

# Injeksjon Bjarkøyforbindelsen; Kvernsundtunnelen

Gjennomgang av injeksjonsomfanget med særlig vekt på  
"Problemsonen"

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 674



**Tittel**

Injeksjon Bjarkøyforbindelsen;  
Kvernsundtunnelen

**Undertittel**

Gjennomgang av injeksjonsomfanget med  
særlig vekt på "Problemsonen"

**Forfatter**

Edvard Iversen

**Avdeling**

Vegavdelingen

**Seksjon**

Tunnel og betong

**Prosjektnummer****Rapportnummer**

Nr. 674

**Prosjektleder****Godkjent av**

Alf Kveen

**Emneord**

Stor innlekkasje. Mange injeksjonsomganger

**Sammendrag**

Et område i tunnelen på ca 70 meter ga uvanlig store vannlekkasjer. Sonen strekker seg fra pel ca. 3.737 - 3790 og har en retning på tunnelen med ca. 60 grader. Det ble brukt tilsammen 35 injeksjonsomganger med tilsammen 209 tonn innpumpet masse.

13 injeksjonsomganger ble utført fra pel. 3.738. Injeksjonene ble utført i tidsrommet 30. januar - 24 april 2017 (54 dager)

**Title**

Grouting problems in a fracture zone;  
The Kvernsund Tunnel

**Subtitle****Author**

Edvard Iversen

**Department**

Roads Department

**Section**

Tunnels and Concrete

**Project number****Report number**

No. 674

**Project manager****Approved by**

Alf Kveen

**Key words**

Heavy leaking. Many grouting rounds

**Summary**

A geological fracture zone with a length of about 70 meter was injected with 35 grouting rounds with use of 209 tons of grouting mass. Time: 30. January – 24. April 2017 (54 days)



## Innhold

Injeksjon Bjarkøyforbindelsen; Kværnsundtunnelen.....	1
1 Innledning.....	1
1.1 Geologisk grunnlag .....	1
1.2 Kort oversikt over injeksjonene .....	1
1.3 Injeksjonsprosedyrer .....	2
2 Beskrivelse av lekkasjer og injeksjon langs traseen.....	2
2.1 Injeksjon på Grytøya.....	2
2.2.2 Tidsforbruk for injeksjonene på Grytøya .....	3
2.2 Injeksjon under Kværnsundet (sydlige del, pel 3.500–3.750) .....	4
2.2.1 Injeksjon i forbindelse med sone X .....	5
2.3 Problemsonen.....	8
2.3.1 Innledning.....	8
2.3.2 Sonens oppbygning og Q-verdi .....	9
2.3.3 Innledende skjerm og boring .....	10
2.3.4 Injeksjon fra pel 3.738 .....	10
2.3.5 Møte 14.mars 2016.....	11
2.3.5 Kjerneboring .....	11
2.3.6 Q-verdi gjennom sonen .....	13
2.3.7 Oppsummert injeksjonsomgangene er presentert i tabell 03 og 03b.....	15
2.3.8 Injeksjon i nordlige del av sonen pel 3.753 – 3.775 .....	17
2.3.8 Injeksjon med collodial silika .....	22
2.3.9 Teoretisk gjennomgang av lekkasjekanaler.....	22
2.3.10 Effektiv injeksjon i forhold til sluttrykk .....	23
2.4 Området med høy seismisk hastighet, pel. 3.800 – 3.970 .....	24
2.5 Fra «midtfjordsforkastningen» og nordover.....	27
4 Effekten av injeksjonen .....	28
4.1: Diskusjon om årsak til store vannlekkasjer i problemsonen .....	28
4.1.1 Bakgrunn .....	28
4.2 Årsak til lekkasjene .....	29
4.3 Injeksjonsstrategi .....	29
5 Konklusjon, Oppsummering.....	30

## Vedlegg

**Vedlegg 1: Kart og profil over tunneltraseen**

**Vedlegg 2: Beskrivelse av kjerneborhull i lekkasjesone**

**Vedlegg 3: Fagrapport injeksjon fra Knut Garshol**

**Vedlegg 4: Injeksjonsprosedyrer og resepter**



# Injeksjon Bjarkøyforbindelsen; Kværnsundtunnelen

## 1 Innledning

Tunnelen er undersjøisk og går under Kværnsundet mellom Grytøy og Bjarkøy. Tunnelen er 3.200 meter lang og har stigning på 8,5 % mot Grytøy og 10 % mot Bjarkøy. Bergoverdekningen i den undersjøiske delen er på minimum 50 meter. Tunneldriften startet i aug. 2015 med kun drift fra Grytøya. Gjennomslag på Bjarkøy 21. januar 2017.

### 1.1 Geologisk grunnlag

Tunnelen er drevet i prekambrisk granittisk gneis med varierende innslag av amfibolittisk materiale. I de mer massive deler med granitt er foliasjonen som oftest moderat utviklet. I områder med amfibolittisk innslag kan en se at bergartskomplekset er til dels kraftig foliert.

Tunnelen ble drevet på synk fram til dyprennen midtfjords. Med liten bergoverdekning, fra ca. 10 til ca. 20 meter, var det ingen injeksjon mellom påhugget, pel 2050 og pel 2.514. En gikk gjennom flere markerte svakhetssoner på denne strekningen uten at dette medførte innlekkasjer over kravet. (20 l/min/100 m. 10 l/min fra et hull eller 15 l/min fra 2 hull.) Årsaken er trolig at bergoverdekningen var begrenset og at vanntrykket i sonene også var liten. Eventuelle grunnvannsmagasiner i berget var dermed små. Heller ikke en veldig markert sone, sone V, pel ca. 2.475, under en myr og bekk ga mye vann. En passerte 5 markerte soner som var beskrevet i den geologiske rapporten uten at injeksjon var nødvendig.

Under passering av en seismisk lavhastighetssone under fjorden, ca. pel 3.720 – 3.775, møtte en store lekkasjer som var vanskelig å få tettet. Passering av sonen tok ca. 2 måneder og det ble injisert i til sammen 34 injeksjonsomganger. Hensikten med denne rapporten er å belyse de injeksjonsproblemer en møtte i denne «problemsonen». For å sette dette i sammenheng er også injeksjonsforholdene gjennom hele tunnelen beskrevet.

### 1.2 Kort oversikt over injeksjonene

Det ble injisert i alt 9 omganger i tunnelen på Grytøysiden og ut i søndre del av Kværnsundet pel 2.050 – 3.500. Kap. 2.1

I Kværnsundet ut mot lavhastighetssone XI var det omtrent systematisk injeksjon over en strekning på 150 meter. Pel 3.500 – 3.700. Kap. 2.2.

I problemsonen definert av lavhastighetssone XI ble det injisert i 34 omganger mellom pel 3.720 og 3.775. Kap 2.3.

I bergknausen mellom pel 3.800 –3.900 ble det injisert nesten systematisk med 5 omganger. Kap. 2.4.

Videre opp til påhugget på Bjarkøysiden ble det injisert i 3 omganger over en strekning på 1300 meter, pel 3.920 – 5.250. kap. 2.5.

### 1.3 Injeksjonsprosedyrer

Prosedyrer for sonderboring og injeksjon ligger i vedlegg 4.

Sonderboringer var organisert slik at i forventet gode områder var det brukt 2 sonderhull og i antatt vanskelige områder ble det brukt 4 sonderhull.

Injeksjonsprosedyren var av standard karakter der en startet med tynnere masse og gikk etter hvert over til tykkere injeksjonsmasse i hull som tok mye masse. I utgangspunktet ble det brukt industrisement. I mer krevende områder er det beskrevet bruk av mikrosegment med mulighet for styrt avbinding.

## 2 Beskrivelse av lekkasjer og injeksjon langs traseen

### 2.1 Injeksjon på Grytøya

Først ved pel 2.514, etter 464 meters tunneldrift, var innlekkasjen så stor at en injeksjonsomgang ble nødvendig. Overdekningen her var ca. 25 meter og en gikk inn under et myrområde med bredde 60 meter. Injeksjonen var knyttet til svakhetszone VI som var registrert med terrengformasjon inn til myrområdet. Ytterligere en injeksjonsskjerm ble nødvendig under myra, ved pel 2.562. Her gikk det inn 17,7 tonn injeksjonsmasse. Begge disse injeksjonene var knyttet til svakhetssoner under myra kartlagt som sone VI (6).

To skjermene, pel 2.862 og 2.877, ble benyttet for å tette i forbindelse med sone VIII som er registrert som en knusnings og forkastningszone. Sonen har seismisk hastighet på 2.700 m/s registrert ca. 75 m sydvest for traseen. Sonen kan følges på kartet og i terrenget. I disse skjermene gikk det inn 8,2 tonn og 14,8 tonn injeksjonsmasse.

Tabell 1

Pel nr	Dato	Antall hull	Hull- lengde	Ind. Sement	Mikro- sement	Tilsetn etc	Total inng	Tid
2 514	01.sep.15	28	24					
2 562	07.aug	31	24	17 757		2 500	20 257	09:50
2 710	27.aug	28	24	20 852		2 650	23 502	08:40
2 862	17.sep	30	24	8 242		1 080	9 322	05:57
2 877	20.sep	32	24	14 866		1 846	16 712	09:54
2 954	02.okt	28	24	9 227		1 192	10 419	05:53
3 006	09.okt	28	24	20 161		2 561	22 722	09:45
3 082	19.okt	28	24	29 986		3 522	33 508	11:13
3 265	09.nov	31	24	15 750		5 212	20 962	07:51
3 280	12.nov	28	24	18 012		2 381	20 393	07:41
3 354	20.nov	34	24	21 557		2 700	24 257	09:04
3 514	09.des	28	24	11 882		1 600	13 482	05:50
3 558	12.des	28	24	15 636		1 907	17 543	07:19
3 575	18.des	28	24	18 777		2 269	21 046	09:32
3 588	06.jan.16	28	24	15 061		2 305	17 366	10:46
3 604	09.jan.16	28	24	14 795		1 871	16 666	08:38
3 619	12.jan	28	24	20 595		3 384	23 979	08:47
3 632	14.jan	28	24	16 157		2 086	18 243	06:53
3 649	17.jan	28	24	22 063		2 791	24 854	08:30
3 664	20.jan	28	24	19 398		2 453	21 851	08:50
3 679	22.jan	28	24	23 591		2 819	26 410	09:18

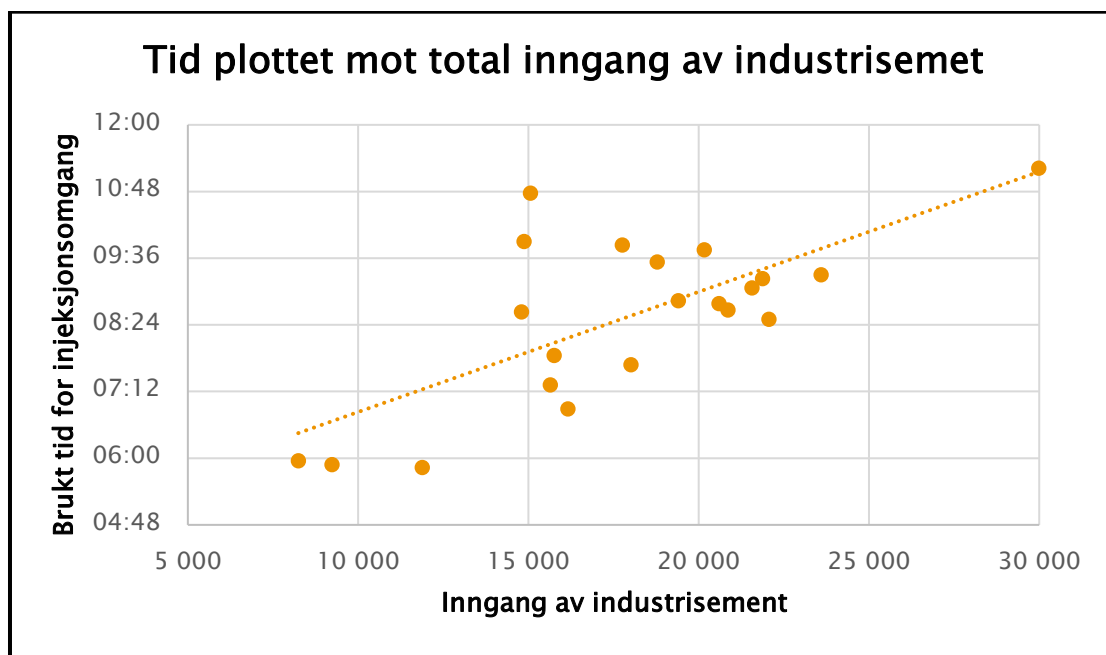
*Tabellen viser injeksjonsinformasjon på Grytøysiden fram til problemsonen ved pel 3.740. Gul svak farge viser injeksjonen i området med systematisk injeksjon beskrevet i kap. 2.2.1. Tunellen går ut under sjøbunn ved pel 3.095.*

Videre framover ble det injisert i 3 skjermene fram til overgangen til Kvernsundet. Ingen av disse skjermene kan knyttes til kartlagte soner. Injeksjon på pel nr. 2.954 (9,2 tonn), Pel nr. 3.006 (20,1 tonn) og pel 3.082 (30 tonn).

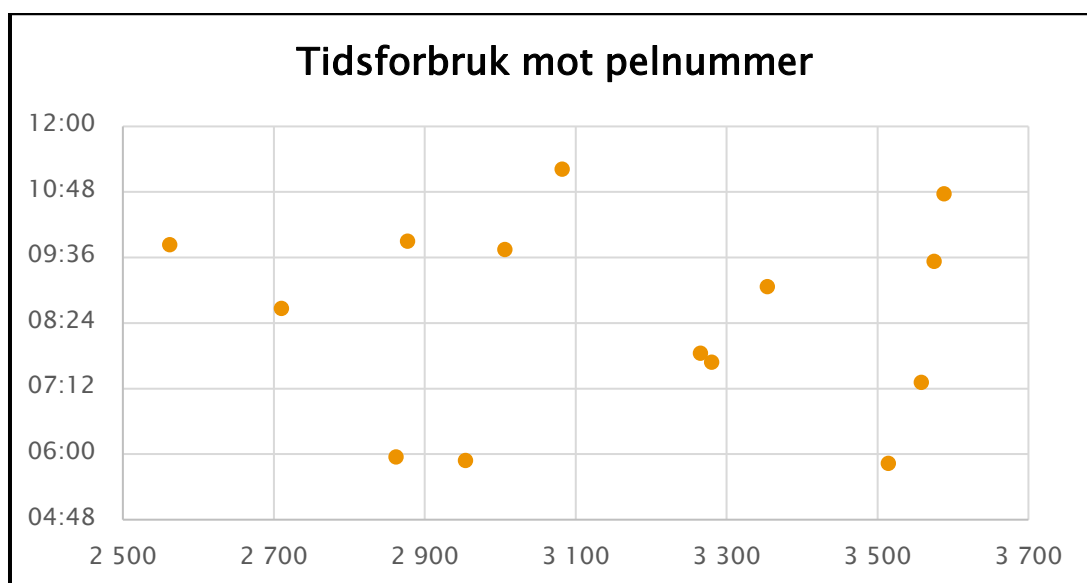
### 2.2.2 Tidsforbruk for injeksjonene på Grytøya

Diagram 1 viser inngangen av industrisement i injeksjonsomgangene på Grytøya. De geologiske forhold her er relativt like. En ser at det er en korrelasjon mellom tidsforbruk og inngang. Dette er forventet, det vil normalt ta lenger tid å pumpe inn mer masser enn mindre masser. Alle injeksjonsomgangene her var stort sett i «jomfruelig» terreng. Noen omganger var i serie med forrige omgang og har derfor en viss overlapp. Stort sett går inn mer masse i 2. overlappende omgang enn i 1. omgang. Dette viser at det er de lokale sprekke- og lekkasjeforhold som styrer mengden.

Det er ingen trend med hensyn på pelnummer utover mot sjøen med hensyn på tidsbruken, se diagram 2



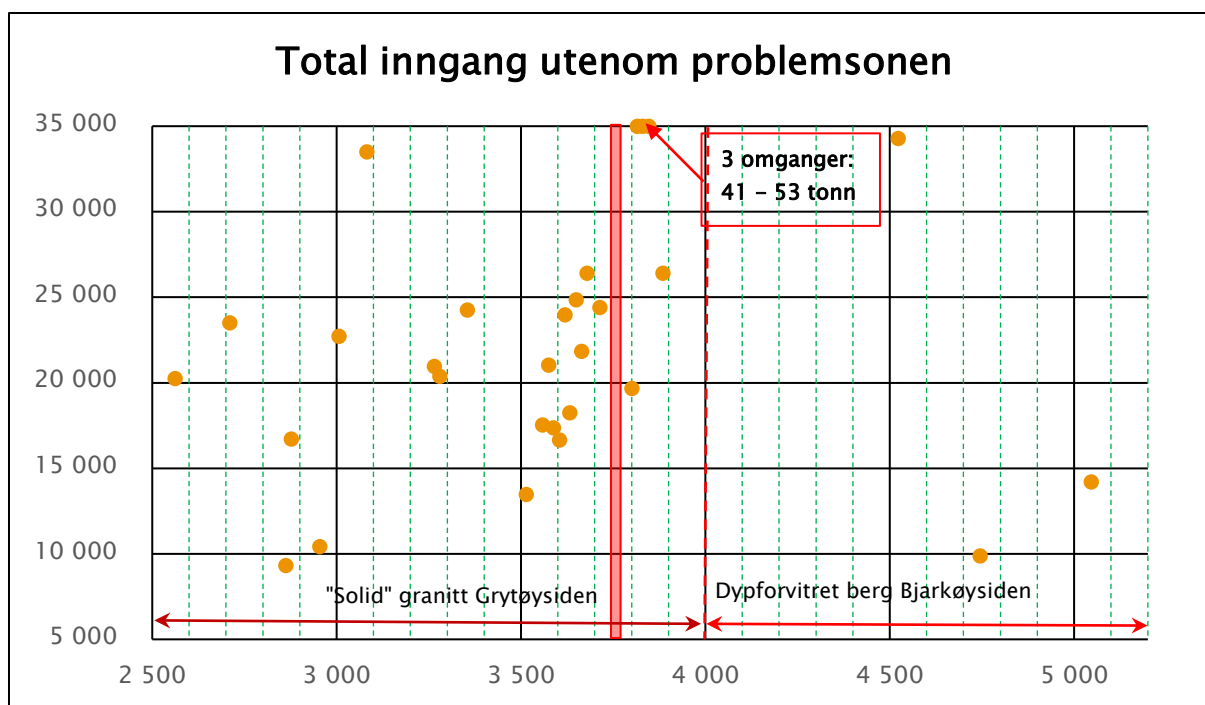
**Diagram 1:** Diagrammet viser at det er en forventet sammenheng mellom totalt innpumpet masse og tiden injeksjonen tar for injeksjonsomgangene på Grytøysiden.



**Diagram 2:** Diagrammet viser tiden som er brukt for hver injeksjonsomgang på Grytøya. Her er ingen tendens.

## 2.2 Injeksjon under Kværnsundet (sydlige del, pel 3.500–3.750)

Ute i fjorden ble det 2 injeksjonsomganger ved pel 3.265 (15,6 tonn) og pel 3.280 (18,0 tonn). Denne injeksjonen var heller ikke knyttet til registrerte svakhetssoner og berget har registrert seismisk hastighet på 5.200 m/s.



**Diagram 3:** Diagrammet viser en oversikt over den totale inngangen pr injeksjonsomgang utenom problemsonen. Problemsonen 3.737 – 3.772 på ca. 35 meter er markert med rød stolpe. (Sonens bredde er vanskelig å definere eksakt. Den går på skrå og i området fram til pel ble det injisert ofte i flere omganger pr. stuff. Sonen kan også defineres som et område på ca. 70 meter) Venstre akse viser kg injisert masse og horisontal akse viser pelnummer.

Overgangen til de mer oppsprukne bergartene på Bjarkøysiden er antatt å ligge i depresjonen ved pel 4000. Legg merke til at det bare er 3 injeksjonsomganger mellom overgangen og påhugget på Bjarkøy. Der er 26 injeksjonsomganger i det gode berget på Grytøysiden i tillegg til problemsonen. Lekkasjemessig ser det derfor ut til at de antatt dypforvitrede bergartene på Bjarkøysiden er mye tettere enn de gode bergartene på Grytøysiden.

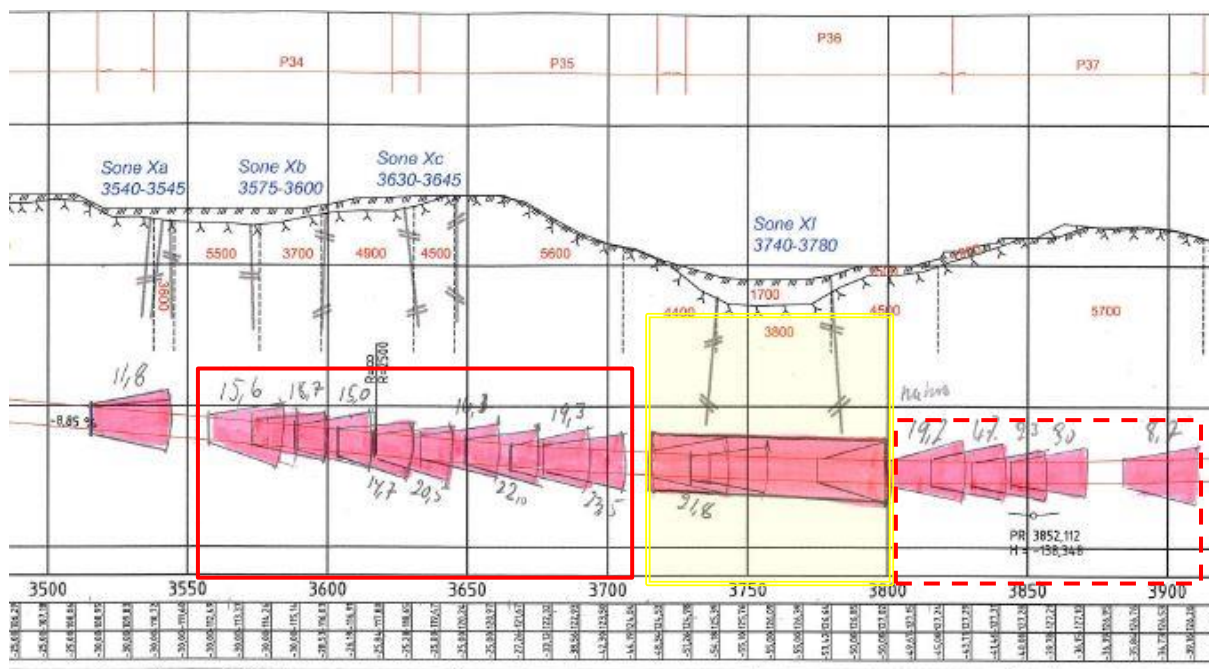
### 2.2.1 Injeksjon i forbindelse med sone X

Sone X Pel 3.530 – 3.640, tegn V001d og fig. 1. Sonene er registrert med et svakt søkk/depresjon i havbunnen og seismikken viser også noe løsmasse over berget. Sonen strekker seg over en distanse på 120 meter der seismisk hastighet varierer mellom 3.600 m/s og 4.900 m/s. Inne i depresjonen er der også en 35 meters sone med hastighet 5.500 m/s. I den geologiske rapporten er sonen delt/beskrevet i 3 delsoner: Xa, Xb og Xc.

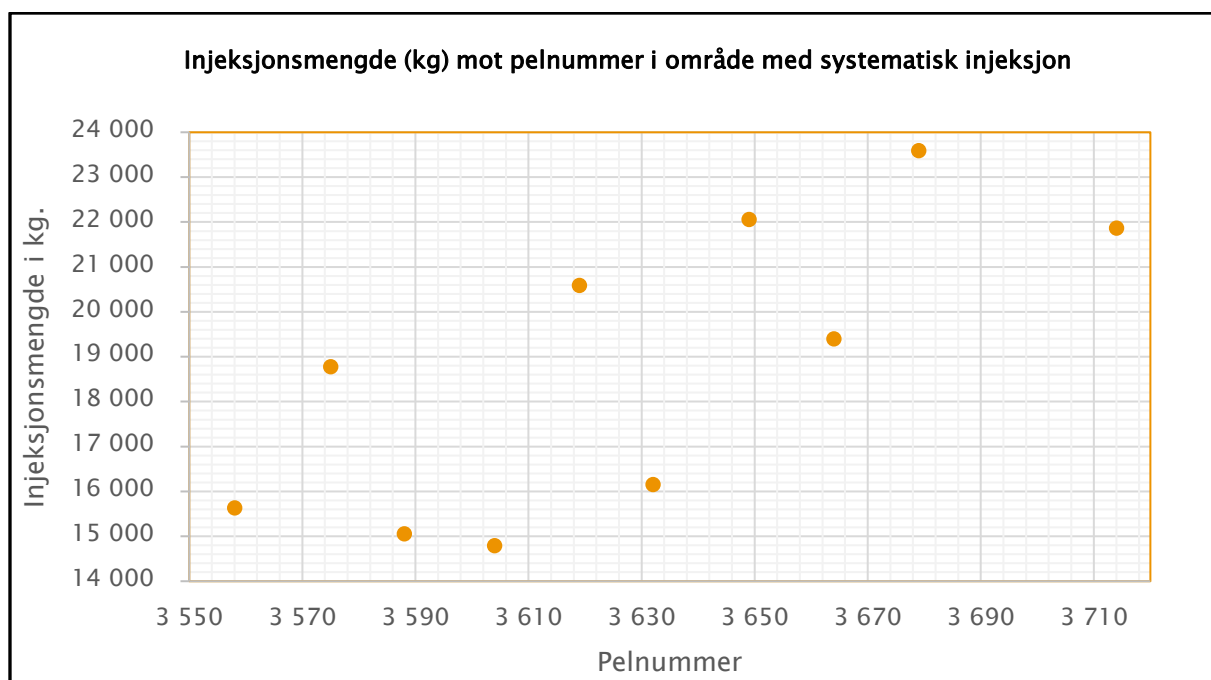
I området som omfatter sone X ble det injisert i til sammen 10 omganger. En passerte her sone Xa med en skjerm og 11,8 tonn. Denne sonen var registrert men en smal seismisk lavhastighetszone på ca. 5 meters bredde og hastighet 3.600 m/s. Sone Xb kan også følges som en svak fordybning på sjøbunnen videre mot vest – sydvest. Det er samme retning som de mer markerte sonene i sundet og på land på Grytøya sydvest for traseen. Sone Xc hadde hastighet på 4.500 m/s, men kunne ikke finnes som terrengformasjon på havbunnen. Ved passering av sone Xb og Xc var det sammenhengende injeksjon på grunn av innlekkasje. Injeksjonen fortsatte også sammenhengende inn i bergforhøyningen med seismisk hastighet



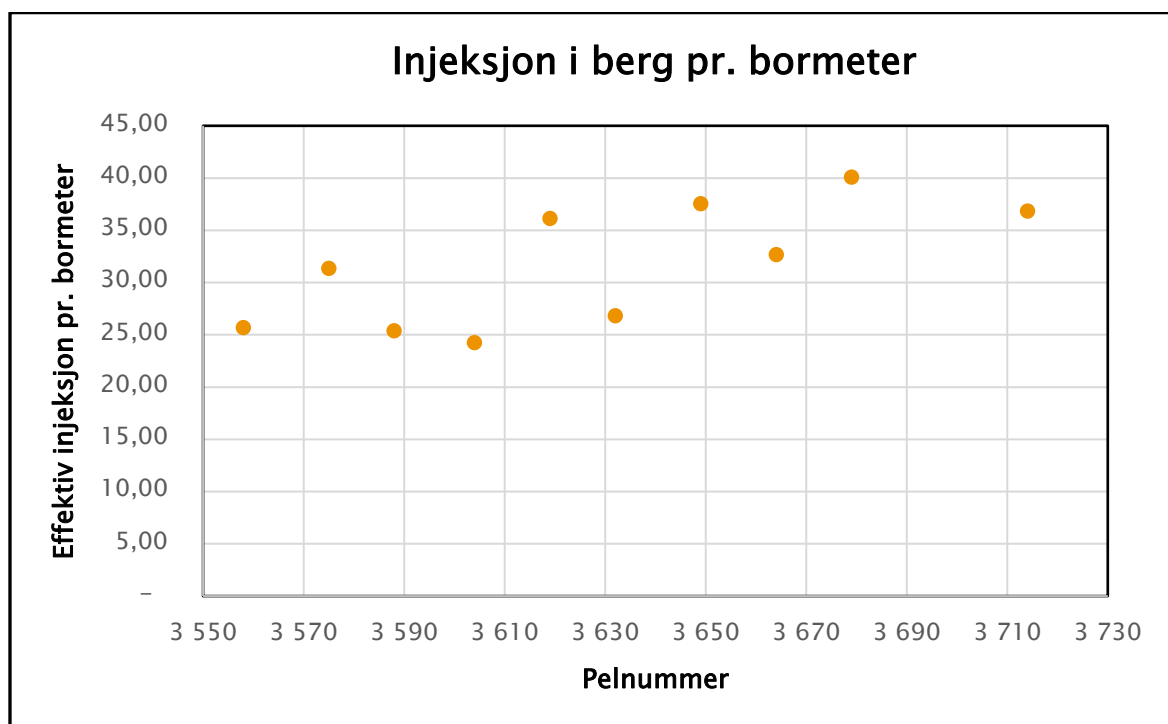
på 5.600 m/s. I disse 9 injeksjonsomgangene gikk det inn fra ca. 15 tonn til ca. 23 tonn pr. skjerm. Noe som må kunne karakteriseres som relativt jevne inngangsmengder. Injisert mengde økte imidlertid utover i sundet mot sone XI. Karakteristisk for dette området er at trykkoppbygging ble oppnådd i alle hull og det ble tett nok med en injeksjonsomgang på hvert område. Det er imidlertid en økning av injeksjonsmasse pr. omgang med økende pelnummer ut under fjorden.



**Fig. 1:** Utsnitt fra lengdeprofil med injeksjonsskjermer inntegnet. Rød innramming er område med systematisk injeksjon som er beskrevet i diagram 4. Gul innramming og svakt farget område viser «Problemsonen. Kap. 2.3». Tall ved injeksjonsskjermer viser totalt antall tonn injeksjonsmasse pr. skjerm. For sone XI se kap2.3.



**Diagram 4:** Injeksjonsmasse plottet mot pelnummer i sone Xa – Xc. Område merket med rød firkant på fig. 1. I dette området ble det utført systematisk injeksjon over en strekning på 140 meter, med 9 injeksjonsskjermer. Det er en tydelig økning av inngått masse utover i sundet mot svakhetssone XI.



**Diagram 5:** Diagram med effektivt innpumpet mengde pr bormeter. Siden alle injeksjonsomganger har samme antall borhull; 28 og samme lengde; 24 meter viser Diagram 5 samme bilde som diagram 4. Legg imidlertid merke til forskjellen med innpumpet masse i problemsonen, diagram 6.

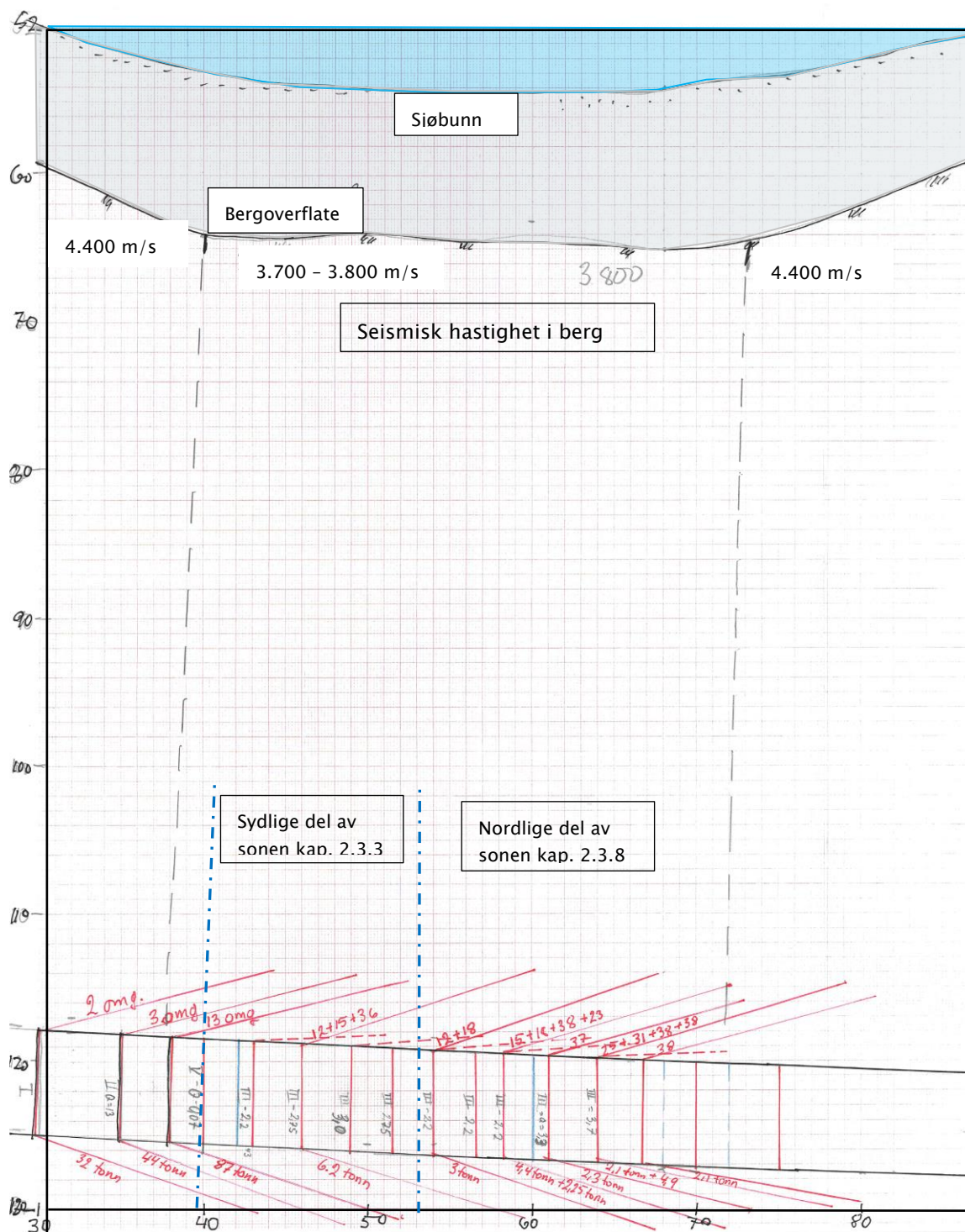
## 2.3 Problemsonen

### 2.3.1 Innledning

«Problemsonen» strekker seg fra ca. pel 3.737 - 3.790. Se fig 1 og 2.

Det er naturlig å dele sonen og dermed beskrivelsen opp i 2 deler. Sydligste del av sonen strekker seg fra ca. pel 3.737 til pel 3.753. I dette området ble det injisert i til sammen 19 omganger fra 30 januar til 13. mars. Alle disse injeksjonsomgangene dekket den sørlige delen av sonen. I disse 19 omgangene ble det pumpet inn til sammen 160,7 tonn masse. Den mest kritiske delen av sonen var konsentrert i området mellom pel 3.740 og 3.746. Sonen hadde en retning med ca. 60 grader på traseen.

I området mellom pel 3.753 til 3.780 ble det injisert i til sammen 16 omganger mellom 17. mars og 24 april. Disse injeksjonsomgangene dekket den nordlige delen av sonen. I dette området ble det pumpet in til sammen 48,8 tonn injeksjonsmasse.



**Fig. 2:** Lengdeprofil av problemområdet med inntegret stuffer og injeksjonsomganger fra hver enkelt stuff. Totalt innpumpet masse er også notert. Q-verdi og bergklasse er notert ved hver enkelt stuff.

### 2.3.2 Sonens oppbygning og Q-verdi

Bergmassekvaliteten i sonen må kunne karakteriseres som relativt god. Q-verdiene varierte mellom 2,2 og 3,7 som beskriver bergmasseklasse D, sikringsklasse III. Unntaket er en 3-meters salve fra pel 3.738 - 3.741 med Q-verdi på 0,07, bergmasseklasse F; «Ekstremt



dårlig bergmasse». Dette er verdier fra tunneldrivingen etter at området er injisert i svært mange omganger. Injeksjonen forbedrer bergmassekvaliteten. Detaljer fra kjerneborhullet viser at berget (også etter omfattende injeksjon) viser mye større variasjon med Bergmasseklasser mellom F og A/B. Antatt linseformede knusningssoner med mellomliggende bedre berglinser forklarer forskjellen.

### 2.3.3 Innledende skjerm og boring

Ved sonder- og injeksjonsboring fra pel 3.729 er det rapportert om en svakhetssone med mye vann. På venstre side (vest) er den påtruffet 8 – 15 meter inn og på høyre side på 15 – 20 meter inn. Det antas at sonen er tilnærmet loddrett. Sonen passer med lavhastighetszone XI funnet med seismikk (3.700 m/s og 3.800 m/s) og den danner et markert søkk i bergoverflaten i sundet. Se vedlagte skisse fig 1 og vedlegg 1D.

Før denne injeksjonen er det injisert i en skjerm fra 3.715 med 24 meters lengde. Her gikk det inn 24,4 tonn, dvs. ca. 37 kg pr effektiv bormeter. Det vil si at området fram til pel 3.738 er det injisert en omgang og med relativt god inngang. Berget fram til der hovedmengden av injeksjonen foregikk er injisert. Kontrollhull ga akseptabel innlekkasje og en fortsatte med 3 salver før ny sonderboring på 24 meter.

### 2.3.4 Injeksjon fra pel 3.738



**Foto 1:** Pel 3.738. Stoffen har relativt god bergkvalitet. Helt til venstre i stoffen er det beskrevet svakere bergart tilhørende lekkasesonen. Lekkasjene på denne stoffen er tettet med injeksjon og stoffen fremstår ikke som spesielt dårlig på venstre side. Som en ser er der et stort antall injeksjonshull i stoffen.

Injeksjonsomgangene fra pel 3.738 er beskrevet i diagram og tabeller i kapittelet. Fra 8. februar og fram til 13. mars er det injisert i til sammen 13 omganger fra samme stoff. Etter



3 omganger var det fremdeles påtruffet store lekkasjer under kontrollboring. Inngangen gikk ned etter hvert, men stadig nye kontrollhull med store lekkasjer ble påtruffet. Overgang til mikrosegment der styrt herding ble forsøkt var ikke udelt vellykket. Dette kan tildels skyldes gammel injeksjonssement med dårlige styrkningsegenskaper. Feil på utstyr kan også ha bidratt til dårlig resultat. Plastiserende middel ble ikke pumpet inn selv om dette var bestilt. Pumpa gikk, men var ikke effektiv og en fikk ikke inn noe av denne komponenten i et par injeksjonsomganger. Vansker med få tak i ny injeksjonssement førte til at en måtte bruke industrisement.

### 2.3.5 Møte 14.mars 2016

På grunn av problemene med å få tett nok berg ble det innkalt til «krisemøte» 14. mars 2016. Med på møtet var geologer fra Vegdirektoratet og ekstern ekspert Knut Garshol. Problemene ble gjennomgått og Garshol leverte et notat der problemene ble gjennomgått og mulige løsninger ble vurdert. Garshols gjennomgang og beskrivelse var etter deltagerens mening fornuftige. Garshols notat i vedlegg 4.

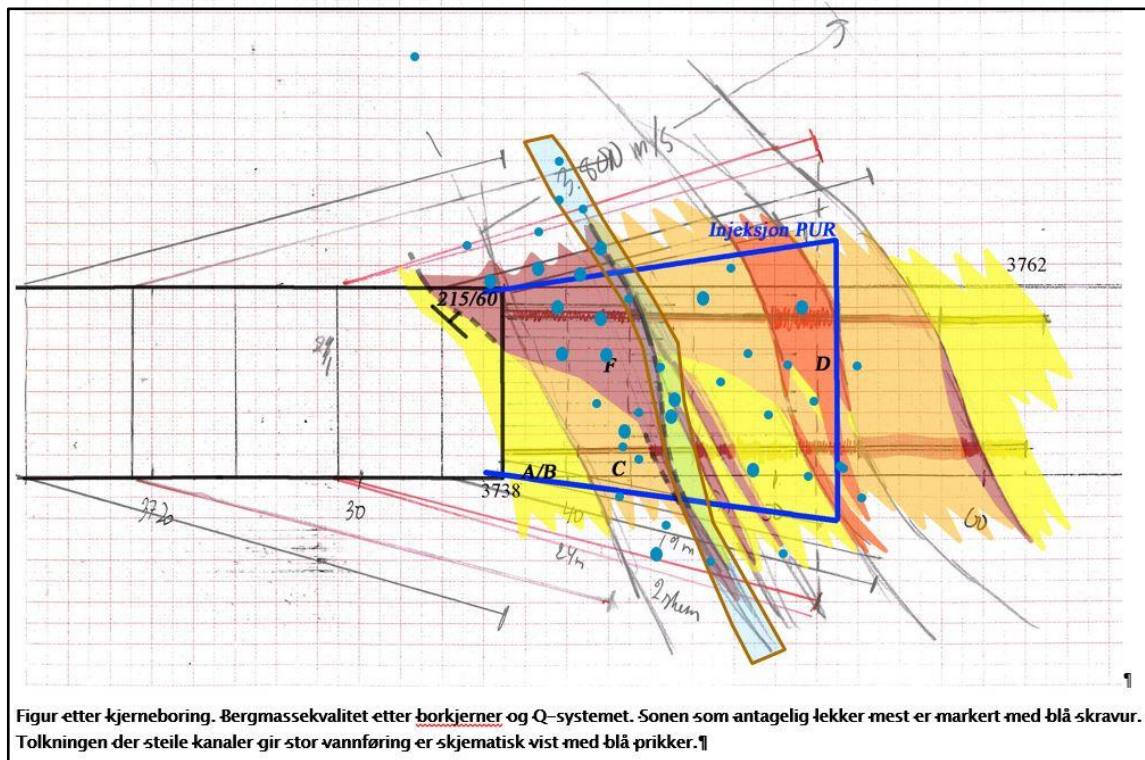
Et av problemene som ble påpekt var forsøkene med mikrosegment var lite vellykket på grunn av dårlig og gammel sement. En fikk også levert alt for lite mikrosegment i første omgang og leveranse av mikrosegment tok alt for lang tid.

Representanter fra Vegdirektoratet og Region nord var også med på møtet. Det var ingen uenighet mellom ekspertene på det Garshol presenterte.

På et punkt skiller konklusjonen seg i denne rapporten fra Garshols utredning. Se kap. 4. Garshol anbefaler injeksjon i sålen og i hengen «uansett forløp». Konklusjonen i denne rapporten er at en kun injiserer i stuffhull når netto innpumpet masse går mot null; dvs. når injeksjonsomgangen stort sett går med til hullfylling. Lekkende hull må uansett injiseres til oppnådd trykk eller mengde.

### 2.3.5 Kjerneboring

Problemsonen ble gjennomboret av 2 kjerneborhull fra stuff ved pel 3.738. Kjernelogg og bilder er vist i vedlegg 3. Ut fra kjerneboring og sonderboring og kartlegging av lekkasjeområder er geologien i problemsonen tegnet opp i fig. 03.



**Fig. 03:** Håndtegnet tolkning av bergmassekvaliteten foran stoff basert på kjerneboring av 2 hull fra profil 3.738.

Sonen har en vinkel på tunnelen på ca. 60 grader som samsvarer med retningen og plassering av lavhastighetssonen på havbunnen. Bokstaver i fig. 03 viser til bergmassekvalitet funnet ved kjerneboringen. Lekkasjeområder er markert med blå prikker. Sonens interne oppbygging er komplisert og sikkert ikke korrekt gjengitt i detalj. Det som synes klart er at sonen er delt opp i linser der nedkjust materiale opptrer mellom rester av mer solid/sammenhengende bergart. Bergarten er i hele sonen granittisk gneis. Blått trapes viser injeksjonsomgang med PUR (Polyuretan). Injeksjonsskjermene fra stoff 3.739 varierte mellom 15 og 24 meter. Sonen med varierende dårlig berg har en bredde på ca. 20 meter.



**Foto 2:** Fra pel 3.740. En skrå sleppe har blitt fylt opp med injeksjonsmasse, avmerket med rød mangelkant. Injeksjonshull oppe til høyre, avmerket med rød stiplet sirkel, er bare delvis fylt med injeksjonsmasse som ligger i bunnen av hullet. Bergarten er granittisk øyegneis.

### 2.3.6 Q-verdi gjennom sonen

Q-verdien fra kjerneborhullene er satt opp i vedlegg 2 og også vist i tabell 2 som bergmasseklasser. Q-verdien gjennom sonen er også vist i tegn/fig. 03. Det viser seg imidlertid at det ikke er helt samsvar mellom informasjonen fra Novapoint og excel-arket med grunnlagsmaterialet og salveplassering. Det er særlig pelnummer for salvene og injeksjonen som ikke stemmer overens. Det er en viss, men usystematisk forskyvning gjennom sonen. Det som synes klart er at Q-verdien fra tunneldrivingen etter injeksjonen ligger over Q-verdien fra kjerneborhullet. Sonene med til dels svært dårlig berg har ikke samme utvikling etter injeksjonen. En årsak kan være at virkningen av de dårlige sonene er overdrevet i tolkningen fra kjerneborhullene. En skal heller ikke se bort fra at den omfattende injeksjonen kan ha hatt en stabiliserende effekt utover det forventede. Det er imidlertid lite injeksjonsmasse å se i hengen under kartleggingen. Injeksjonsmasse er imidlertid sporadisk funnet på stoffen underveis i injeksjonsprosessen. Den har der fylt opp til dels store sprekkeåpninger, selv om dette ikke er gjennomgående.

Gjennom hele sonen er Q-verdien mellom 2,2 og 3,7 og alle salver kommer i sikringsklasse III. Bare en salve, fra 3738 – 3740,5, altså 2,5 meter kommer i dårlig klasse, V, med Q-verdi på 0,07. Årsaken til denne spesielt dårlige verdien er uklart selv om noe av de spesielt dårlige sonen lokalisert ved kjerneboring kommer inn i dette området. Stoffen på 3.738 viser ikke så dårlig bergkvalitet, foto 1 og 2.



Tabell 2: Q-verdier fra problemsonen.

Pel nr. fra	til	FS kommentarer	Salve lengde									Q verdi	Sikrings klasse
				RQD	In	Jr	Ja	Jw	SRE				
3734	3738	31.01.2016	salve	4	55,0	6,0	1,5	1,0	1,00	1,0	13,75	I	
3738	3741	12.03.2016	salve	2,5	10,0	9,0	1,0	3,0	0,50	2,5	0,07	V	
3740,5	3743	15.03.2016	salve	2,5	40,0	6,0	1,0	2,0	0,66	1,0	2,20	III	
3743	3746	16.03.2016	salve	3	50,0	6,0	1,5	3,0	0,66	1,0	2,75	III	
3746	3749	21.03.2016	salve	2,5	55,0	9,0	1,5	2,0	0,66	1,0	3,03	III	
3748,5	3752	30.03.2016	salve	3	50,0	9,0	1,5	2,0	0,66	1,0	2,75	III	
3751,5	3754	31.03.2016	salve	2,5	40,0	9,0	1,5	2,0	0,66	1,0	2,20	III	
3754	3757	05.04.2016	salve	2,5	40,0	9,0	1,5	2,0	0,66	1,0	2,20	III	
3756,5	3759	06.04.2016	salve	2	40,0	9,0	1,5	2,0	0,66	1,0	2,20	III	
3758,5	3762	14.04.2016	salve	3,5	40,0	6,0	1,5	2,0	0,66	1,0	3,30	III	
3762	3765	15.04.2016	salve	3	45,0	6,0	1,5	2,0	0,66	1,0	3,71	III	
3765	3768	21.04.2016	salve	2,5	40,0	9,0	1,5	2,0	0,66	1,0	2,20	III	
3767,5	3770	21.04.2016	salve	2,5	40,0	9,0	1,5	2,0	0,66	1,0	2,20	III	
3770	3775	22.04.2016	salve	5	40,0	6,0	1,5	2,0	0,66	1,0	3,30	III	
3775	3780	25.04.2016	salve	5	60,0	6,0	2,0	3,0	1,00	1,0	6,67	II	
3780	3785	26.04.2016	salve	5	80,0	6,0	2,0	2,0	1,00	1,0	13,33	I	
3785	3790	27.04.2016	salve	5	65,0	6,0	2,0	2,0	1,00	1,0	10,83	I	
3790	3795	27.04.2016	salve	5	70,0	6,0	3,0	2,0	1,00	1,0	17,50	I	
3795	3800	28.04.2016	salve	5	60,0	6,0	2,0	2,0	0,66	1,0	6,60	II	
3800	3805	02.05.2016	salve	5	60,0	6,0	1,5	2,0	0,66	1,0	4,95	II	
3805	3810	03.05.2016	salve	5	55,0	6,0	1,5	2,0	0,66	1,0	4,54	II	
3810	3815	05.05.2016	salve	5	60,0	6,0	1,5	2,0	0,66	1,0	4,95	II	
3815	3820	12.05.2016	salve	5	70,0	6,0	1,5	2,0	0,66	1,0	5,78	II	
3820	3825	13.05.2015	salve	5	65,0	6,0	1,5	2,0	0,66	1,0	5,36	II	

Tabellen viser Q-verdien gjennom sonen og videre inn i bergforhøyningen med høye seismiske hastigheter. Gult område markerer sonen med mye injeksjon og 19 injeksjonsomganger. Orange farge viser nordlige del av sonen med til sammen 17 injeksjonsomganger.

### 2.3.7 Oppsummert injeksjonsomgangene er presentert i tabell 03 og 03b.

Tabell 03:

Pel nr	Dato	Antall hull	Hull-lengde	Ind. Sement	Mikro-sement	Tilsetn etc	Total inng	Tid	Total inng. Pr stuff
3729-1	30.jan	28	24	9 971		720	10 691	04:46	
3729-2	01.feb	28	24	12 140		1 545	13 685	06:49	24 376
3734-1	03.feb	39	24	11 352		1 421	12 773	05:06	
3734-2	03.feb	21	24	7 544		965	8 509	05:02	
3734-3	04.feb	28	24	13 809		2 404	16 213	06:33	
3734-4	06.feb	28	24	12 565		1 414	13 979	06:35	51 474
3738-1	08.feb	29	10	12 280		1 271	13 551	08:02	
3738-2	09.feb	5	10	2 435		279	2 714	00:57	
3738-3	09.feb	31	15	-	8 516	1 109	9 625	04:42	
3738-4	10.feb	37	15	6 063	8 887	1 651	16 601	09:03	
3738-5	17.feb	46	15	-	3 005	378	3 383	04:45	
3738-6	19.feb	50	15	-	8 720	1 125	9 845	10:52	
3738-7	22.feb	62	18	3 234	1 000	589	4 823	05:33	
3738-8	23.feb	30	18	1 909	-	308	2 217	34:15:00	
3738-9	26.feb	50	24	-	3 590	833	4 423	35:42:00	
3738-10	04.mar	76	24	-	5 398	1 118	6 516	31:34:00	
3738-11	08.mar	90	24	0	3 612	437	4 049	20:59	
3738-12	10.mar	56	24	0	2 397	303	2 700	07:32	
3738-13	13.mar	68	36	0	3 911	498	4 409	05:01	84 856
3746-1	17.mar	12	15		1 349	13	1 362	06:21	
3746-2	18.mar	15	15		1 356	13	1 369	05:24	
3746-3	20.mar	41	15		3 503	35	3 538	06:56	6 269
3753-1	01.apr	15	15		1 395	13	1 408	02:27	
3753-2	02.apr	20	15		1 587	14	1 601	02:25	3 009
3758-1	06.apr	15	15		1 907	15	1 922	03:36	
3758-2	09.apr	23	15		1 891	143	2 034	02:29	
3758-3	11.apr	40	15		2 657	157	2 814	03:31	
3758-4	12.apr	39	15		2 255	109	2 364	09:53	9 134
3761	15.apr	43	15		2 389	207	2 596	04:48	2 596
3765-1	16.apr	34	15		2 256	205	2 461	03:34	
3765-2	16.apr	34	15		2 256	205	2 461	03:34	
3765-3	18.apr	37	15		2 101	24	2 125	03:51	
3765-4	20.apr	54	15		4 936	88	5 024	09:06	12 071
3775-1	23.apr	44	15		6 331	178	6 509	25:20:00	
3775-2	24.apr	22	15		9 048	180	9 228	11:57	15 737

Tykk strek representerer ny stuff. Overføringen fra excel til denne tabellen har ført til forskjellig tykkelse på en del horisontale linjer.

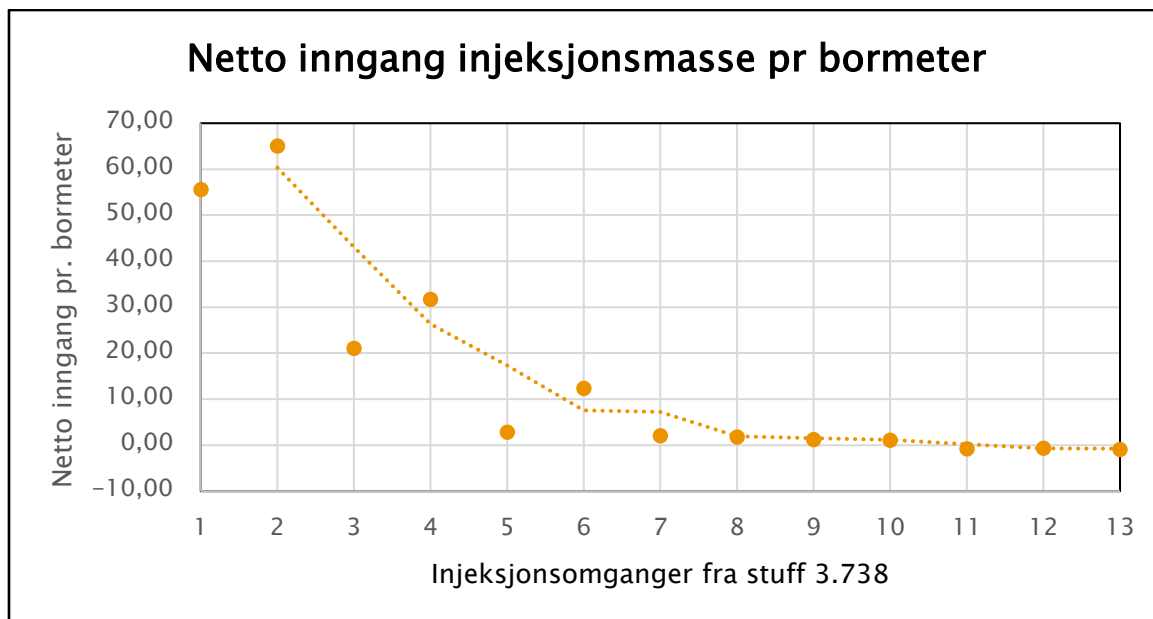


Tabell 03b

Pel nr	Inngang pr. bormeter	Netto hullfylling	Netto inng i berg pr. bormeter
3729-1	17,36	2,8	14,56
3729-2	22,22	2,8	19,42
3734-1	14,89	2,8	12,09
3734-2	18,42	2,8	15,62
3734-3	26,32	2,8	23,52
3734-4	22,69	2,8	19,89
3738-1	58,41	2,8	55,61
3738-2	67,85	2,8	65,05
3738-3	23,88	2,8	21,08
3738-4	34,51	2,8	31,71
3738-5	5,66	2,8	2,86
3738-6	15,15	2,8	12,35
3738-7	4,86	2,8	2,06
3738-8	4,62	2,8	1,82
3738-9	4,02	2,8	1,22
3738-10	3,90	2,8	1,10
3738-11	2,04	2,8	-0,76
3738-12	2,19	2,8	-0,61
3738-13	1,91	2,8	-0,89
3746-1	8,73	2,8	5,93
3746-2	7,02	2,8	4,22
3746-3	6,64	2,8	3,84
3753-1	7,22	2,8	4,42
3753-2	6,16	2,8	3,36
3758-1	9,86	2,8	7,06
3758-2	6,80	2,8	4,00
3758-3	5,41	2,8	2,61
3758-4	4,66	2,8	1,86
3761	4,64	2,8	1,84
3765-1	5,57	2,8	2,77
3765-2	5,57	2,8	2,77
3765-3	4,42	2,8	1,62
3765-4	7,16	2,8	4,36
3775-1	11,38	2,8	8,58
3775-2	32,27	2,8	29,47

*I tabell 03b er injeksjonen framstilt med netto inngang av injeksjonsmasse pr. bormeter. Det går med ca. 2,8 liter for å fylle opp en bormeter og en regner med at pakken sitter ca. 2 meter inne i hullet.*

Når en ser på den injeksjonsinngangen en har hatt på den stuffen (3.738) med flest injeksjonsomganger, til sammen 13, med variabel lengder og hullantall. Injeksjonene fra pel 3.738 er også framstilt i diagram 6.

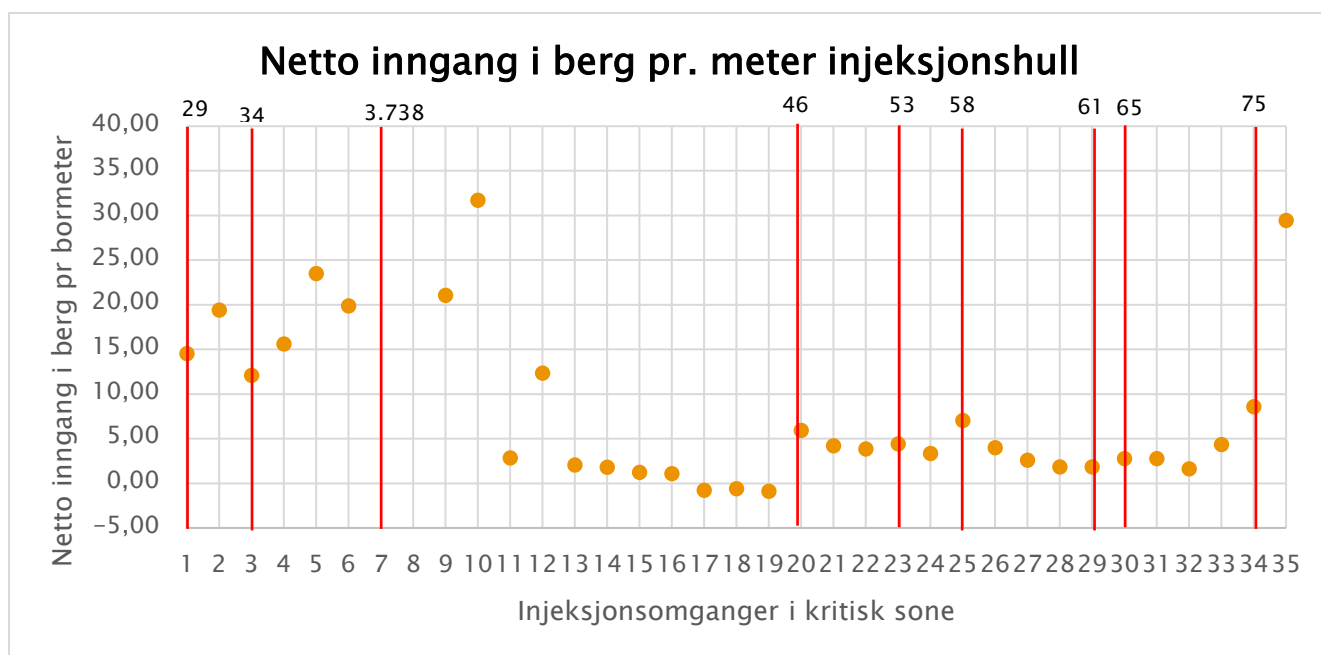


**Diagram 6** viser injeksjonsmengdene beskrevet som mengde innpumpet masse pr. effektiv bormeter fra stoff 3.738 der det ble injisert i 13 omganger. Dette omfatter «den verste delen» av problemsonen.

I forbindelse med alle injeksjonsomgangene ble det påtruffet lekkasjer i et eller flere kontrollhull med innlekkasje over det tillatte. Mens det i de første omgangene har gått inn betydelige injeksjonsmengder ser en at etter 6 omganger går det inn svært lite. Også for injeksjonsomgang 5 og 6 har det vært relativt lite inngang i berget. For de 3 siste omgangene har en ikke klart å fylle opp volumet på de utborede injeksjonshullene selv om det er registrert hull med stor vanninngang. Med resultatet fra Kværnsundtunnelen er det et spørsmål om hvor mange injeksjonsomganger det er hensiktsmessig å utføre i tilsvarende geologiske forhold.

### 2.3.8 Injeksjon i nordlige del av sonen pel 3.753 – 3.775

Når en ser på den totale injeksjonsarbeidet med til sammen 35 injeksjonsomganger er dette framstilt i diagram 6. Den nordlige delen av sonen er injisert med til sammen 16 omganger fra 6 forskjellige stuffer.



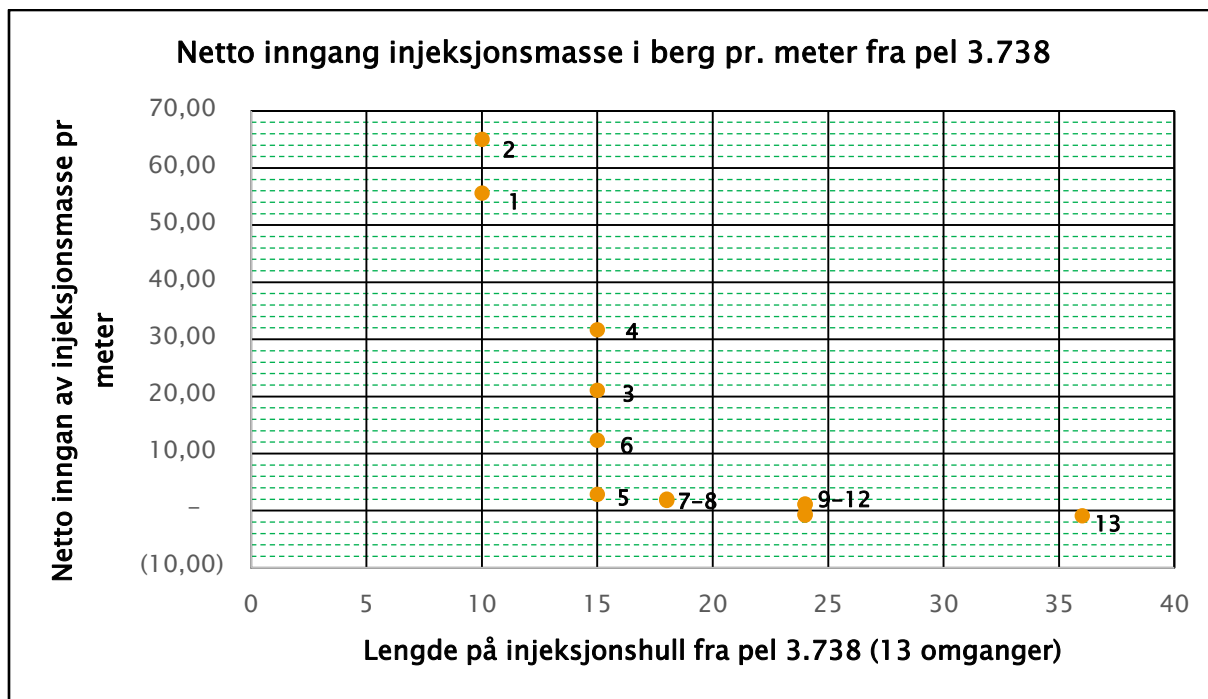
**Diagram 7:** viser netto innpumpet injeksjonsmasse pr. meter borhull i de forskjellige injeksjonsomgangene. De lodrette strekene med tall viser pelnummer der injeksjonen ble utført. Tall øverst i diagrammet viser pelnummer uten 3.7 foran. Pelnummer er altså 3.7xx.

Stort sett viser netto inngang en fallende tendens når injeksjonen skjer fra samme stuff. Men i den nordlige delen av sonen er ikke bildet så klart. I mange av disse omgangene fra samme stuff får en økning av netto inngang i de siste injeksjonsomgangene fra samme stuff. Dette kan komme av at det er påtruffet lekkende kanaler i enkelthull som gjør at totalmengden øker for injeksjonsomganger sent i syklusen for injeksjonen på det angitte pelnummer.

Beskrivelsen i dette området baserer seg på kjerneboring og sonderboring. Bergkvaliteten varierer med Q-verdier mellom 2,0 og over 10. Q-verdier på salvene etter injeksjonen var stort sett mellom 2,2 og 3,7, dvs. at alle salvene ble sikret etter sikringsopplegg etter klasse III. Tunnelen går ut av sonen og inn i godt berg ved pel 3.772 der bergklasse A/B er dominerende.

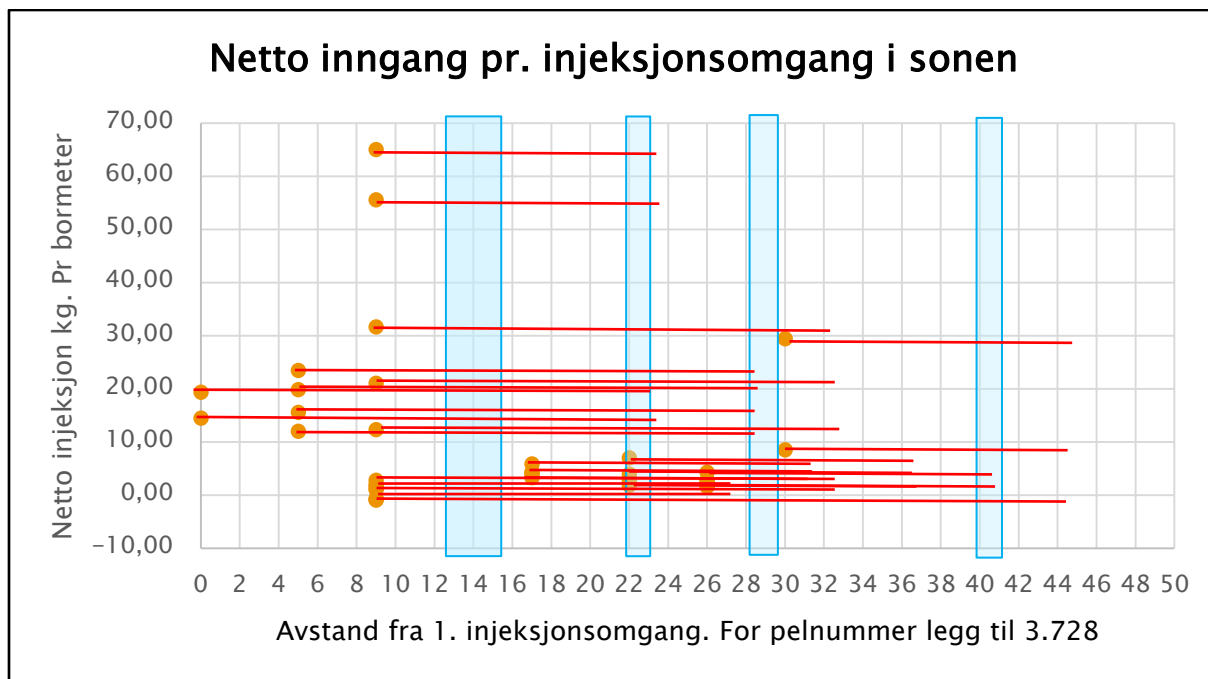
I dette området ble det injisert til sammen 16 omganger. Hullengden var 15 meter i alle injeksjonsomgangene. Inngangen må kunne sies å være begrenset. En må her ta i betraktning at alle områder er injisert med betydelig innsats før de 15 meter lange skjermene blir injisert. For de fleste av skjermene er det bare 3 meter med ny og u-injisert berg. En må her ta i betraktning at en del injeksjonsmasse også sprer seg framover og at enden på skjermen ikke er en grense for injeksjonen/injeksjonsmassen. Kun de to skjermene fra pel 3.775 går i vesentlig nytt område, der er det 10 meter foran forrige skjerm.

Injeksjonsmengden er begrenset til mellom 1,3 tonn – 5,4 tonn som er relativt lite. Netto inngang i berg pr bormeter er mellom 1,6 – 7,6 kilo. Gjennomsnittet er på 3,6 kilo. Alle salvene i dette området har vannparameteren  $J_w=0,66$ . Det betyr at det i dette området er begrenset lekkasje og at injeksjonen har oppfylt intensjonen med å begrense innlekkasjen til et akseptabelt nivå.



**Diagram 8:** Diagrammet viser netto inngang av injeksjonsmasse pr bormeter for de 13 injeksjonsomgangene fra pel 3.738. Det er antatt at pakken settes 2 meter inn i hullet. Det ser ut til at effektiv injeksjon i berget går kraftig ned med økende borlengde. Dette er ikke helt påvist siden det er en suksessivt økende borlengde på skjermene. De 2 første var på 10 meter og skjerm 13 på hele 36 meter. Tall ved siden av markeringene viser injeksjonsomgangsnummer.

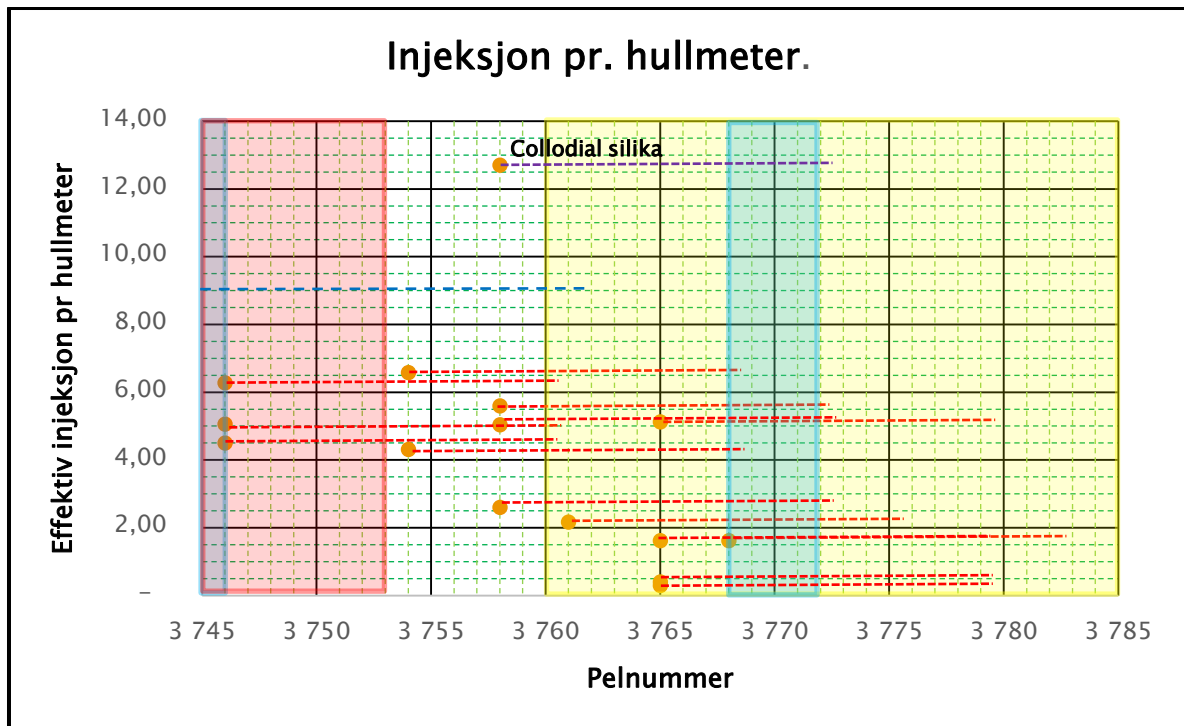
En alternativ måte å se dette på er å plote de samme mengdene sett i avstand fra den første injeksjonsomgangen i sonen. (For å få pelnummer legg til 3.728)



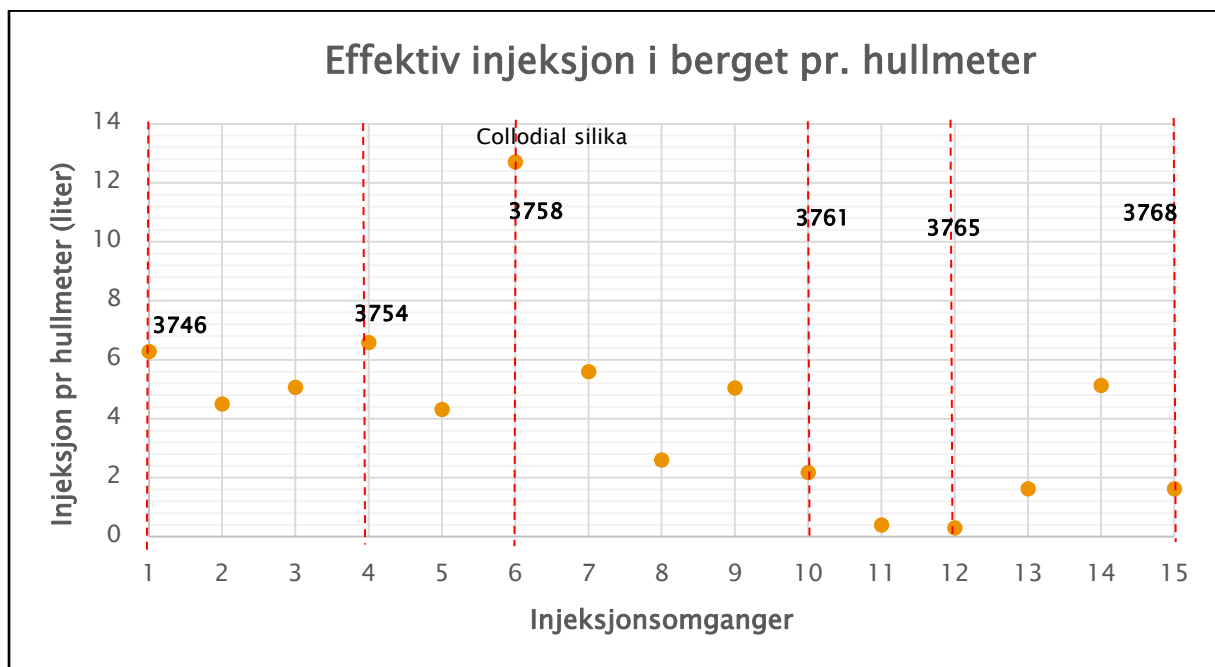
**Diagram 9:** viser injeksjonsomgangene vist med avstand fra 1. injeksjonsomgang i sonen. De røde horisontale strekene viser lengden på borhullene i hver omgang. Hovedsonene for innlekkasje vises med blå skravur. NB: Disse er egentlig ikke godt definert.

Bortsett fra hovedsonen mellom 12 og 16 meter er de andre sonene ikke veldefinert og tykkelse og plassering er noe uklart. Siden sonene stort sett har en vinkel på tunnelen med ca. 60 grader vil diagrammet ikke være helt korrekt. Av diagrammet ser en at alle de 19 første injeksjonsomgangene har gått gjennom hovedsonen. En ser også fra diagram 7 at inngangen går betydelig ned etter hvert som flere injeksjonsomganger går gjennom sonen. I de 3 siste injeksjonsomgangene fra pel 3.738, 9 meter på diagrammet, har en ikke klart å fylle opp netto utboret volum i skjermen. Like fullt har disse vært nødvendig siden noen hull (kontrollhull og injeksjonshull) har truffet kanaler med for stor innlekkasje. Hullene som ikke har truffet kanalene er så tette at en ikke har klart å fylt opp hullene selv om maks trykk på 80 bar er oppnådd. Dette var godt synlig på stoffen der det var mange hull som bare var halvveis oppfylt med injeksjonsmasse.





**Diagram 10:** Diagrammet viser netto injeksjon pr bormeter for de forskjellige injeksjonsomganger mellom pel 3.745 og 3.785. Rekkevidden på kjerneborhullene er markert med blå stipling. Området til venstre med rød farge viser strekningen som var injisert med 13 omganger fra pel 3.738. Injeksjonsomgang 1 fra 3.758 er injisert med collodial silika og er markert med fiolett injeksjonslengde. Antatt hovedsone for lekkasjene er skravert med blå farge helt til venstre. (3.739 – 3.746). Området med gul farge viser godt berg i kjerneborhull og varierende bergkvalitet i salvekartleggingen.



**Diagram 11:** Effektiv injeksjon pr hullmeter for strekningen fra pel 3.746 – 3.768. Samme område som i diagram 10. Her ser en at injeksjonsmengden går ned pr. effektiv injisert

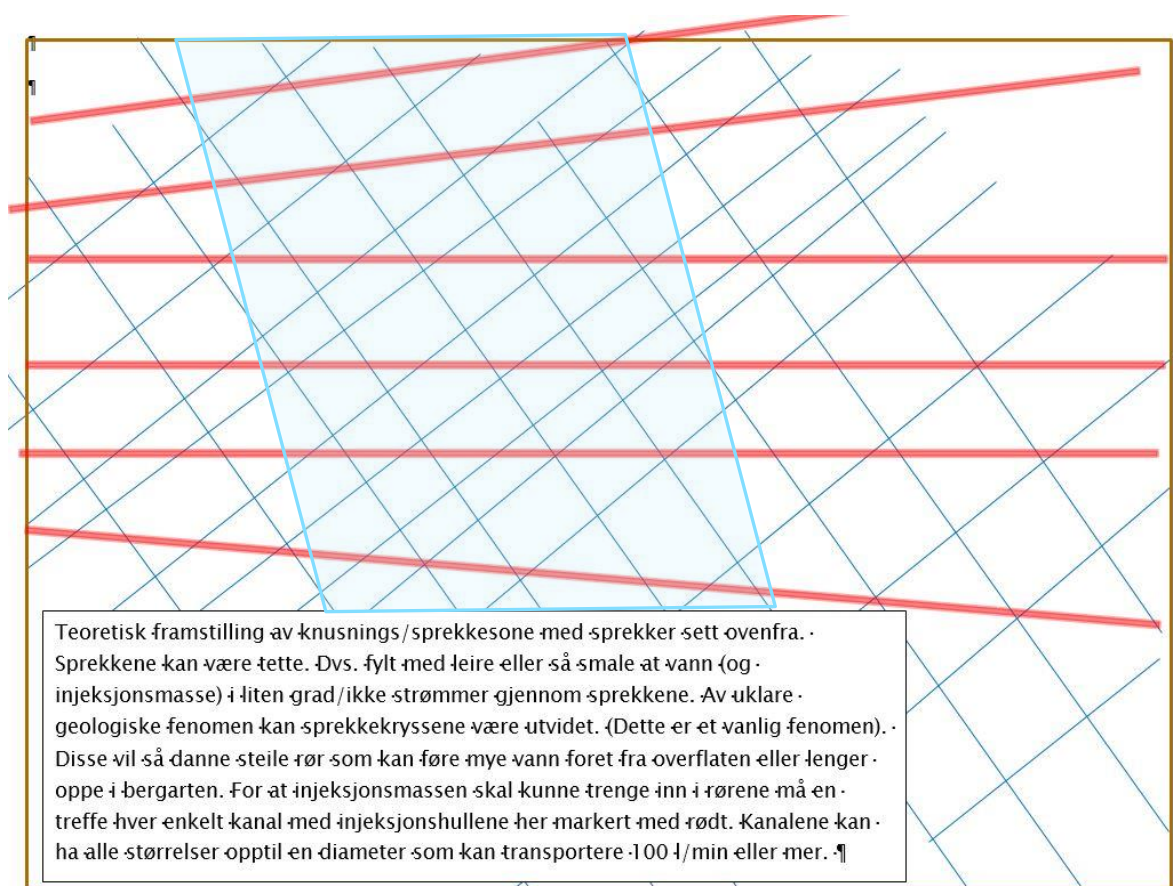
*bormeter. Årsaken til forskjellen mellom diagram 10 og 11 er trolig forskjellen i antall borhull og dermed bormeter i de forskjellige skjermene. I skjerm nummer 6 ble det benyttet collodial silika som skal ha bedre inntrengningsevne. Her var det også bare 15 hull med god inngang og inngang pr. hullmeter ligger på det dobbelte nivået av sementbasert injeksjon. Det ser imidlertid ut til at injeksjonsomgangen med collodial silika ikke har vært spesielt vellykket siden det ble nødvendig med 3 injeksjonsomganger til før lekkasjen ble redusert tilstrekkelig.*

### **2.3.8 Injeksjon med collodial silika**

Første injeksjonsomgang fra pel 3.758 ble det benyttet collodial silika. En ser av diagram 9 at inngangen her er bedre enn med sementbaserte injeksjonsmasser. Det gikk inn ca. dobbelt så mye collodial silika som sementbaserte masser i samme området. Den forbedrede inngangen ser likevel ikke til å ha ført til at tunnelen ble tett etter som det ble nødvendig med 3 nye injeksjonsomganger fra samme stuff for å oppnå tilfredsstillende resultat. Det var også ytterligere 5 injeksjonsomganger i området som dekkes av injeksjonsomgangen med collodial silika. Slik som forholdene var i dette området er det tvilsomt om bruk av collodial silika har noe særlig effekt utover vanlige injeksjonsmasser.

### **2.3.9 Teoretisk gjennomgang av lekkasjekanaler**

Det er et stort spørsmål hvorfor så mange injeksjonsomganger med til sammen over 600 injeksjonshull måtte til før lekkasjen var redusert til et akseptabelt nivå. Årsaken må ligge i utformingen av lekkasjene i sonen. Det er naturlig å anta at det er steile kanaler med dårlig kommunikasjon mellom kanalene. Sprekken som normalt forbinder større kanaler er trolig så tynne eller tette at injeksjonsmasse ikke klarer å trenge gjennom ved 80 bars trykk. Sprekkene kan også ha så tett og hard leir at injeksjonsmassen ikke kommer gjennom. De vannførende sonene må bestå av kanaler med tilstrekkelig åpning for å kunne drene inn hundre liter vann i minuttet eller mer. Slike forhold kan oppstå i kryssningspunkt mellom sprekker som danner åpne kanaler.

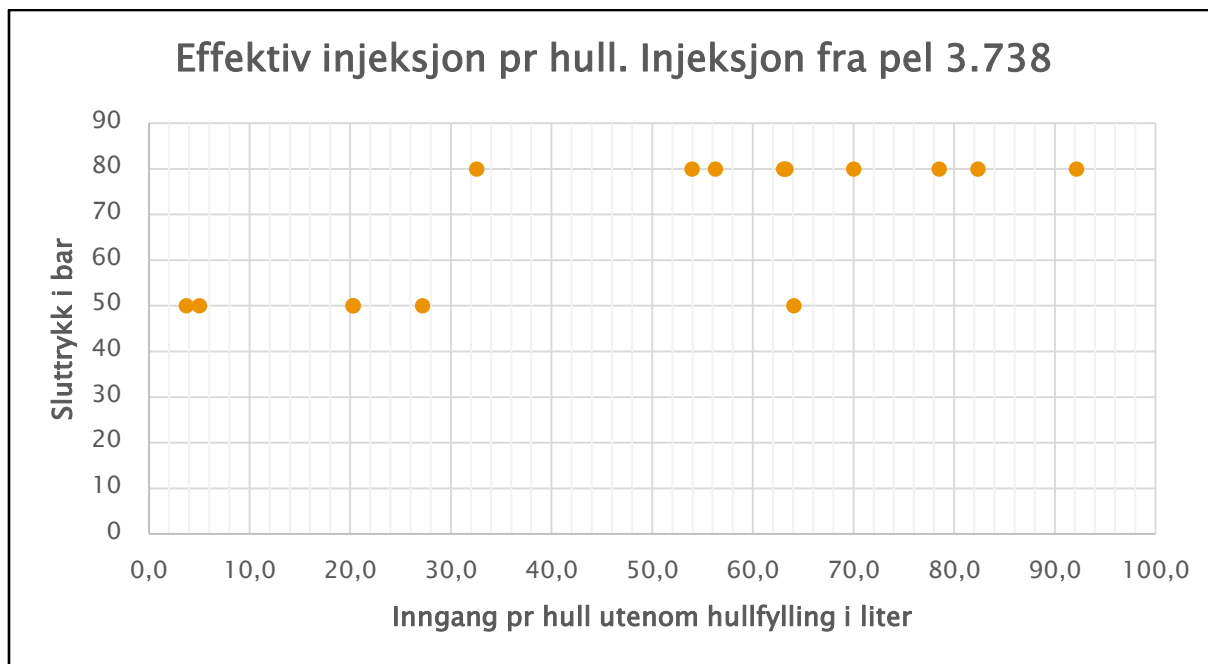


*Fig. 4 viser en teoretisk prinsippbeskrivelse av hvordan sprekker kan danne sterkt vannførende kanaler. Sprekkene er markert med blå strek. Injeksjonshull er skissert i rødt. Fig. er tenkt sett ovenfra og sprekker og kanaler er steile eller loddrette. Teoretisk plassering av sone med mest lekkasje er uthevet med lys blå markering.*

I slike krysningpunktet mellom sprekkene kan det bli en relativt stor økning av sprekkåpningene og dermed innlekkasjemengdene. Siden sprekkene er leirfylte og selv injeksjonstrykk på 80 bar ikke klarer å presse noe injeksjonsmiddel ut i kanalene er en avhengig av å treffe den enkelte kanal (sprekketrysningspunkt) for å få injeksjonsmasse inn i kanalen. Med 50 – 80 meters vanntrykk er det nok med kanalåpninger på 3x3 – 5x5 mm for å «oppnå» innlekkasjemengder på 100 lit. pr. min. Som det fremgår av figuren skal det bores relativt mange borhull før alle krysningpunkt/lekkasjekanal er truffet.

### 2.3.10 Effektiv injeksjon i forhold til sluttrykk

Inngang av injeksjonsmasse vil normalt være korrelerbar med injeksjonstrykket. I problemsonen ble det brukt både 50 bar og 80 bars sluttrykk. Selv om det er vanskelig å korrelere direkte mellom sluttrykk og inngått masse fordi forholdene forandrer seg etter som flere injeksjonsomganger tetter kanaler og sprekker, viser resultatet at det er større inngang med høyt trykk sett i forhold til lavere trykk. Diagram 12.

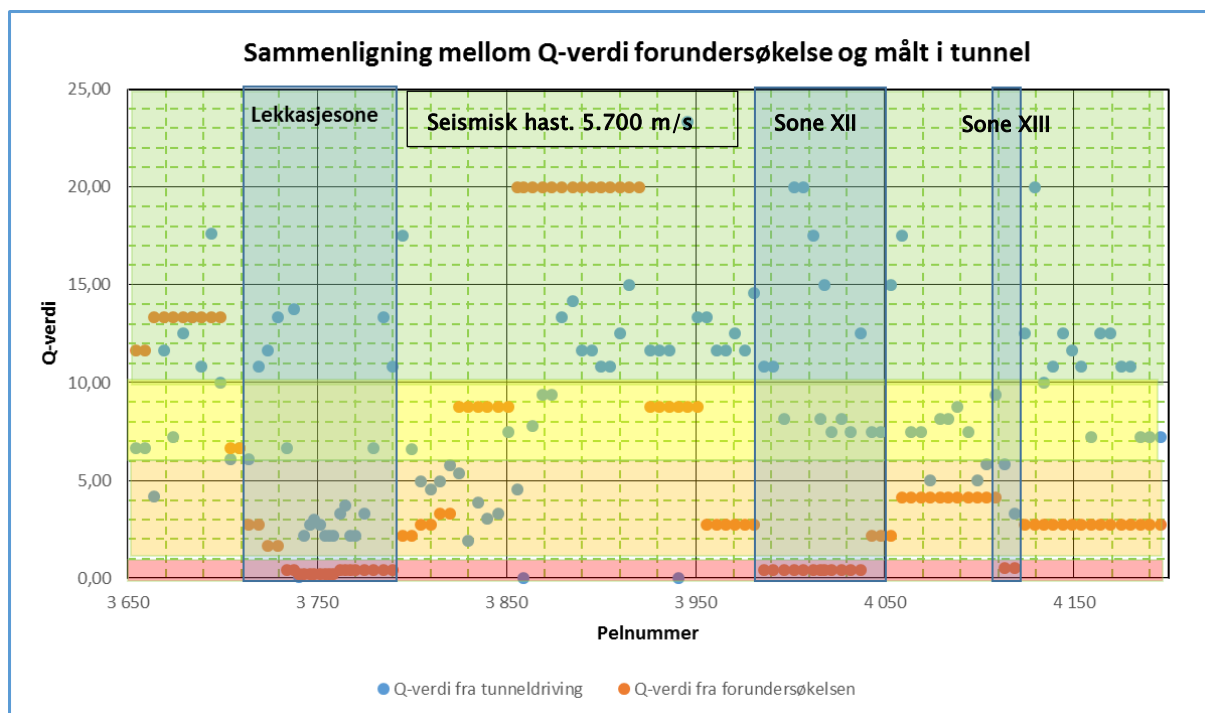


**Diagram 12:** Viser effektiv injeksjon pr injeksjonshull mot sluttrykk. Det er en klar tendens til at økt trykk gir mer inngang.

## 2.4 Området med høy seismisk hastighet, pel. 3.800 – 3.970

I detteområdet med høy seismisk hastighet og en bergknaus uten løsmasser forventet en gode bergforhold og lite lekkasjer. Pumpesump ble plassert i dette området. Bergkvaliteten var noe dårligere enn forventet samt at innlekkasjene også var mer omfattende.

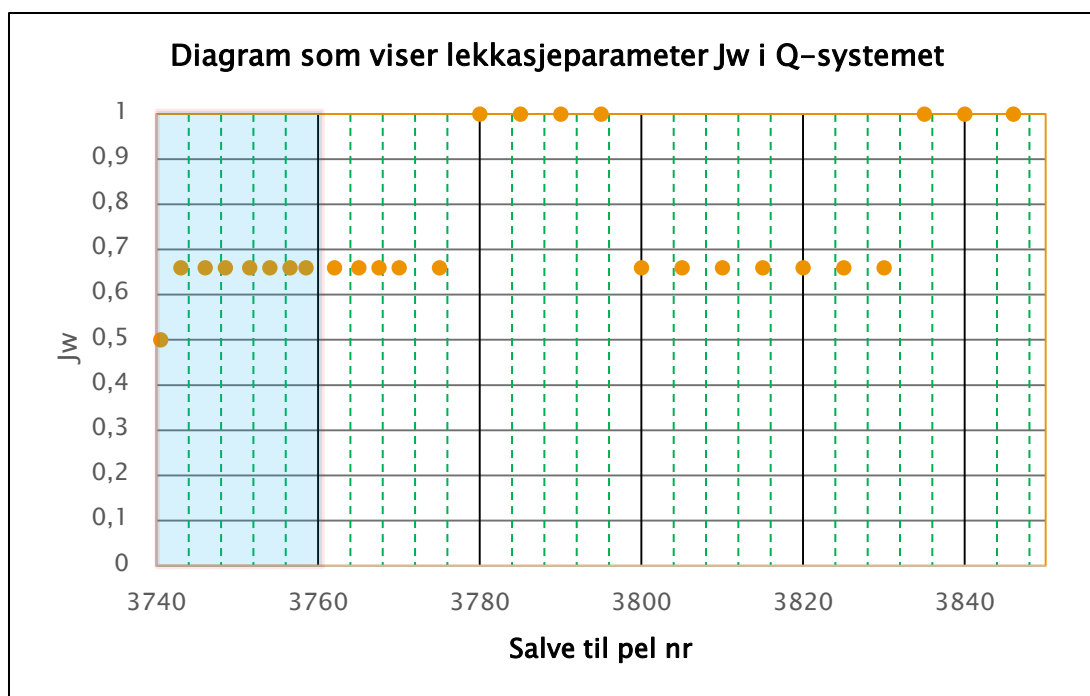
I dette området ble det nødvendig med 5 injeksjonsomganger. Se også fig. 1 og vedlegg 3. Området hadde høy seismisk hastighet, 5.700 m/s, og består av en bergrygg på havbunnen. Q-verdier for området øker, vist i diagram 13, systematisk mot nord. Q-verdien i området med høy hastighet er relativt lave i den sydligste delen av knausen med Q-verdier mellom 3 og 9.



**Diagram 13** viser Q-verdien fra forundersøkelsen og tunneldriften gjennom problemsonen og videre nordover. Q-verdier fra tunneldriften i blått. Høy seismisk hastighet mellom sone XI og XII.

Q-verdiene er relativt lave 30 meter inn i sonen med høy hastighet på 5.700 m/s. Årsaken til dette kan være at svakhetssonene har fall mot nord og dermed strekker seg inn i området med høy seismisk hastighet på overflaten. Først ved pel 8.570, altså 50 meter inn i bergknausen er Q-verdiene over 10. De høye Q-verdiene strekker seg helt inn til og til dels gjennom sone XII. Dette omfatter også et lite område som mangler seismiske hastigheter.

Q-verdiene fra pel 3.800 er her systematisk lavere ved salvekartleggingen enn det som ble stipulert fra forundersøkelsen. Dette er det eneste området som kommer systematisk ut lavere enn forundersøkelsen. Den høye seismiske hastigheten og bergforhøyningen på sjøbunnen har ikke gitt bedre bergforhold enn de andre «gode» bergforholdene i tunnelen.

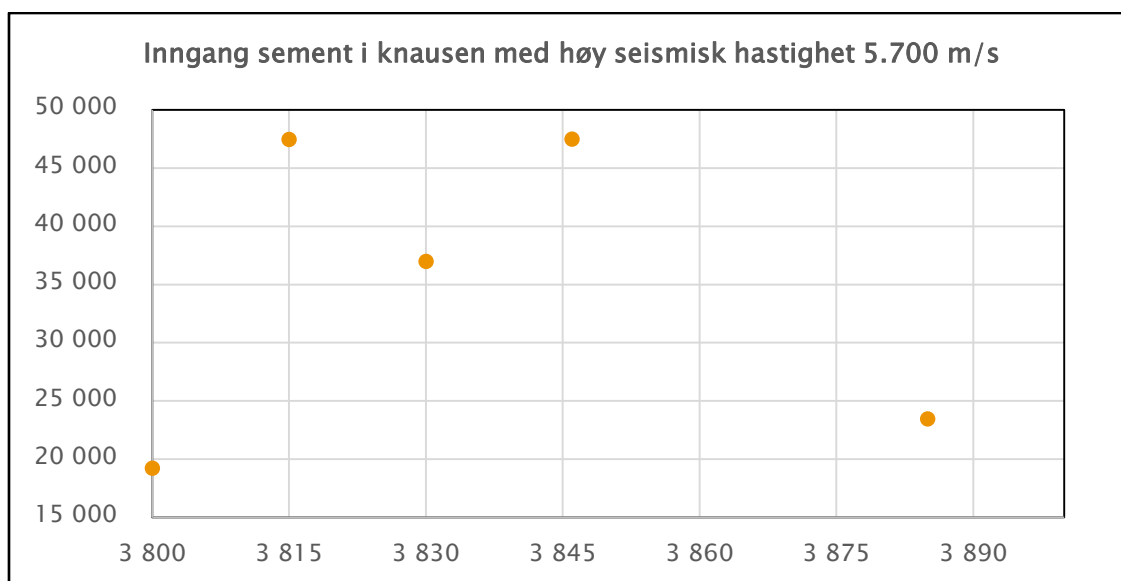


**Diagram 14:** Viser lekkasjeparameteren  $J_w$  i Q-systemet i problemsonen (merket med blå skravur) og området videre nordover inn i bergknausen med høye seismiske hastigheter. Bortsett fra deler i selve hovedsonen 3.738 – 3.741 der det er mer innlekkasje enn ellers. Den omfattende injeksjonen i forbindelse med problemsonen rakk fram til pel 3.800. De siste 20 meterne har i dette området blitt så godt som helt tett. Den systematiske injeksjonen mellom 3.800 og 3.870 har gitt moderate lekkasjer der det ble registrert innlekkasjer ved sonderboring ( $J_w = 0,66$ ) og små lekkasjer videre nordover.

Ut fra diagram 5 ser en at den omfattende injeksjonen har gitt et akseptabelt innlekkasjenivå i problemsonen.

$J_w$  viser verdier i området like nord for problemsonen har i området 3.760 – 3.775 har også  $J_w$  verdier på 0,66 som viser at der var lekkasje også i dette området selv etter injeksjon med stor inngang. Inngangen i dette området viser verdier på 19 – 47 tonn som er det høyeste for tunnelen. Disse høye verdier kommer selv om injeksjonen kommer i området som delvis er dekket av forrige skjerm. Det var ikke ventet at dette området skulle gi så mye lekkasjer/innganger. Dette viser at det er «umulig» å fastslå injeksjonsbehovet i detalj på grunnlag av seismisk hastighet.

Inngangen i det gode berget med seismisk hastighet på 5.700 m/s er opptil dobbelt så stor som i området med systematisk injeksjon på sydsiden av sone XI.



**Diagram 15:** Pel nr. 3.800 – 3.890. Dette området preges av en bergrygg på havbunnen. Seismikken viser lite løsmasser og høy seismisk hastighet på 5.700 m/s

Fra 3.800 til 3.850 (pelnummer på stuff). Her er det utført tilnærmet systematisk injeksjon basert på innlekkasjemålinger fra sonderhull. Det er litt overraskende at dette området med så høy hastighet og i en markert bergrygg skal ha så mye lekkasjer.

I dette området er det 4 injeksjonsomganger der inngangen har vært på fra ca. 26 tonn – ca. 53 tonn. Her er det stor variasjon og inngang betydelig over det som har vært vanlig i resten av tunnelen.

## 2.5 Fra «midtfjordsforkastningen» og nordover

Ved «midtfjordsforkastningen», pel 3.990, går tunnelen inn i bergarter med høyere grad av dypforvitring. På land på Bjarkøysiden er bergarten i overflaten til dels sterkt dypforvitret. Dette ser ut til å arte seg som en større grad av oppsprekking og nedknusing. Generelt er der lite leire å se i forbindelse med dette, men noe mer leire på sprekker kan opptre.

Videre nordover passerer tunnelen en bred og flere smale lavhastighetssoner. Ingen av disse sonene under sjøen har lekkasjer som medfører injeksjon. Heller ikke en bred sone (sone XII, pel 3.970 – 4.040) med hastighet 3.900 m/s. I forbindelse med denne sonen er det registrert en overgang til lavere seismisk hastighet på Bjarkøysiden. Dette antar vi at skyldes at en kommer inn i området med mer dypforvitring og nedknusing av bergarten. Sannsynlig vis er her også mer leire på sprekke som kan forklare det tette berget. Nordover fra sone XII er der ingen terrengformer på havbunnen i forbindelse med lavhastighetssoner. Der er heller ikke topografi utenfor lavhastighetssoner som antyder dårligere berg. Injeksjonsomgangen ved pel 4.523 er ikke knyttet til registrert svakhetszone eller lavhastighetszone.

Injeksjonsomgangen ved pel 4.745 ligger under jordet på Bjarkøy og er knyttet til sone XV. Forløpet av sonen er trolig noe avvikende i forhold til slik den er tegnet opp i geologisk

rapport. Der er 3 lavhastighetsregistreringer med seismisk hastighet på 2.800 – 3.500 m/s i området for injeksjonen.

Siste injeksjon ble utført på pel 5.046 under bergryggen ca. 200 meter inn ved påhugget på Bjarkøy. Lekkasjeområdet er knyttet til svakhetszone XVII. Det ble benyttet 14,2 tonn med injeksjonsmasse, industrisement.

På den nordlige halvdel av tunnelen er det altså kun utført 3 injeksjonsomganger. For den ene under fjorden ligger inngangen i det øvre sjiktet av injeksjonene med 30 tonn. For de to omgangene under land har det gått inn ca. 9 og 14 tonn som er i det nedre sjiktet av injeksjonsomgangene.

## 4 Effekten av injeksjonen

En måte å se på hvor vellykket injeksjonen har vært er å se på vannparameteren i Q-systemet;  $J_w$ . Med  $J_w = 1,00$  er der lite vannlekkasjer, spredte drypp eller tørt. I områder med noe vannlekkasje, det vil si opptil dryppregn er  $J_w$  satt til verdien 0,66. Med mye lekkasjer er  $J_w$  satt til 0,5.

Det er fram til 17. januar 2017 drevet 624 salver der Q-verdien er bestemt. (Noen få salver mangler Q-verdi på skjemaet). Oversikten er presentert i tabell 5.

**Tabell 5: Oversikt over lekkasjenivået i kartlagte salver i Kværnsundtunnelen**

	Totalt salver (antall)	Totalt salver %	Ikke injiserte salver (antall)	Ikke injiserte salver %	Injiserte salver (antall)	Injiserte salver %
<b><math>J_w = 1,0</math></b>	539	86,5%	443	87,9%	96	80,6%
<b><math>J_w = 0,66</math></b>	83	13,3%	61	12,1%	22	18,5%
<b><math>J_w = 0,5</math></b>	1	0,16%	0	0,0%	1	0,8%
<b>Totalt</b>	623		504		119	

119 salver er drevet i injisert område har marginalt mer innlekkasje ( $J_w = 0,66$ ) på ca. 18,5% mot ikke injiserte salver på ca. 12%. Kun en salve har større lekkasje med en  $J_w$  på 0,5. Ut fra dette må en kunne fastslå at injeksjonsarbeidet har gitt tilfredsstillende på tross av problematisk injeksjonsgjennomføring. Dette gjelder også i området med store lekkasjer og vanskelig/langvarig injeksjon.

### 4.1: Diskusjon om årsak til store vannlekkasjer i problemsonen

#### 4.1.1 Bakgrunn

Den seismiske hastigheten i denne sonen skiller seg ikke ut fra de andre lavhastighetssonene. Terrengformen på havbunnen skiller seg heller ikke nevneverdig ut fra de andre søkkene på bunnen. Depresjonen/søkket er noe dypere enn de andre og løsmassene over er noe tykkere enn de andre sonene. Det er derfor ingen opplysninger i



forundersøkelsen om at denne sonen skulle ha nevneverdig større lekkasjer enn de andre sonene.

Det spesielle med sonen er at så godt som alle hull har oppnådd det forutbestemte sluttrykket. Likevel ble det stadig påtruffet hull med store innlekkasjer under kontroll og injeksjonshull.

Bergkvaliteten i sonen skiller seg ikke mye ut fra tilsvarende soner. Q-verdiene etter driving viser verdier på mellom 2 og 4. Q-verdiene fra kjerneborhullene gjennom sonen ligger i samme område, men viser større variasjon i detaljene.

## 4.2 Årsak til lekkasjene

Årsakene til de store og gjentatte lekkasjene må komme fra steile relativt åpne kanaler. Mellom kanalene er der trolig tett leire som gjør at selv med injeksjonstrykk på 80 – 90 bar klarer injeksjonsmassen ikke å trenge gjennom på sprekkene. En er derfor nødt til å treffe hvert enkelt kanal med injeksjonshullene for å få inn injeksjonsmasse.

Selve hovedsonen ved pel 3.745 er gjennomboret med 802 injeksjonshull. Dette er et ekstremt høyt tall (utgjør ca. 6 m<sup>2</sup> utboret flate). I disse skjermene er det pumpet inn 160 tonn injeksjonsmasse. Dette utgjør også 16,6 kg innpumpet masse pr. effektiv bormeter. I de 10 første injeksjonsomgangene var inngangen 27,8 kg pr. bormeter. I de 9 siste injeksjonsomgangene fra pel 3.738 var netto inngang pr bormeter 2,13 kg innpumpet masse. Det meste av dette kom i omgang 11 (3.738–6) med innpumpet masse på 12,3 kg. Her ble det brukt collodial silika og omgangen er derfor ikke sammenlignbar med de andre injeksjonsomgangene der det ble benyttet sementbasert injeksjonsmasse. Ser en bort fra denne er innpumpet masse for de 8 andre siste omgangene på kun 0,26 kg pr. bormeter. En årsak til det lave tallet er at i de 3 siste omgangene klarte en ikke å fylle opp netto utboret volum. Gjennomsnittet på de 5 omgangene der det tross alt gikk inn netto masse i berget er pumpet inn 1,8 kg pr. netto bormeter.

## 4.3 Injeksjonsstrategi

Forhold som i problemsonen der berget ikke blir tett etter flere injeksjonsomganger vil trolig være forskjellige fra tilfelle til tilfelle. Det er derfor vanskelig å komme med et generelt fasitsvar om hva som er mest hensiktsmessig tettestrategi.

Dersom en kommer inn i liknende forhold med store lekkasjer fra enkelthull etter flere injeksjonsomganger vil følgende strategi kunne gi et tett nok resultat. Siden det ikke er kommunikasjon langs de leirfylte sprekkene inn i de vannførende kanalene må en bore mange hull for å treffe lekkasjekanalene. Det er ingen metode for å finne disse kanalene i berget. Det er ingen hensikt i denne fasen å bore nevneverdig forbi kjent lekkasjesone. Det er viktig å få analysert situasjonen og dermed få en bedre forståelse av lekkasjesonenes karakter og eventuell retning. Ved å vinkle injeksjonshullene mer optimalt i forhold til lekkasjesprekkene/kanalene kan en raskere tetting muligens oppnås.

Ved store vannmengder betyr det at kanalene er relativt store. Det er da mest hensiktsmessig å bruke tykk masse av industrisement. Argumenter for å bruke mikrosegment

finnes; det er mest hensiktsmessig dersom styrt herding av enkelthull blir aktuelt. En må vurdere hvor mye masse det er hensiktsmessig å bruke i hvert injeksjonshull. Det gjelder å få tettet kanalen i området over/utenfor tunnelverrsnittet.

En må vurdere hvor mange injeksjonsomganger det er hensiktsmessig å bore/injisere. I problemsonen klarte en ikke å fylle opp det utborede volumet med injeksjonsmasse etter 10 omganger fra stuff 3.738 etter 15 injeksjonsomganger gjennom sonen.

Under denne typen krevende injeksjon der en «uansett innsats» ikke kommer i mål med innlekkasjekravet må en følge med på «netto innpumpet masse». Når denne går mot 0 er effekten av injeksjonen svært begrenset. Hull som settes utenom profilet (planlagt utsprengt tunnel) har kun negativ virkning på tettingen. Hull som bare er delvis fylt av injeksjonsmasse vil virke som drenasjekanaler inn mot tunnelen. I utgangspunktet er disse hullene lite effektive som drenasjekanaler siden det ikke er vann i dem, men kan på sikt føre til økt innlekkasje siden de er åpne. Sprengningen vil påføre berget skader og vil kunne åpne opp sprekker inn til disse «lekkasjekanalene». Tilsvarende halvfulle hull i stuffen/innenfor planlagt utsprengt masse vil ikke ha tilsvarende negativ effekt fordi volumet blir sprengt bort i den videre tunneldriften.

Strategien i denne fasen må være å bore relativt tett med hull innenfor planlagt utsprengt tunnel ut mot hengen. Dersom en treffer lekkasjekanaler vil disse bli effektivt injisert. Massen går stort sett oppover til området utenfor planlagt utsprengt tunnel og tette den enkelte lekkasjekanalene over heng i tunnelen.

### **Alternativer til «uendelig» injeksjon**

Selv om en ikke klarer å finne alle kanaler kan det være aktuelt å gå videre med mulighet å treffe på enkeltkanaler som har stor lekkasje. En strategi med bruk av «etterinjeksjon» på disse enkeltlekkasjene må også vurderes, da med å bruke injiserbar bolt satt rett i lekkasjen.

Et alternativ med å støpe ut med membran i området som ikke lar seg tette med injeksjon må vurderes i prosessen.

## **5 Konklusjon, Oppsummering**

Ved injeksjon der en ikke lykkes med å få tett nok berg kan følgende erfaring fra Kværnsundtunnelen benyttes.

- Sonen/området med lekkasjer må kartlegges grundig ved at en følger med på sonder- og injeksjonsboringene; Lekkasjeområdet må identifiseres best mulig.
- Ved flere injeksjonsomganger med standard injeksjonsopplegg uten tilstrekkelig tetting må en rekke parameter analyseres og konklusjonen avgjøres etter en grundig gjennomgang.
- Ved normal injeksjon vil 3 injeksjonsomganger være det maksimale før spesielle tiltak iverksettes.
- Dersom normal trykkoppbygging og forventet sluttrykk i injeksjonshullene oppnås er det stor sannsynlighet for at lekkasjene ligger i kanaler og at materialet på sprekker

er så tett at injeksjonsmassen ikke klarer å trenge gjennom sprekkene fra injeksjonshullet til de vannførende kanalene.

- Mikrosementer har bedre inntrengningsevne og vil kanskje kunne gi et bedre resultat.
- En viktig parameter å følge med på er effektiv eller netto inngang av injeksjonsmasse i berg. Dvs. innpumpet masse i hvert borhull minus hullfylling. Dersom netto innpumpet masse går mot null må en forandre injeksjonsstrategien. Denne analysen bør gjøres ned på enkelthulls nivå.
- Det er viktig å få avklart det problematiske området med lekkasjer foran stoffen. Hull-lengden må avpasses slik at det injiseres kun i sonen. Dersom sonen er veldefinert bør en drive seg fram mot denne slik at boreomfanget reduseres. Minimumsavstand til sonen bør ikke gå under 5 meter.
- Dersom en ikke klarer å fylle opp injeksjonshullene bør en bruke pakkere som kan åpnes og tas ut. NB: Overtrykk med luft i borhullet må kontrolleres. Injeksjonshull som ikke er fylt opp bør gyses.
- Dersom det er mange hull som ikke lar seg injisere, men må gyses, bør en bore injeksjonshullene i stoffen slik at de ikke kommer utenom fremtidig utsprengt tunnelvolum. Åpne hull inn i området over tunnelen vil kunne virke som drenasjeveier inn i tunnelrommet selv om de ikke lekker vann før sprengning. Sprengning skader berget rundt tunnelen og kan derfor føre til økt lekkasje gjennom disse åpne hullene.
- Det er viktig å finne lekkasjerørene. Dette kan bare gjøres ved å bore mange hull i stoffen. Hull med mye lekkasje vil ta nok injeksjonsmasse til å fylle opp lekkasjerøret til godt utenom tunnelverrsnittet. Det må vurderes om hull også skal bores ut mot vegg og såle. Ved steile kanaler vil det sjelden være hensiktsmessig å bore/injisere langs veggen på utsiden av profilet.

# Vedlegg

**Vedlegg 1: Kart og profil over tunneltraseen**

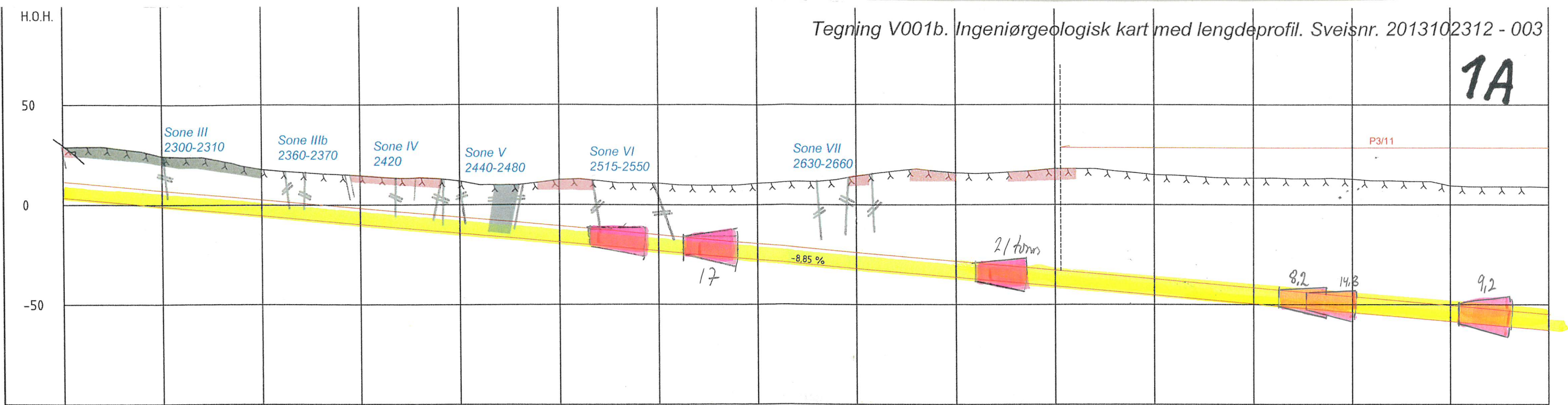
**Vedlegg 2: Beskrivelse av kjerneborhull i lekkasjesone**

**Vedlegg 3: Fagrapport injeksjon fra Knut Garshol**

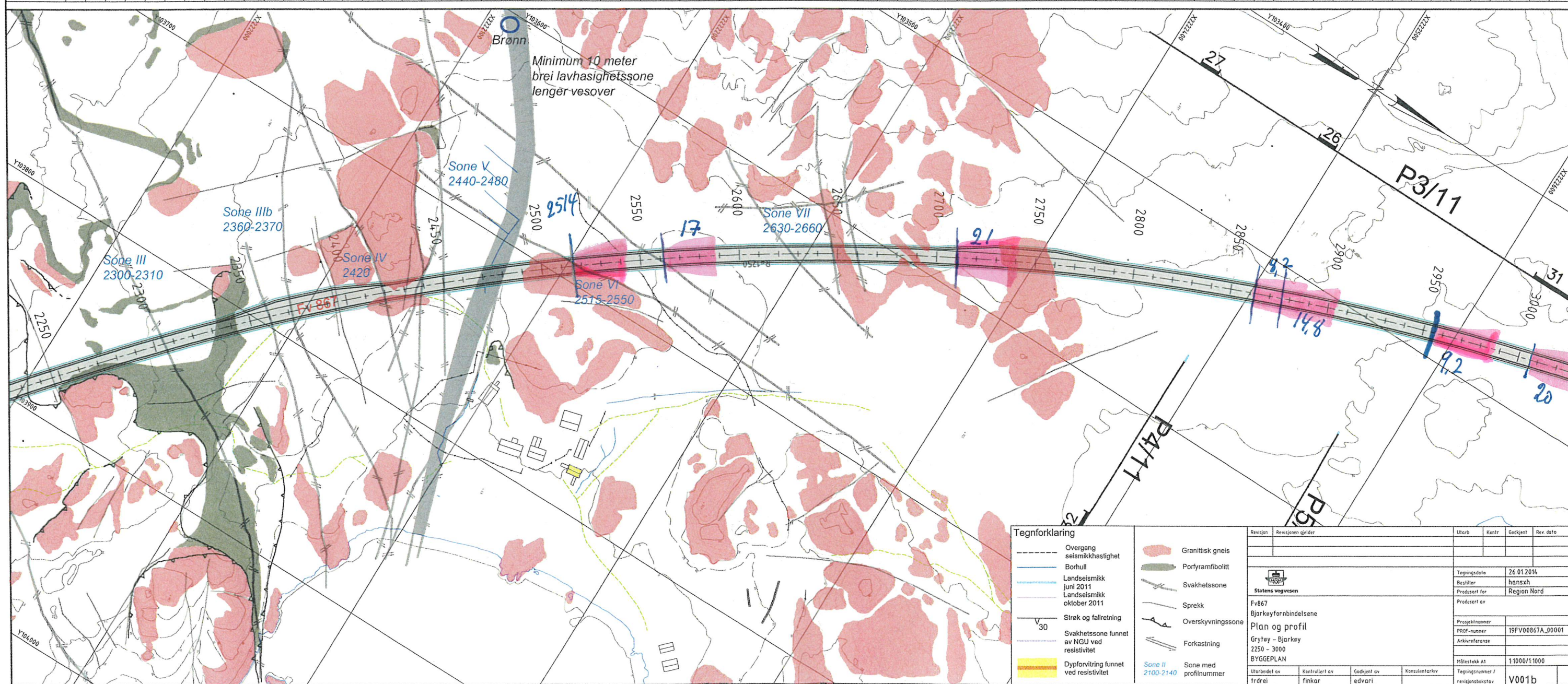
**Vedlegg 4: Injeksjonsprosedyrer og resepter**



1A



PROFIL NR	2250	2300	2350	2400	2450	2500	2550	2600	2650	2700	2750	2800	2850	2900	2950	3000
PROFIL H.	29.00	28.60	27.80	26.70	25.50	24.20	22.80	21.30	19.70	18.00	16.20	14.30	12.30	10.20	8.00	5.80
TERRENG H.	29.00	28.60	27.80	26.70	25.50	24.20	22.80	21.30	19.70	18.00	16.20	14.30	12.30	10.20	8.00	5.80



**Tegnforklaring**

- Overgang seismikkhastighet
- Borhull
- Landsseismikk juni 2011
- Landsseismikk oktober 2011
- Strøk og fallretning
- Svakhetszone funnet av NGU ved resistivitet
- Dyppforvring funnet ved resistivitet

- Granittisk gneis
- Porfyrarnfibolitt
- Svakhetszone
- Sprekk
- Overskyvningssone
- Forkastning
- Sone II 2100-2140
- Sone med profilnummer

Revisjon	Revisjonen gir	Utbred	Kontrollert av	Godkjent av	Rev. dato

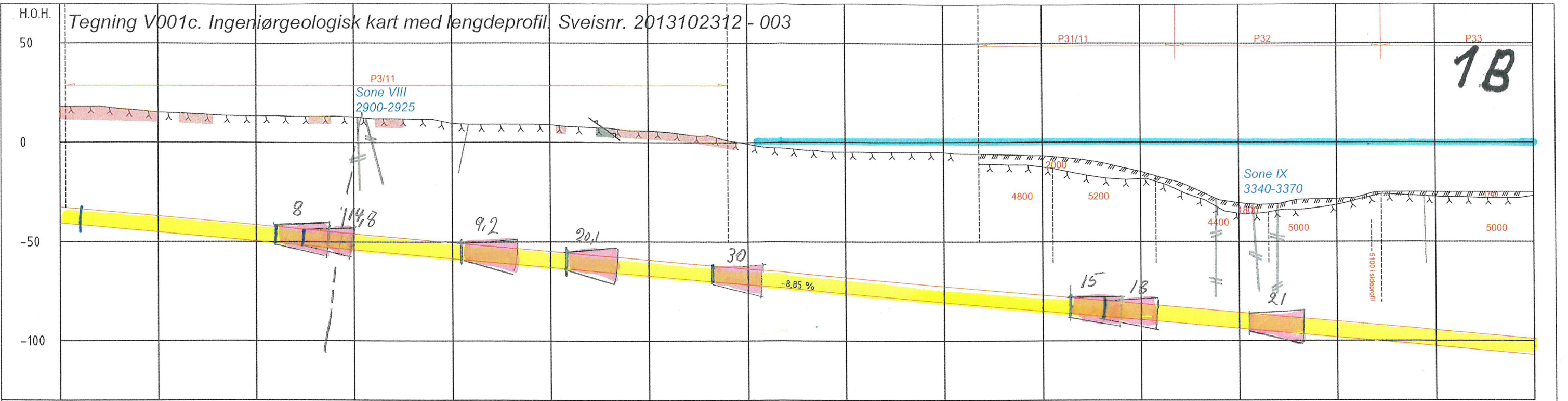
Statens vegvesen

Fv867 Bjarkøyforbindelsene  
Plan og profil  
Grytøy - Bjarkøy  
2250 - 3000  
BYGGEPLAN

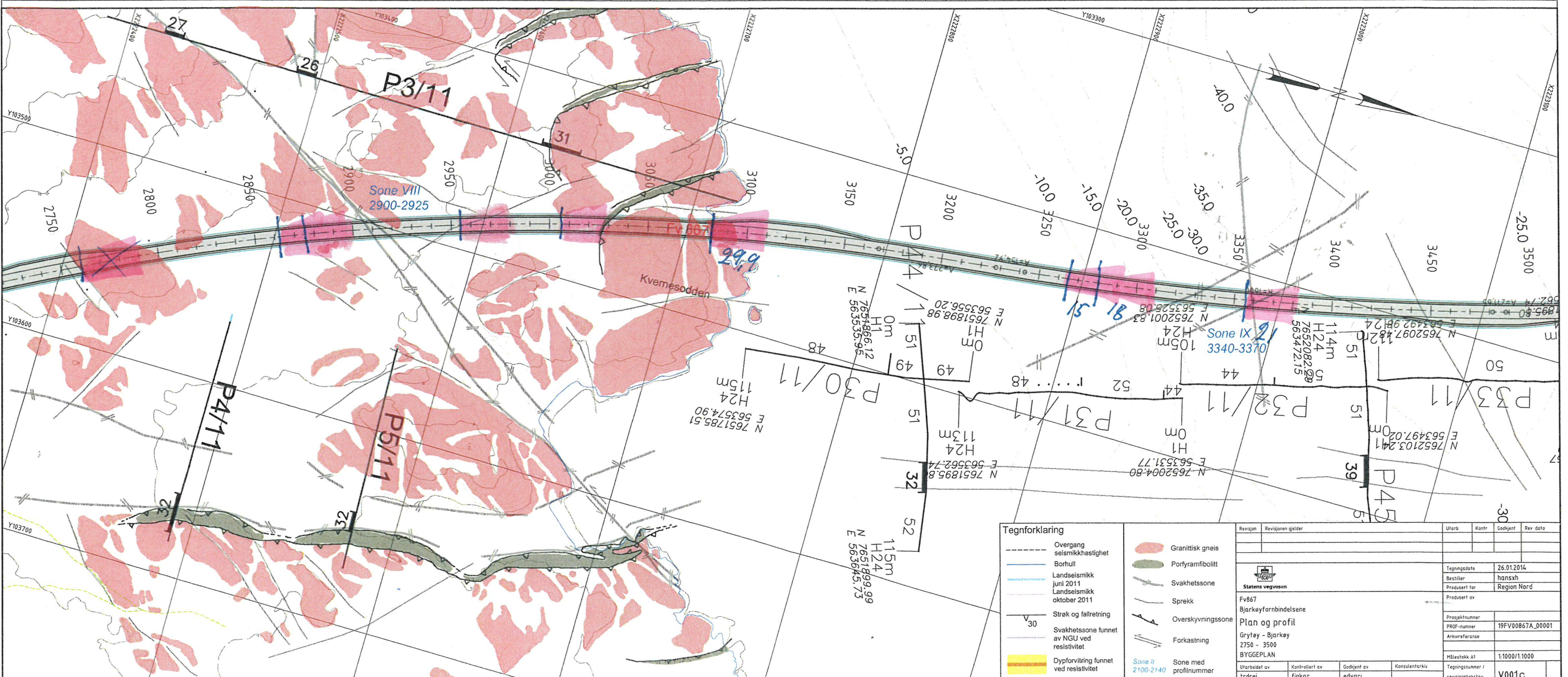
Tegningsdato	26.01.2014
Bestiller	hansxh
Prosjektfor	Region Nord
Prosjektnummer	
PROF-nummer	19FV00867A_00001
Arkivreferanse	
Målestokk A1	1:1000/1:1000
Tegningsnummer / revisjonsbokstev	V001b



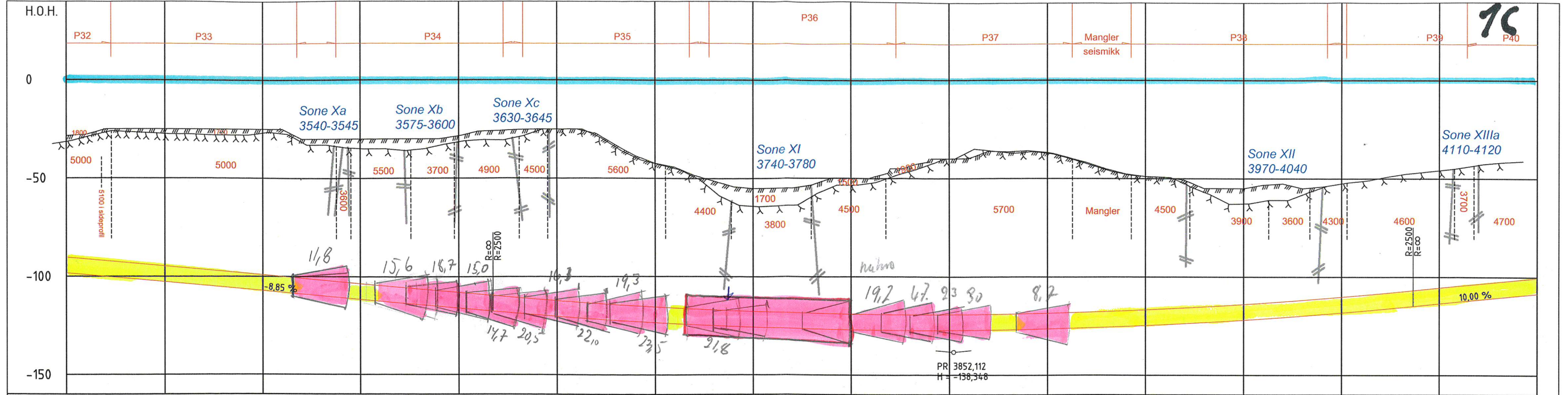
Tegning V001c. Ingeniørgeologisk kart med lengdeprofil. Sveisnr. 2013102312 - 003



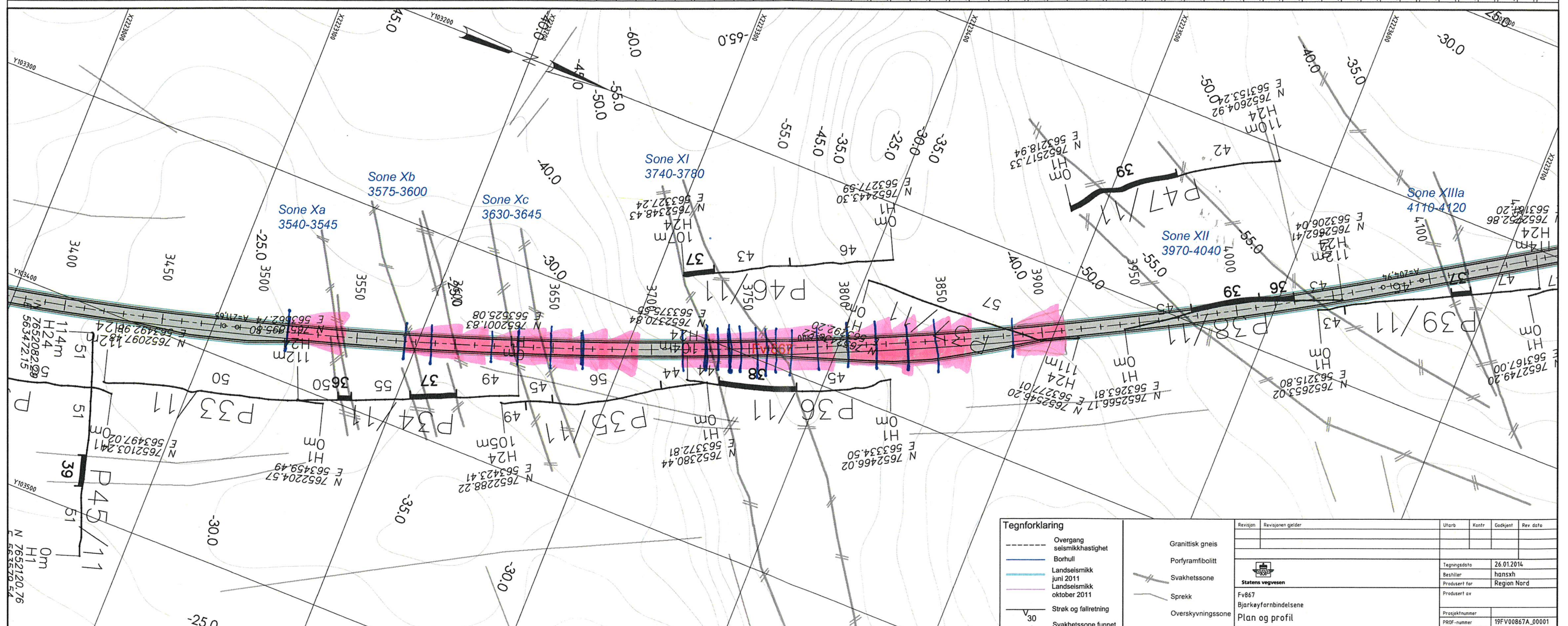
PROFIL NR	2750	2800	2850	2900	2950	3000	3050	3100	3150	3200	3250	3300	3350	3400	3450	3500
PROFIL H.	17.97	17.97	18.00	18.00	16.82	16.82	16.05	15.06	14.79	14.29	13.63	13.35	13.34	13.34	13.00	12.85
TERRENG H.	18.00	17.97	17.97	17.97	16.82	16.82	16.05	15.06	14.79	14.29	13.63	13.35	13.34	13.34	13.00	12.85







PROFIL NR	3400	3450	3500	3550	3600	3650	3700	3750	3800	3850	3900	3950	4000	4050	4100	4150
PROFIL H.	60.00	57.75	55.50	53.25	51.00	48.75	46.50	44.25	42.00	39.75	37.50	35.25	33.00	30.75	28.50	26.25
TERRENG H.	60.00	57.75	55.50	53.25	51.00	48.75	46.50	44.25	42.00	39.75	37.50	35.25	33.00	30.75	28.50	26.25



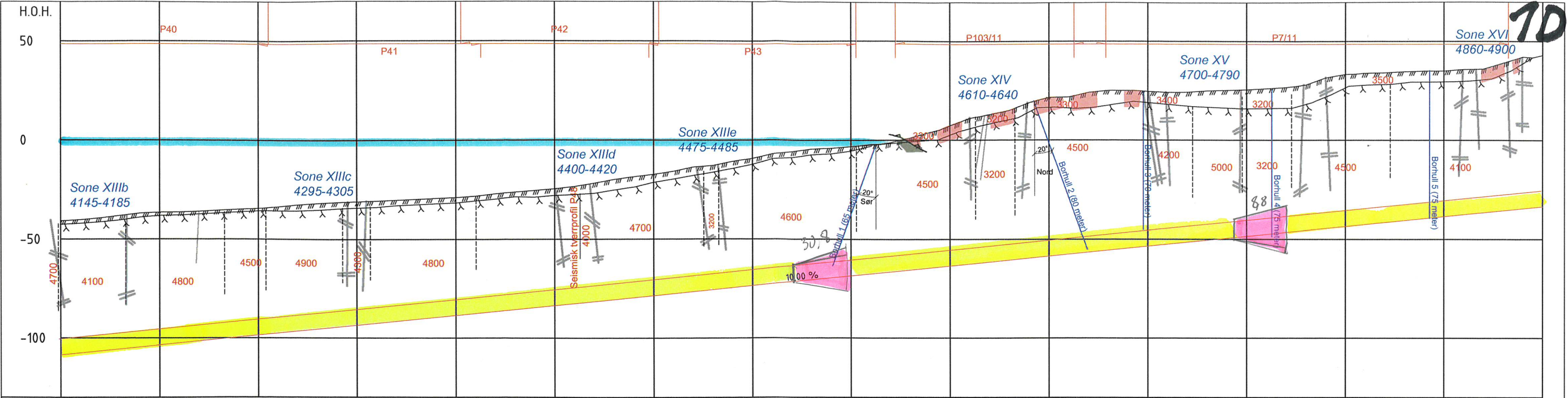
**Tegnforklaring**

---	Overgang seismikkhastighet	Granittisk gneis
—	Borhull	Porfyrarnfibolitt
—	Landseismikk juni 2011	Svakhetsone
—	Landseismikk oktober 2011	Sprekk
—	Strøk og fallretning	Overskyvningsone
—	Svakhetszone funnet av NGU ved resistivitet	Forkastning
—	Dyptforvitring funnet ved resistivitet	Sone II 2100-2140
		Sone med profilnummer

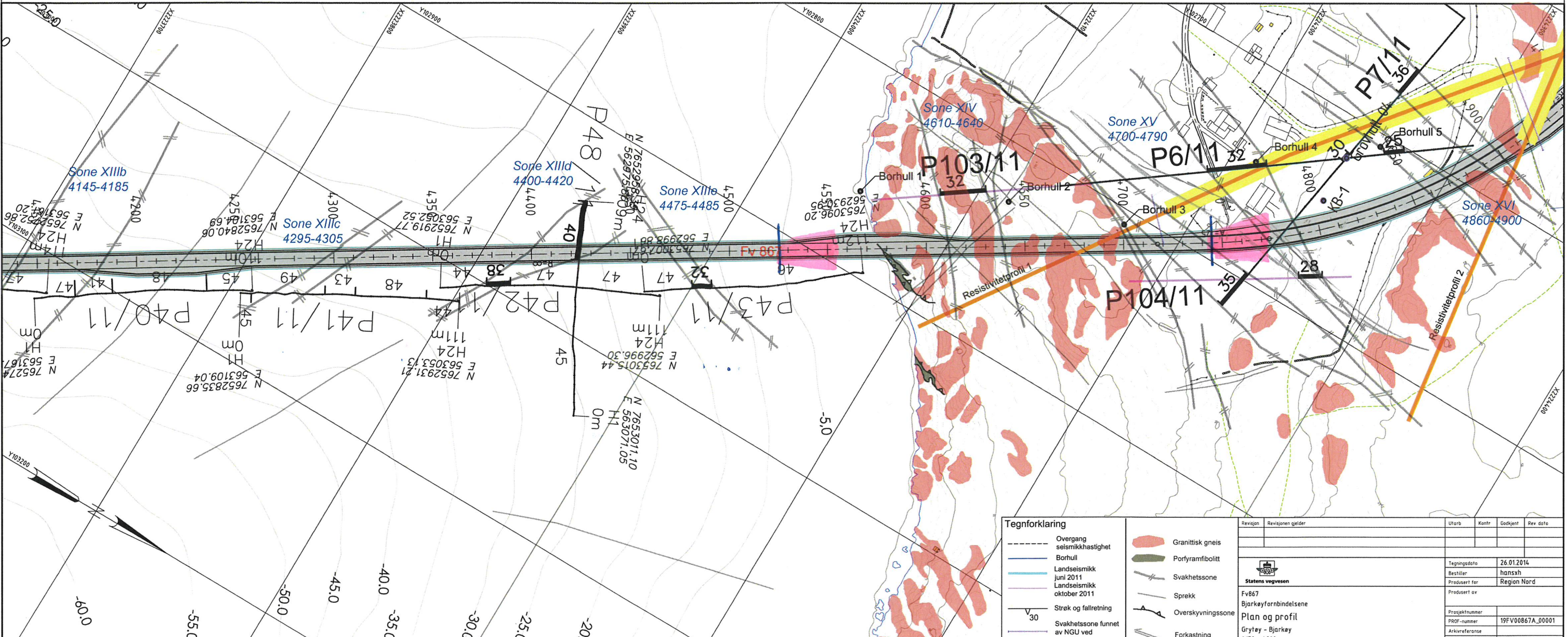
Revisjon	Revisjonen gjelder	Utbet	Kontr	Godkjent	Rev date
<b>Statens vegvesen</b>					
Fv867 Bjarkøy forbindelsene					
<b>Plan og profil</b>					
Grytøy - Bjarkøy					
3400 - 4150					
BYGGEPLAN					
Utbet av: Trdrei					
Kontrollert av: finkar					
Godkjent av: edvari					
Konsulentarkiv					
Tegningsdato: 26.01.2014					
Bestiller: hansxh					
Produsert for: Region Nord					
Produsert av:					
Prosjektnummer:					
PROF-nummer: 19FV00867A_00001					
Arkivreferanse:					
Målestokk A1: 1:1000/1:1000					
Tegningsnummer / revisjonsbokstav: V001d					

Tegning V001d. Ingeniørgeologisk kart med lengdeprofil. Sveisnr. 2013102312 - 003





PROFIL NR	4150	4200	4250	4300	4350	4400	4450	4500	4550	4600	4650	4700	4750	4800	4850	4900
PROFIL H.	95.808	95.707	95.590	95.500	95.356	95.200	95.036	94.867	94.693	94.515	94.333	94.147	93.957	93.763	93.565	93.363
TERRENG H.	95.808	95.707	95.590	95.500	95.356	95.200	95.036	94.867	94.693	94.515	94.333	94.147	93.957	93.763	93.565	93.363

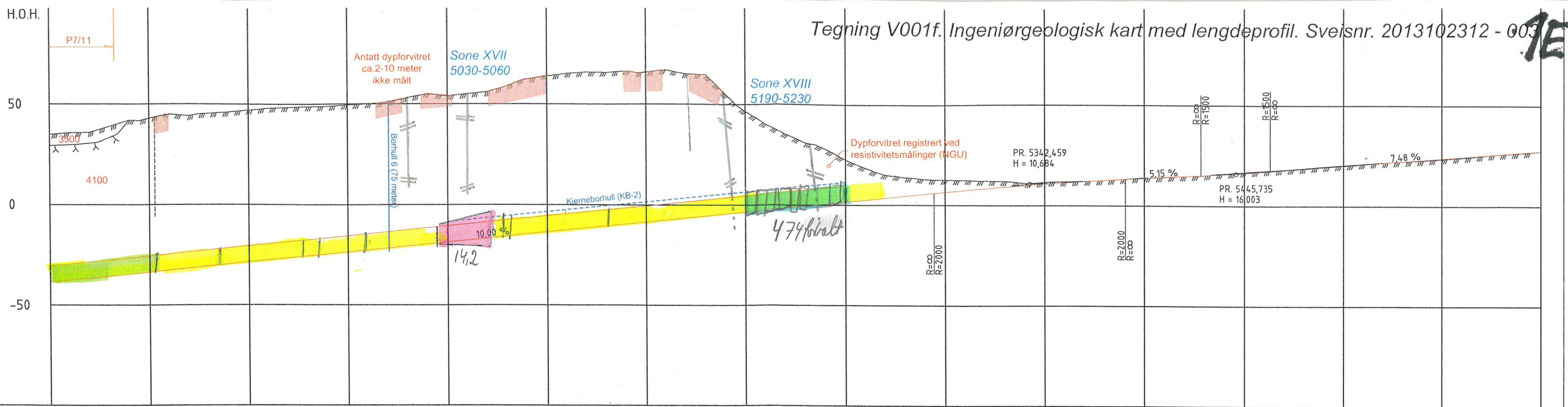


Tegnforklaring	
---	Overgang seismikkhastighet
—	Borhull
—	Landseismikk juni 2011
—	Landseismikk oktober 2011
—	Strekk og fallretning
—	Svakhetszone funnet av NGU ved resistivitet
—	Dypforvitring funnet ved resistivitet
—	Granittisk gneiss
—	Porfyrarnibolitt
—	Svakhetszone
—	Sprekk
—	Overskyvningssone
—	Forkastning
—	Sone II 2100-2140

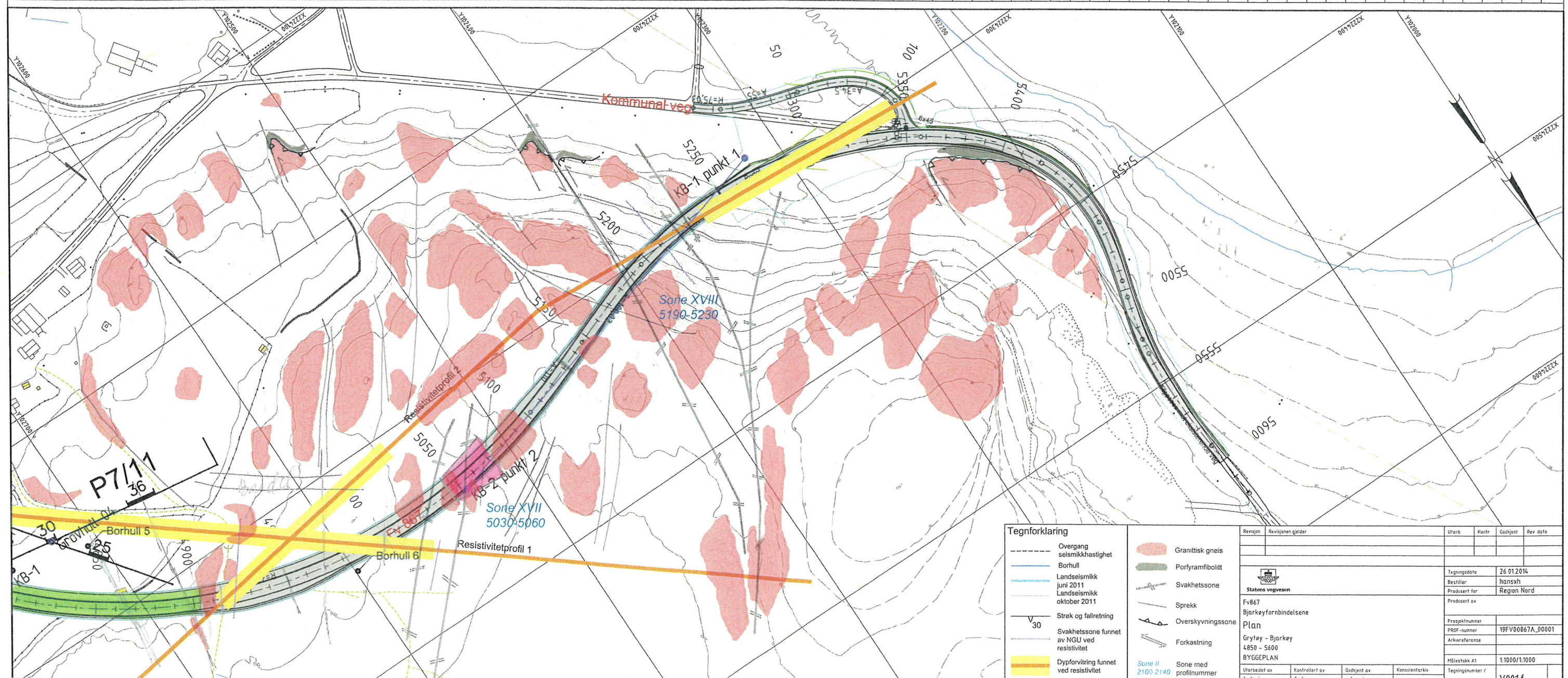
Revisjon	Revisjonen gjelder	Utdr.	Kontr.	Godkjent	Rev dato
<b>Statens vegvesen</b> Fv867 Bjarkøyforbindelsene <b>Plan og profil</b> Grytøy - Bjarkøy 4150 - 4900 BYGGEPLAN					
Tegningsdato		26.01.2014			
Bestiller		hansxh			
Produsert for		Region Nord			
Produsert av					
Prosjektnummer		19FV00867A_00001			
PROF-nummer		Arkivreferanse			
Målestokk A1		1:1000/1:1000			
Utdragsnummer		Tegningsnummer / revisjonsbokstav			
Utdragsnummer		V001e			

Tegning V001e. Ingeniørgeologisk kart med lengdeprofil. Sveisnr. 2013102312 - 003





PROFIL NR	4850	4900	4950	5000	5050	5100	5150	5200	5250	5300	5350	5400	5450	5500	5550	5600
PROFIL H.	34,94	35,74	36,56	37,56	38,74	39,56	40,00	40,23	40,23	39,19	30,86	27,96	22,66	18,60	15,15	13,63
TERRENG H.	35,74	36,56	37,56	38,74	39,56	40,00	40,23	40,23	39,19	30,86	27,96	22,66	18,60	15,15	13,63	



**Tegnforklaring**

	Overgang selsmikkhastighet		Granittisk gneis
	Borhull		Porfyrarnfibolitt
	Landseismikk juni 2011		Svakhetszone
	Landseismikk oktober 2011		Sprekk
	Strak og fallretning		Overskyvningszone
	Svakhetszone funnet av NGU ved resistivitet		Forkastning
	Dypforvitring funnet ved resistivitet		Sone II 2100-2140

Revisjon	Revisjonen gjelder	Utlarb	Kontre	Godkjent	Rev date
 Statens vegvesen		Tegningsdato	26.01.2014		
		Bestiller	hanshx		
		Produkt for	Region Nord		
		Prosjektnummer	19FV00867A_00001		
		PROF-nummer	4850 - 5600		
		BYGGEPLAN			
		Målestokk A1	1:1000/1:1000		
		Tegningsnummer / revisjonsboksnavn	V001f		



# Vedlegg 2:

## Beskrivelse av kjerneborhull i lekkasjesone

Kjerneborhullene er boret fra Pel 3.778 og har en lengde på ca. 15 meter. Begge hullene er boret gjennom sonen og inn i godt berg nord for sonen

Notat kjerneboring problemsone Bjarkøy profil 3738

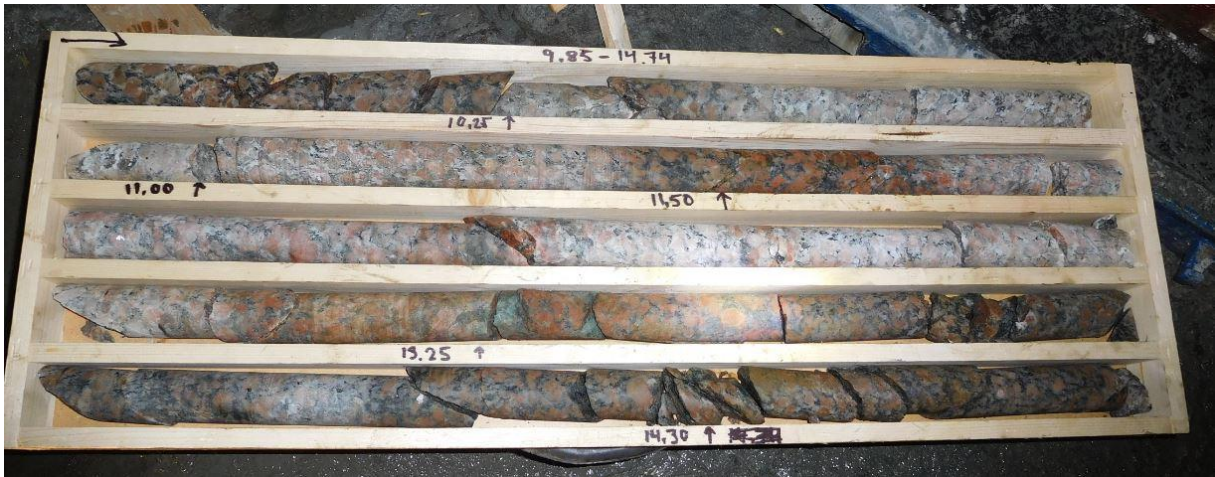


Høyre side 0 - 5 meter



Høyre side 4 - 10 meter





Høyre side 10 - 15 meter



Høyre side 15 - 19 meter



Høyre side 19 - 23 meter



Venstre side



Venstre side 0 - 5 meter



Venstre side 5 - 10 meter



Venstre side 10 - 15 meter





Venstre side 15 - 20 meter



Venstre side 20 - 24 meter

### **Kommentar til kjernebildene**

Kjernene ser forbausende fine ut. Det er til dels høye Q-verdier for størstedelen av kjernemateriale. Det eneste området som virkelig ser dårlig ut er der en har kjernetap, altså venstre side fra 2,5 meter og til 6,0 meter. På høyre side er det kun en sone fra 8,0 – 10,5 meter. Så langt vi har fått opplyst er det funnet lite leire på sprekkenes og det er heller ikke mye injeksjonssement å spore. Sprekkenes ser generelt åpne ut og skulle være lette å injisere.





## Stuff 3738

Stuffen ser solid ut og er ikke spesielt kraftig oppsprukket. Horisontale sprekker er markerte.

Kjernelogg  
høyre side  
pel 3738

Profil	Meter inn	Q	Klasse	Kommentar	Geologi	Strukturer
3762	24		A/B			
		15,00	A/B			
3761	23		A/B			Passe tørt 3 - 9 sprekker/meter
		20,00	A/B			
3760	22	15,00	A/B			
			D			
3759	21	3,70	D			Fukt 14 sprekker/meter
			C			
3758	20	5,00	C			
			C			
3757	19	5,60	C			Tørt 8 sprekker/meter
			C			
3756	18	4,30	C			
			C		Granitt med 15 % amf.	Tørt, 0,5 sprekker/meter
3755	17	7,00	C		Granitt med 15 % amf.	Tørt, 0,5 sprekker/meter
		4,0-6,0	C		Granitt med 15 % amf.	Tørt, 0,5 sprekker/meter
3754	16	4,0-6,0	D		Granitt med 30 % amf.	Tørt, 5 sprekker/meter
		4,0-6,0	C		Granitt med 15 % amf.	Tørt, 5 sprekker/meter
3753	15	4,0-6,0	D		Granitt med 30 % amf.	Fukt, 5 sprekker/meter
		3,70-13,30	D		Granitt med 30 % amf.	Mye fukt. Oppknust i 10cmsoner som 13,80-13,90 og 14,30-14,40. 18 sprekker/meter.
3752	14	3,70-13,30	D			

		3,70- 13,30	D			
3751	13	12,50	A/B		Granitt med ca 20% amf.	2,5 sprekker/meter, litt fukt
			A/B			
3750	12	15,00	A/B			
			A/B			
3749	11	14,00	A/B			
			A/B			
3748	10	4,50	C		Granitt med ca 20% amf.	
		16,60	A/B		Granitt med ca 20% amf.	
3747	9	2,00	D		Granitt med ca 40% amf.	Fuktig 15 sprekker/meter
		30,00	A/B		Granitt med ca 20% amf.	2,5 sprekker/meter
3746	8	2,00	D	Egentlig fra 8,0 - 8,6	Granitt med ca 40% amf.	Fuktig 15 sprekker/meter
		30,00	A/B		Homogen granitt med	2,5 sprekker/meter
3745	7		A/B		store feltspatøyne, ca	
		30,00	A/B	Egentlig fra 6,20 - 8,0	15% innhold av amfibolitt	
3744	6	2,0-4,2	D	Dårlig fra 6,0-6,20	Granitt og 45% amf	Fuktig 30 sprekker/meter
		9,60	C		Granitt med store feltspatøyne, ca 35% innhold av amfibolitt	Oppknust med mer amfibolitt, litt fuktig, 10 sprekker/meter
3743	5		C			
		8,30	C			
3742	4	6,70	C			
			C			
3741	3	5,00	C		Homogen granitt med store feltspatøyne, ca 15% innhold av amfibolitt	2,5 sprekker/meter
		37,50	A/B			
3740	2		A/B			
			A/B			
3739	1	30,00	A/B			
			A/B			
			A/B			

Kjernelogg venstre side pel 3738

Profil	Meter		Klasse	Kommentar	Geologi	Strukturer
	inn	Q				
3763	25		A/B		Homogen granitt med store feltspatøyne, ca 15% innhold av amfibolitt	Ca. 3 sprekker/meter
		11,00	A/B			
3762	24		A/B			
			A/B			
3761	23	20,00	A/B			
			A/B			
3760	22		A/B			
		15,00	A/B			
3759	21		A/B			
			A/B			
3758	20		A/B		Granitt med store feltspatøyne, ca 20% innhold av amfibolitt	Ca. 6 sprekker/meter
			C			
3757	19	7,50	C			
			C			
3756	18		C			
		5,30	C	Mulig inj.masse 17,80.18,00		
3755	17		C			
		6,40	C			
3754	16		C			
		6,20	C			
3753	15		C		Granitt med store feltspatøyne	Knust og oppsprukket, ca 15 sprekker/meter
		3,70	D			
3752	14		D			
		3,00	D	Særs dårlig sone 13,40-14,00		
3751	13		D			

			D			
3750	12	6,00	C		Granitt med store feltspatøyne, ca 20% innhold av amfibolitt	Ca 3 sprekker pr meter.
			C			
3749	11	6,20	C			
			C			
3748	10		C			
		5,00	C			
3747	9		C			
			C			
3746	8	7,50	C			
			C			
3745	7	5,00	C		Granitt med store feltspatøyne, ca 40% innhold av amfibolitt mot normalt 20%. Kalsitt i sprekker?	Oppsprukket berg, ca. 10 sprekker pr. meter
			C			
3744	6		C			
		0,08	F			
3743	5		F	5,30 - 3,80 mangler		
			F	5,30 - 3,80 mangler		
3742	4		F	5,30 - 3,80 mangler		
			F	5,30 - 3,80 mangler		
3741	3	0,06	F			
			F			
3740	2		F	2,55 - 1,70 mangler		
			F	2,55 - 1,70 mangler		
3739	1	0,08	F			
			F			
		0,06	F			

# Vedlegg 3:

Fagrappport injeksjon fra Knut Garshol





---

## Bjarkøyforbindelsen

### Injeksjonsprosedyre for industrisement

---

#### Innledning

En lavhastighetszone funnet ved seismiske undersøkelser (sone nummer IX) er registrert mellom pel 3340 og 3370 med hastighet 3800 m/s. Senter av sonen synes å ligge rundt pel 3745 og i dette området er det injisert ca 160 t sement via 18 overlappende skjerm boret fra flere forskjellige pelnummer (3714, 3729, 3734 med 13 skjerm fra pel 3738).

Under møte på byggeplass 14. mars 2016 ble det bestemt å benytte bare mikrosegment for videre driving og injeksjon under tilsvarende vanskelig forhold angående grunnvannskontroll. Pelnummer for neste sonderboring/injeksjonsskjerm ble fastlagt til ca. pel 3746. Tiden fram til alt vil være klart for injeksjon fra pel 3746 ble vurdert som for kort til å forsyne anlegget med egnet mikrosegment. Det må derfor brukes industrisement i mellomtiden, i den grad det trengs for å unngå forsinkelser.

Etter diskusjon om injeksjonsteknikk under møtet, ble det bestemt at en oppdatert injeksjonsprosedyre for bruk av industrisement skulle utarbeides i tide for start av injeksjon fra pel 3746. Det etterfølgende memo gir hovedtrekkene og prinsippene for denne oppgaven.

#### Boring av hull

##### Generelt

Under vanskelige forhold lønner det seg å benytte kortere hull og å gå med mye overlapp mellom skjermene da dette gir redusert konduktivitetskontrast og bedre fordeling av injisert masse på sprekker av forskjellig størrelse. Det anbefales hullengde på ca 15 m, med start av neste skjerm når stoffen er drevet fram halvparten av dette, dvs ca 7,5 m. Fra pel 3746 er det indikasjoner på bedre berg ca. 15 m lenger fram og om nødvendig bør hullene spesielt i høyre side forlenges noe for å nå inn i bedre berg.

Hvis det påtreffes meget stor lekkasje (mer enn 200 L/min) før planlagt lengde er nådd, bør hullet stoppes der vannet ble påtruffet. Hvis andre sonderhull eller hull i samme injeksjonsomgang ikke treffer mye vann, bores disse til planlagt lengde.

*Jfr 12 og 14, 5 m*

Sonderhull trigger injeksjon hvis det påtreffes mer enn 10 L/min innlekkasje fra et enkelthull, eller mer enn 15 L/min i sum fra 2 hull. Det bør rutinemessig bores 4 sonderhull.

## Vasking av borhull

Vær nøye med å spyle hullet rent for borkaks og eventuelt finstoff i berget ved å bruke full mating av vann gjennom borkronen mens den kjøres inn og ut i borhullet etter behov.

## Antall hull og hullretning

Det bør rutinemessig brukes minimum 4 sonderhull. Etter måling av vannlekkasje fra disse, som overstiger vedtatt akseptabel grense for videre drift uten injeksjon, bores det ytterligere 8 hull fordelt rundt periferien (ikke glem sålen). Disse 12 hullene utgjør hull for første injeksjonsomgang og plasseringen av de 4 sonderhullene må tilpasses slik at de passer inn i 12-hullsmønsteret med rimelig like avstander mellom hullene.

Bruk utstikkvinkel for alle hull for å oppnå 6 m teoretisk avstand til tunnelkontur på odd. Hvis hullengden av noen grunn endres, husk på å endre hullvinkelen slik at hullet likevel ender 6 m fra kontur.

$$6 \text{ på } 15 - 6/18 = 3/5 = 1/2,5$$

Etter injeksjon av første trinn (12 hull), må det bores 4 kontrollhull, som måles for innlekkasje som basis for avgjørelse om videre drift eller mer injeksjon. De 4 kontrollhullene fordeles rundt konturen og bores mellom hull fra første trinn (split spacing). Hvis injeksjon blir initiert, bores det injeksjonshull midt mellom alle 12 hull fra første trinn. Hvis ikke, injiseres de 4 kontrollhullene og videre fremdrift kan startes.

Etter andre trinns injeksjon må det igjen bores 4 kontrollhull. Denne gangen bør hullene plasseres etter skjønn basert på hvor det ble påtruffet mest vann og/eller hvor det gikk mest sement. Det er heller ikke noe i veien for å bruke mer enn 4 kontrollhull om det skulle være noen tvil. Hvis videre injeksjon blir initiert har det ingen hensikt å foreskrive videre hullplassering eller hullantall i denne prosedyren da dette må vurderes på basis av informasjon fra gjennomføring av første og andre injeksjonsomgang samt hva kontrollhullene indikerer.

## Plassering av pakkere

Sett pakker 2 til 3 m inn i borhullet og ved bruk av engangspakkere med innebygd returstop, sett en stift i ventilen slik at eventuelle forbindelser mellom injeksjonshull blir synlige ved at sementmasse eller farget vann kommer ut av nabohull. Slike forbindelser må noteres og injeksjonen må tilpasses disse observasjonene.

Et alternativ til å sette stift i pakkerventilen er å vente med å sette inn pakker til hullet skal injiseres, eller til det kommer injeksjonsmasse ut av hullet fra et annet hull. Faren med dette er at injeksjonsmasse vil virke som smøring og pakkere vil ha mye lettere for å gli i hullet når trykket blir høyt. I alle fall anbefales det å benytte en sikringswire som trekkes gjennom egnet øye på hver pakker. Hvis en pakker skulle plutselig blåse ut av hullet, vil den stoppes av wiren (som er forankret via nabo-pakkere) og dette vil forhindre at noen blir truffet og skadet.

Hvis stoffen står i meget svakt berg med mye sprekker og leire, bør det bores inn et hull med større diameter til 5 til 6 m dybde, stort nok til å støpe inn et rør som tillater at hullet bores videre med normal borkrone gjennom røret (stand-pipe). Hvis det så påtreffes mye vann under



høyt trykk kan man sette pakker i røret, eller skru på en kran på enden av røret og stenge. I begge tilfeller utsettes ikke stoffen for høyt vanntrykk nær overflaten og man unngår problemer med pakker som lekker pga ujevnt hull og utfall fra hullvegg. Uten slik teknikk risikerer man å miste kontrollen over innlekkasjen og kanskje også stabiliteten av stoffen.

## Injeksjon

### Generelt

Også ved bruk av industrisement må det tas sikte på injeksjonsmasse med null eller minimal separasjon, samtidig som det ved hjelp av egnet vannreducerende tilsetning oppnås lav viskositet. Målet er at sprekkevolum som er fylt med injeksjonsmasse skal forbli 100% fylt (ingen residualkanal pga separasjon) uansett om man stopper pumping før oppnådd maksimaltrykk eller ikke man får god inntrengning i små sprekker pga god flyt og stabilitet.

*Det høyeste akseptable v/s-tall der ovenstående egenskaper oppnås må fastlegges ved test på anlegget.*

### Test av høyeste v/s-tall og andre viktige parametre

Det som trengs for å teste er:

- Fersk industrisement.
  - Vannreducerende tilsetningsstoff, helst naftalen-basert (sjekk hos Normet eller BASF). Typisk dosering 3 til 5% av semenvekten.
  - Kolloidkvern på injeksjonsutstyret (klart best for skikkelig blanding, mens kraftig stavmixer og lang nok blandetid for småkvanta kan være akseptabelt).
  - Høy og slank målesylinder for måling av separasjon. Eventuelt kan man bruke et klart plastrør eller slange der lengden er minst 25 ganger innvendig diameter.
  - Utstyr for måling av Marsh Cone viskositet målt på 1 L blandet masse.
1. Etter blanding av prøve, fyll målesylinder med masse, mål samlet høyde av injeksjonsmasse i sylindren, noter tiden og dekk toppen av sylinder (eller rør) for å hindre avdamping av vann. Mål høyde av fritt vann over sement i sylinder etter 1 time, 2 timer osv til massen har første stivning.
  2. Mål Marsh Cone viskositet (utstrømningstid i sekunder for 1 L masse).
  3. Sett av begerprøver for måling av stivnetid.

Gjennomfør punktene 1 til 3 for blandinger med v/s-tall 1,0 – 0,9 – 0,8 – 0,7 og 0,6.

På basis av testresultatene må det avgjøres hvor høyt maksimalt v/s-tall som kan benyttes uten å overskride 3% separasjon på noe tidspunkt fra blanding til første stivning. Dette v/s-tallet (A) skal velges som tynneste blanding for bruk, mens 4 gradvis tykkere blandinger skal ha v/s-tall stegvis 0,1 mindre enn den foregående slik at man har 5 standardblandinger å velge mellom benevnt A til E fra lettflytende til tykkeste.

## Blanding av masse

- i. Satsen blandes i kolloidkvern.
- ii. Tilsett alt vannet for ønsket blanding i kolloidkverna.
- iii. Tilsett all sementen for blandingen, *gradvis*.
- iv. Tilsett vannreducerende middel.
- v. Kjør kolloidkverna i 3 minutter. Ikke overskrid blandetiden da man kan få varmgang i massen og for tidlig setting. Ikke stopp blandingen for tidlig da dette gir ustabil masse og dårligere resultat av utført injeksjon.
- vi. Etter 3 minutt blanding, overfør satsen umiddelbart til omrørertanken. Følg med på forbruk av masse og ikke start blanding av neste sats før tidligere sats er nær utpumpet (hvis ikke pumpehastigheten er høy). Blanding i omrører skal være så fersk som mulig.

## Bruk av akselerator

Det inntreffer at det oppstår ukontrollert lekkasje tilbake til tunnelen gjennom sprekker i stoffen eller andre steder i periferien. Det kan også hende at et borhull er i kontakt med en ekstremt stor punktlekkasje. I begge tilfeller kan det være fordelaktig å akselerere bruket til å sette raskere enn normalt. I det første tilfellet for å stoppe tap av sement tilbake inn i tunnelen og i det andre tilfellet for å stoppe spredning av sement utenfor hvor den kan gjøre noen nytte for tunnelen. Høy tidligfasthet kan også være nødvendig ved stort vanntrykk og store sprekker for å slippe ventetid og redusere risikoen for utblåsning når stoffen drives fremover.

Det bør brukes en alkalifri akselerator av den typen som tilsettes ved våtsprøyting av betong, men gjerne uttynnet 50/50 med vann. Akselerator må tilsettes på pakken via separat pumpeledning. Dosering vil typisk være i området 1-5% avhengig av v/s-tall i massen og hvor rask reaksjon som ønskes. Effekten av akseleratordosering vil være best ved de laveste v/s-tallene.

## Stopkriterier

Når injeksjon starter på et hull må det være fastlagt på forhånd når hullet skal anses ferdig injisert. Normalt baseres dette på to kriterier:

- i. Stop når det ikke går inn mer masse ved fastsatt maksimalt trykk. Dette betyr at pumpehastigheten er nær null trass i fullt trykk, eller
- ii. Maksimum kvantitet er nådd, uansett hvilket trykk som er oppnådd

Avhengig av hva som inntreffer først. Et maksimaltrykk på 80 bar anses tilfredsstillende for det resultat som tilsiktes i dette tilfellet. Avhengig av hullengde og hvor mye innlekkasje man får fra et hull, kan grensen for pumpet volum variere i området 2000 til 5000 L.

## Injeksjonsprosedyre

- i. Start injeksjon i sålehull og arbeid oppover mot hengen. Hvis det er hull i stoffen som gir vesentlig mer vann enn de andre, skal dette eller de hullene likevel injiseres først, før man begynner i sålen. Hvis det oppstår forbindelse til ett eller flere andre hull fra det som injiseres i øyeblikket, skal disse injiseres samlet (ved å veksle mellom dem, eller

- pumpe med mer enn en Pumpe) og stopp på kvantitet skal være antall hull i gruppen multiplisert med maksimal mengde for enkelthull.
- ii. Et hull (eller gruppe av hull med forbindelse) stoppes når maksimalt trykk er oppnådd ved mindre enn 2 L/min inngang, eller når maksimal kvantitet er nådd (se over).
  - iii. Oppstår det lekkasje gjennom stuffen, reduser pumpehastigheten og man starter dosering av akselerator på pakken. Gi akseleratoren noen minutter til å reagere og øk doseringen gradvis til lekkasjen begynner å minke for alvor. Da kan man forsøke å stoppe dosering av akselerator mens injeksjonspumpen fortsetter å arbeide. Oftest vil lekkasjen stoppe og hullet kan avsluttes på normal måte. Om nødvendig brukes det enda mer akselerator etter behov.

**Alle hull startes** uansett med minst en sats av blanding A.

**Hull med innlekkasje 0-15 L/min (kvantitetsstopp 2000 L):**

Fortsett med A så lenge det observeres trykkstigning.

Uten trykkstigning, bytt til B ved totalt 500 L og fortsett med B så lenge det observeres trykkstigning.

Uten trykkstigning med B, bytt til C etter totalt 1000 L og fortsett til stopp trykk eller kvantitet.

**Hull med innlekkasje 15-50 L/min (kvantitetsstopp 3000 L):**

Fortsett med A så lenge det observeres trykkstigning.

Uten trykkstigning, bytt til B ved totalt 500 L og fortsett med B så lenge det observeres trykkstigning.

Uten trykkstigning med B, bytt til C etter totalt 1000 L og fortsett med C så lenge det observeres trykkstigning.

Uten trykkstigning med C, bytt til D etter totalt 1500 L og fortsett til stopp trykk eller kvantitet.

**Hull med innlekkasje 50-100 L/min (kvantitetsstopp 4000 L):**

Bytt til B etter en sats A.

Fortsett med B så lenge det observeres trykkstigning.

Uten trykkstigning med B, bytt til C etter totalt 1000 L og fortsett med C så lenge det observeres trykkstigning.

Uten trykkstigning med C, bytt til D etter totalt 1500 L og fortsett til stopp trykk eller kvantitet.

**Hull med innlekkasje > 100 L/min (kvantitetsstopp 5000 L):**

Bytt til C etter en sats A.

Fortsett med C så lenge det observeres trykkstigning.

Uten trykkstigning med C, bytt til D etter totalt 1000 L og fortsett med D så lenge det observeres trykkstigning.

Uten trykkstigning med D, bytt til E etter totalt 2000 L og fortsett til stopp trykk eller kvantitet.

[De forskjellige kvantitetsgrensen gitt over kan justeres så de passer med normalt volum av hele blandings-satser av A, B osv]

## Nødvendig dataregistrering

Følgende informasjon bør som et minimum være tilgjengelig etter injeksjon:

- i. Generelle data som Pelnr. for stoffen, dato, tid og skift, navn for den som logger, antall og lokalisering av hull, og målt innlekkasje fra hull.
- ii. Per hull: Hullnr. Hullengde, dybde pakkerplassering, injeksjonsblanding brukt, trykk og masseflyt fra start til stopp, forbindelser, lekkasjer og annet spesielt å notere.

Kontinuerlig elektronisk registrering av trykk, masseflyt og total mengde anbefales.

## Setting og tid for neste aktivitet

Etter en omgang med injeksjon ønsker man å bore kontrollhull tidligst mulig for å spare tid. Det er derfor nødvendig å holde rede på hvor fort man oppnår første sett for den eller de blandingene som er pumpet inn. Derfor bør man også holde rede på hvor og når man avsluttet injeksjonen og starte ny boring så langt vekk fra siste injeksjonshull som mulig.

Videre er det større risiko for punktering jo høyere trykk og jo større kanaler man har injisert på. Hvis man bruker akselerator for å korte ned settingtiden, må man være oppmerksom på at normalt er ikke all massen akselerert.

Hovedregelen må være at man tar prøver i plastbeger av de kritiske blandingene (sist innpumpet) og følger med på hvordan reaksjonen er under de temperaturforhold man har i tunnelen.

Med vennlig hilsen

K. Garshol Rock Engineering Ltd

Knut Garshol  
Geol. Engineer

Uddevalla, Sverige 17 mars 2016



## Maksimal utnyttelse av akselerator – et alternativ

All injeksjon på lange hull utsettes for effekten av konduktivitetskontrast. I praksis betyr det at borhullet typisk krysses av kanaler med varierende åpning og konduktivitet og faktoren kan godt være  $10^4$  fra de små til de største kanalene. Når hele hullet trykkes medfører dette at den eller de store kanalene tar praktisk talt all massen og ofte uten at det bygges trykk å snakke om i første injeksjonsomgang.

Tradisjonelt, forsøkes det å motvirke dette ved å gjøre massen gradvis tykkere, slik at det etterhvert oppnås mottrykk, men den tykkere massen har dårligere inntrengningsevne og når trykket endelig går opp er de mindre sprekkene oftest blokkert i åpningen til borhullet. Med denne teknikken får man høyt trykk umiddelbart rundt borhullet, men den tynnere massen lengre unna trykkes ikke da det kreves mindre trykk for å skyve den utover.

Det viktigste hjelpemiddelet for å redusere kontrasten og derved få en jevnere fordeling av injisert masse er bruk av flere injeksjonsomganger. Det er derfor det her er foreslått bare 12 hull i første omgang (som homogeniserer det bergvolumet som skal behandles ved først å fylle de største kanalene). Når det så bores mellomhull, vil disse hullene ha en sterkt redusert konduktivitetskontrast. De neste 12 hullene får derfor inntrengning på mindre kanaler enn i første omgang. Ved å splitte i 2 x 12 hull blir resultatet derfor vesentlig bedre enn hva som kan oppnås med en enkelt-omgang med 24 hull.

Ved riktig bruk av akselerator (brukt med egnet sement, typisk en ren Portland mikrosegment), kan effektiviteten økes betraktelig. Alle hull startes ved å smøre opp med en sats av blanding A (det høyeste v/s-tallet som ikke gir separasjon). Deretter sendes avgårde en sats eller to tilsatt akselerator dosert for å gi en stivnetid på eksempelvis 30 minutter. Umiddelbart bytter man tilbake til masse *uten* akselerator. Det som skjer da er at lavviskøs masse trykker mot en front som etterhvert begynner å stivne (primært i de store kanalene) og dette gir etterhvert mottrykk. Forskjellen er at nå virker det trykket man leser ved utstyret på hele injeksjonsvolumet innpumpet så langt og *ikke* bare på den tykke massen sist innpumpet, som er lokalisert umiddelbart rundt borhullet.

Dette nevnes til informasjon og overveielse for senere, da LNS har utstyr på byggeplassen som kan dosere akselerator gjennom slange direkte til pakker. Det ville derfor være praktisk mulig å gjennomføre injeksjon med denne teknikken om man skulle få tilsvarende vanskelige forhold lengre frem, som allerede påtruffet i tunnelen. Gjøres dette i kombinasjon med mikrosegment er det høyst sannsynlig at eksempelvis de erfarte 18 omganger med injeksjon kunne reduseres til mindre enn det halve, selv under samme forhold.

KFG

# Vedlegg 4:

## Injeksjonsprosedyrer og resepter

Prosedyre sonderboring

Injeksjonsprosedyre for Kværnsundtunnelen, Bjarkøyforbindelsen.

Injeksjonsskjerm

Prinsipp for kontroll av injeksjonsboring ved liten bergoverdekning

## SONDERBORING I BJARKØYTUNNELEN

Bjarkøytunnelen er undersjøisk forbindelse mellom øyene Grytøya og Bjarkøya i Troms fylke. Tunnelen utgjør en del av Bjarkøyforbindelsene og er 3250 meter lang med et teoretisk sprengningstverrsnitt på 67 m<sup>2</sup>. Under følger gangen og prosedyren før, under og etter produksjon av injeksjonsskjerm(er).

I utgangspunktet skal hele den undersjøiske delen av Bjarkøytunnelen undersøkes systematisk med sonderboringer foran stoff, dvs mellom profil 2 380 – 5 180. Dette gjelder også svakhetssonene langs hele traseen. Vi har finregna på dette og kommet fram til følgende:

1. I HB N500, kapittel 7 heter det: «Ved driving inn mot svakhetssoner etableres en undersøkelses- og sikringssone **minimum 15 m foran svakhetssonen**. Her startes sonderboring, forbolting og eventuell injeksjon».
2. Dette betyr at vi bør starte med sondering i profil **2350 og avslutte i profil 2400** (under bekken i profil 2370 - 2380). Bore **to sonderhull**, som skal plasseres i høyre og venstre side i overgangen vegg – vederlag. Usikker på lengder og evt. overlapp. Injeksjon koster 200.000 – 400.000,- pr. omgang. Ved mye lekkasje fra bekken må det vurderes om det er mer hensiktsmessig med tetting fra dagen. Kanskje grave bort løsmassene i bekken, for så å tette med betong/leire i bunnen av den.
3. Dette betyr også at vi bør starte med sonderboring i profil og **2430 og avslutte i profil 2500** (ved passering av myra i profil 2440 – 2490). Bore **minimum fire sonderhull**, to i vederlag og to lavt i stoffen. Dette gjøres både mhp vannlekkasjepotensiale og for å undersøke bergoverdekningen, som er viktig for injeksjonsprosedyren. (Se geologirapport kapittel 5.9 og relevant kontraktprosess). Ved liten bergoverdekning må det bores tettere og med mindre stikning. Aktuelt med kortere skjerm, f.eks. 18 meter. **MWD data fra sonder (og evt. injeksjonsboring) blir viktig her**. Her må en ha **tett oppfølging** og uttegning av detaljerte lengdeprofil, håndtegnet i **M 1: 100 eller 1:200 er nødvendig**.
  - a. Det er her også nødvendig å bore sonderhull fra heng mot overflaten for å forsikre seg om at det er nok bergoverdekning under myra. Hullene bores med større stikning enn vanlig sonderhull. Eksakt plassering og stikning etter uttegning av detalj lengdeprofil. Detaljer i opplegget er også avhengig av hvor stoffen kommer inn mot myra.
4. Profil 2500 – 2530 (under granittknausen). Bore to sonderhull. Følge prosedyre som i punkt 1.
5. Profil 2530 – 2660 (under den lengste myra). Bore fire sonderhull. Følge prosedyre som i punkt 2.
6. Profil 2660 – 3000 (mot sjøkanten). Bore to sonderhull.
7. Profil 3000 – 4600 (mot Bjarkøya). Bore fire sonderhull.
8. Profil 4600 – 5250 (påhugget på Bjarkøya). Bore minimum fire sonderhull.

Opplegget må selvsagt vurderes fortløpende og ut fra erfaringer, samt hva det står i kontrakten.

20 liter er bak stoff. Hva er grensen fra sonderhullene? Disse grensene kan vurderes undervegs.

# INJEKSJONSPROSEDYRE FOR BJARKØYTUNNELEN

Bjarkøytunnelen er undersjøisk forbindelse mellom øyene Grytøya og Bjarkøya i Troms fylke. Tunnelen utgjør en del av Bjarkøyforbindelsene og er 3250 meter lang med et teoretisk sprengningstverrsnitt på 67 m<sup>2</sup>. Under følger gangen og prosedyren før, under og etter produksjon av injeksjonsskjerm(er).

## 1. KRITERIA FOR IGANGSETTING AV INJEKSJON:

Injeksjon igangsettes normalt når innlekkasjen for ett eller flere av sonderhullene overstiger det/de krav som er oppgitt i kontrakten. For Bjarkøytunnelen gjelder 20 l/min pr. 100 meter totalt, eller 10 l/min i ett hull eller 15 l/min i to hull. Disse kravene kan endres av Byggherre. Total innlekkasje og vurdering av lekkasjebildet i området vil også være bestemmende for når injeksjon skal igangsettes. Grensen for sonderhullene er 10 og 15 l/min.

## 2. TESTING AV SEMENT/MØRTEL:

Kvalitetskontroll av sementen utføres ihht NS-EN 12715, kapittel 9.3.6 og kapittel 10. Vanlige testmetoder er «bleeding», «mudbalance», «Marsh-cone» og herding. Herding gjøres på stoff med kopp for de respektive v/c-tall.

## 3. BORING AV INJEKSJONSSKJERM:

Standardskjerm:

- a. Hullengde 24 meter. Normal skjermavstand er 15m (der 24-metersskjerm). Brukes 18-fotsstenger, ca. 5 meter.
- b. C/c = 1,5 meter. Dette er vanlig og mest brukt.
- c. Stikning 5 – 6 meter i heng og vegger. 6 – 7 meter i sålen.
- d. Stikningen og antall borehull må ta hensyn til utvidelse der vi har f.eks. havarinisjer. Entreprenøren lager boreplan for skjerm, tunnel og nisjer. Vi bør derfor ha rede ca. 4 borplaner.
- e. Det bores evt. i tillegg 3 – 9 hull i stuffen, som angitt i gjeldende borplan. Hull i stuffen skal framkomme av boreplan for skjerm.
- f. Hull fra sonderboring skal inngå i injeksjonsskjerm.

Det skal normalt bores full skjerm og standardskjerm som beskrevet over. Ved konsentrert lekkasje i for eksempel ei side kan Byggherre bestemme at det bare skal bores del(er) av injeksjonsskjerm. Dette er svært sjelden.

Dersom det er problemer med å oppnå hullengde på 24 meter, kan lengden etter bestemmelse fra Byggherre reduseres, for eksempel 21 meter.

Dersom det skulle bli stor lekkasje kan det være aktuelt å bore noen ekstra hull. Dette må vurderes under boringen.

Det anbefales å plassere pakkere 1, 5 – 2,5 meter inn i hullene. Vi ønsker derfor at pakkere skal plasseres *minimum 2 meter inn* i hullene. Dette kan justeres for eksempel der vi får dårligere bergmassekvalitet.

## 4. INJEKSJON:

Injeksjonen starter nederst i profilet. Injeksjonstrykk skal være mellom 25 - 80 bar og avhengig av overdekningen, se tabell 1. Det må unngås overboring!

I en standardskjerm skal det bores og injiseres i 28 hull. Under injeksjonen skal innpumpingshastigheten **ikke** overstige 40 liter/min.

Injeksjonsarbeidet skal organiseres slik at en påbegynt injeksjonsomgang **ikke** skal avsluttes før den er fullført, hvis ikke annet er avtalt med Byggherre.

Injeksjonsskjermen skal kontrolleres med kontrollhull (punkt 7) etter at den er ferdig produsert.

**Tabell 1:** Forhold mellom antall meter bergoverdekning og injeksjonstrykk.

BERGOVERDEKNING	MAX INJEKSJONSTRYKK (BAR) I BORHULL I HENG OG VEGG, CA. 4 METER OVER SÅLE*	MAX INJEKSJONSTRYKK (BAR) I BORHULL I SÅLE OG I STUFF
5 - 15 meter	40	60
> 15 meter	80	80

\* Lavt i vegg og høyt i stuff, dvs ca 4 meter over såle. Eller lage ei linje tvers over stuff på boreplan.

Det skal i utgangspunktet benyttes industrisement. I spesielle tilfeller skal annen sement, mikrosegment og akselerator benyttes. Dette bestemmes av Byggherre. Type sement kan bli endret basert på erfaring fra injeksjonsarbeidene. Injeksjonen skal utføres etter følgende opplegg gitt i tabell 2:

**Tabell 2:** Reseptplan for bruk av industrisement under normale forhold.

RESEPT NR.	TYPE SEMENT	MENGDE
1; v/c = 0,8	Industri- og/eller mikrosegment	ca. 500 liter
2; v/c = 0,7	Industri- og/eller mikrosegment	ca. 500 liter
3; v/c = 0,5	Industri- og/eller mikrosegment	ca. 500 liter

Det anbefales å legge inn pause mellom resept 2 og 3. Injeksjonstrykket skal ikke overstige 80 bar. Trykket er minst der bergoverdekningen er minst, se tabell 1. Med bakgrunn i de gjeldende bergforhold, lokal geologi og erfaring fra injeksjonen kan **reduksjon** i trykk vurderes. Oppnådd mengde mørtel i hvert hull skal være inntil maksimalt 1500 liter. *NB! Trykk er hovedbestemmende som stoppkriterium.* Maksimale mengde mørtel i hvert hull må *også* ta hensyn til at det kan være kommunikasjon mellom flere hull.

- Vi starter med Resept nr. 1 med v/c-tall 0,8 og med mengde mørtel lik 500 liter i hvert hull. Det viktigste er at man her i prosessen får ei *trykkstigning* opp til gjeldende maksimaltrykk. Er trykkstigninga akseptabel, så fortsetter man med denne samme blandinga, dvs Resept 1. Om vi ikke får *noen* eller *for liten* trykkstigning, så går vi over på tykkere mørtel, dvs punkt B, under.
- Vi fortsetter her med Resept B, dvs v/c-tall lik 0,7 med mengde mørtel lik 500 liter. Prosessen gjentas som i A. Om vi ikke får *noen* eller *for liten* trykkstigning, så går vi over på tykkere mørtel, dvs punkt C. under.
- Vi fortsetter her med Resept C, dvs v/c-tall lik 0,5 med mengde mørtel lik 500 liter. Prosessen gjentas som i A og B. Om vi ikke får *noen* eller *for liten* trykkstigning, så skal det benyttes **styrt herding** med akselerator.

Her er det stoppkriteriene som avgjør, altså stopptrykk på 80 bar og stoppmengde mørtel pr hull på 1500 liter. Kommer vi utover disse tallene skal mørtelen herdes. Ved bruk av akselerator (herding) brukes mikrosegment. De siste 200 liter bør være mikrosegment for å få best resultat pga utgang, lavt mottrykk ol. Herding kan gjøre at vi ikke får fylt sprekkene lengst unna stuff da hullet/hullene herdes for tidlig.

Ved utganger i stuff skal utgangen primært forsøkes å stanses ved bruk av lavt v/c-tall og ved at man lar hullet «hvile», og går videre til andre hull før man vender tilbake til det hullet som ikke fikk full trykkoppbygging. Dersom dette ikke er tilstrekkelig for å stanse utgangen, skal injeksjonsmasse med styrt herding vurderes.

Det skal vurderes bruk av mauring i stedet for styrt herding. Byggherre kan be entreprenør bruke mauring for å oppnå stoppkriterier.

Ved avslutning pga. oppnådd trykkoppbygging kan resterende blanding tynnes ut for bruk på neste hull.

Mengden som pumpes inn ved hver blanding som vist i tabell 2, må vurderes av entreprenør sammen med Byggherre under injeksjonen og tilpasses de rådende forhold som geologi, sprekker, vann osv.

**5. STYRT HERDING:**

Styrt herding bestemmes av Byggherre. Et normalt anslag kan være 3 – 20 minutter.

**6. EKSTRA VENTETID:**

Ekstra ventetid i tillegg til en time nedrigg kan eventuelt bestilles av Byggherre i hvert enkelt tilfelle. Kontrakten sier 60 minutter (prosess 31.61).

**7. KONTROLLHULL:**

Eventuelle kontrollhull kan bli bestilt av Byggherre i hvert enkelt tilfelle. Kontrollhull bores etter første salve etter injeksjon, og må slutte godt innenfor skjerm lengden. Det bores rett fram langs traseen fra stoff i maksimalt 14 meters lengde, **innafor** skjermens lengde. Er det vann over en gitt grense her, skal det vurderes ny skjerm.

**8. VANNTAPSMÅLINGER:**

Kontrollhull og hull for vanntapsmåling skal ikke injiseres med mindre dette er avtalt med Byggherre i hvert enkelt tilfelle. De kan gyses med boltemørtel.

**9. VED PUNKTERING AV SKJERM:**

Dersom skjermen punkteres under boring av kontroll- eller salvehull, skal hullet plugges med pakker(e), evt. injisere, selv om det vanligste er at bolter punkterer skjerm. Nødvendigheten av dette må vurderes på stedet i hvert enkelt tilfelle.

Det skal bores ny salve – lades, sprenges og lastes ut noe som normalt tar 6 – 8 timer + nedrigging etc. Da skal sementen ha herdet, 1 time ekstra har derfor **liten** hensikt. Lekkende boltehull injiseres i neste injeksjonsomgang eller fylles med boltemørtel. Alternativt kan bolter med injeksjonsmulighet benyttes. Dersom det er mye lekkasje fra salvehull må ny injeksjonsomgang vurderes.

*Finn Sverre Karlsen*

*Geolog*

# Drill Plan

Extended round report

## Project

Company	Default
Site	Bjarkøyforbindelsen
Tunnel	10000
Face	Bjarkøy
Comment	Injeksjonsskjerm T8,5

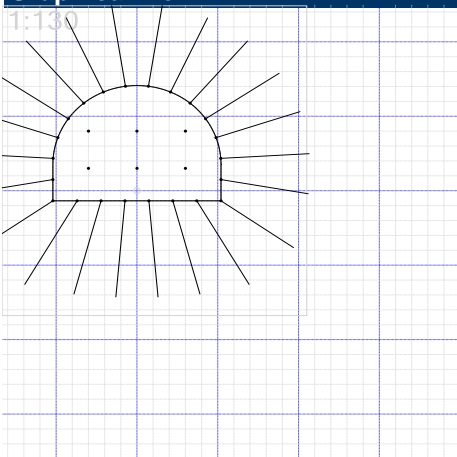
## Round Data

Total Length (m)	672,000
Area contour collar (m <sup>2</sup> )	68,755
Area contour bottom (m <sup>2</sup> )	68,755
Area holes collar (m <sup>2</sup> )	68,238
Area holes bottom (m <sup>2</sup> )	344,374

## Number of holes

Injection	28
=Total	28

## Graphical view



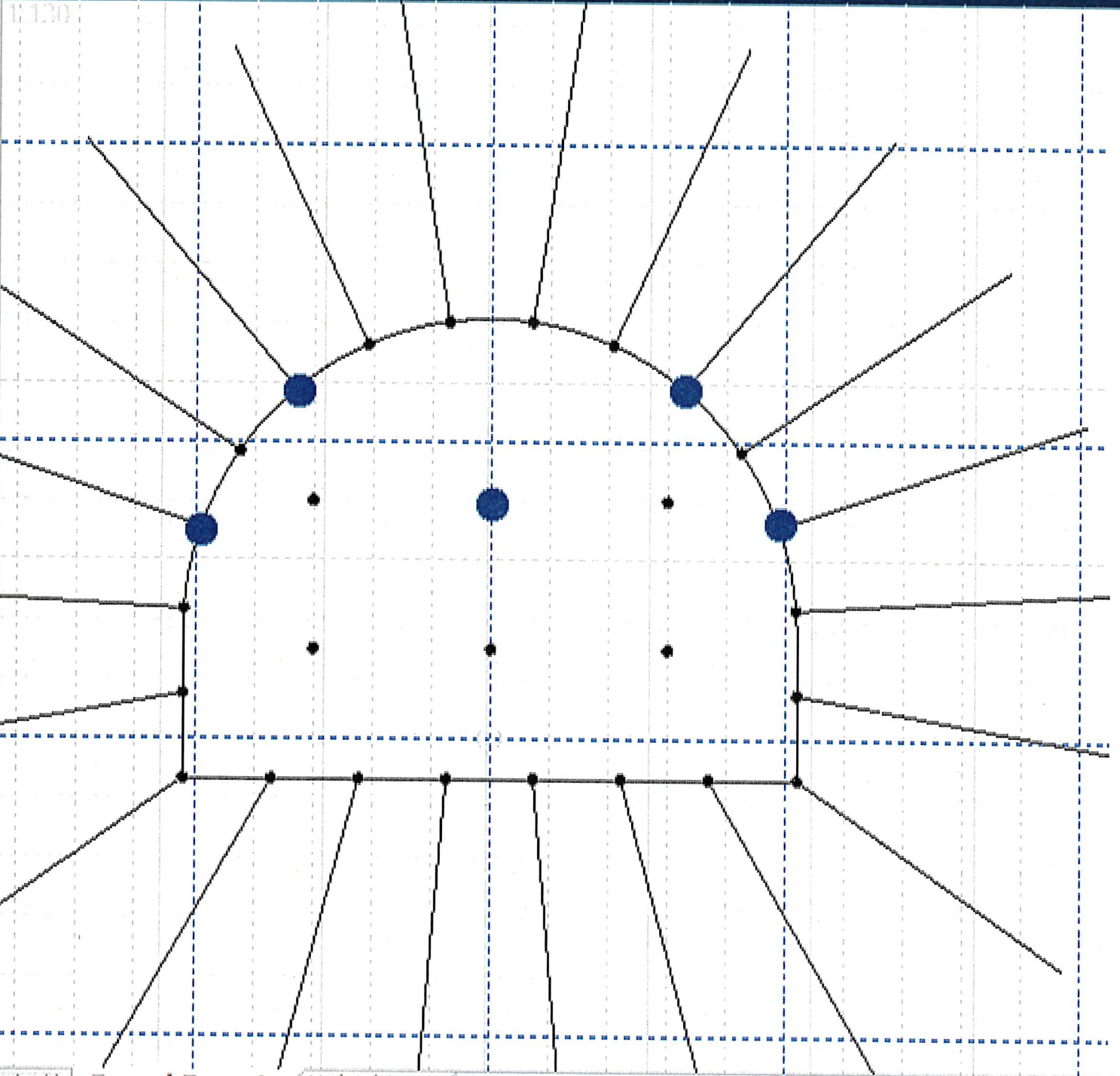


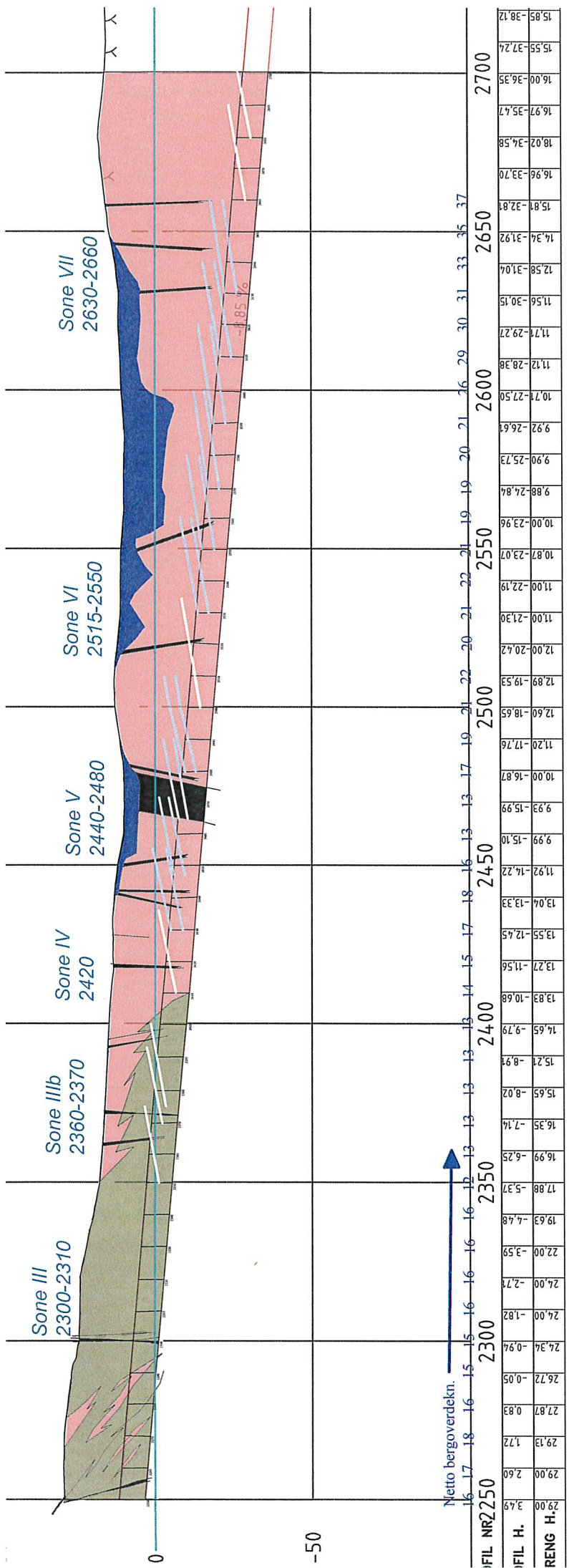
1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65  
66  
67  
68  
69  
70  
71  
72  
73  
74  
75  
76  
77  
78  
79  
80  
81  
82  
83  
84  
85  
86  
87  
88  
89  
90  
91  
92  
93  
94  
95  
96  
97  
98  
99  
100

**Number of holes**

Injection	28
=Total	28

**Graphical view**





Sone VII  
2630-2660

Sone VI  
2515-2550

Sone V  
2440-2480

Sone IV  
2420

Sone IIIb  
2360-2370

Sone III  
2300-2310



Statens vegvesen  
Vegdirektoratet  
Publikasjonsekspedisjonen  
Postboks 8142 Dep 0033 OSLO  
Tlf: (+47) 22073000  
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

**Trygt fram sammen**