-19,5	-48	28,5	86	47	5	52	1654	24	3583
6135-PLAXIS	-19,5	-48	28,5	86	56	5	61	1410	28	3071
6310	-17,9	-20	2,1	27	7,2	2	9,2	2935	13	2077

For å kunne beregne setninger noe forenklet for et vilkårlig snitt, ble det i /1.18/ funnet at setningene i leira kunne beregnes etter følgende formel:

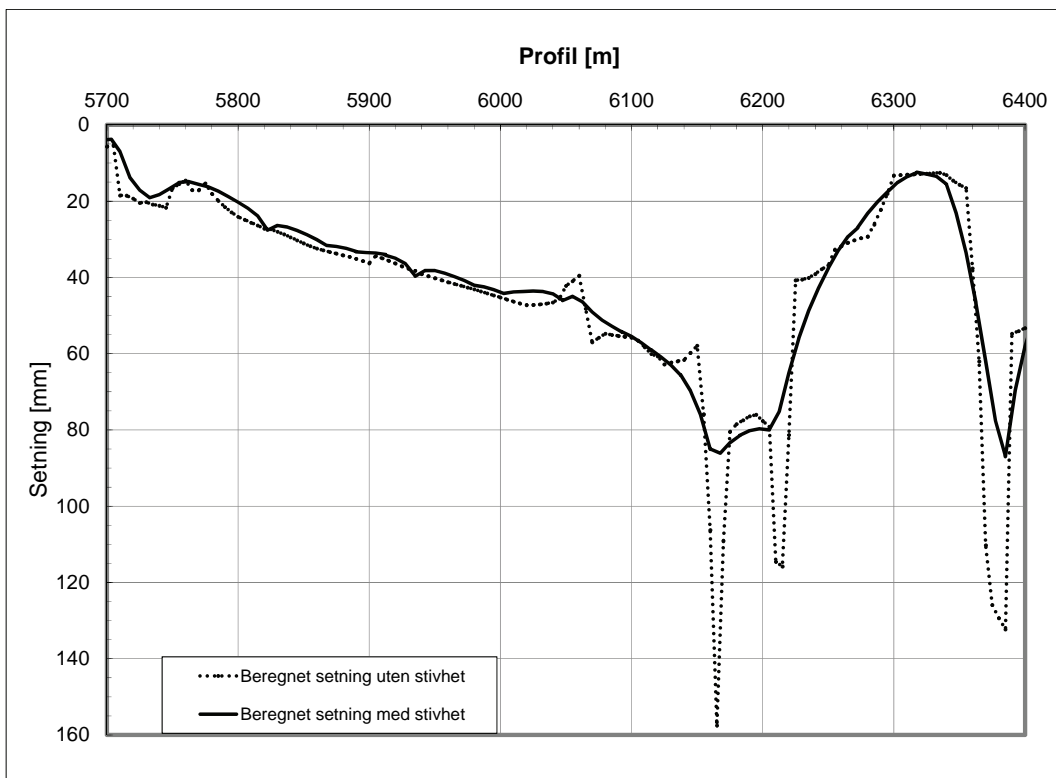
$$\delta = q/k_s$$

q = grunntrykk

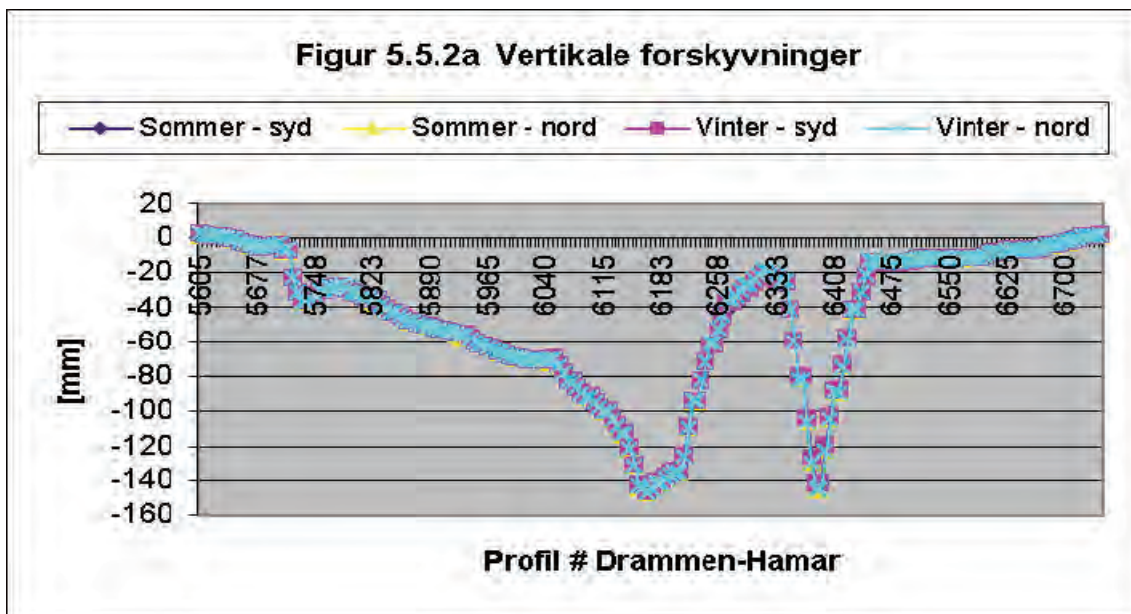
k_s = ekvivalent fjærstivhet = $k_{s5} \cdot z/5$

k_{s5} = ekvivalent fjærstivhet ved 5 m dybde til berg som tilbakeregnet i tabell 3.2.1.

Figur 3.2.3 og 3.2.4 viser beregnet variasjon av beregnet setning i leira langs tunnelen basert på dette grunnlaget. Beregningene viser at tunnelen har stor utjevneende effekt på variasjon av setninger, og spesielt gjennom Akerselva og BP-utstikkerne.



Figur 3.2.3- Beregnet setning langs tunnelen med og uten hensyntagen til tunnelens stivhet (kun setning i leira som følge av konsolidering)



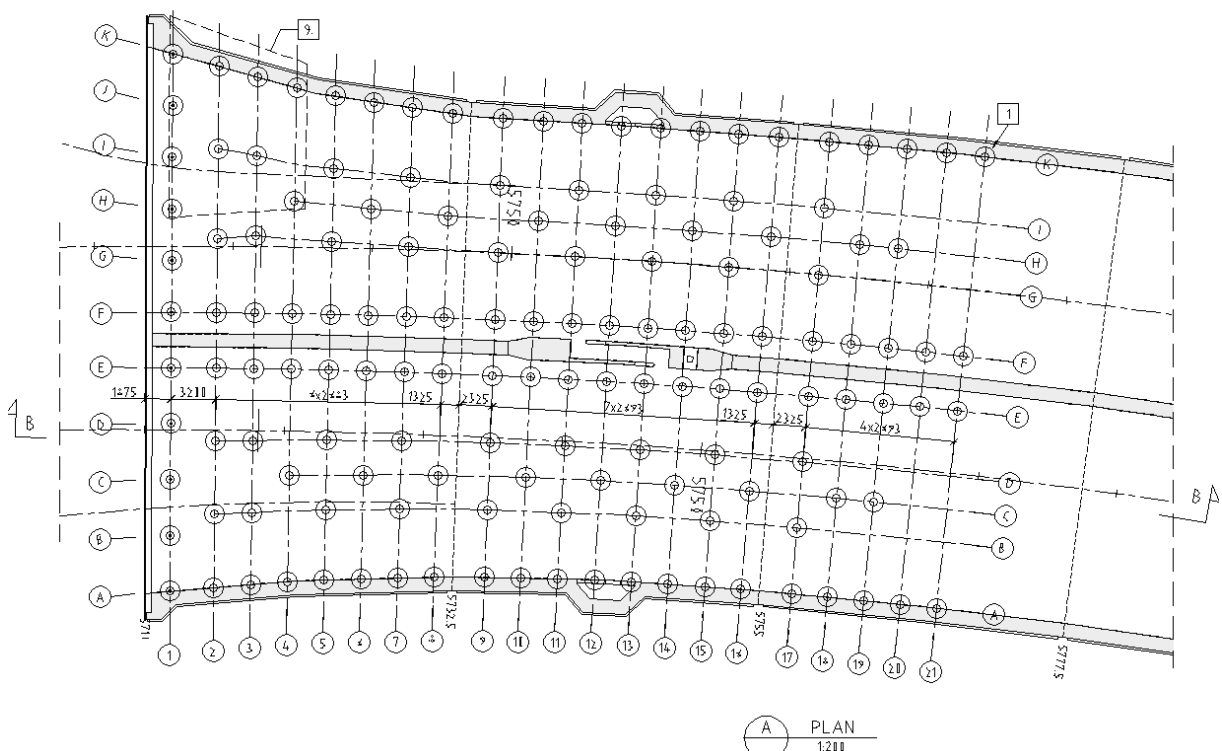
Figur 3.2.4 – Setninger som følge av belastning på tunnelen fra tilbakefylling, Høyt estimat fra Global analyse ref. /1.24/. Flere scenarier er undersøkt med antagelse om tidlig og sen uttrauing samt variasjoner i grunn forhold.

I globalanalysen for konstruksjonen senketunnelen ref. /1.24/, er det angitt hvilke scenarier som er undersøkt og resultatene fra disse analysene.

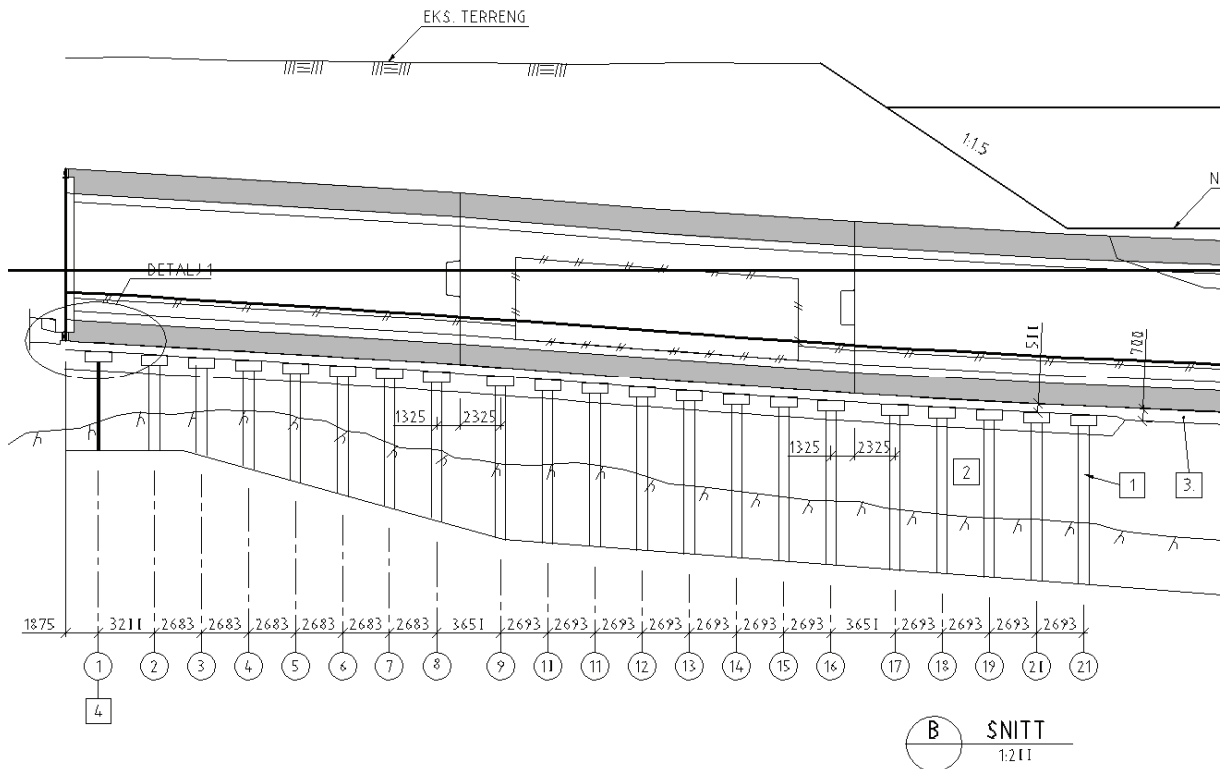
3.2.2 Grunnforsterkning mot Havnelageret

Inn mot Havnelageret skulle terreng og kaier reetableres. Dette medførte at taket på tunnelen fikk en betydelig overfylling. Nyttelaster på terreng for fremtidig bebyggelse er også høye i dette området. De eksisterende grunnforholdene i dette området var også vanskelig å dokumentere da de ikke er homogene. Viktige forhold er massefortregning fra tidligere etablerte steinfylling fra land samt eksisterende kaikonstruksjoner med omfattende trepeler som i varierende grad kunne dokumenteres. Uttrauing for senketunnelen medførte riving av peler for gamle kaier dette ga mulighet for noe omrøring i selve traubunn. Tunnelen bygget i tørr byggegrop inne på Havnelageret var delvis av disse årsaker valgt fundamentert på peler til berg. Det var derfor viktig at det første senketunnel elementet fikk en gradvis overgang i setninger fra noe som stod fast på berg til direkte fundamenteringen av senketunnelen videre utover i sjøen.

Løsningen som ble etablert var en "grunnforsterking" med stårørspeler med pelehatter på toppen, jfr. fig. 3.2.5-8. Grus ble lagt mellom og over disse pelehattene. Dette ga da en mer forutsigbar stivhet og situasjon for fundamentering av det 1. elementet. Beregninger presentert i Vedlegg F til notat 2-G-103, /1.18/, viste en at tunnelen ville sette seg ca. 2 cm i dette området med grunnforstrekning.



Figur 3.2.5 – Plan grunnforsterkning. Fra tegning K203- 187.



Figur 3.2.6 – Lengdesnitt grunnforsterkning. Fra tegning K203- 187.

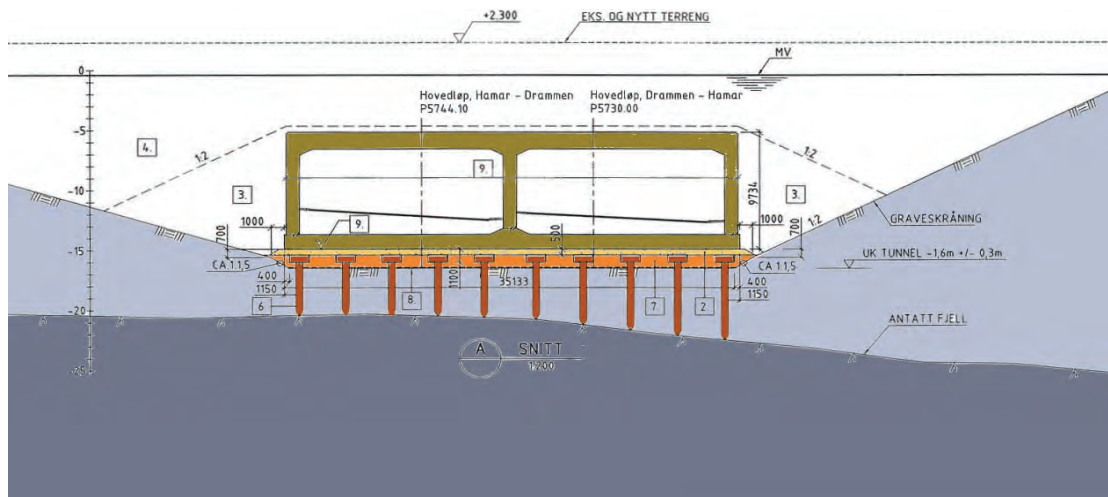


Figure 3.2.7 – Tverrprofil av løsning med peler, pelehatter og gruslag anvendt under første del av senketunnel element nr. 1 i overgangen mot Havnelageret.



Figure 3.2.8 Fra arbeid med peler for grunnforsterkning

3.2.3 Kontakt med fjell i Bispevika

Grunnundersøkelser indikerte at dybde til berg i Bispevika var begrenset og at det med stor sannsynlighet ville bli behov for å fjerne noe berg for å kunne etablere et fundament for senketunnelen.

Dette viste seg å stemme og det ble utført undervannsprengning, med tiltak for å redusere trykkbølger i sjøen. Dette ble utført ved bruk av luftgardiner og ved å sikre at sprengstoff ladning ikke står for høyt i ladehullet slik at det får kontakt direkte mot sjø.

Det var behov for å være forsiktig av hensyn til konsekvenser for fisk først og fremst. De tidligere produserte elementer var lagret i nærområdet og det var også ønskelig å redusere trykkbølger på endeskott.

Etter at bergmassene fra sprengning ble mudret ut ble det tilbakefylt med kult 22-120 opp til nivå for generell mudring, ca. 0.7 m under underkant tunnel.

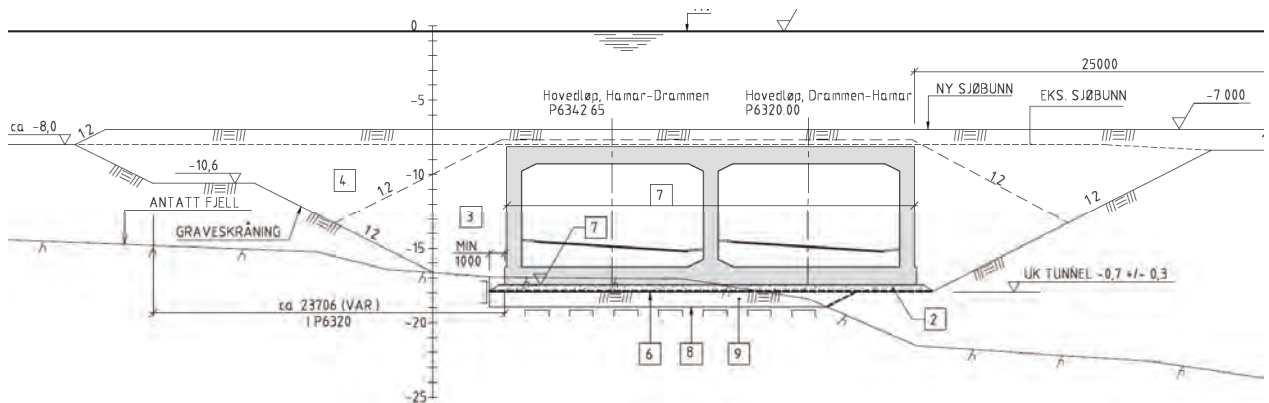


Figure 3.2.9 Snitt fra tegning K203-186

Det er begrenset potensiale for setninger i dette området, slik at det forventes og er beregnet kun mindre differansesetninger på tunnelen selv om stivhet på fundament varierer sterkt.

3.3 Graveskråninger

3.3.1 Generelt

Vurdering av stabilitet knyttet til mudring for senketunnelen er presentert i ref./1.15/ og /1.16/. Ved prosjektering og setting av krav til utgraving for senketunnelen ble det satt følgende krav:

- Beregnet sikkerhet mot grunnbrudd skulle i alle gravefaser være minst 1,35. Det innebar at krav til mudringsprofilens helning skulle ivaretas til enhver tid.
- En praktisk tillempling av dette kravet var at det ikke skulle være vertikale avvik fra det generelle profilet som oversteg 0,5 m.
- Entreprenøren ble pålagt jevnlig kontroll med multi-stråle ekkolodd for å påvise at disse generelle kravene til mudringsprofil ble oppfylt.

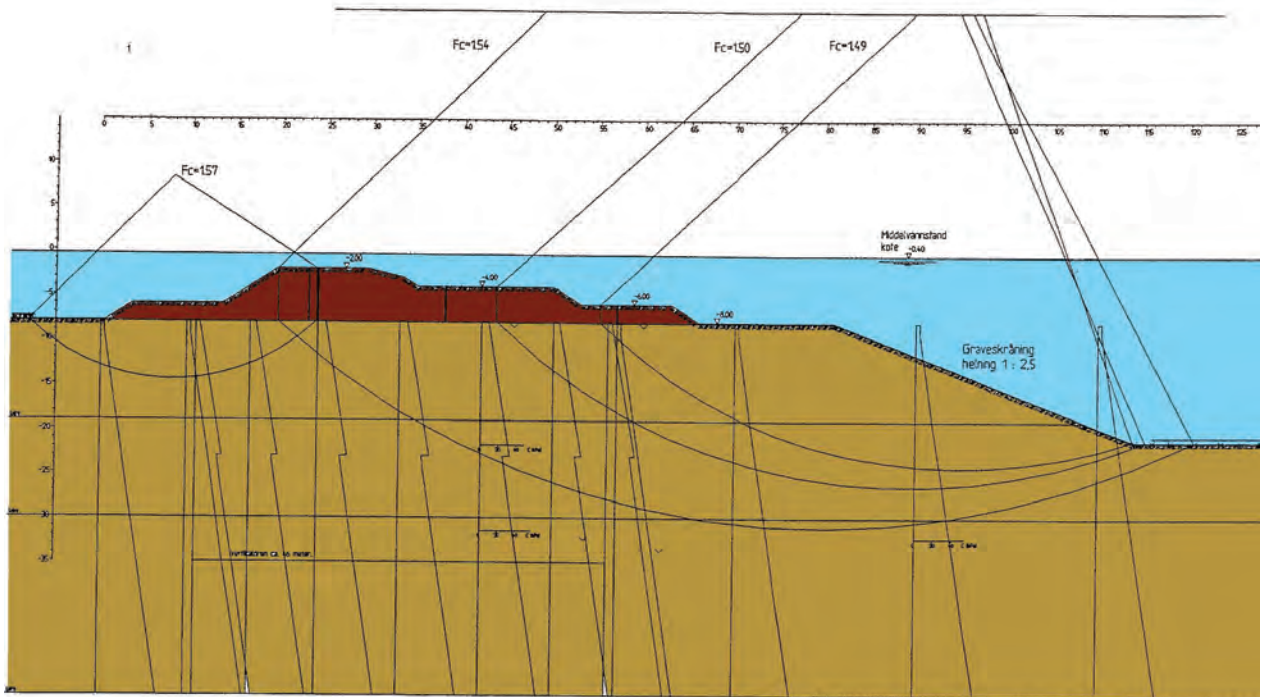
Da det etter hvert ble klart at mudringen ville gjennomføres langs hele tunnelen før nedsetting av noen elementer, ble det i stabilitetsberegningene tatt hensyn til noe reduksjon av styrke på grunn av svelling i den tid trauret ville stå ferdig mudret. Effekten av dette var ikke særlig stor, kun ca. 3,6 % reduksjon, /1.15/.

Stabilitetsberegningene viste at langs det meste av traseen ville en mudret skråning med helning 1:2 gi tilfredsstillende sikkerhetsfaktor. Det gjaldt også inn mot Bispevika hvor forurensede masser ble tildekket med ren leire. Noen unntak og spesielle krav til utførelse er beskrevet i det etterfølgende.

3.3.2 Mot Operaen - skipstøtvoll

I forbindelse med Operaen var det etablert en skipsstøtvoll som vist i fig. 3.3.1. Før utlegging av vollen ble det satt vertikaldren ned til kote – 23, delvis for å ivareta sikkerhet under mudring for senketunnelen. Dette gjennom at vertikaldrenene bidrar til rask konsolidering og styrkeoppbygging i leira, noe som var helt nødvendig. Som det fremgår av fig. 3.3.1 ble det

valgt en skråningshelning på 1:2,5, noe som gav minste beregnet sikkerhetsfaktor i dette snittet på 1,48.



Figur 3.3.1- Skipstøtvoll for Operaen

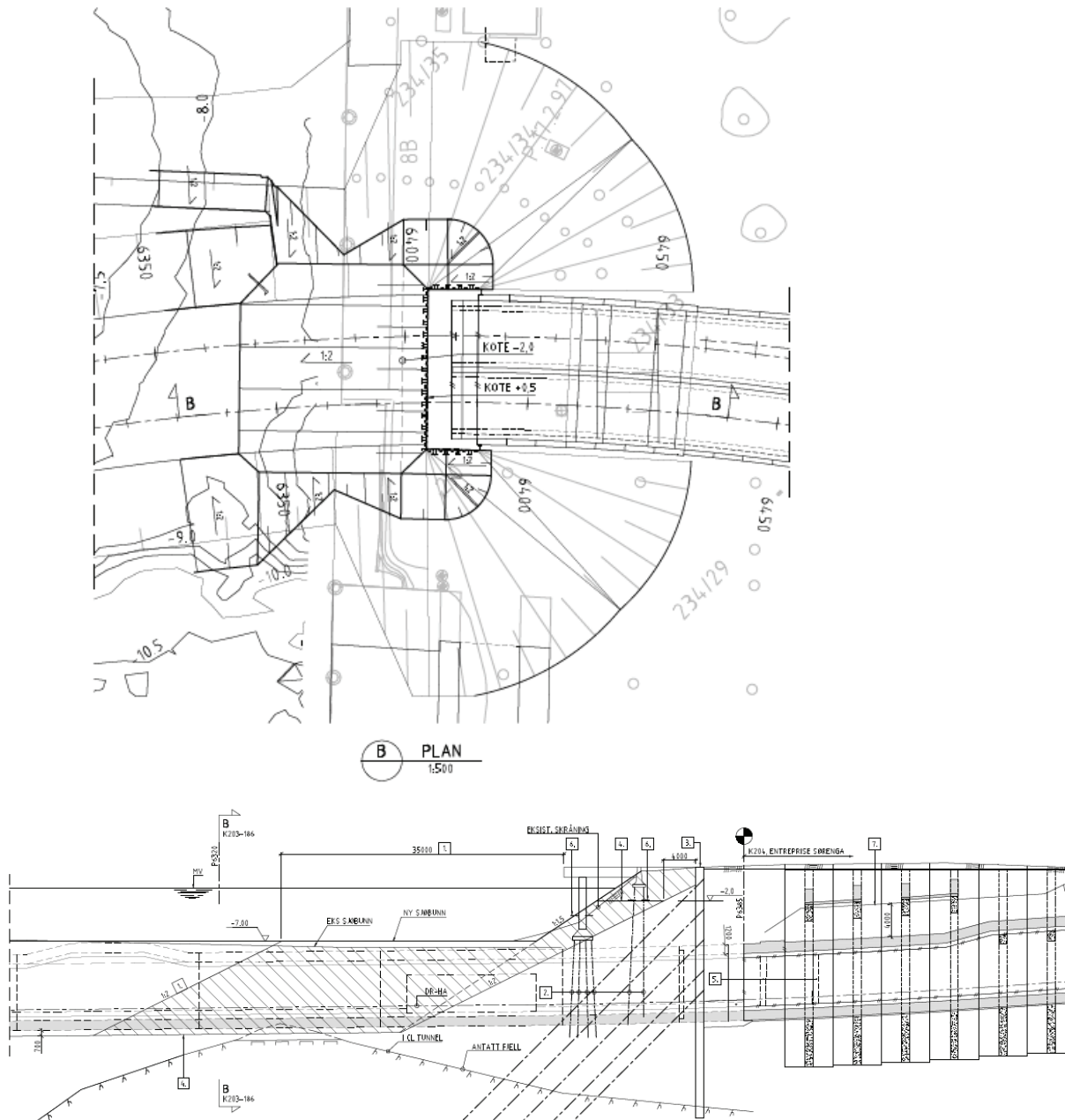
3.3.3 Gjennom Bjørvikautstikkeren

Det var en del usikkerhet knyttet til egenskaper av fyllmassene gjennom utstikkerne. Med en mudret skråning med helning 1:2 var den globale sikkerhetsfaktor for glideflater som gikk ned i leira god (1,45), men mer usikker for grunne glideflater. Også av hensyn til fare for bølgeerosjon ble det derfor mudret plass for et 1 m tykt lag med sprengstein mellom kote -3,0 og opp til terreng.

3.3.4 Møt Sørenga og Havnelageret

Installasjon av senketunnel element 6 krevde mye plass og ekstra mudring langs kai på Sørenga og i Bispevika. Dette var noe utfordrende fordi graveskråningene også måtte ta hensyn til når og hvordan stag skulle fjernes. Løsningene ble utarbeidet i nært samarbeide mellom entreprenør og rådgiver, og er delvis beskrevet i /1.23/. For å ivareta stabilitet måtte terrenget avlastes et godt stykke innover på Sørenga ved graving med skråning 1:2,5 i dette området, fig. 3.3.2. Det ble gjort før det ble mudret helt til bunn inn til endespunten. Fjerning av peler under eksisterende kai og kapping av stag inn mot spuntvegg ble gjort suksessivt med gravingen.

Mot Havnelageret var det mye av samme prinsipp som ble lagt til grunn, /1.23/. Her var det dessuten an blokkmurskai som måtte plukkes ned, med en skog av trepeler under. Trepelene ble bare brukket ned med grabben etter hvert som man fikk kontakt med dem.



Figur 3.3.2- Plan og lengdesnitt av mudring inn mot Sjørenga kaia



4 Mudring

4.1 Mudringsmetode

Det er flere forhold som er avgjørende for valg av mudringsmetode.

Mudrede masser skulle kunne deponeres i nærområder eller overføres til annen entreprenør for tildekking av forurenset sjøbunn. Implisitt innebærer dette at tempo i mudring må tilpasses kapasitet for mottak.

Aktuelle metoder for miljømudring er

- Mekaniske metoder (bakgraver, grabb, etc.)
- Hydrauliske metoder (sugemudring)
- Mekanisk-hydrauliske metoder (auger, kuttersuger, disk kutter)
- Undervannsbasert utstyr (for dypt vann)

I henhold til kontrakten så ble ikke entreprenøren pålagt å bruke bestemte grave/mudremetoder unntatt der dette er spesifisert. Entreprenørene skal velge egnet metode. Metodene skal tilfredsstillende følgende kriterier:

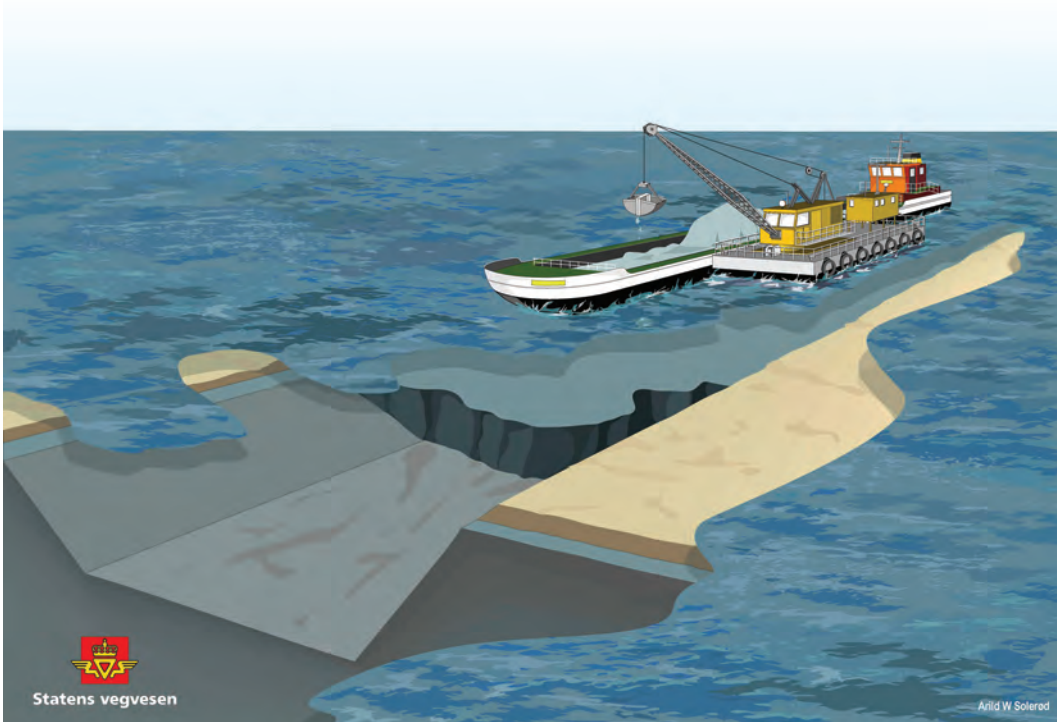
- Toleranse både vertikalt og horisontalt.
- Minimal spredning av forurenset sediment til vannmassene under graving/mudring.
- Minimal spredning av forurenset sediment under transport.
- Minimal fare for innrasing av masser og forurensninger fra sidene/graveskråningene.
- Begrenset eller minimal innblanding av ekstra vann.
- Sikkerheten for personell skal være høy.
- Gravemetoder må velges slik at arkeologiske funn kan identifiseres.

Ut i fra disse forutsetninger ble det valgt å benytte en mekanisk metode med grabb.

Ren leire:

Viktige forhold var mottak og deponering av de mudrede massene. Ren leire var betraktet som en miljømessig ressurs primær for tildekking over forurensete masser i nærområdet. Mudring generer ren leire til tildekking. Dette krever at områder er klarert for tildekking og at utstyr og øvrig utførelsesapparat med tilpasset kapasitet må være etablert.

Hvis ikke kapasitet for å ta imot ren leiren for tildekking er etablert måtte andre deponeringsmuligheter være tilgjengelige. Bekkelagsbassenget var et slikt deponi med dypvannsdeponering, ca 50m dyp. Massene ble her deponert med splittlekter. Dette var ikke en foretrukket løsning da utlegging over forurensete masser var en mer miljømessig riktig utnyttelse av ren leire.



Bilde 4.1.2 Mudring med grabb, prinsipp

4.2 Mengder og type masser

I konkurransegrunnlaget lå det til grunn en antatt fordeling mellom forskjellige massetyper. Mengden masser var dominert av ren leire under de forurensede og oppfylte massene.

Oppfylte områder besto i:

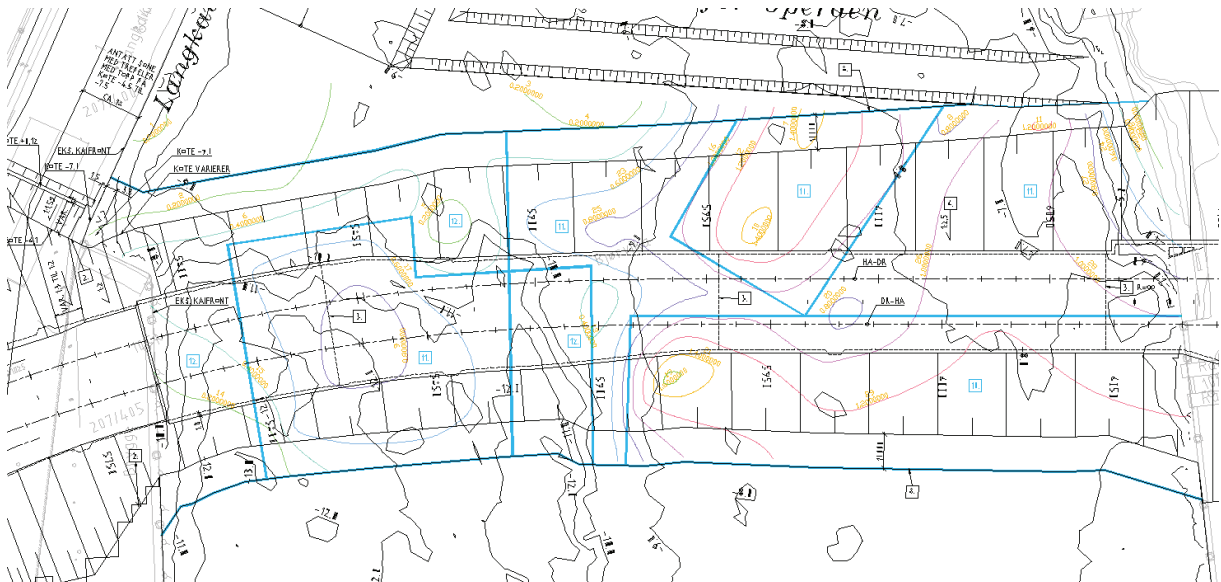
- Bjørvikautstikkeren fylt opp over mange tiår, med flis, byfyll og andre masser. Høy grad av forurensing på grunn av bl.a. tung industri.
- Havnelageret er til stor grad oppfylt med stein som har fortrent leire. På Havnelageret var det også omfattende eldre kaikonstruksjoner på trepeler som også skulle fjernes/mudres, (Langkaia).
- Sørengkaia besto også i oppfylte områder – med variabel kvalitet på massene.
- Paulsenkaia tilsvarende Bjørvikautstikkeren, men mindre omfang.

I vedlagte tabell 4.2.1 er antatt og faktiske mengder angitt. Det ble vesentlig mer forurensede masser og de forurensede massene var i all hovedsak i klasse C som er en høy grad av forurensning.

Prosess	Beskrivelse	Kontrakt		Utført
		Enhet	Mengde	Mengde
81.5251 K203	Forurensede masser klasse A	m3	50 000	2 356
81.5252 K203	Forurensede masser klasse B	m3	30 000	0
81.51333 K203	Forurensede masser klasse C	tonn	52 000	200 136
81.52531 K203	Byfyllmasser og flis	m3	40 000	173 595
81.392 K203	Graving av forurensede løsmasser i uavstivet byggegrop under vann	m3	50 000	101 374
81.32 K203	Graving av løsmasser i uavstivet byggegrop under vann	m3	440 000	304 598
81.52532 K203	Forurensede sedimenter	m3	50 000	44 292

Tabell 4.2.1 Antatte mengder i kontrakt og faktiske mengder mudrede masser.

Generelt var det en mektighet med forurensede masser på toppen av de rene massene. I forkant ble denne tykkelsen kartlagt og det ble etablert grunnlag som viste forventet mektighet, mektighet i sprang på 0,5m ble angitt, Se eksempel på figur 4.2.1.



Figur 4.2.1 Mudringsplan med estimert mektighet for Bjørvika, trinn på 0,5m.

Som det fremgår ble total mengde forurensede masser vesentlig større og forventningene om at massene i hovedsak skulle være moderat/lite forurenset viste seg ikke å stemme.

Det er også viktig å nevne at grenseverdier for klassifisering av masser i de forskjellige klasser ble endret. Dette bidro til at det alt vesentlige av massene havnet i forurensede masser klasse C.

Mudring i sjø gir utfordringer i å finne tydelig grense mellom rent og forurenset. Det ble opplevd gradvis mindre forurensninger, men det er vanskelig å få det «helt rent».



Figur 4.2.2 Prinsipp hvor lag med forurensede masser fjernes før mudring av rene leirmasser.

4.3 Utførelse av mudringsarbeidene

Metode:

I henhold til kontrakten var entreprenøren pålagt å utarbeide metodebeskrivelser for alle arbeider med graving/mudring av rene og forurensede masser i sjøen. Metodebeskrivelsene skulle vise hvordan graving/mudring er planlagt utført og hvilket utstyr som er tenkt benyttet.

Entreprenøren valgte å benytte et maskinstyringssystem som var koblet mot en GPS-antenne om bord som gir en oversikt over fartøyets posisjon, grabbens arbeidssituasjon og utgravde nivåer. Innmålt sjøbunn legges inn i systemet slik at man har dette som opprinnelig terreng i 3D-modellen. Områder som mudres registreres i systemet slik at terrengmodellen oppdateres. På denne måten gir modellen til enhver tid en oversikt over utgravd nivå i forhold til prosjektert nivå.

Flis:

I området fra Paulsenkaia – inn mot Bispevika og Bjørvikautsikkeren – inn mot Bjørvika var det store mengder masser/sedimenter som i hovedsak består av flis og sand/slam/leire. Som mottak for denne massen ble Lindum i Drammen valgt, ut i fra at de kunne motta denne typen masser med et høyt innhold av organiske materialer.

Planen var å legge disse massene på en flattopplekter og deretter frakte disse på lastebil i container til deponi. Dette ble forsøkt i starten, men ble raskt stanset da massene har et vanninnhold og en konsistens som – ved transport i lastebil – gjør massene svært ustabile og medfører risiko ved eventuelle unna manøvreringer og ved oppbremsing.

Den løsningen som da ble valgt var å laste massene fra flattopplekter og ned i en lekter som transporterer massene til NOAH/Langøya. Her blir de lastet opp og mellomlagret for avrenning og deretter lastet i bil som igjen fraktes med ferje og kjøres til Lindum.

Følgende forutsetninger ble vedtatt i «Prosedyrer for mudring og graving»

Ny løsning utarbeides for graving i Bjørvikautstikkeren hvor:

- Forurensing kartlegges ved forundersøkelser
- Vannprøver tas i sjøen og i gravegrøft underveis
- Massene lagres på tette områder (asfalt-laget må ikke fjernes. Det skal sørge for at vann fra massene rennes ned i gravegrøft)
- Massene undersøkes for arkeologi/forurensing på ranken
- Massene av arkeologisk interesse flyttes til skur 61
- Forurensede massene kjøres til godkjent deponi. Deponi velges ut fra forurensningsklasse
- Nye tiltak vurderes dersom massene er kraftig forurenset

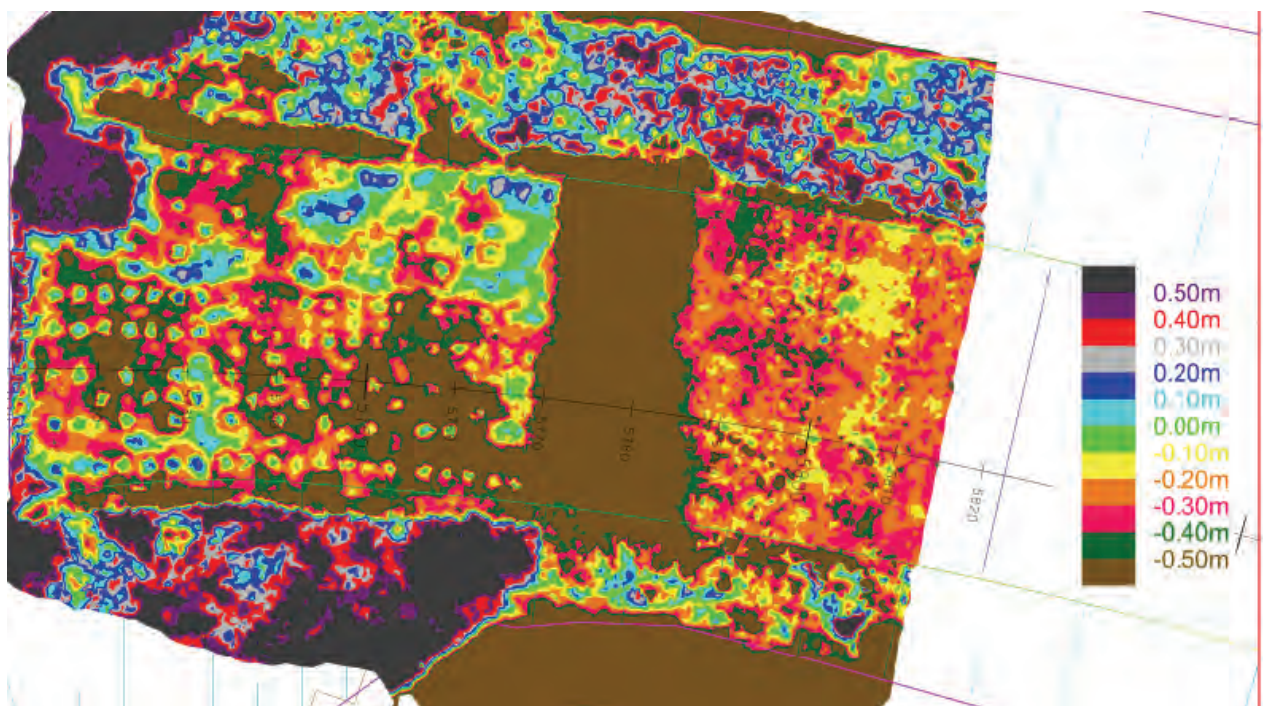
4.4 Mudring oppfølging og kontroll

Entreprenøren førte en daglig en mudringslogg. I denne ble det ført en oversikt over ankomst og avgang for lektere. I tillegg ble det registrert spesielle hendelser som for eksempel at turbiditetsmåleren har utløst alarm og at arbeidet er stoppet inntil videre, eller at det er demonstrasjon ombord i «Brage» (hvilket forekom).

Mudringen ble fulgt opp med jevnlig innmålinger av dybder. Dette var viktig for å kunne kartlegge mengden av forurensede masser.

Etter hvert ble dette vanskelig da det ofte skjedde at vi registrerte forurensede masser under de rene masser. Løsningen ble at vi ble om å sette en teoretisk grense mellom forurensede masser og at forurensede masser under denne grensen ble avregnet som regningsarbeid men med de samme enhetspriser som i kontrakten.

Mudring ble fulgt opp med jevnlig rapportering av innmålte dybder, se figur 4.4.1.



Figur 4.4.1 Innmåling av Sjøbunn for kontroll og vurdering av fremdrift.

4.5 Rene masser – Leire

Vedlagt følger utdrag fra beskrivelse av tildekking utført av Oslo Havn.

LEIRE TIL TILDEKKING (OSLO HAVN KF)

- Fra Ren Oslofjord 09/2010
 - Havn KF har oppgitt at det er tildekket ca. 107.000 m² med ren sand i indre havnebasseng og at 96-99 % av total mengde av de miljøfarlige stoffene er fjernet
 - Oslo Havn KF har med leire fra E18 Bjørvikaprojektet dekket til ca 300.000 m² sjøbunn



Kilde: NGI (30.03.2009: 32): Ny sjøbunn etter tiltak i Oslo havn. Sluttrapport. Figur 2 viser gjennomførte tiltak per 29.03.2009. Vedlegg 3 viser i tillegg plankart over tiltaksområdet datert i 2005 og et justert plankart datert 24.08.2006.

Vegvesen.no

Statens vegvesen

Tildeckingsområdene i Pipervika, Bjørvika, Bispevika og indre Bjørvika er dekket med leire fra senketunneltraséen. Tabell 1 oppsummerer oppnådd (snitt) lagtykkelse og tidsperioder for utlegging.

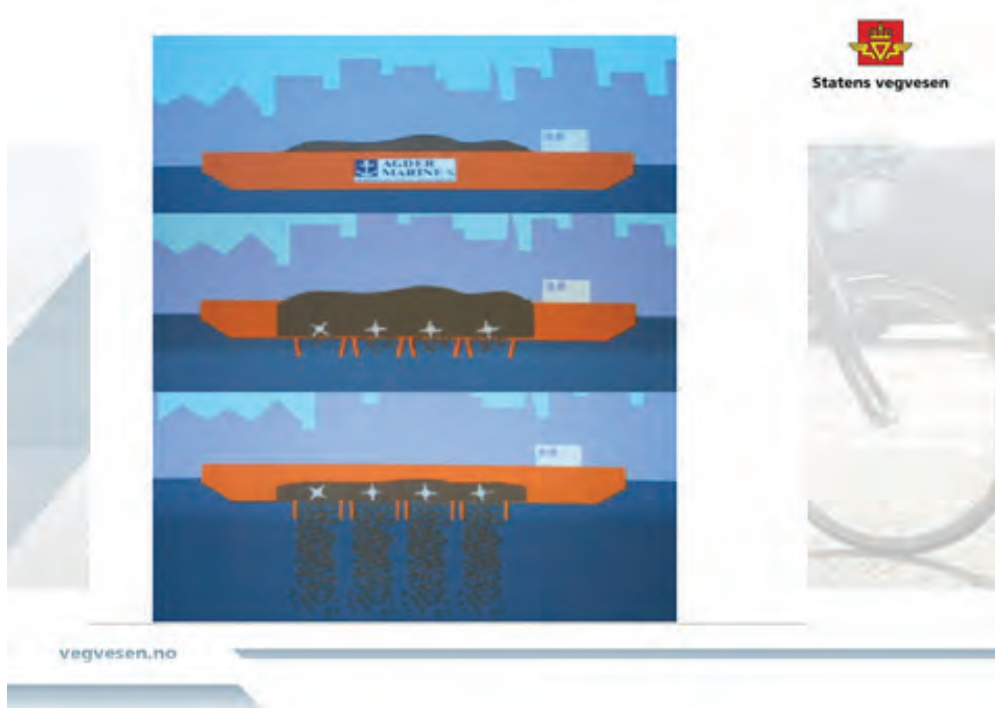
Tabell 1 Oppsummering leirutlegging

Område	Gjennom-snittlig lagtykkelse	Areal (m ²)	Mengde dekkmasse (m ³)	Tidsperioder for utlegging (2007)
Pipervika	40 cm	55 500	23 100	26.-28. mars 13. april - 7. mai 10.-12. september
Bispevika	2,3 m	30 700	69 600	August 06 til januar 07
Indre Bjørvika	2,2 m	9 400	20 500	10.-29. januar
Ytre Bjørvika	40 cm	171000	64800	Mars 7. mai - 9. juli 21.-23. august



Undersøkelsene viser følgende:

- Det er oppnådd en dekningsgrad på mer enn 95 %.
- Over tildekkingslaget finnes et lag med resedimenterte sedimenter ("fluffy" lag) som i gjennomsnitt er 1,1 cm.
- Konsentrasjonen av tungmetaller og organiske forbindelser er generelt lav, og for PAH, PCB og metaller tilsvarende dette i hovedsak tilstandsklasse I-III. Tiltaket har gitt en reduksjon i konsentrasjonen av miljøgifter i overflatesediment på ca. 90 %.
- TBT foreligger i hovedsak i konsentrasjon 1-100 µg/kg, som anses å være lavt og akseptabelt
- I randsonene rundt de tildekkede områdene er det imidlertid funnet vesentlig høyere konsentrasjoner av miljøgifter.
- I enkelte prøver inne i tildekkingsområdet er det også funnet prøver med høyere konsentrasjon av metaller og organiske forbindelser. I disse områdene er tildekkingslaget tynt eller blandet inn med underliggende forurenset sediment.
- Utlekkingen av de organiske forbindelsene er redusert med 96 % for PAH og 90 % for PCB etter tildekking.
- Det er observert en forbedring av vannkvaliteten i bunnvannet over tildekkingsområdene med 80 % reduksjon i PAH og 91 % av PCB.
- På lang sikt vil effekten av tildekkingen bli styrt av aktive kilder som fører forurensning til området fra urban avrenning og elvetilførsel.





vegvesen.no

Statens vegvesen

Figur 4.5.1 Lekter benyttet for utlegging av ren leire på sjøbunn.

4.6 Arkeologi

(Utdrag hentet fra NMM rapport - Senketunnelprosjektet)

NMM har laget flere rapporter fra arbeidene og som beskriver funn:

http://www.marmuseum.no/no/?module=Search&action=publicSearch&qtype=Articles.Article&qroot=39&templatefolderid=39&onlyPublic=true&lang=no&pagesize=5&ips_encoding=utf-8&query=senketunnel

Entreprise Sjødelen omfattet hele strekningen fra vestligste delene av Sørengautstikkeren, de store utstikkerne på begge sider av Akerselva – Paulsenkaia og Bjørvikautstikkeren – til de østligste delene av Langkaia ved Havnelageret. Samtlige "landområder" i entreprisen ble gravd med gravemaskin(er) fra land. For de øverste "tørre" massene og større betongkonstruksjoner ble det brukt en egen maskin, og for "våte" masser ble det brukt en annen spesialtilpasset gravemaskin med ekstra lang arm

Masser som ble gravd opp med gravemaskin fra land (på utstikkerne) i entreprisen Sjødelen, ble lagt i "ranker" eller hauger til avrenning, som arkeologene kunne kontrollere før de ble lastet videre for bortkjøring. Metoden innebar også at mye vann rant tilbake i byggegropa og at massene på denne måten ble både "fastere" og tørrere enn de var ved selve oppgravingen. "Kontrollen" av massene ble gjort ved ren visuell inspeksjon. Det ble antatt at selv om "overflaten" i haugene bare utgjorde en ørliten del av de totale massene, ville den være tilfeldig og dermed relativt representativ i det lange løp. Metoden kan kalles "random sampling", men uten mulighet for å kontrollere frekvensen og omfanget av innsamlingen. Under graving fra land med lang grabbarm, ble det også oppfattet som et metodisk problem at omfanget av grabben gjorde at sammenblanding av masser i topplagene kom opp sammen med masser i bunn av byggegropa. Slikt sett var det alltid vanskelig å avgjøre hvilket lag et funn egentlig hørte til, og var derfor et kildekritisk problem. Store funn, derimot,



slik som skipsvrak, ville være langt lettere å oppdage underveis selv om gravemetodene var svært "røffe".

Avhengig av massenes vanninnhold kunne personale som overvåket gravearbeidene undersøke massene mer eller mindre nøye. Kvaliteten på overvåkingen varierte på denne måten veldig mye, fra bortimot full kontroll til helt håpløse, gjerne innenfor samme arbeidsdag.

Målebrev fra entreprenør viser at det ble gravd bort til sammen 175 000 m³ fyllmasser og sagflis fra Bjørvikautstikkeren, Akerselva og Paulsenkaia, fordelt på et samlet areal på 17 500 m². Siden graveskråningene ble utgravd med en helningsgrad på 1:2 viser beregningene at fyllmassene og sagflis til sammen utgjorde en mektighet på rundt 15 m under utstikkerne. Overgangen fra fyllmasser til sagflis var ikke klar, men strakk seg over flere meters tykkelse og varierte mye på både på langs og tvers av utstikkerne. Ned til ca kote -8 m ble massene gravd bort med maskin fra land, og lagt i ranker for overvåking. Til sammen utgjør dette rundt 100 000 m³ masse som ble gravd bort og overvåket på denne måten. For å sette det i perspektiv tilsvarer dette omtrent 10 000 lastebillass, eller mer enn 50 lastebillass hver eneste dag i perioden overvåkingen pågikk fra 19. oktober 2005 til 4. juli 2006 i disse områdene.

MASSER MUDRET OPP SOM FORURENSET SEDIMENT FRA SJØEN

For masser definert som forurenset sediment i sjøen, var det av Statens Forurensingstilsyn (SFT) stilt krav om bruk av lukket grabb for å hindre spredning av forurensing i vannmassene. Det aller meste av mudringen ble utført av Skanskas to mudringsfartøyer Balder og Brage med wirekranggrabb. Noe av mudringen ble imidlertid utført av Secora med bakgraver fra deres mudringsplattform T 052. Ved oppstart av mudringen i Bispevika i oktober 2005 ble det mudret direkte i små lektere på ca 300 m³. Massene ble deretter gravd videre over i båt for transport til deponi. Det var opprinnelig et håp om at lekternes relativt beskjedne størrelse ville gjøre det mulig å gjennomføre en reell overvåking av massene som ble mudret opp. Dette viste seg imidlertid raskt å være feil, og rutiner og utstyr måtte endres. Ved ny oppstart av mudringsarbeidene i februar/mars 2006 ble det mudret i Secoras lektere M 079 og M 080 med spesialkonstruerte rister over lasterommet. Ristene var konstruert for å la løst slam og mudder renne gjennom og ned i lasterommet, mens større gjenstander og båtdeler skulle bli liggende igjen. For de løseste og bløteste massene fungerte denne løsningen optimalt, mens for seigere masser og leire oppsto det en del problemer med å få massene gjennom rista.



Figur 4.6.1 Rist for å sikte arkeologiske gjenstander – samt en del nyere gjenstander.

MUDRING AV SAGFLIS UNDER BJØRVIKAUTSTIKKEREN, AKERSELVA OG PAULSENKAIA

Ved mudring av sagflis under utstikkerne og Akerselva ble det benyttet den samme muddergrabben som ved mudring av forurenset sediment i Bjørvika og Bispevika. Massene skulle imidlertid ikke deponeres i dypvannsdeponiet ved Malmøykalven, men ved spesialmottak på land. Sagflis ble derfor mudret opp på en stor flatopplekter, og arkeologer skulle overvåke arbeidet og få anledning til å gå igjennom massene. Gjennomgangen og kontrollen av massene viste seg svært vanskelig i praksis. Flismassene inneholdt såpass mye vann ved mudring med tett grabb at massene på lekter ble alt for bløte til å kunne kontrollere på en god måte. Flere tilpassinger og justeringer av rutiner ble gjort underveis, men kontrollen av massene må sies å ha vært svært mangelfull.

Antall funn:

Det er til sammen katalogisert 7160 gjenstandsfunn i databasen for enketunnelprosjektet. 6975 av disse funnene er presentert i denne rapporten.

Antall funn fordelt på typer:

Keramikk 3811, Glass 2072, Kritt Piper 743, Sko 349 Annet 185 -> Totalt 7160 funn

Reserve for arkeologiske undersøkelser:

I følge kontrakten så er det et krav at entreprenøren planlegger og gjennomføre de beskrevne arbeider slik at det er avsatt tid til eventuell akkumulert stans for arkeologiske undersøkelser som følger:

- Mudring av forurensete sedimenter – Inntil 14 kalender uker
- Graving på land på Sørrenga – Inntil 4 kalender uker

Arkeologiske undersøkelser forsinket ikke arbeidene.



4.7 Andre forhold

4.7.1 Vandringskorridor for fisk

Vannstand i Akerselva ble bevisst styrt ved å regulere påslipp fra Maridalen. På dette viset kunne man styre perioder som var tilrettelagt for fisken til å gå opp elva.

I følge kontrakten var entreprenøren pålagt å innarbeide i alle planer (fremdrift-, grave-/mudre-, utlegging/ tilbakefylling, installasjon av senketunnel og lignende) begrensninger som er satt på grunn av fiskevandring i Akerselva.

Begrensninger i perioder med fiskevandring:

Grave- og mudringsarbeider, installasjon av senketunnelelementer, utlegging og tilbakefyllingsarbeider skal planlegges og gjennomføres slik at fiskens vandringer opp eller ned Akerselva er sikret med en fysisk vandringskorridor i følgende perioder:

15. april – 15. juni: Smolten går ut elva en gang i løpet av denne perioden. Noen år kan dette være ferdig tidligere enn 15. juni.

01. september – 01. november: Gytefisken går opp i elva i løpet av denne perioden.

I perioden 01. november – 31. desember er det ikke behov for fysisk vandringskorridor, men aktivitetene og partikkelmengden i Akerselvas kryssing av anleggsområdet må ikke hindre at gytefisk kan komme tilbake til sjøen.

I perioder pågikk graving av masser i elveløpet for Akerselva. Det var derfor svært vanskelig å opprettholde en fiskevandringskorridor for fisk. Som en kompensasjon ble det gjennomført «lokkeflommer» i Akerselva:

Fra - tidspunkt	Vannføringen settes til:
Dato	m ³ /s
14/10 2008	10,0
11/10-2008	15,0
9/10-2008	1,5
6/10-2008	13,0
22/9-2008	1,5
12/9-2008	5,0
9/9-2008	2,5
26/8-2008	1,5
25/8-2008	5,2
25/8-2008	1,5
22/8-2008	10,0
17/8-2008	0,5



Figur 4.7.1 Vandringskorridor for fisk

4.7.2 Siltgardiner

I henhold til kontrakten var det satt som en forutsetning at ved graving i Bjørvika, gjennom utstikkerne, Havnelagersiden og Sørenga, at graveområdet skal sikres med et fysisk hinder, siltgardin som skal hindre utflyting av partikler.

Siltgardiner skal være virksom inntil det er trauet ut ned til ren leire og graveskråninger på annen måte er sikret mot bortflyting av masser. Siltgardin skal ikke fjernes før byggherrens prøvetaging av vann innenfor siltgarden viser at partikkelinnholdet er under 150 mg/liter suspendert stoff.

Siltgarden skal ha flytelegeme i toppen og lodd (kjetting) nederst. Toppen av siltgarden skal merkes med lys for å hindre påkjørsel. Entreprenøren er ansvarlig for å velge materialer og løsninger forøvrig som har tilstrekkelig styrke til å motstå alle aktuelle belastninger fra f. eks. strøm- og bølgekrefter, tidevann, vind, begroing og eventuell is, anleggstrafikk og håndtering inkludert kombinasjon av disse lastene. I tillegg skal siltgarden være tilstrekkelig tett til å hindre at oppvirvlede partikler spres utenfor garden. Siltgarden kan forankres i sjøbunnen. Entreprenøren skal fjerne alle ankre eller andre innretninger på sjøbunnen etter bruk. Fjerning av disse skal skje skånsomt slik at en får minst mulig oppvirvling av forurensninger. Entreprenøren skal arrangere for anleggsadkomst for lektre og utstyr gjennom garden uten at dette svekker gardenes funksjon.



Figur 4.7.2 Siltgardin i Bjørvika

4.8 Miljøoppfølging

Det henvises til sluttrapport ytre miljø se; /1.27/.



5 Sluttrensk og forberedelser for installasjon

5.1 Mudring ned til traubunn

Graving siste del, sluttrensk og avretting ble utført i forkant av installasjon. Det var et krav i kontrakten at dette skulle utføres tidligst 4 uker før installasjon for å sikre at overflate er ny og ikke har stått oppbløtt lenge før fiberduk og gruspute legges. Dette er også begrunnet for å sikre at evt. svelling ikke skal påvirke tykkelse på gruslag, (mindre betydning).

5.2 Kontroll av traubunn

Generelt ble nivå på mudret overflate kontrollert med ekkolodd (Multibeam) for å dokumentere nivå. Dette ble benyttet gjennom hele anleggsgjennomføringen for å dokumentere fremdrift, graveskråninger og nivå og toleranser på ferdige flater

Krav til utførelse kontroll er gitt i kontrakten:

«81.492 Avretting og rensk av fundamentflate under tunnelen under vann»

For å dokumentere ferdig sluttrensk ble det utført kontroll av slamslag med dykker. Kontrollen besto i opptak av prøver av mudret sjøbunn som ble brakt til overflaten. I tillegg ble dykker bedt om å beskrive hva som observeres under forflytning/bevegelse på bunnen. Det var god overensstemmelse med dykkerens muntlige beskrivelse og prøvenes resultat.

Av spesielle forhold nevnes:

- Det ble registrert et avvik i område ved Bjørvikautstikkeren hvor det ble mudret for dypt. Konsekvens er at det ble en noe tykkere gruspute i dette området.
- Grunnforsterkning ved Havnelageret, her ble det ikke lagt fiberduk da pelene med pelehatt ikke ga rom for en praktisk plassering av fiberduk.
- I område hvor stag fra revet spuntvegg på Sørenga er det enkelte deler av stag (lisser) som ble gjenværende ved traubunn. Se også kapittel 9.2.

5.3 Fiberduk

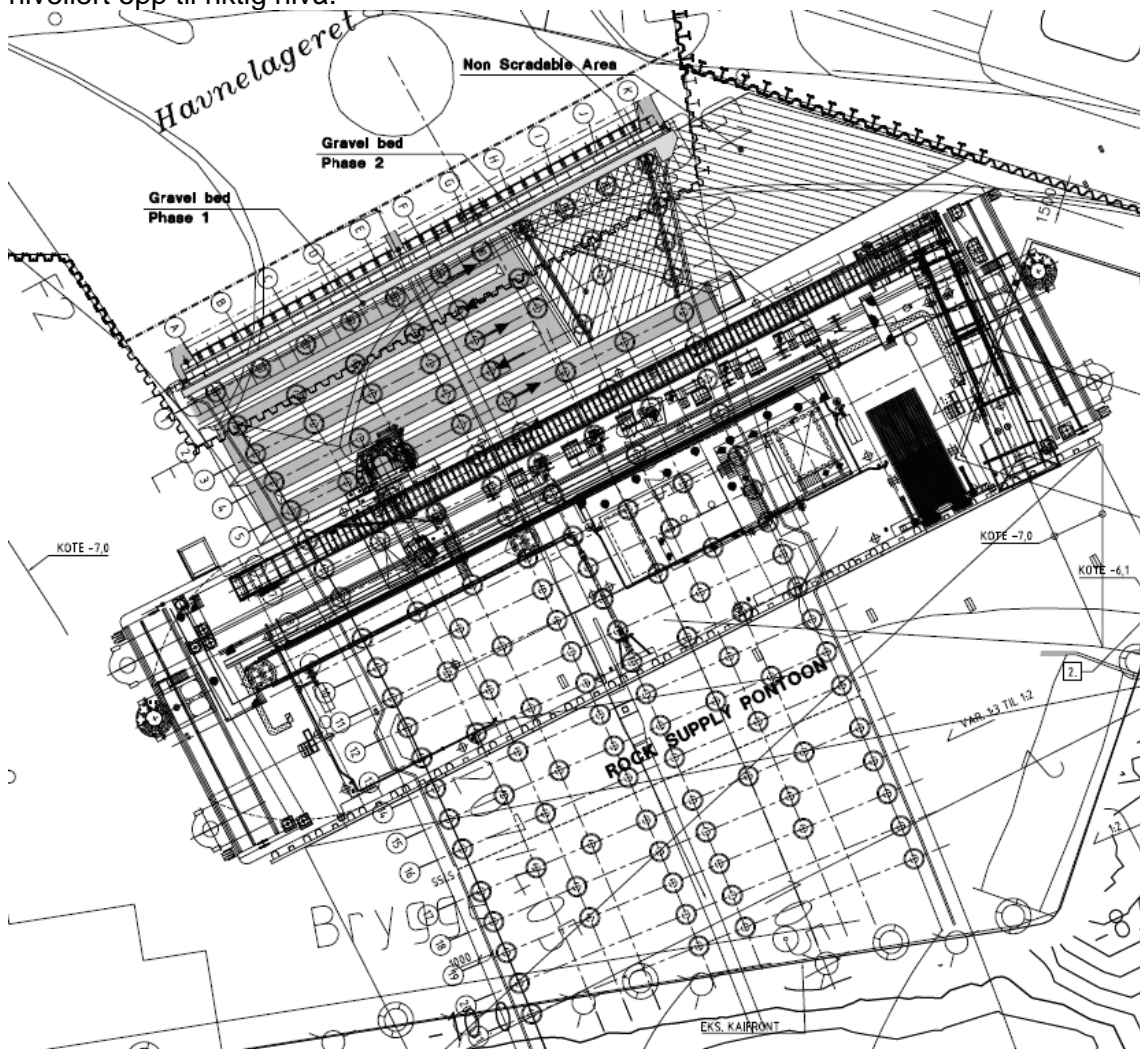
Fiberduk ble plassert med dykkere som festet duken med vinkler av armeringsjern. Duken ble stukket på tvers av trase, festet og så kappet.

6 Grusstriper "Scradling" og installasjon

6.1 Grusstriper

På sjøbunn var det i kontrakten stilt krav til en nøyaktig utlagt gruspute med ensartet gradering. Grusstriper med pukk 20-60 ble lagt ut med Stemat Scradeway. Toleransekravet for topp grusstriper var på ca +/-30mm.

Utlekking av grusstriper ble planlagt i detalj av entreprenøren. Element 1 hadde de største utfordringene. Størst lengdefall som medførte at topp grusstriper måtte ha en helning som endret seg for hver stripe. I tillegg var det et område inn mot Havnelageret på nordsiden hvor lekter ikke nådde inn for utlegging. Denne problemstilling hadde entreprenøren allerede avdekket i tilbudet og løsning var utlegging av grus avrettet mot utlagte stålbjelker som var nivellert opp til riktig nivå.

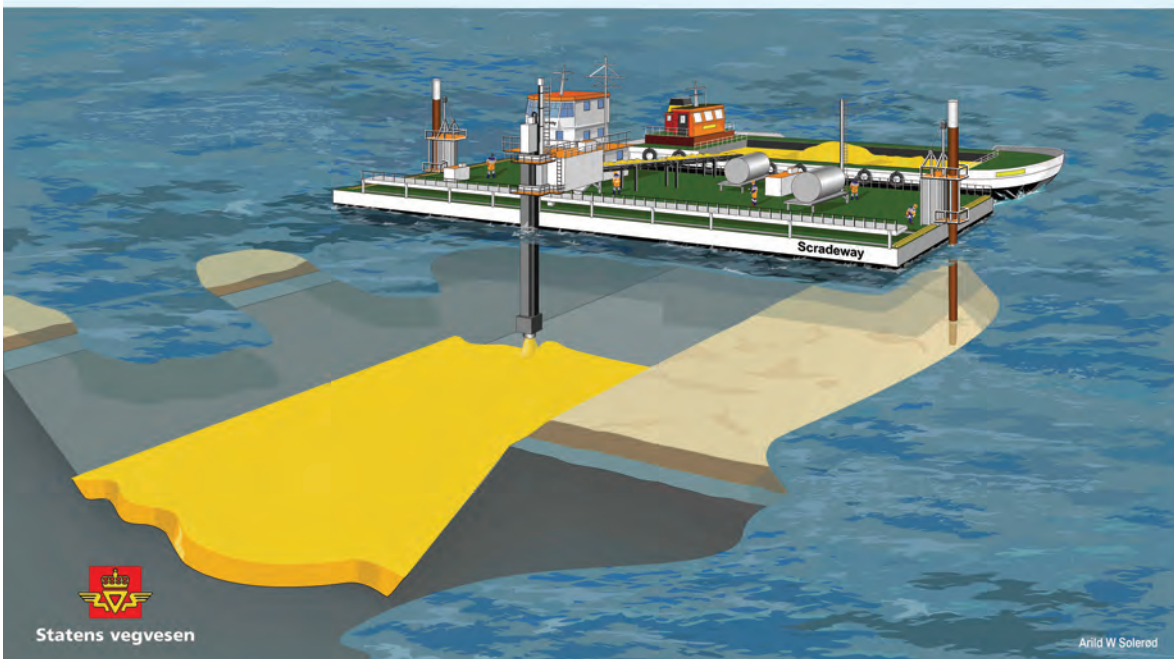


SCRADABLE GRAVEL BED ROW 5

Figur 6.1.1 Grusstriper inn mot Havnelageret og plan som viser lekter «Stemat Scradeway»



Figur 6.1.2 Stemat Scradeway



Figur 6.1.3 Illustrasjon av utlegging av grusstriper

Hver enkelt grusstripe ble rapportert. Dette besto i registrert høyder på munnstykke som slipper grusen ut og dras sideveis. I tillegg ble det rapporterte en lokal ekkolodd scanning

som ble ført over grusstripen. Hver enkelt grusstripe ble gjennomgått for å avdekke mulige avvik.

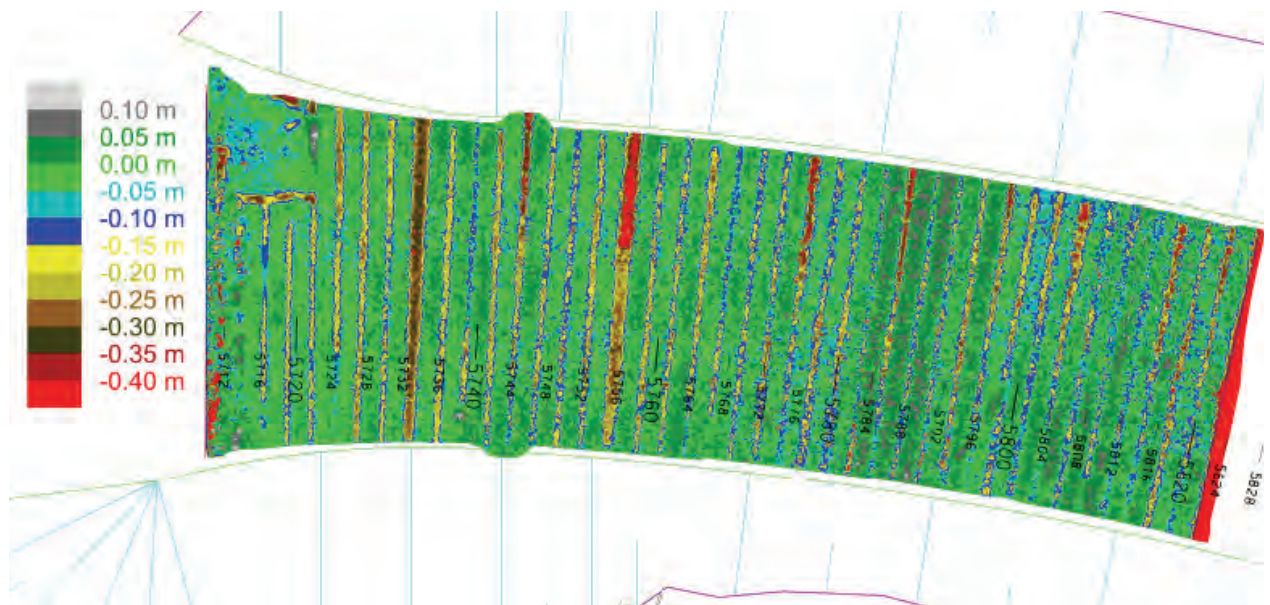
6.2 Kalibrering av høyder

Stemat Scradeway hadde nytt ekkoloddsystem når den ble tatt i bruk i Bjørvika. Kalibrering av nivået som dette ekkoloddet måler på en avrettet grusoverflate av den gradering som var valgt ble utført ved at det ble lagt ut en plate på det området som manuelt var trukket av. En pel ble plassert på platen og nøyaktig nivellert opp. Fjerning av plate og måling med ekkolodd på grusoverflate ga en måling som medførte en justering på 1 cm i forhold til teoretisk estimert nivå på bakgrunn av scanning alene.

6.3 Installasjon

Multibeam ekkolodd ble rett før installasjon ført over avrettet (scradet) sjøbunn for kontroll av mulig forsøpling eller skader på fundament rett før installasjon.

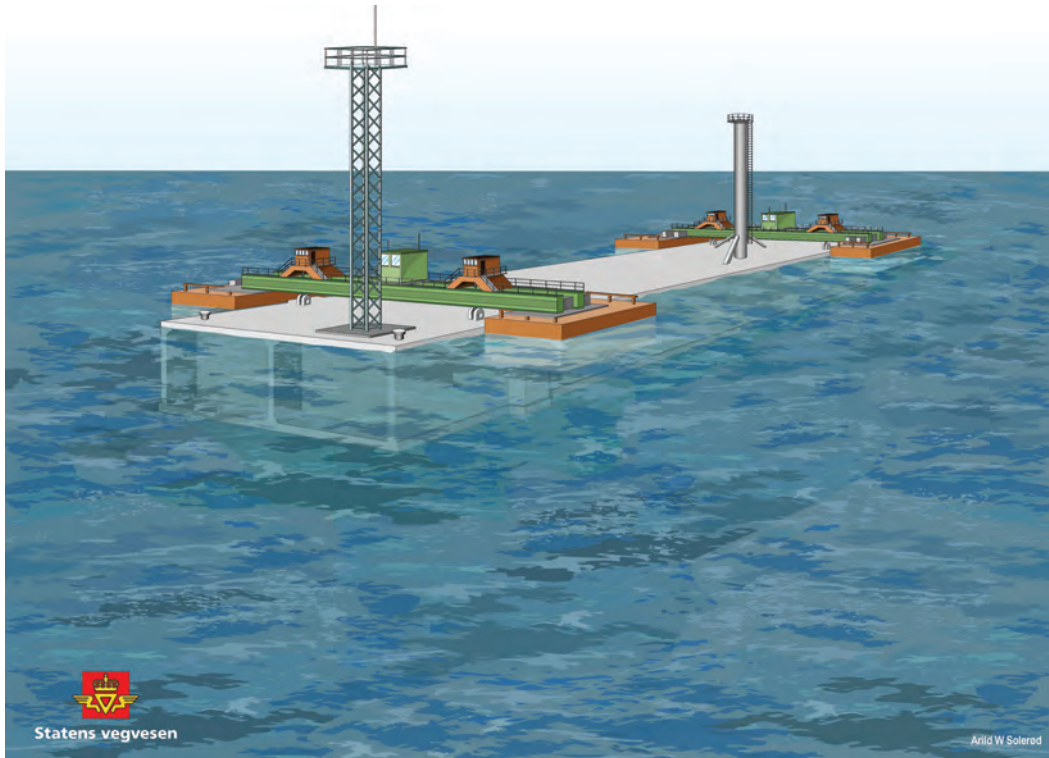
Dette var et viktig ledd for å gi klarsignal for installasjon.



Figur 6.3.1 Scanning/ innmåling før installasjon av elementer

7 Installasjon

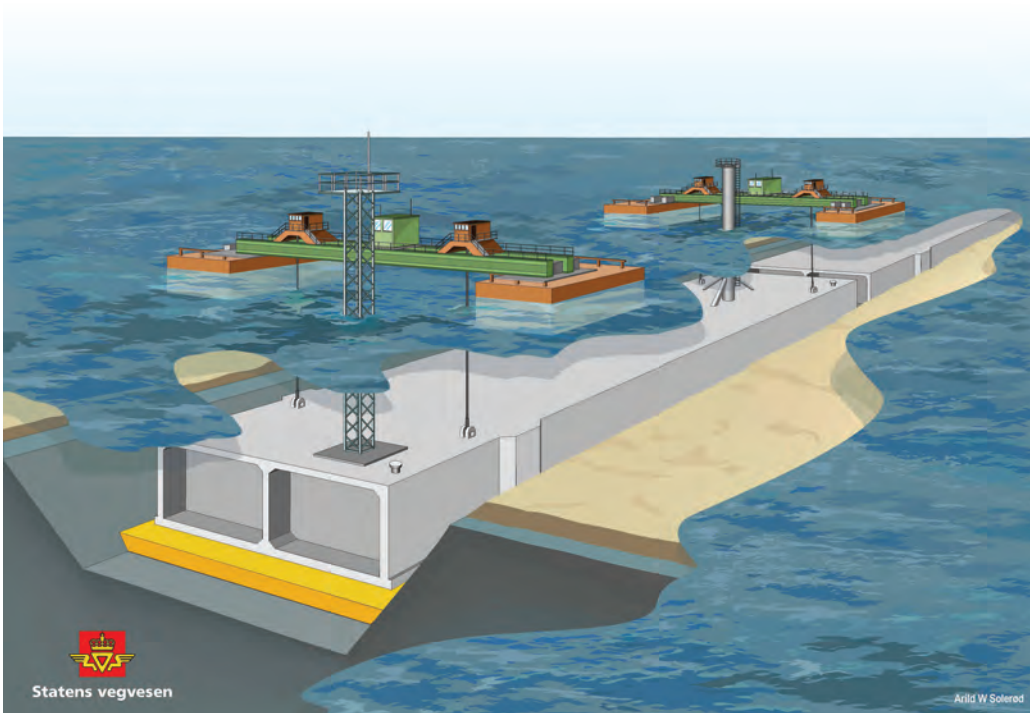
Vedlagt er illustrasjoner og bilder som beskriver installasjonsprosessen.



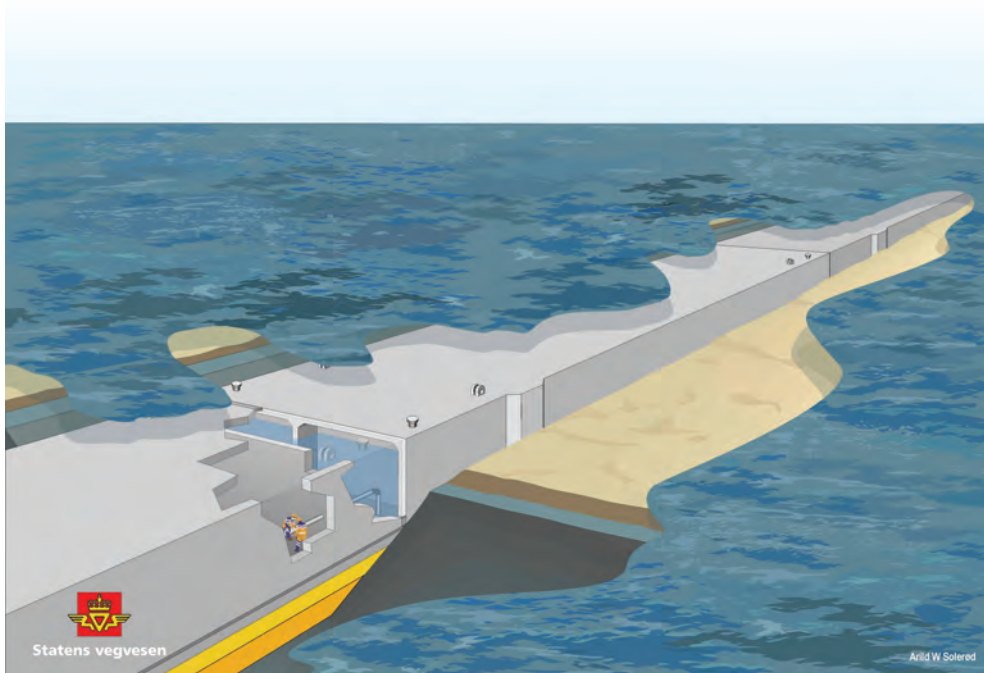
Figur 7.1- Illustrasjon av element utrustet for installasjon med pontonger for å senke elementet, tilkomst ovenifra gjennom rør/sjakt



Figur 7.2- Element 1 nærmer seg posisjon ved Havneleret.

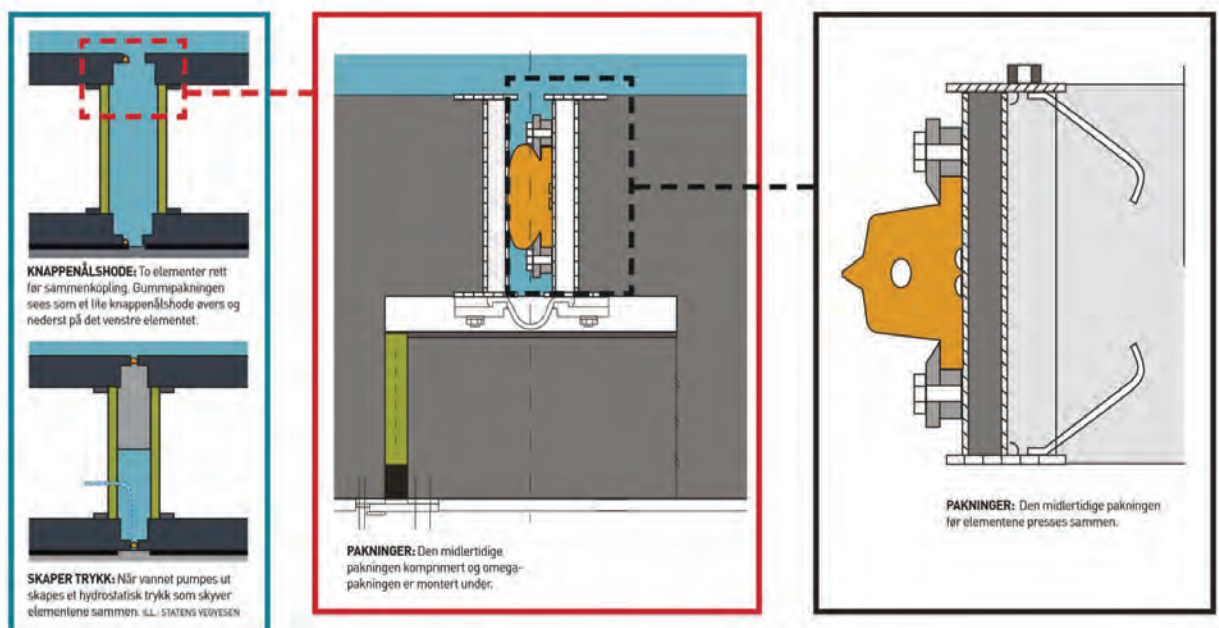


Figur 7.3- Prinsipp nedsenking av element. Ballastanker innvendig fylles med vann.

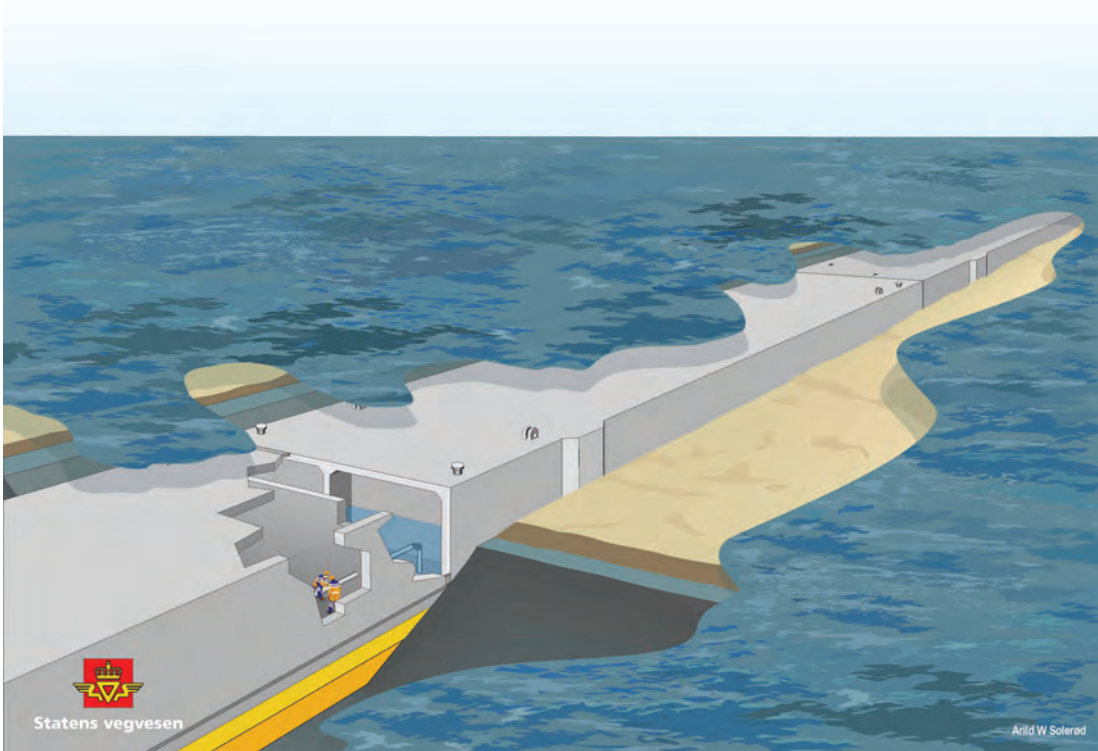


Figur 7.4- Prinsipp tilkobling mot tilstøtende element

Når trykk-kontakt mellom elementene er etablert sørger en gummi-pakning (Gina pakning) på frontende av elementet for vanntetthet og vann mellom elementenes endeskottene lenses. Dette medføre en hydrostatisk kraft på ca. 4500 tonn på bakende av elementet som klemmes ytterlig på gummipakningen. Den permanent vanntetting er deretter installert fra innsiden, denne kalles en Gina pakning.



Figur 7.5- Prinsipp tilkobling mot tilstøtende element – detaljer Gina pakning og Omega pakning



Figur 7.6- Prinsipp tilkobling mot tilstøtende element, fjerning av vann mellom endeskott

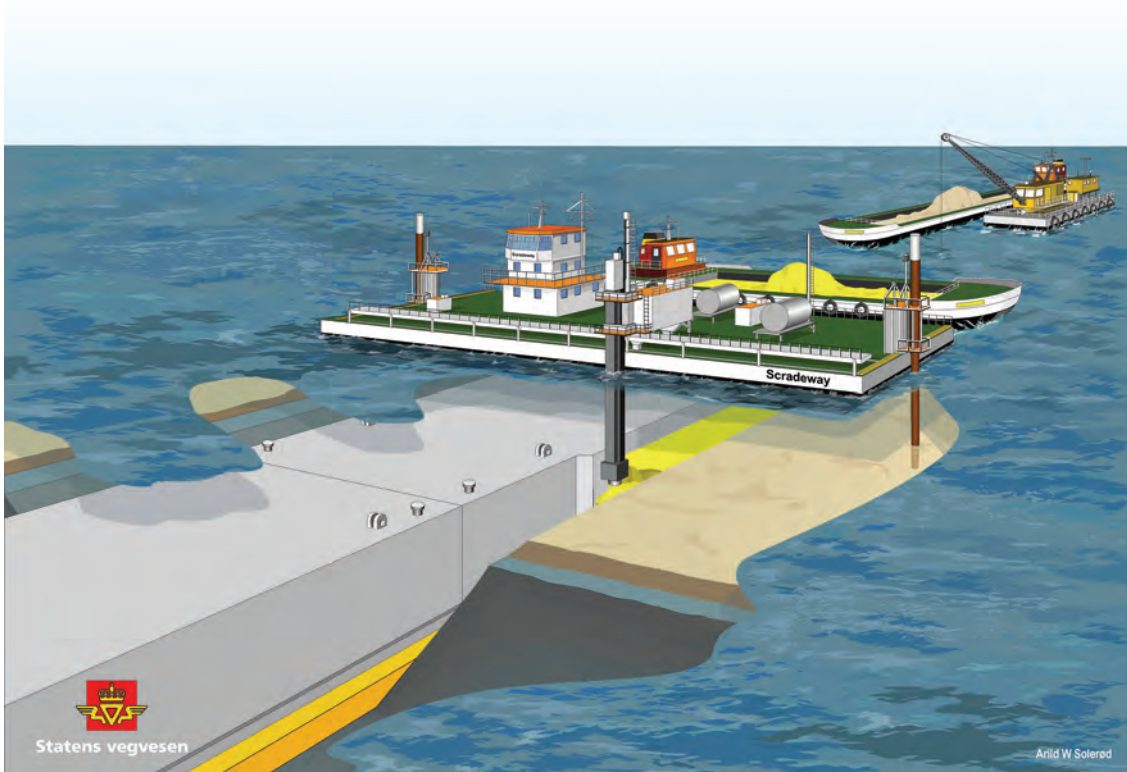


Figur 7.7- Montert Omegapakning fra innsiden.

8 Tilbakefylling

8.1 Låsefylling

Etter installasjon av selve elementet ble det lagt ut grusstriper med pukk 20-120 på hver side med Stemat Scradeway for å sikre horisontal plassering av elementet. Elementet holdes nede på sjøbunnen med ballasttanker inne i elementet som er fylt med vann.



Figur 8.1.1- Prinsipp for utførelse av låsefylling.

8.2 Pukk på taket

Det ble også benyttet Scradeway for å plassere pukk på taket, dette ble også benyttet som et sjikt for å dekke anoder.

Masser på taket ble også benyttet i midlertidige faser for å sikre tilstrekkelig sikkerhet mot oppdrift av elementene.

8.3 Sprengsteinsfylling

Stein kom på lekter fra i hovedsak fra Langøya. Fra lekter ble massene lagt ut med tungt anleggsutstyr.



På Sørenga ble masser lagt ut fra land av entreprisen Sørenga. Denne fylling ble brattere enn teoretiske krav til fylling. Entreprisen Sjødelen benyttet splittlekter for å fylle opp ved fot av fylling.

8.4 Plastring med stor stein

Kant av tilbakefylling mot syd ble plastret med stor flat stein. Dette ble lagt ut kontrollert fra lekter. Hensikten med plastring er å sikre mot propellerosjon.

8.5 Tilbakefylling av masser

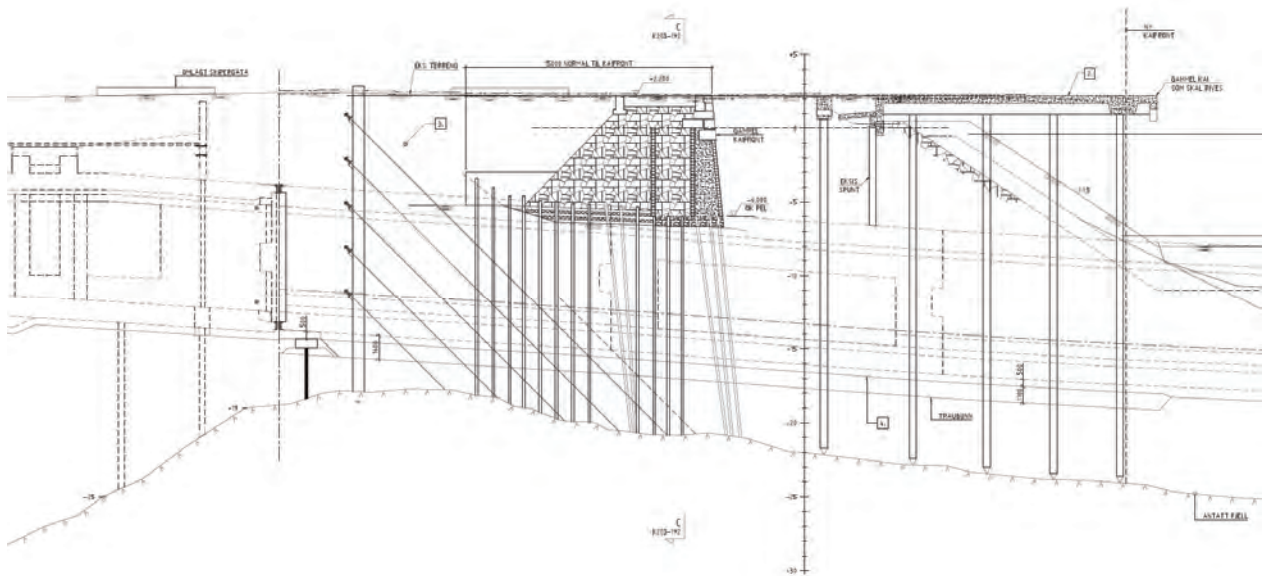
3D-flater ble etablert ved ekkolodd scanning av sjøbunn. Dette ble benyttet for mengdekontroll og for kontroll av at utførelse var i henhold til krav.

9 Tilkoblingssoner Havnelageret og Sørenga

9.1 Havnelageret

I grensesnitt mot Havnelageret var eksisterende situasjon før Entreprise Havnelageret startet opp våren 2006, flere eksisterende og til dels gamle kaier mot sjøkant.

Entreprise Havnelageret etablerte byggegrop for betongtunnel som videreføring av Festningstunnelen. Denne byggegrop ble etablert med stagforankret spunt. Se skisse på figur 9.1.1. Byggegroper på Havnelageret er behandlet i en egen erfaringsrapport.



Figur 9.1.1- Lengdesnitt av området Havnelageret med eksisterende kaier. Revierkaia ytterst og gamle Langkaia på trepeler i fylling bak Revierkaia. Fra K203-191.

Etter at Betongtunnel ble ferdigstilt etablerte entrepriser Sjødelen første rad med pelar for grunnforsterkning, ref. kap. 3.2.2. Disse ble etablert på stålkjernepelar og ble utført tørt i bunn av byggegrop foran enden på betongtunnelen.

Entrepriser Sjødelen etablerte endeskott og enderamme på Havnelageret for å kunne slippe sjøvann inn mot betongtunnelen og for å klargjøre for installasjon av første senketunnel element.

Rundt enden på betongtunnelen og samt under tunnelen var det en mansjett bestående av spunt og/eller bærende betongkonstruksjoner for å holde vanntrykk bak dette området på et lavere nivå for senere byggetapper.

Samtidig med disse arbeidene hadde kaiene blitt helt eller delvis revet og løsmasser mudret.

Trepelene for Langkaia var gjenstand for diskusjon i en rekke møter. Det viste seg at de lot seg greit fjerne med grabb, de knakk lett. Pelar ble trukket mot frigravd område og knakk rett under frigravd nivå. Frykten for omfattende omrøring i denne sonen ble heldigvis ubegrunnet.

Etter spunt og stag var revet kunne grunnforsterkning avsluttes og det ble klart for installasjon av det første senketunnel elementet.

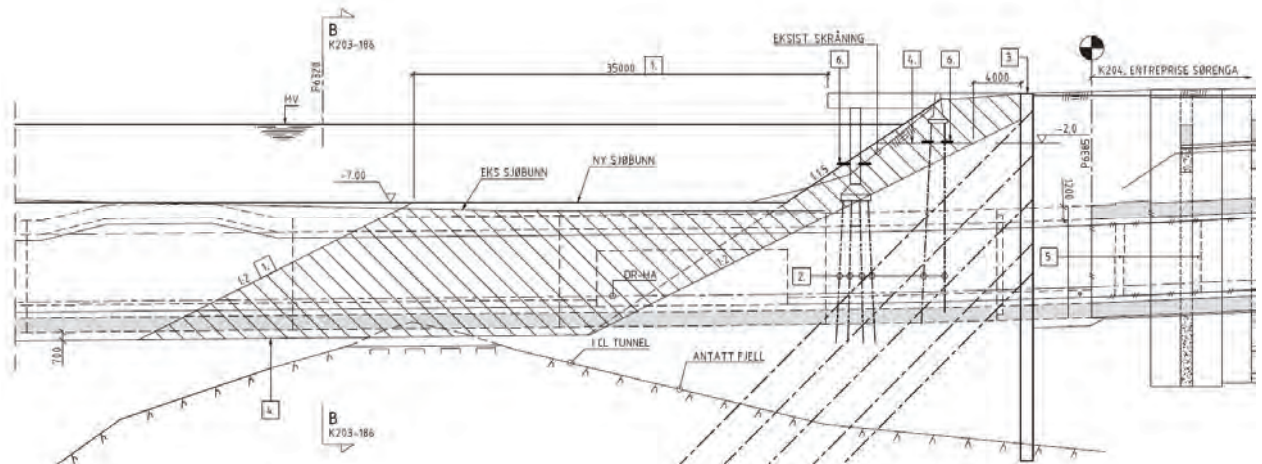
Havnelageret entrepriser ble i tidlig fase forsinket. Dette medførte at Entreprise Sjødelen fikk en mer gradvis tilgang til området enn det som først var planlagt. Totalt sett gikk dette slik at grensesnittet kun ble noen måneder forsinket i forhold til opprinnelig i kontrakten.

9.2 Sørenga

Entreprise Sørenga ble kontrahert ca. august 2005. I denne entreprisen ble betongtunnel, konstruksjonselement K204, bygget ved hjelp av byggegrop bestående av slissevegger. Denne byggegropa er behandlet i en egen erfaringsrapport. Enden på byggegropa mot kaikant ble det lukket med en stagforankret stålsput. Spunt ble etablert i entrepriser Sørenga.

Entreprise Sjødelen overtok området inklusive spuntkonstruksjon. Entreprise Sjødelen mudret utenfor spunt og rev stag og kappet spunt. Også gamle kaikonstruksjoner ble revet forbindelse med mudringsarbeidene.

Stivere og puter i forbindelse med stag innebar for den aktuelle spuntdimensjonen omfattende sveisearbeider. Dette medførte at det ikke var tilrådelig å forsøke å trekke spunten. Det ble derfor valgt å kappe spunten under traubunn og løfte den vekk i biter. Dette innebar dykkerarbeider og undervanns skjærebrenning av spunt. Disse arbeidene ble utført i entrepriser Sjødelen.

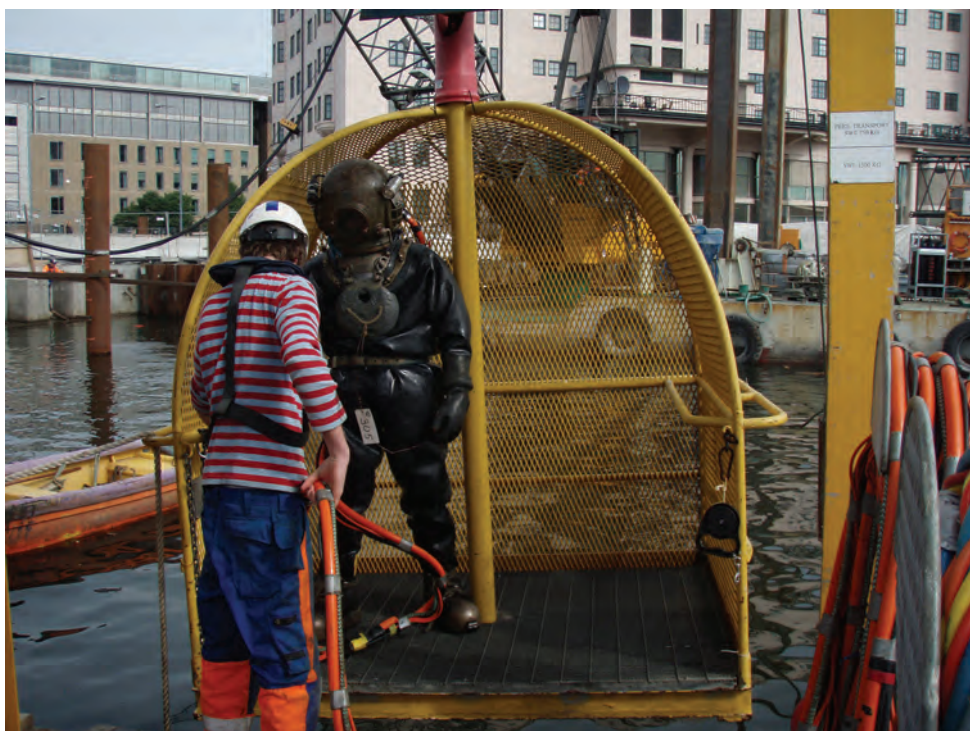


Figur 9.2.1- Lengdesnitt ved Sørenga

Stagene som går igjennom traubunn ga en viss usikkerhet i forhold til mulig omrøring av traubunn. Stagene ble kappet med dykkerarbeider. Traubunn ble ikke helt uberørt av dette, men skadene skjedde kun i enkelt punkter som er godt fordelt.



Figur 9.2.2- Fjerning av spunt ved Sørenga



Figur 9.2.3- Klargjøring av dykker

Siste senketunnel element ble montert ca. november 2009. Videre ble Senketunnel koblet til betongtunnelen på Sørenga med en lukkeskjøt. Se Figur 9.2.4 for prinsipp.

Under selve lukkeskjøt ble det injisert mørtel for å sikre fundament og kontakt mot traubunn i hele dette området.

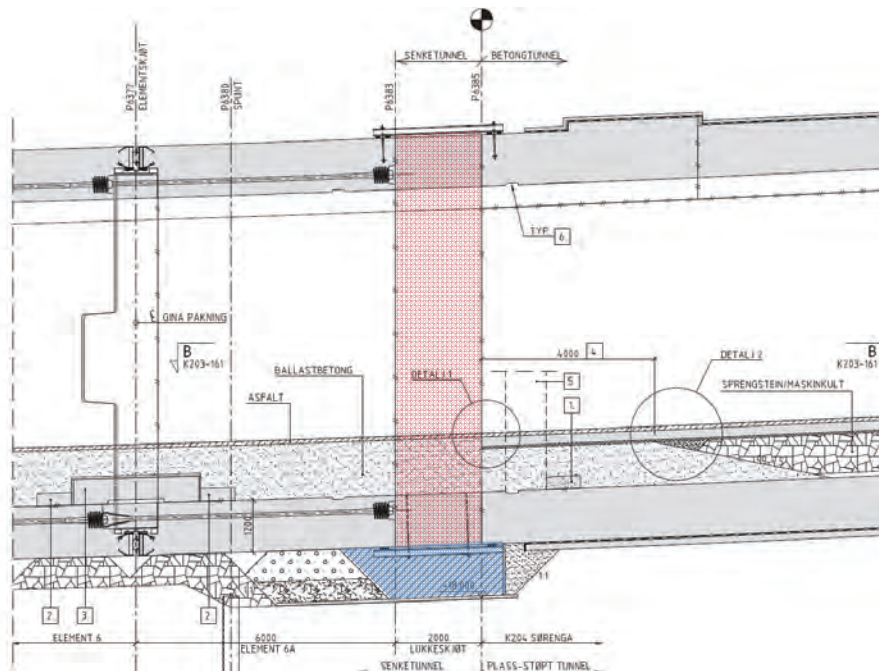


Fig. 9.2.4 Injeksjon med mørtel for å sikre fundament under lukkeskjøt. Fra K203-170.

Betongtunnel på Sørenga er også direkte fundamentert til profil P6618 DR-HA, det vil si hele K204. Samme måleprogram følges for denne delen.



Figur 9.2.5- Panel for lukkeskjøt.



10 Måleprogram for setninger

10.1 Beskrivelse av måleprogrammet

For å sikre en kontinuerlig oppfølging av senketunnelen posisjon er det etablert et måleopplegg for å kunne måle setninger og for å kunne vurdere endringer i fugeåpning.

Dette opplegget er beskrevet i vedlegg A.

10.2 Fugeåpninger

Tunnelen kan i utgangspunktet tåle relativt store absolutte setninger og horisontale deformasjoner. Hvert enkelt segment har stor bøyestivhet både på tvers og på langs. Dette ble bekreftet ved parameterstudier der det ble lagt inn ulike og store variasjoner i fjærstivheter under bunnplaten i et enkelt segment (og derved potensial for lokalt stor variasjon i setning) uten at dette førte til spenninger i betongkonstruksjonen av noen betydning, se /1.24/ og /1.25/.

Akseptgrenser for deformasjoner er derfor nesten helt og holdent bestemt av hva som skjer av differensielle deformasjoner og vinkeldreining over segment- og elementskjøter. Segmentskjøter har Waterstop av type Trelleborg-Bakker W9U-I. Grenser for fugeåpning/fugebevegelse er angitt i /1.25/. Ginapakninger og Omegapakninger er designet for betydelige bevegelser i forbindelse med installasjon. Alle pakningene er også designet for årlige variasjoner og langtidsvariasjoner på grunn av temperatur, svinn og kryp i betongen, se /1.25/.

Det er behov for å kartlegge setninger for å avdekke om tunnelen utsettes for forventet setningsforløp eller om det er avvik. Hvis setningene avviker fra hva som er utgangspunkt i gjeldende design, er det først og fremst lokale differansesetninger som må kontrolleres samt vurdere fugeåpning.

Statens vegvesen Region Øst ved Driftsavdeling er ansvarlig for senketunnelen og vil stå for innmåling av tunnelen og behandling av innmålte data.

På bakgrunn av status våren 2014 er konklusjonen at tunnelens setninger bør måles årlig inntil man har en tydelig utflating av setningsforløpet.

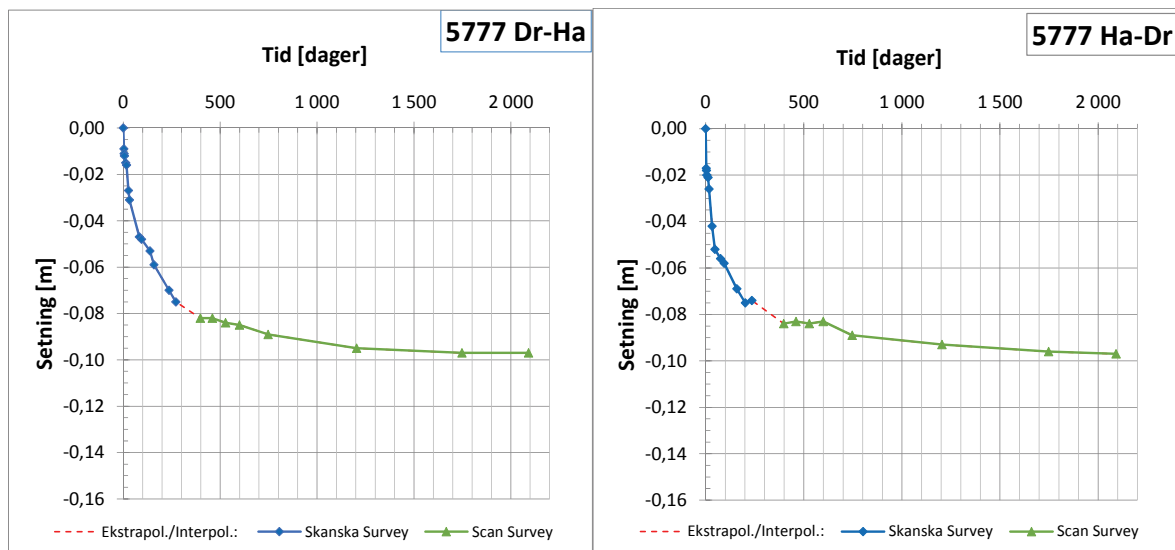
Fugeåpning kan ikke sees direkte fra innsiden av tunnelen. Alle fuger er tildekket av enten; vegbane og skulder, brannbeskyttelse i tak og øvre del av vegger eller betongelement på nedre del av vegger. Betongelementer på vegger kan løftes vekk for å vurdere fugeåpning. Fugeåpning vil være størst enten på nivå OK tak eller UK bunnplate.

10.3 Måleresultater

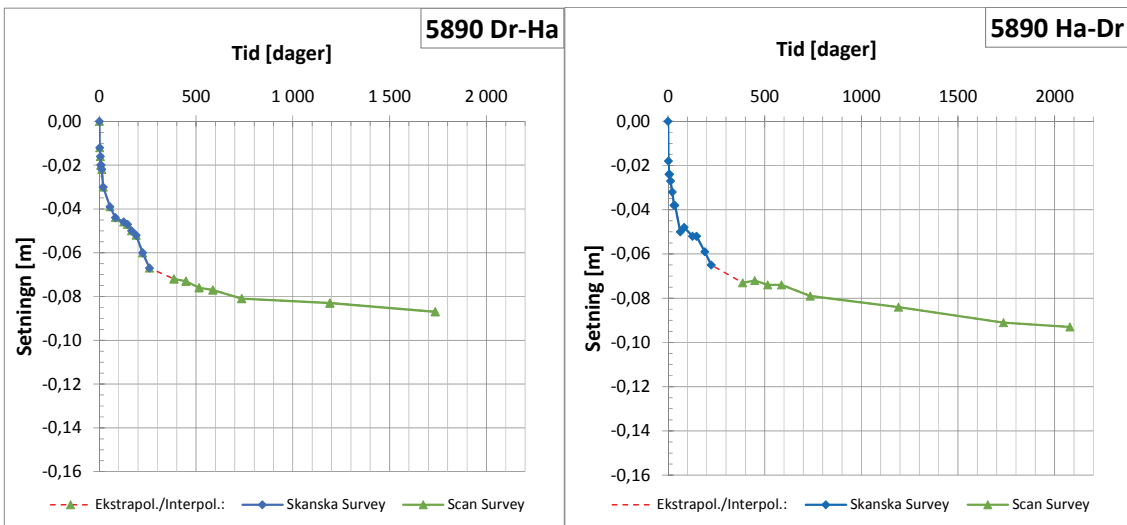
10.3.1 Setningsmålinger

Tunnelementene ble montert i en relativt kort periode mellom 29.08.2008 og 27.10.2008. Tilbakefylling på sidene og over tak ble gjort fortløpende, og var ferdig mellom ca. 50 og 60 dager etter nedsetting av det enkelte element. I den første perioden etter nedsetting ble målingene utført av Skanska. Etter at de fleste installasjoner og legging av kjørelag med mere i tunnelen var på plass, ble målingene overtatt av Scan Survey 1. oktober 2009, dvs. fra ca. 350-400 dager etter nedsetting. Scan-Survey måtte installere nye målepunkter pga montert kledning og andre installasjoner i tunnelen. Målepunktene var plassert omtrent ved samme profil nr. som Skanska sine, men annerledes plassert i tverrsnittet. Skanska sluttet sine målinger ca. 60 til 80 dager før Scan Survey startet. Det betyr at man i denne perioden mellom siste Skanska måling og første Scan-Survey måling ikke har noen måledata. I de etterfølgende diagrammer ble det fortatt en interpolasjonen mellom de to datasettene for å binde dem sammen, ved å sjele til setningutviklingen ved slutten av Skanska sine målinger og start av Scan-Survey sine målinger.

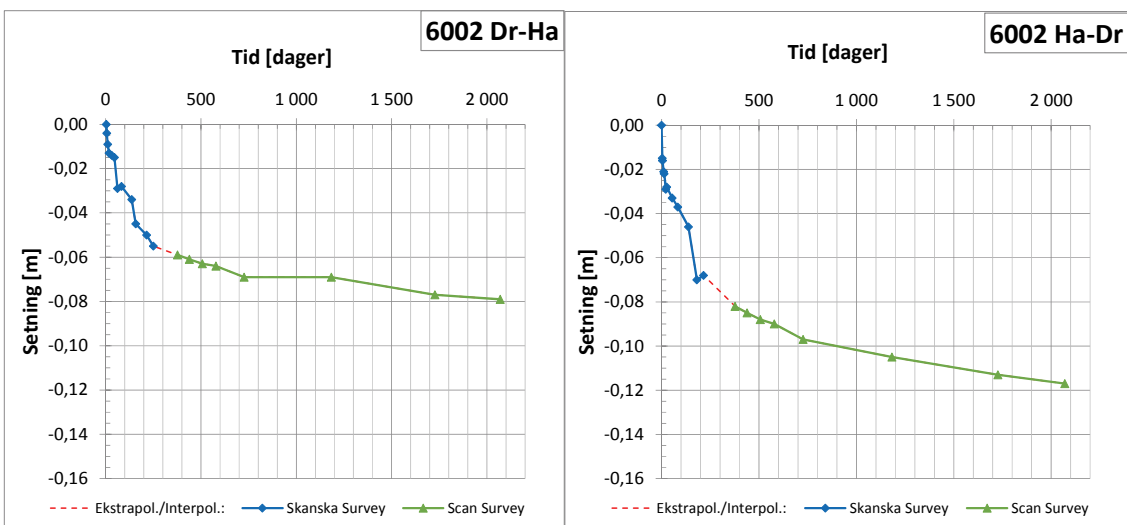
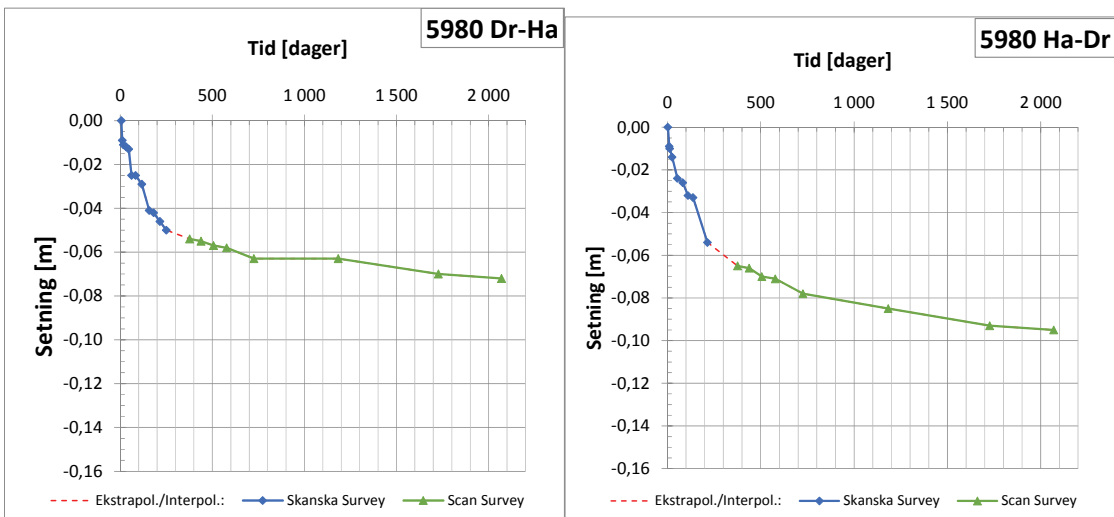
Figur 10.3.1 t.om. 10.3.6 viser målt setning av de enkelte tunnelementene fra kort tid etter nedsetting og frem til dags siste måling av Scan-Survey 12.06.2013. Målinger i søndre løp Dr.-Ha er konsekvent vist på venstre side og nordre løp Ha-Dr til høyre.



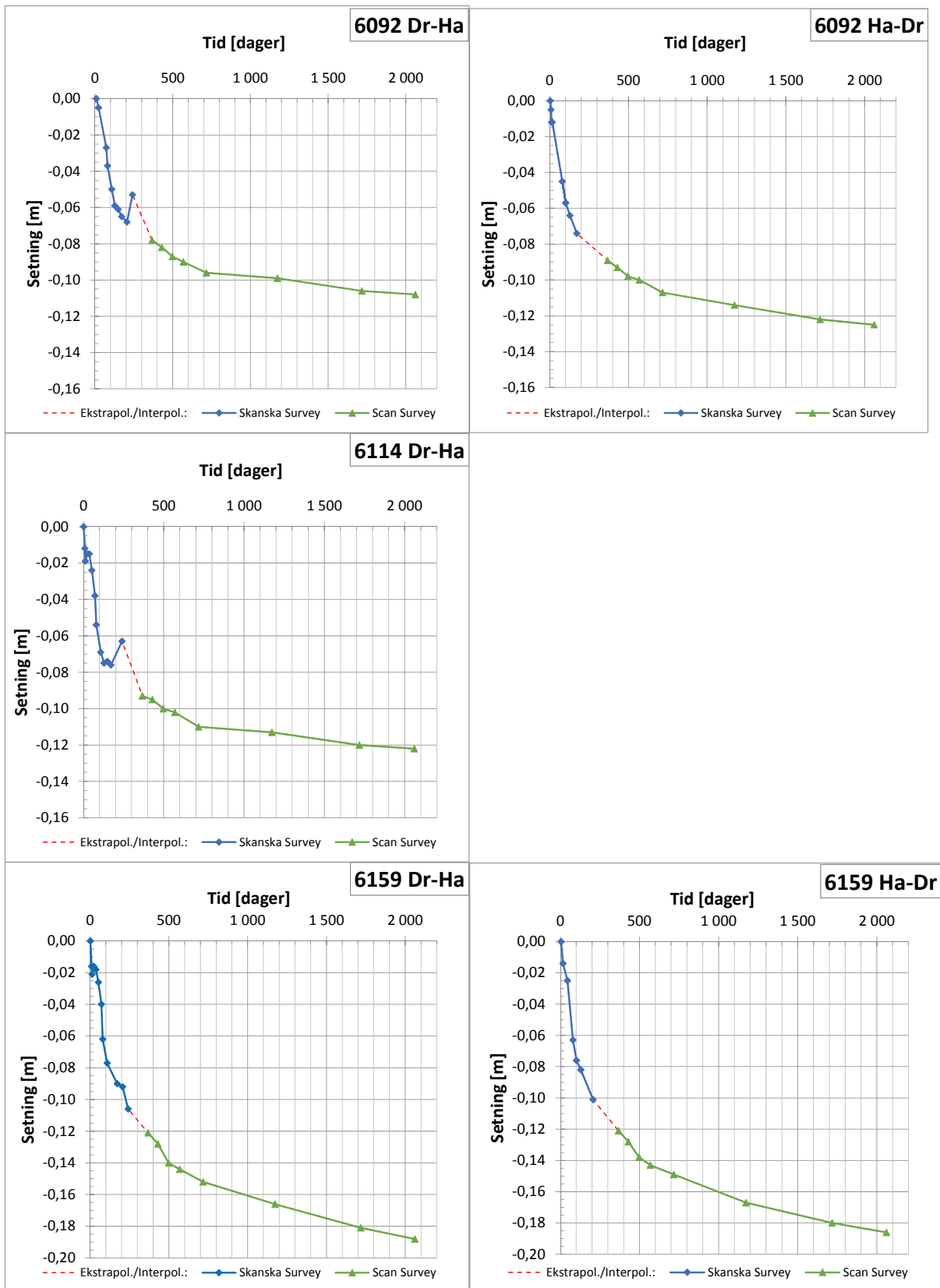
Figur 10.3.1- Målt setning element 1



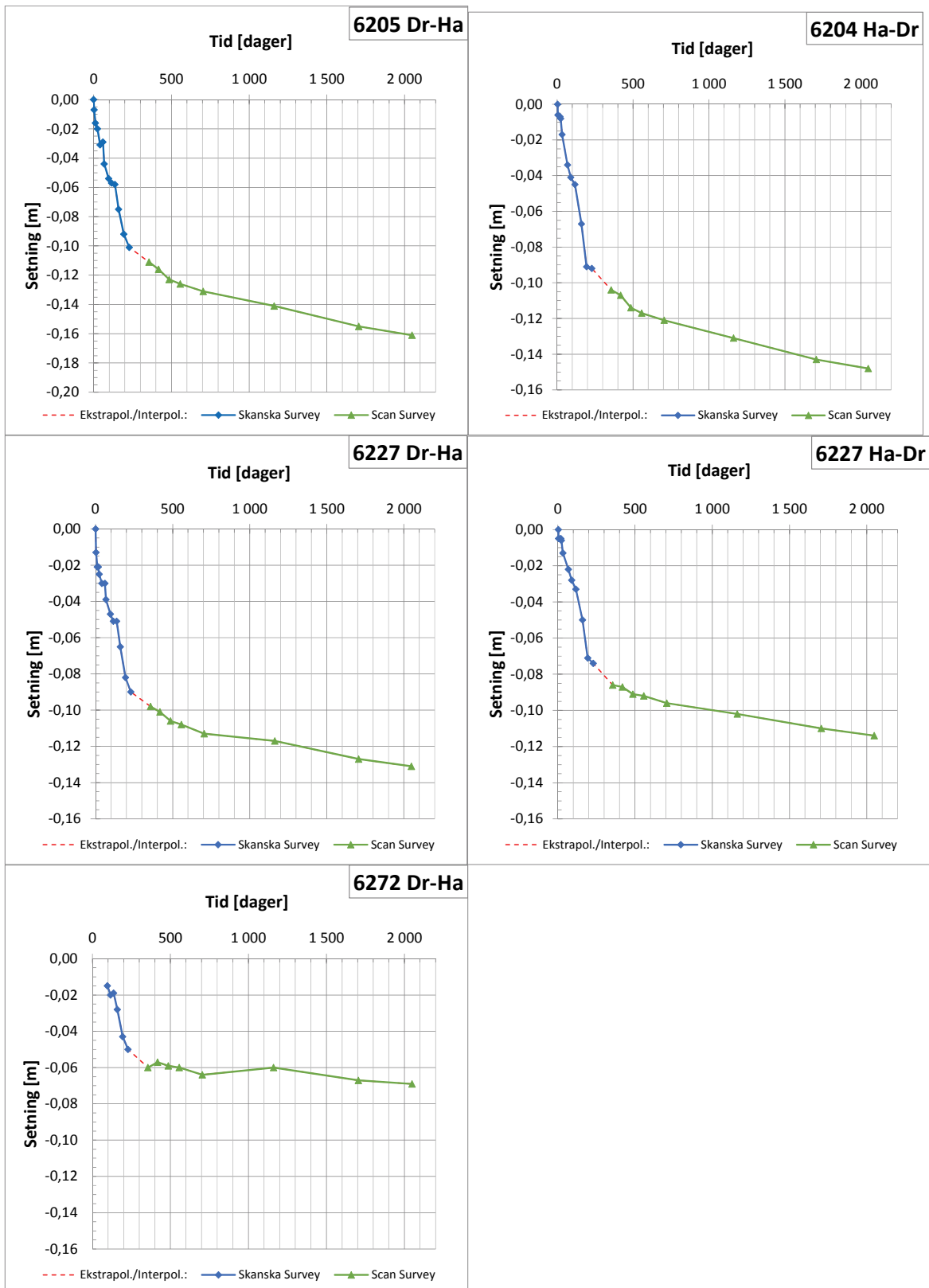
Figur 10.3.2- Målt setning element 2



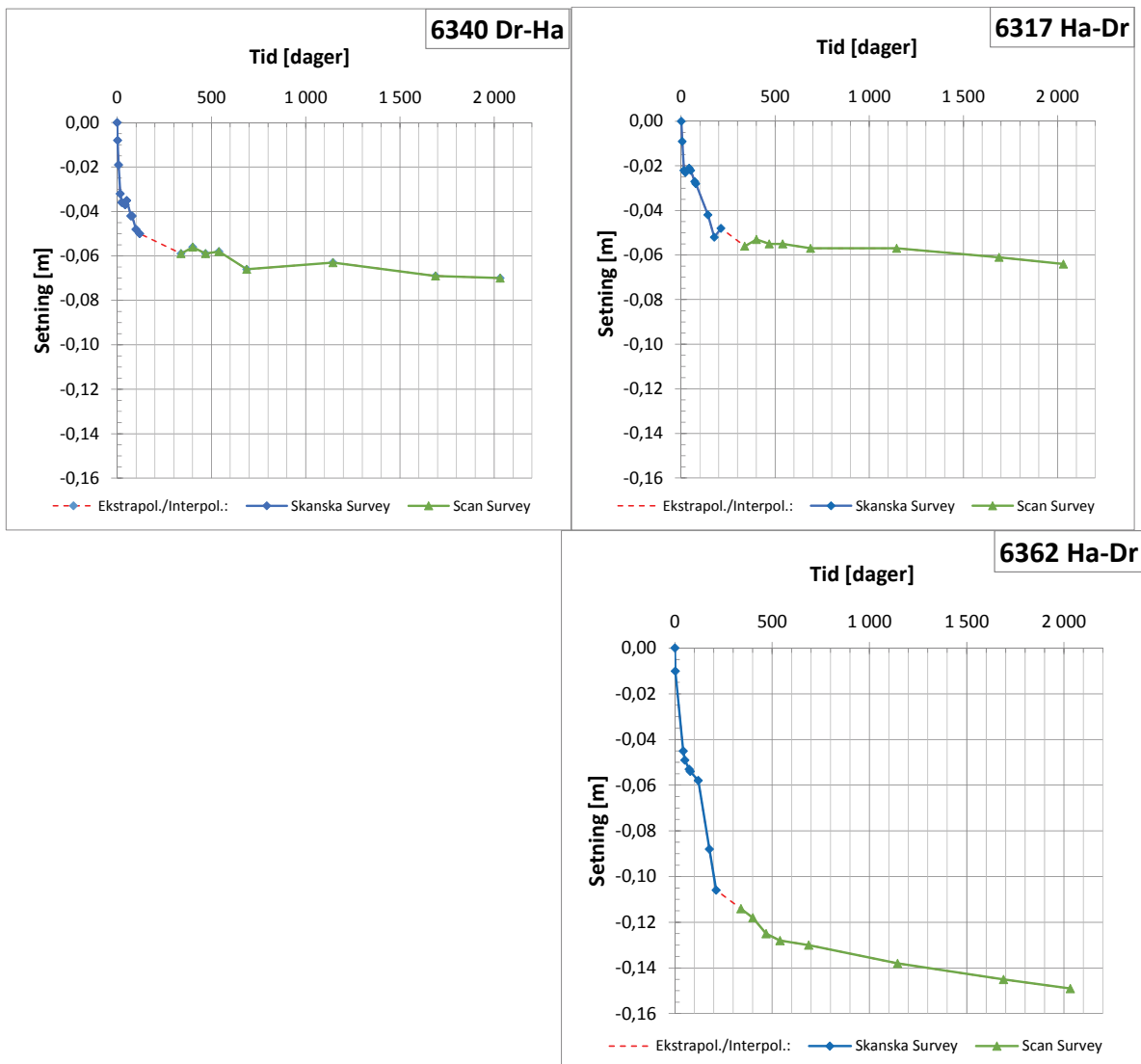
Figur 10.3.3- Målt setning element 3



Figur 10.3.4 – Målt setning element 4



Figur 10.3.5 – Målt setning element 5



Figur 10.3.6 – Målt setning element 6

Målingene på de enkelte elementene viser at setningene er ganske like i de to tunneløpene, men fra Pr. 5980 til 6092 er det en klar tendens til 15-25 mm større setning av nordre løp enn av det søndre. Fra Pr. 6205 til 6227 er den en svak tendens til at ca. 5-10 mm større setning av det søndre enn det nordre løpet. Det er ellers åpenbart en del forskjell i setningenes størrelse og utviklingene med tid. Dette fremgår tydeligere av fig. 10.3.7 som sammenlikner setningsutviklingen for typiske målepunkter. Figur 10.3.8 viser hvordan setningene ved tid $t = 241$ og $t = 1350$ dager (siste måling) fordeler seg langs tunnelen og sammenliknet mot hva som var beregnet bare som setning i leira.

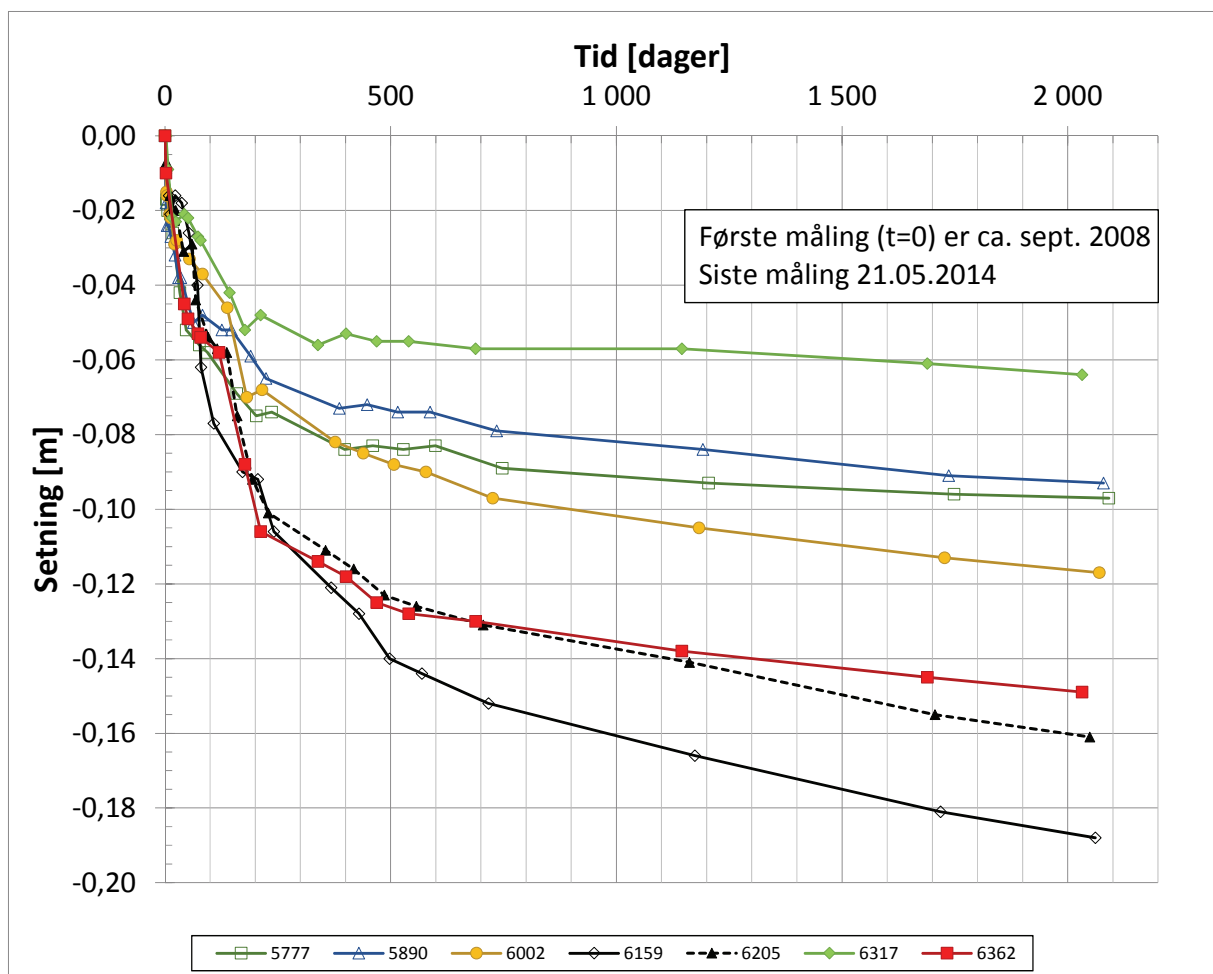
Noen generelle betraktninger knyttet til de målte setninger er:

Setningene de første 50-60 dager etter nedsetning vil primært skyldes skjærdeformasjoner og egensetninger i "forstyrret leire" og gruslag. Disse setningene varierer fra ca. 20 til 40 mm og er ikke inkludert i beregnet setning i fig. 10.3.8.

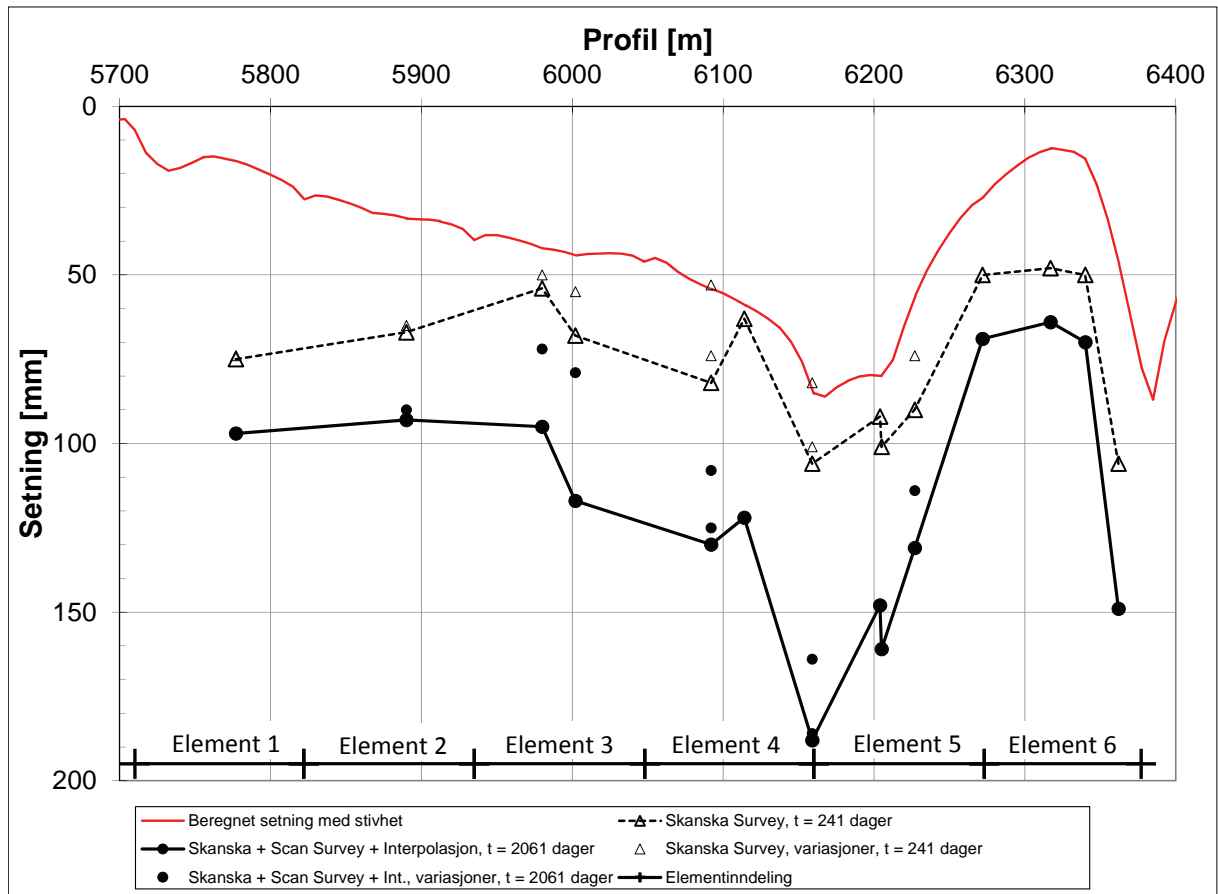
Etterfølgende setninger (etter $t=50-60$ dager) antas primært å ha sammenheng med setninger som følge av re-konsolidering av leira, selv om det ikke kan utelukkes at også noe skyldes deformasjon i gruslaget.

Setningene følger i form ganske godt beregnet setningsfordeling langs tunnelen, men avviker ganske mye i vestre ende inn mot Havnelageret. Årsaken til dette kan være at leira her er blitt en del forstyrret under uttrauing og peleramming, og at grusen ikke klarer å overføre spenninger over disse svekkede "bløte" partiene, men skvises noe ned når den forstyrrede leira konsoliderer.

Frem til nest siste måling dag 600 tilsvarende slutten av april 2010 viste alle målerne en jevnt avtagende setningsutvikling. Deretter har de noe overraskende utviklet seg nærmest lineært med tid. At den avtagende tendensen ikke har fortsatt etter april 2010 kan ha sammenheng med nyere byggevirksomhet i Barcode området. Det refereres i den sammenheng til ref. /2.2/, der det påvises at utbygging for Barcode rekken har medført reduserte poretrykk ved berg og økede setninger i stor avstand fra disse byggegropene. Det anbefales at SVRØ følger opp dette aspektet videre, og vurdere å sette ned flere poretrykksmålere ved berg for å se om det er åpenbare effekter nær tunnelen. Det anbefales uansett nye deformasjonsmålinger for å se om utviklingen fortsetter tilnærmet lineært med tid



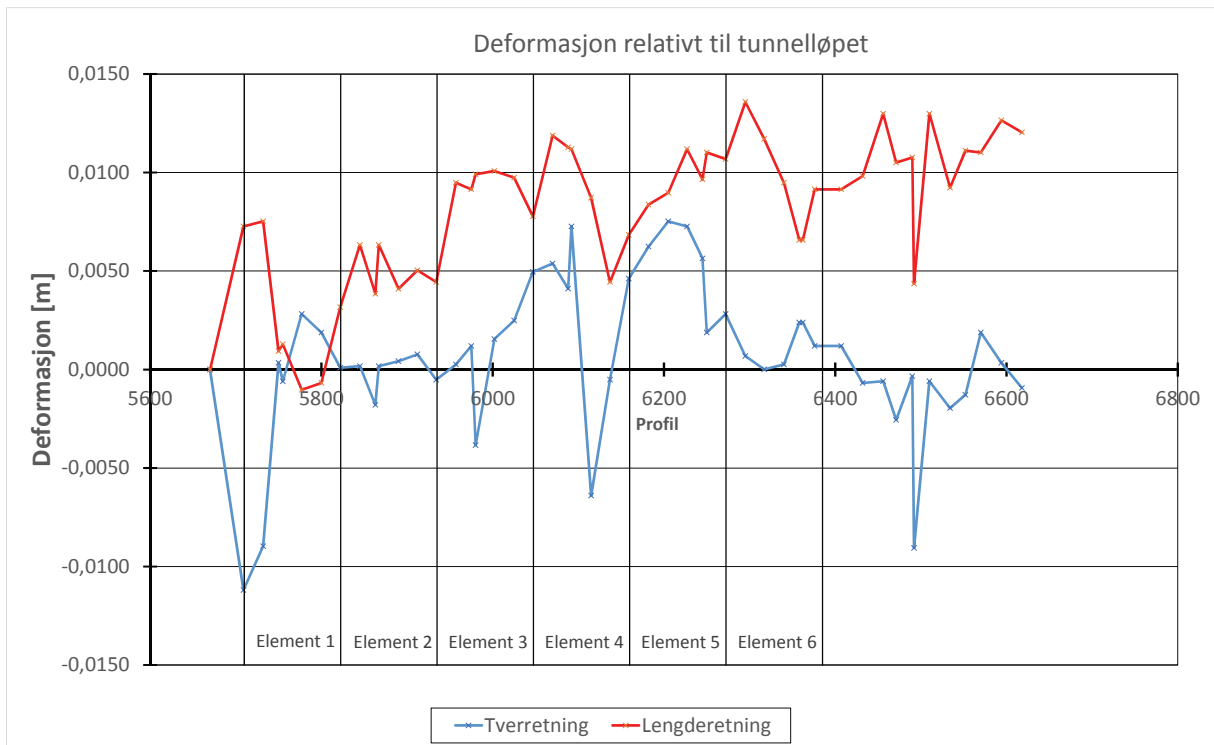
Figur 10.3.7 – Sammenlikning av setningsutvikling for målepunkter langs nordre løp (Profil Ha-Dr)



Figur 10.3.8 – Fordeling av setning langs tunnelen ved $t=241$ dager og $t=1350$ dager

10.3.2 Måling av horisontale bevegelser

Scan-Survey har i hvert målepunkt også målt bevegelser i x- og y-retning. Disse bevegelsene er gjennomgående små. Figur 10.3.9 viser endring i horisontale forskyvninger fra første måling 1.10.2009 til siste (sjette) måling 12.06.2013. I tverretningen er det maks 5 mm forskyvning. I lengderetningen ser du ut til at elementene har en tendens til bevege seg i retning Søranga, med maks forskyvning på 10 mm. I betongtunnel på Søranga er det enkelte fuger som har 20 mm EPS slik at friksjon mot tunneloverflate skal aktiveres og at temperaturvariasjoner i denne betongtunnelen ikke skal skyve mot Senketunnelen. Det er derfor ikke urimelig at det er indikasjoner på forskyvning mot Søranga.

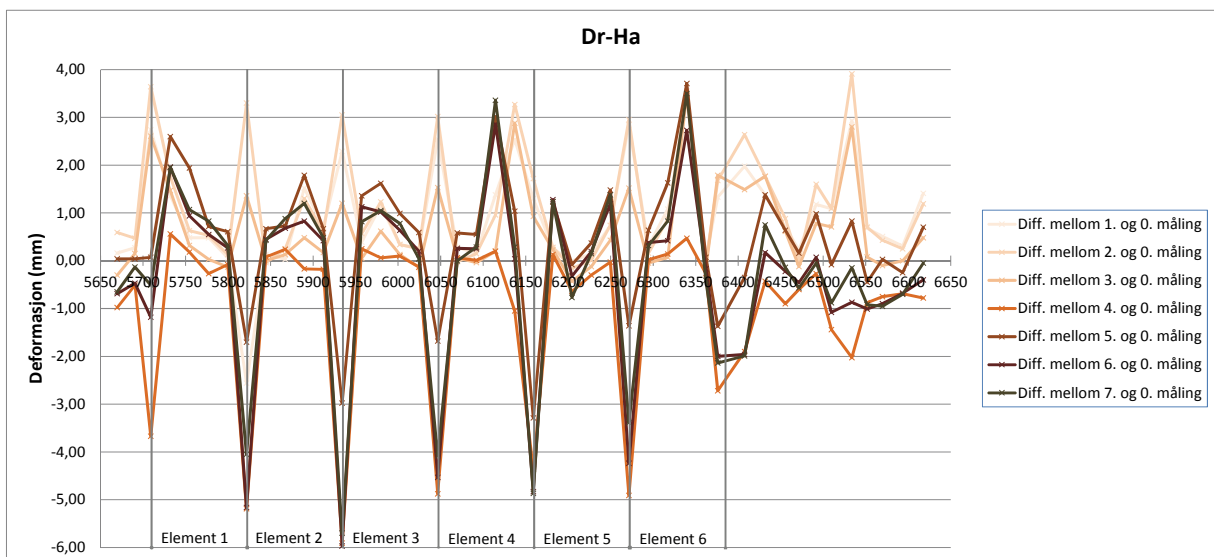


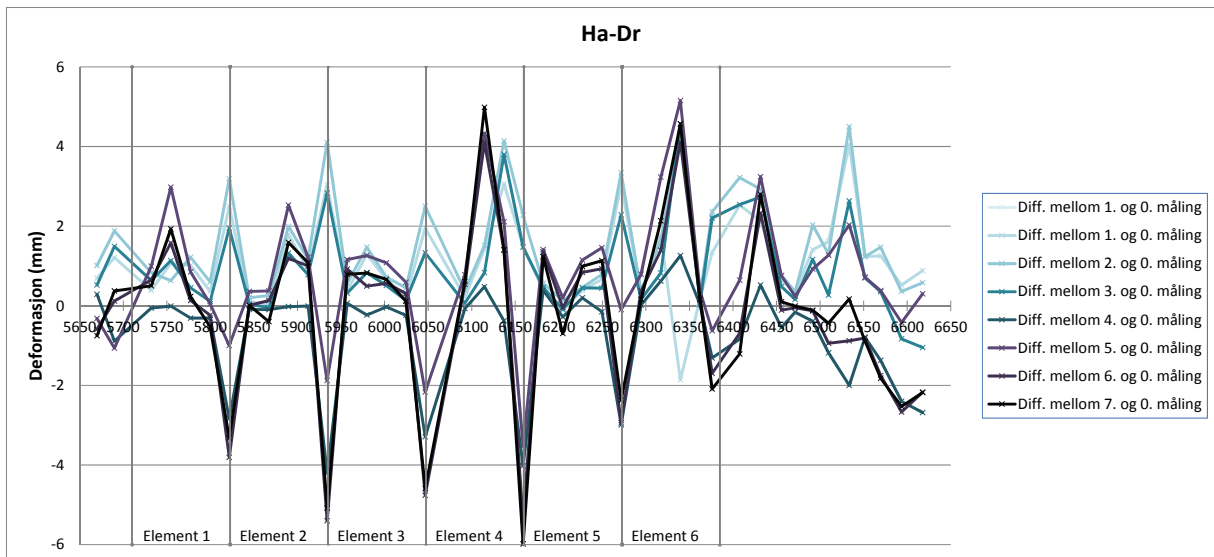
Figur 10.3.9 – Målt horisontal bevegelse langs tunnelen fra første til siste (sjette) måling

10.3.3 Fugebevegelser

Figur 10.3.10 viser målte horisontale bevegelser målt over fuger i hvert av tunnel løpene. Disse bevegelsene er så langt beskjedene med maksimal verdi på 6 mm. Det virker som bevegelsene over den enkelte i fuge har snudd over tid.

Elementene har trukket seg sammen over tid. På grunn av noe svinn, men også kryp på grunn av spennarmering for transport som gir et trykk i betongen selv om kablene er kappet i alle segmentskjøter. Temperaturvariasjoner vil også kunne gi fugebevegelser over året. Det er fordelaktig om målingene utføres på samme årstid for å eliminere dette som en parameter.





Figur 10.3.10 – Målte endringer over fuger

Disse innmålingene gir ikke direkte fugeåpning i bunnplate og takplate. Det som måles er endringer i fugeåpning på et nivå som ligger ca. 4m over bankett.

10.4 Målenøyaktighet og usikkerhet

Arbeid med innmålinger må følge en egen prosedyre. Se vedlegg A. Behandling av de innmålte data skal også utføres etter denne prosedyren.

Skanska og Scansurvey foretok uavhengige innmålinger omtrent samtidig og det ble avdekket forskjellige resultater. Forklaring var «forskjellige data behandling algoritmer». På bakgrunn av dette ble en prosedyre laget.

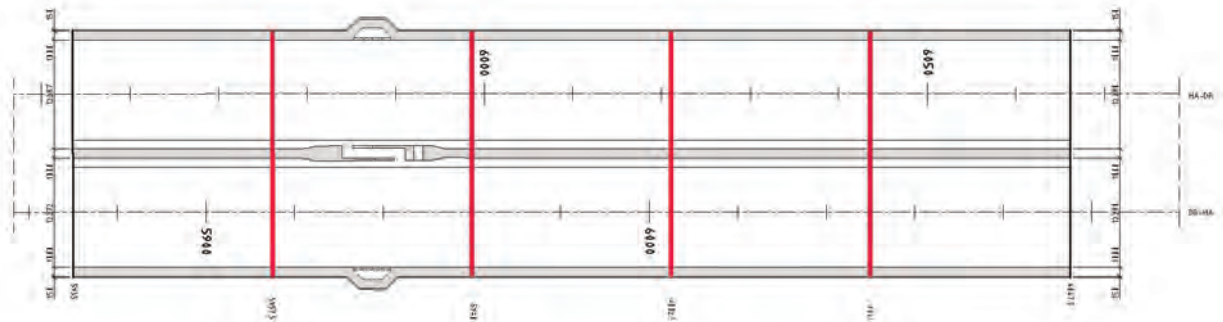
11 Anbefalt videre oppfølging

11.1 Setninger og fugebevegelser

Med den tendensen det har vært til at setningene fortsatt utvikler seg og endog har økt noe i hastighet siste par år, bør det gjøre årlige målinger enda noen år fremover. Samtidig bør det på egnet sted settes ned poretrykksmålere ved berg i rimelig nærhet av tunnelen for å se om det er åpenbar påvirkning fra Barcode utbyggingen slik man har sett i andre områder nærmere disse byggeprosjektene.

Setninger i seg selv er ikke kritisk for senketunnelen, men det er grenser for hvor store differansesetninger som kan tillates. Differansesetninger gir åpning i tunnelens fuger. Det er denne åpningen som har begrensninger.

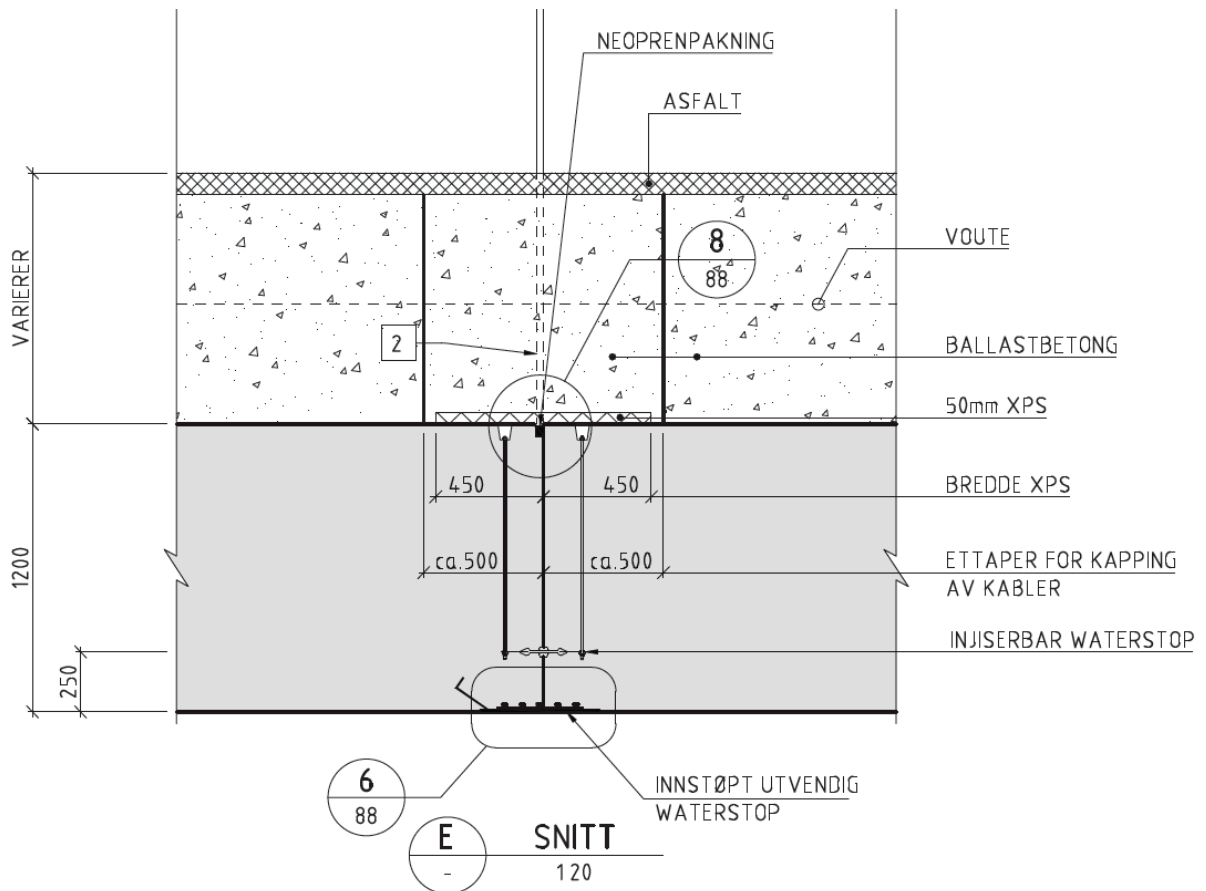
Segmentskjøter har i prosjekteringen en begrensning på 20 mm fugeåpning. Det er ACME pakning i bunnplaten som har denne begrensningen. Selve Waterstop som skal ivareta vanntetting har en vesentlig større tålegrense for fugeåpning, se /1.25/.



Figur 10.1 Segmentskjøter

ACME pakning i neopren plassert i bunnplate ved segmentskjøter har til oppgave å beskytte waterstop. Hvis fugeåpning overstiger 20 mm så kan det ved utilsiktet forurensning i eller utenfor drens systemet være en risiko for skade. Det er hydrokarboner som for eksempel, olje, diesel, og bensin fra havari av kjøretøy eller på annen måte kan havne i drens systemet. I utgangspunktet skal dette fanges opp i overvannsystemet, men det vil være en risiko for at det kan havne i drens systemet.

Det skal også nevnes at alle segmentskjøter også har en ytre waterstop, se figur 10.2.



Figur 10.2 Segmentskjøt med pakninger på nivå bunnplate. Fra tegning K203-87

Hvis design kriterier for denne pakningen er overskredet bør det gjennomføres en risikovurdering samt vurdere mulige kortsiktige og langsiktige tiltak.

På tunnelens vegger og tak er det påført brannbeskyttelse. På vegger er dette betongelementer med fliser. Denne tildekking gjør at det ikke er praktisk mulig, fysisk å måle fugeåpning. Det anbefales at man ved estimering av fugeåpning på bakgrunn av setninger og endring i avstand mellom målebolter på hver side av fuge, identifiserer de fugene som viser tendens til videre åpning i nivå bunnplate. En kan da vurdere om en skal bekrefte faktisk fugeåpning ved å demontere betongelement og måle på fuge bak elementene.

En erfaring til senere prosjekter er at en før tildekking av innvendige flater gjør en innmåling av fugeåpning samtidig som det etableres system for permanent måling av fuger. Dette må nedfelles i kontrakt med entreprenør(ene). Det må tidlig være besluttet valg av et permanent målesystem og dets plassering tilpasset teknisk løsning og anleggsgjennomføring. Det er en rekke praktiske forhold som vanskeliggjør etablering av et målesystem tidlig på grunn av tunge anleggsarbeider inne i en senketunnel etter at den er installert på sjøbunnen.

11.2 Bygging tett opp til senketunnelen

I reguleringsplan er det opprettet en sikkerhetssone til side for senketunnelen. Denne sonen gir Vegdirektoratet rett til å ivareta senketunnelens integritet ved at tiltak innenfor denne sonen må godkjennes.



Erfaringer per 2014, er at det er allerede har vært flere saker i forbindelse med utvikling av Bjørvikaområdet som utløser at en saksbehandling i forhold til denne sikkerhetssonen.



12 Kontrakten

Kontrakten er utformet som en tradisjonell enhetspriskontrakt basert på Prosesskoden, utgave 1997. Kontrakten er utformet med en generell del, "Generell spesiell beskrivelse" som gjelder alle elementene, og en mengdedel for hvert element.

Senketunnelen er element K203. Se /1.26/ for kontrakten.



13 Referanseliste

13.1 Prosjektdokumenter

/1.1/ Statens vegvesen Vegdirektoratet, Vegteknisk avdeling (1998). E18 mellom festningstunnelen og Ekeberg tunnelen. Oppdrag A-21A Rapport nr.1- Loddinger og lette sonderinger i Bjørvika og Bispevika. Kartlegging av tykkelse på slamlag, datert 10.06.1996.

/1.2/ Statens vegvesen Vegdirektoratet, Vegteknisk avdeling (1999). E18 mellom festningstunnelen og Ekeberg tunnelen. Oppdrag A-21A Rapport nr.2- Grunnundersøkelser for detaljplan, Alternativ B, datert 20.08.1996.

/1.3/ Statens vegvesen Vegdirektoratet, Vegteknisk avdeling (1999). E18 mellom festningstunnelen og Ekeberg tunnelen. Oppdrag A-21A Rapport nr.3- Supplerende loddinger og lette sonderinger i Bjørvika og Bispevika, datert 21.08.1998.

/1.4/ Statens vegvesen Vegdirektoratet, Vegteknisk avdeling (2001). E18 mellom festningstunnelen og Ekeberg tunnelen. Oppdrag A-21A Rapport nr. 4- Supplerende grunnundersøkelser (Paulsenkaia og Sørenga), datert 06.11.1998.

/1.5/ Statens vegvesen Vegdirektoratet, Vegteknisk avdeling (2001). E18 mellom festningstunnelen og Ekeberg tunnelen. Oppdrag A-21A Rapport nr. 8- Grunnundersøkelser for detalj- og reguleringsplan- Supplerende grunnundersøkelser (Bjørvika og Bjørvikautstikkeren), datert 12.05.1999.

/1.6/ Statens vegvesen Vegdirektoratet, Vegteknisk avdeling (2001). E18 mellom festningstunnelen og Ekeberg tunnelen. Oppdrag A-21A Rapport nr. 9- Grunnundersøkelser for detalj- og reguleringsplan- Supplerende grunnundersøkelser (Bispevika og Paulsenkaia), datert 16.06.1999.

/1.7/ NGI (2002). E18 Bjørvika- Revidert reguleringsplan. Rapport 2011473-1. Ødometerforsøk- Datarapport, datert 16.11.2001.

/1.8/ NGI (1999). Detalj- og reguleringsplan E18 Bjørvika. Rapport 990019-1. Spesielle laboratorieforsøk-Bjørvika- datarapport, datert 21.04.1999. Prosj.nr. 990019.

/1.9/ NGI (1999). E18 Bjørvika, tørr byggegrøp..Valg av karakteristiske jordparametere. Teknisk notat, datert 16.01.1997. Prosj. nr. 950069.

/1.10/ NGI (1999). Detalj- og reguleringsplan E18 Bjørvika. Karakteristiske jordparametere. Rapport 990016-1, datert 30.6.1999. Prosj. nr. 990016.

/1.11/ NGI (2001) Bjørvika tunnelen - Muligheter for direkte fundamentering av tunnelen ved senket linjeføring i øst. Teknisk notat, datert 13.03.2001. Prosj. nr. 990016.

/1.12/ NGI (2002). E18 mellom festningstunnelen og Ekeberg tunnelen. Notat 2-G-113- Sammenstilling av setningsparametere fra ødometerforsøk, datert 26.08.2002. Prosj.nr. 20011284.



/1.13/ NGI (2003). E18 mellom festningstunnelen og Ekeberg tunnelen. Notat 2G-201-Deformasjonsparametere for bruk i geotekniske beregninger, datert 14.11.2003. Prosj. nr. 20031143.

/1.14/ NGI (2003). E18 mellom festningstunnelen og Ekeberg tunnelen. Notat 2G-202-Supplerende prosjekteringsforutsetninger for hovedløpet, datert 05.12.2003. Prosj. nr. 20031143.

/1.15/ NGI (2004). E18 mellom festningstunnelen og Ekeberg tunnelen. Notat 2-G-107-Stabilitet under uttrauing, rev.2, datert 22.01.2004. Prosj.nr. 20031649.

/1.16/ NGI (2006). E18- Bjørvika -Byggeplan. Teknisk notat- Begrensninger ved utgraving for senketunnel, rev.1, datert 14.11.2006. Prosj.nr. 20031649.

/1.17/ NGI (2001). E18 mellom festningstunnelen og Ekeberg tunnelen. Notat 2-G-111-Mudring og etablering av underlag for senketunnelen, rev.2, datert 16.10.2001. Prosj.nr. 20011284.

/1.18/ NGI (2004). E18 mellom festningstunnelen og Ekeberg tunnelen. Notat 2-G-103-Beregnet svellings- og setningsforløp langs senketunnelen, rev.3, datert 02.11.2004. Prosj.nr. 20031649.

/1.19/ NGI (2002). E18 mellom festningstunnelen og Ekeberg tunnelen. Notat 2-G-104-Spenningsendringer og deformasjoner ved uttrauing og tilbakefylling, rev.1, datert 03.10.2002. Prosj.nr. 20011284.

/1.20/ NGI (2004). E18 mellom festningstunnelen og Ekeberg tunnelen. Notat 2-G-105-Fjærstivheter for bruk i samvirkeberegninger, rev.2, datert 12.01.2004. Prosj.nr. 20031649.

/1.21/ NGI (2004). E18 mellom festningstunnelen og Ekeberg tunnelen. Notat 2-G-108-Jordskjelvvurderinger, rev.1, datert 26.01.2004. Prosj.nr. 20031649.

/1.22/ NGI (2000). Detalj-og reguleringsplan E18 Bjørvika. Teknisk notat-Temperaturberegninger, datert 24.08.2000. Prosj.nr. 990016.

/1.23/ Aas-Jakobsen (2004) Byggeplan E18 mellom Festningstunnelen og Ekeberg tunnelen Teknisk notat 2-B-202 rev 01. Senketunnel. Tilleggslaster fra ujevn Sjøbunn, datert 25.06.2004. Aaj prosj.nr. 7777.

/1.24/ Aas-Jakobsen (2004) Byggeplan E18 mellom Festningstunnelen og Ekeberg tunnelen Teknisk notat 2-B-104 rev 04. Senketunnel. Betongkonstruksjon - global analyse, datert 02.11.2004. Aaj prosj.nr. 7777.

/1.25/ Aas-Jakobsen (2004) Byggeplan E18 mellom Festningstunnelen og Ekeberg tunnelen Teknisk notat 2-B-111 rev 03. Senketunnel. Element og segmentskjøter i senketunnelen , datert 08.08.2005. Aaj prosj.nr. 7777.

/1.26/ Kontrakt 2005-58715. Bjørvikaprojektet. E18 mellom Festningstunnelen og Ekeberg tunnelen 11. august 2005.

/1.27/ Ytre miljø. Sluttrapport for E18 Bjørvikaprojektet, Entreprise Sjødelen. Rambøll; 2010-08-18, 1050388B. M-rap-005. Rev. 01.



13.2 Andre referanser

/2.1/ Markey, I. & Narvestad L. (2009) *The Bjørvika Immersed Tunnel and Land Connections. 5th Symposium on Strait Crossings: Trondheim 2009*. Balkema.

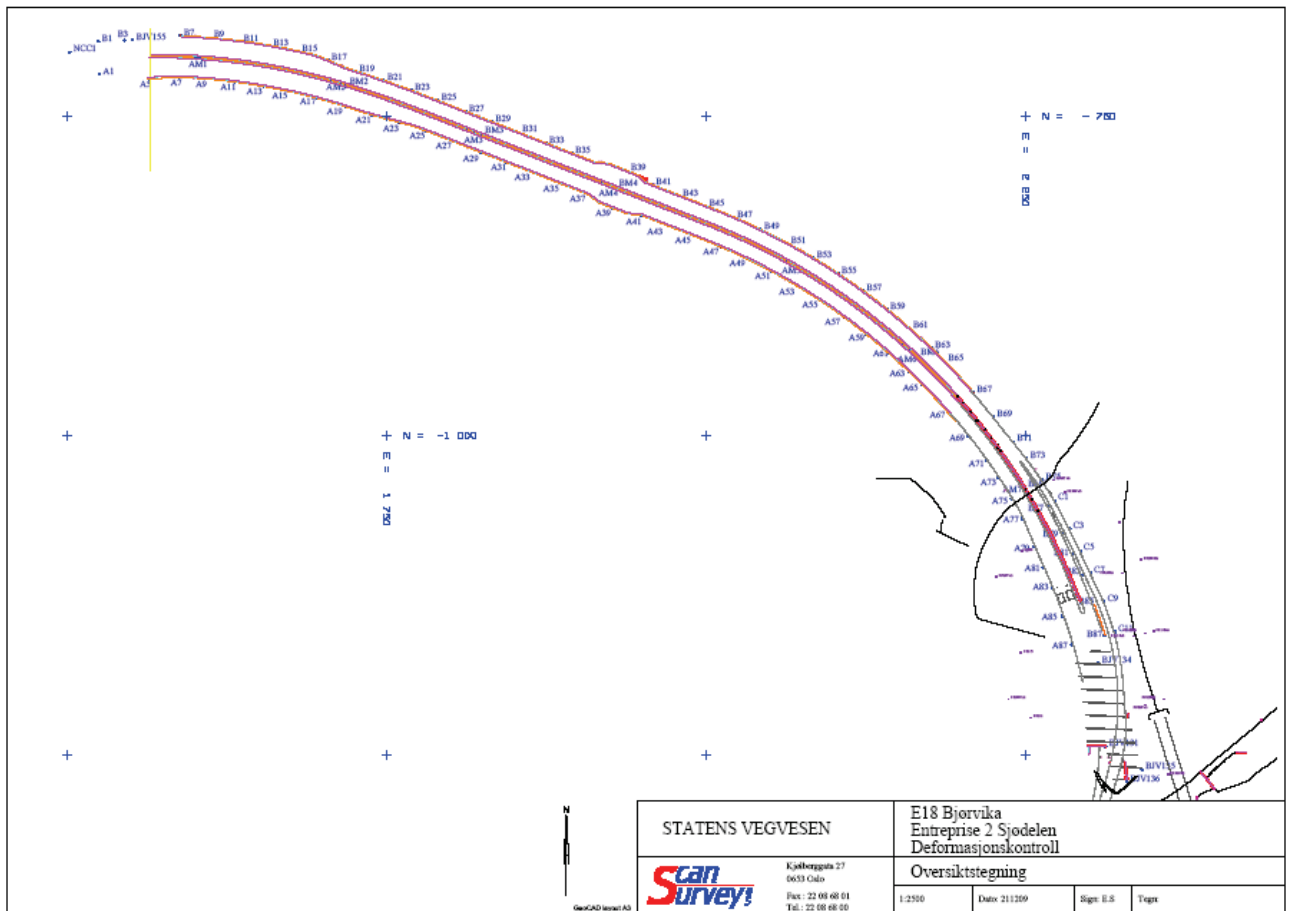
/2.2/ Karlsrud, K., Narvestad, L. og Markey, I. (2013). The Bjørvika immersed tunnel - assessments of calculated and measured settlements over a 3 year period. *6^t Symposium Conf. on Strait Crossings June 2013, Bergen 203*. Balkema.

/2.3/ Røed S. (2009). *The Influence of an Immersed Tunnel on the City Planning in Oslo 5^t Symposium on Strait Crossings: Trondheim 2009*. Balkema.

/2.4/ Baber J., Narvestad L. *Maintenance Considerations for Immersed Tunnels, with particular. 5th Symposium on Strait Crossings: Trondheim 2009*. Balkema.

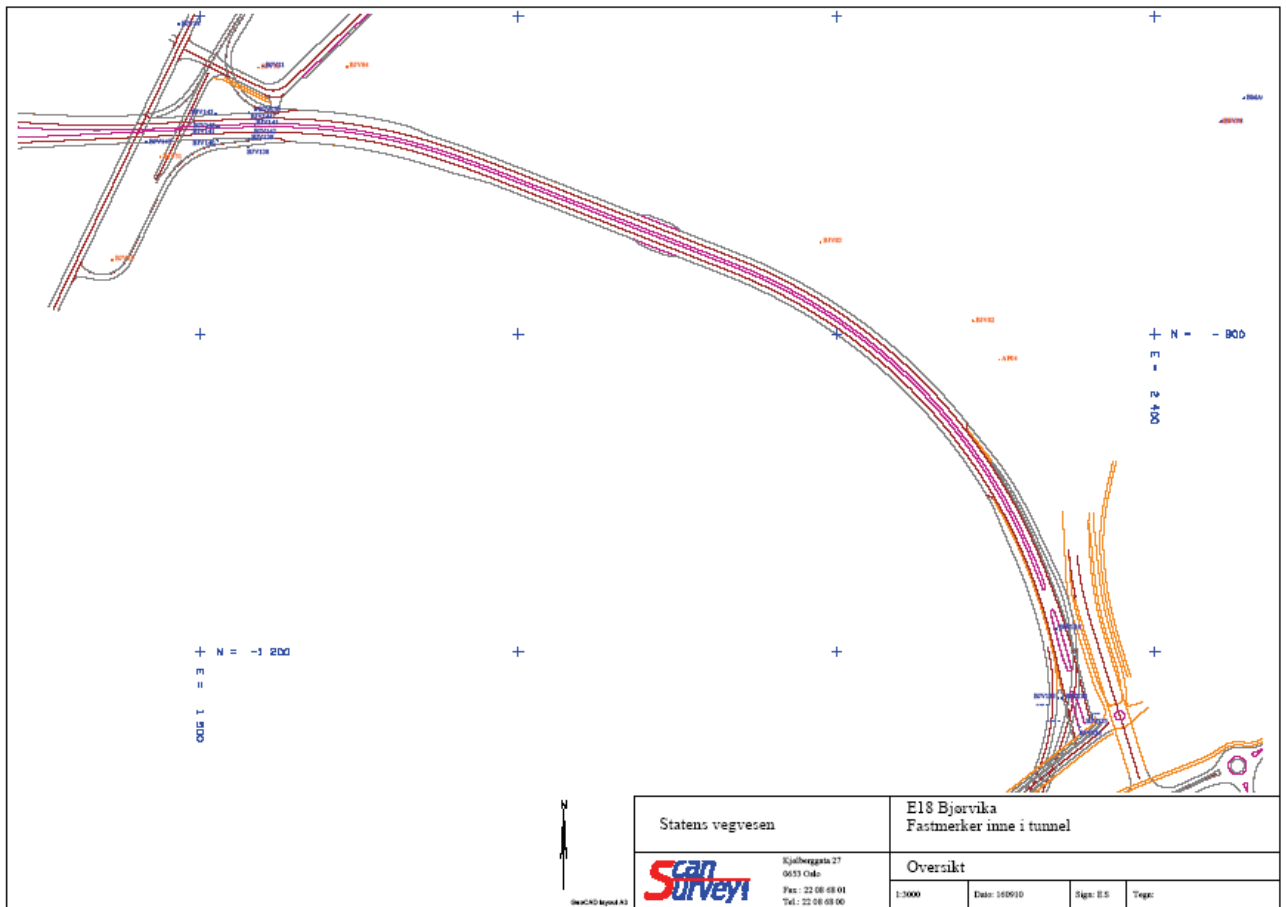
VEDLEGG A: Beskrivelse av måleprogram og metode

Senketunnelen er bygd opp av 6 elementer som igjen er delt opp i 5 segmenter. Mellom disse elementene og segmentene er det fuger. For å overvåke fuger og beliggenhet er det montert Leica prismebolter på tunnelside av ytterveggene på hver side av fugene. Målepunktene er plassert rett over vegg/brannsikringselementene, ca 4 meter over veibanen i begge tunneløp og påkjøringsrampe fra Moss. Målepunkter er også plassert på hver side av rømningsveiene. Totalt 374 bolter. Boltene har avstand < 1 meter.



Figur A1: Oversikt oddetallsbolter i begge løp samt påkjøringsrampe fra Moss.
Oversikt_bolter.pdf

På Sørenga siden og på Havnelager siden av tunnelen er det etablert fastmerker. Disse fastmerkene er etablert med Leica prismebolter.



Figur A2: Fastmerkeoversikt. 2150FmOversiktTunnel.pdf

Oppdrag:

Deformasjon:

Deformasjonskontrollen gjennomføres ved å måle inn en prismebolt ved hver fuge, den som ligger nærmest Havnelageret (oddetall) med fastmerkene på henholdsvis Sørenga og Havnelageret som grunnlag. Resultatet føres inn i regneark (se vedlagt rapport) for rapportering av beliggenhet i nord, øst og høyde. Rapporten viser differanser i forhold til 1. måling og forrige måling.

Fugeåpning:

I tillegg skal avstanden mellom boltene i hver fuge måles med skyvelære for å se endring i fugeåpningene. Avstanden måles i det freste sporet på boltene. Avstanden føres inn i det tidligere nevnte regnearket og viser endring i fugeåpning i forhold til 1. måling og forrige måling.

Krav til nøyaktighet: +/- 0.5mm



Figur A3: Leica prismebolt med frest spor.



Figur A4: Det trengs ett skyvelære som kan måle opptil 1 meter.

GEODETISKE KRAV: (Deformasjonskontrollen)

Koordinatsystem:

Oslo lokale koordinatsystem.

Høydesystem:

Oslo lokale høyder.

Geodetisk kvalitet:

Geodetisk kvalitet i grunnriss		Geodetisk kvalitet i høyde	
p (ppm)	k(mm)	p (ppm)	k(mm)
0	3	3	3

Tabell 1: Krav til geodetisk kvalitet. Se standard for grunnlagsnett for definisjoner.

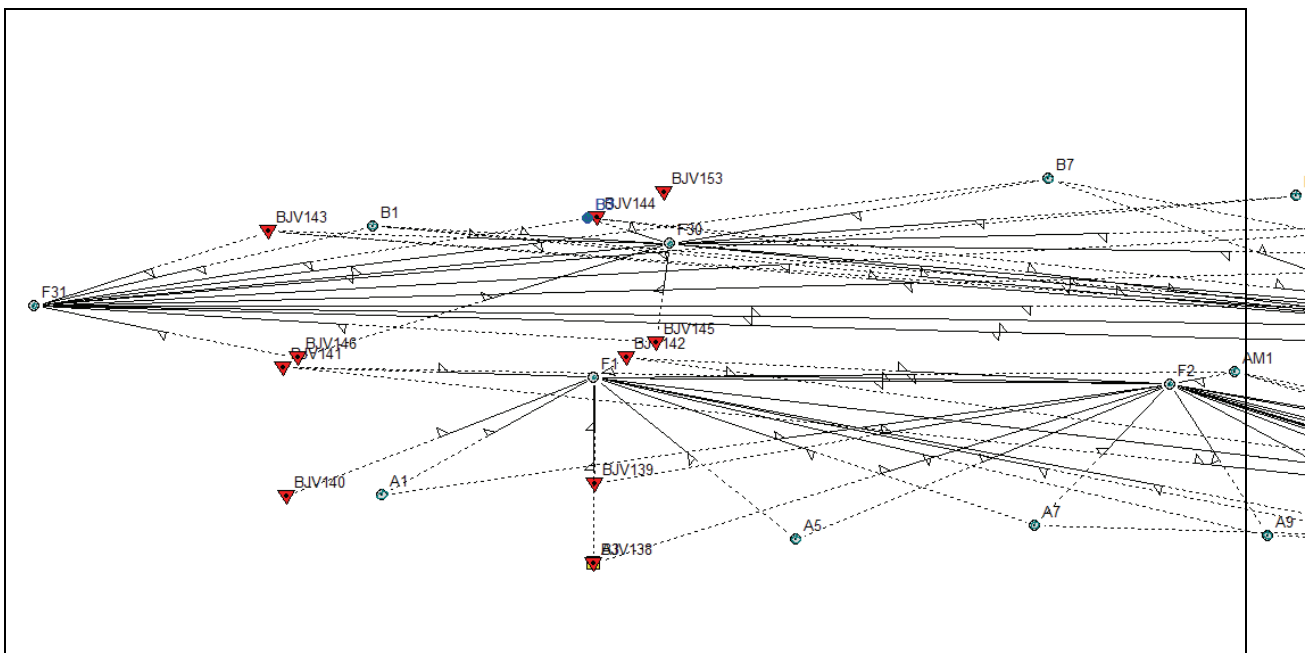
Punktene kvalitet skal dokumenteres i henhold til Standard for grunnlagsnett utgitt av Statens kartverk.

UTFØRELSE:

Deformasjon:

Måling av boltene utføres som grunnlagsnett med overskytende målinger. Og utjevning etter minste kvadraters metode samt pålitelighetsanalyse. Dette er helt nødvendig for å overholde krav til geodetisk kvalitet. Målestyrke er 3 helsatser.

Nettet måles som et ”fagverksnett”



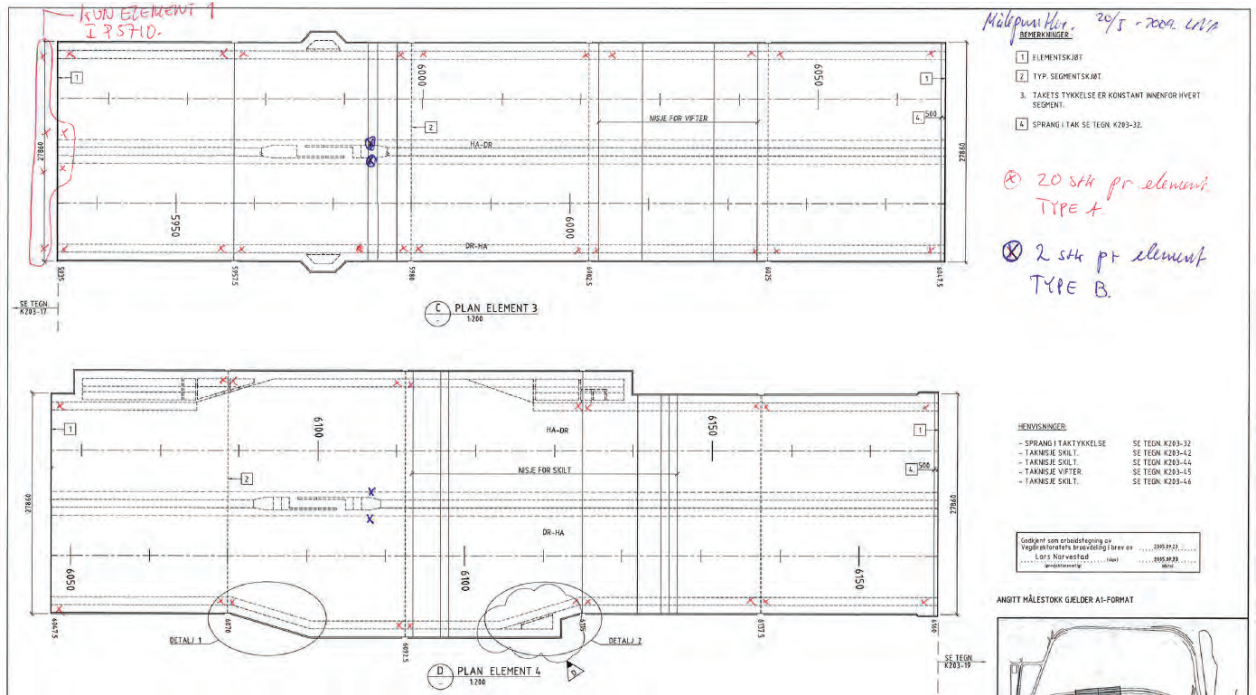
Figur A5: Nettoppbygging i senketunnelen ved påkobling til fastmerker ved Havnelageret. punktene med prefiks BJV er fastmerker, prefiks F er instrumentoppstillinger og prefiks A & B er punkter ved fuger som skal posisjoneres.

Som det går frem av skissen blir det mye flytting av stativer og snuing av prismer. Det vil være en fordel å være et målelag på tre personer. En til å betjene instrumentet, og to med stige/lift til å flytte stativer og snu prismer. For å overholde krav til geodetisk kvalitet og en fornuftig framdrift vil det trengs omlag 8 stativer, 8 tvangssentrerings sett, samt 20 prismer. En antydning av mengden: ca. 2200 observasjoner, 35 instrumentoppstillinger, 374 bolter.

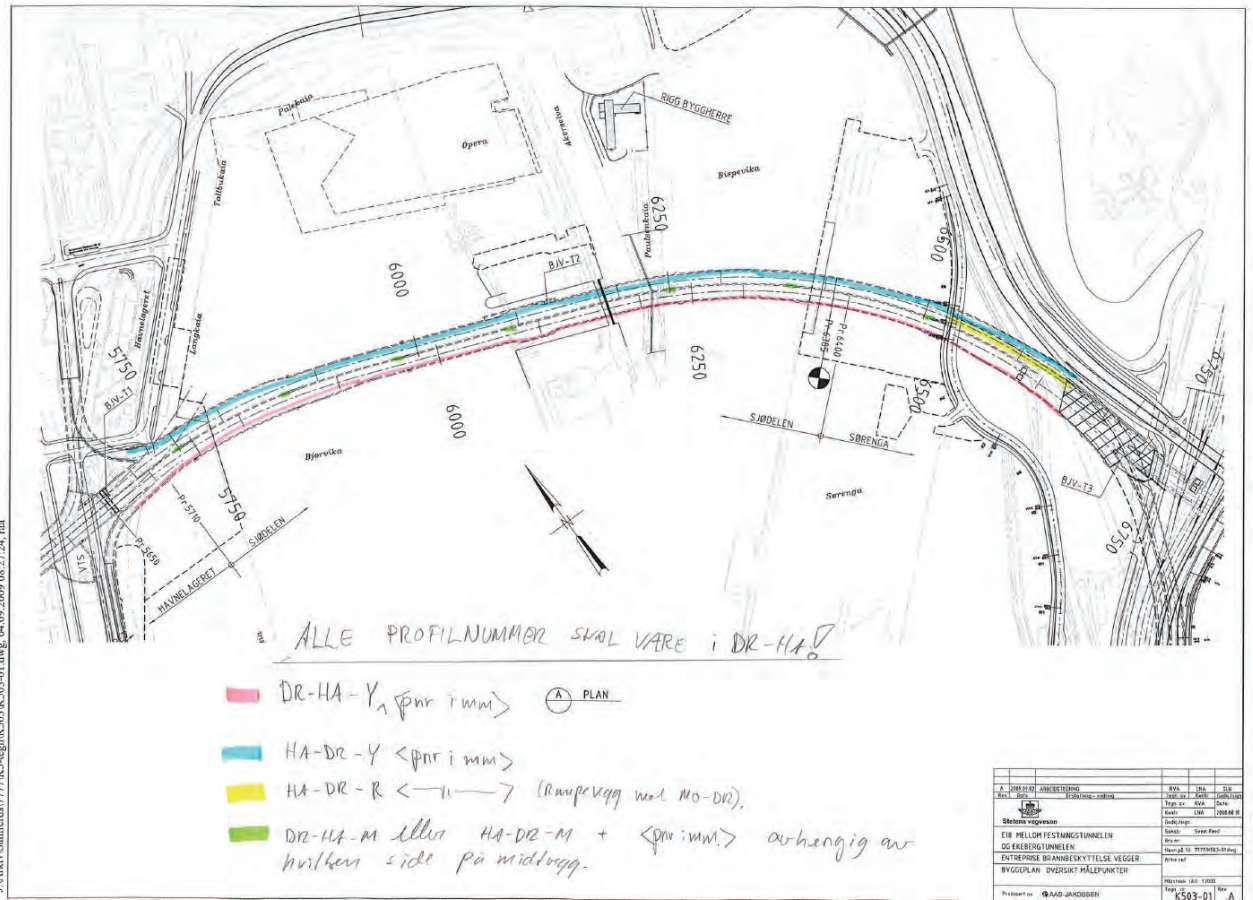
Fugeåpning:

Kontroll av fuge åpning gjennomføres ved å måle avstand mellom boltene på hver side av fuge, som beskrevet tidligere. Målingene utføres med to personer, en måler og en liftfører. Det er en fordel å ha med tabell med tidligere målte verdier for kontroll av avlesningsfeil.

Navngiving av Målepunkter:



Figur A6: Plassering innfor hvert enkelt element



Figur A7: Navngiving



Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Postboks 8142 Dep 0033 OSLO
Tlf: (+47 915) 02030
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen