

## Frøyatunnelen

Vurdering av injeksjon  
i forhold til Q-parametre



# A



Intern rapport nr. 2261



**Statens vegvesen**



I henhold til NGIs kvalitetssikringssystem, kan NGI kun bli holdt ansvarlig for den signerte versjonen av dette dokumentet. Dette kan på anmodning ettersendes med ordinær post.

Dokumentet må ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Det må ikke leveres til tredjemann uten oppdragsgivers samtykke. Dokumentet må ikke reproduseres.

In accordance with NGIs quality assurance system, NGI can only be held responsible for the signed version of this document. On request, this can be sent by ordinary mail.

This document shall not be used in parts, nor for other purposes than the document deals with. The document shall not be given to a third party without the proprietor's (client's) consent. This document shall not be copied, in parts or in whole.

# Miljø- og samfunnstjenlige tunneler

## Frøyatunnelen- Vurdering av injeksjon i forhold til Q-parametre

20001042-1

25. februar 2002

**Oppdragsgiver:** **Prosjektet Miljø- og Samfunnstjenelige tunneler**

**Kontaktperson:** Kjell Inge Davik, Statens vegvesen, Vegteknisk kontor

**Kontraktreferanse:** Brev datert 2/3/2001

### **For Norges Geotekniske Institutt**

**Prosjektleder:** Vidar Kveldsvik

**Rapport utarbeidet av:** Rajinder Bhasin

**Kontrollert av:** Fredrik Løset

**Arbeid også utført av:** Anette Wold Hagen  
Øystein Nordgulen (NGU)  
Alvar Braathen (NGU)

## Sammendrag

Formålet med dette arbeidet er å gjennomføre analyser av vannlekkasjer og injeksjon sett i forhold til de ingeniørgeologiske forhold i Frøyatunnelen. Basert på et omfattende litteraturmateriale mottatt fra Frøyatunnelens prosjektledelse, er det blitt gjort en sammenligning mellom Q-verdier, injeksjonsmengde, vannlekkasjer og geologi.

En sammenligning av injeksjonsmengder med bergmassens oppsprekkingsgrad (forholdet  $RQD/J_n$ ) og skjærstyrke (forholdet  $J_r/J_a$ ) viser at når disse to forholdene minker, så øker injeksjonsbehov betraktelig. En tillempet Q-verdi ( $Q_i$ ), basert på oppsprekkingsgrad, skjærfasthet og lekkasjer (l/min) inn i tunnel, kan til en viss grad brukes til å forutsi injeksjonsmengder i Frøyatunnelen.

I tillegg er det en kortfattet en sammenligning av prognose, basert på forundersøkelser, og de faktiske forhold i tunnelen. Dette kan hjelpe til å belyse hvilke av de utførte forundersøkelser som ga mest verdifull informasjon sett i forhold til erfaringene under driving.

## Innhold

1	INNLEDNING .....	5
2	BERGGRUNNEN RUNDT FRØYFJORDEN.....	5
	2.1 Deformasjon rundt Frøyafjorden .....	6
3	KORT OM GEOLOGI LANGS TUNNELTRASEEN .....	7
4	INJEKSJON .....	8
5	SAMMENLIGNING AV INJEKSJON MED Q-PARAMETRE.....	9
6	VURDERING AV Q-PARAMETRENE SAMMENHENG MED INJEKSJONSMENGDE .....	13
7	TILLEMPET Q-VERDI.....	15
8	SAMMENLIGNING AV PROGNOSE OG FAKTISKE FORHOLD.....	15
9	REFERANSER .....	17

**Figurer 20 stk**

**Kontroll- og referanseside**

---

## Figurliste

- Figur 1a: Situasjonsplan og lengdeprofil med svakhetssoner
- Figur 1b: Geologisk kart over Frøya og Hitra
- Figur 2: Q-verdier og injeksjon langs tunnel
- Figur 3: Sammenheng mellom Q-verdier og injeksjon
- Figur 4: RQD og injeksjon langs tunnel
- Figur 5: Sammenheng mellom RQD og injeksjon
- Figur 6:  $J_n$  og injeksjon langs tunnel
- Figur 7: Sammenheng mellom  $J_n$  og injeksjon
- Figur 8: Sammenheng mellom RQD/ $J_n$  og injeksjon
- Figur 9:  $J_r$  og injeksjon langs tunnel
- Figur 10: Sammenheng mellom  $J_r$  og injeksjon
- Figur 11:  $J_a$  og injeksjon langs tunnel
- Figur 12: Sammenheng mellom  $J_a$  og injeksjon
- Figur 13: Sammenheng mellom  $J_r/J_a$  og injeksjon
- Figur 14:  $J_w$  og injeksjon langs tunnel
- Figur 15: SRF og injeksjon langs tunnel
- Figur 16: Vannlekkasjer og injeksjon langs tunnel
- Figur 17: Sammenheng mellom injeksjonsmengde og vannlekkasjer
- Figur 18: Sammenheng mellom injeksjonsmengde og vannlekkasjer/hullengde
- Figur 19: Sammenheng mellom tillempet Q-verdi og sement injeksjon
- Figur 20: Sammenheng mellom seismiske hastigheter og Q-verdier

## 1 INNLEDNING

Tunnelsambandet Hitra – Frøya er 5300 m langt (Figur 1a). Av de 5300 m går 3600 m under sjøen, der bergoverdekningen varierer fra 37 m til 115 m. Tunnelens sprengt tverrsnitt er 43,8 m<sup>2</sup> og omkrets 28 m.

Det ble utført omfattende geologiske undersøkelser for å bestemme bergmassekvaliteten langs traseen for Frøyatunnelen. Forundersøkelser for prosjektet inkluderer seismiske målinger, kjerneboringer, strukturgeologisk analyse, ingeniørgeologisk kartlegging og studier og tolking av flyfoto samt topografiske- og hydrografiske kart. I byggefasen er det lagt stor vekt på detaljert ingeniørgeologisk kartlegging og dokumentasjon av de faktiske forhold i tunnelen.

NGI har mottatt en omfattende datasamling og litteraturmateriale fra Frøyatunnelens prosjektledelse. Data samlet fra byggefasen danner grunnlag for sammenligning av de forskjellige ingeniørgeologiske parametrene. Disse inkluderer vannlekkasje, injeksjonsmengde, Q-verdi og sprekkemønster.

## 2 BERGGRUNNEN RUNDT FRØYFJORDEN

Berggrunnen på øyene i området består av dypbergarter og metasedimentære bergarter og utgjør til sammen en del av et kompleks med skyvedekker i den kaledonske fjellkjeden. De viktigste bergartene er:

- Omdannede, sedimentære bergarter som skifer, kalkskifer og kalkspatmarmor. Bergartene forekommer i hyppig veksling, men det finnes også bredere kartleggbare enheter der en type dominerer. De har en gjennomgripende foliasjon eller skifrihet som i hovedsak er orientert forholdsvis steilt med et ØNØ-VSV-strøk. Alderen på bergartene er usikker, men antas å være sen-prekambrisk til kambrisk.
- Flere typer dypbergarter er yngre enn og kutter gjennom de sedimentære bergartene. Alderen på disse er bestemt til tidsrommet 450 – 435 millioner år (sen-ordovicium til tidlig-silur).
- I Frohavet, øst for Frøya, finnes jurassisk sandstein og leirstein. Disse bergartene er i hovedsak begrenset av forkastninger og er bevart i blokker som er nedforkastet under ekstensjon i mesozoikum.

På *Frøya* domineres berggrunnen av en middelskornet, lysegrå, tonalitt til granodioritt (Bøe et al. 1992a, Nordgulen et al. 1995). Bergartene er foliert og stedvis protomylonittisk (dvs at mineralene er redusert i kornstørrelse og utdradd til avlange linser parallelt med foliasjonen). Foliasjonen er i hovedsak orientert ØSØ-VSV til Ø-V med fall omtrent 50-75° i sørlig retning. Flere steder finnes avlange linser og kropper av marmor, kalksilikatgneis og skifer; disse er alltid orientert parallelt med foliasjonen i den omkringliggende dypbergarten. De mest framtrædende inklusjonene er flere titalls meter brede og

kan følges flere hundre meter langs strøket. Disse forekommer hyppigst sentralt på Frøya og er mindre vanlig på den sørlige delen av øya. Der finnes det en del mindre, linseformete inklusjoner av amfibolitt og mørk biotittskifer. De fleste steder er bergartene kuttet av granittiske og pegmatittiske ganger og årer.

På **Hitra** finnes det middelskornet dioritt, tonalitt, granodioritt og granitt som til sammen utgjør et stort kompleks av lite deformerte dypbergarter som dekker det meste av øya (Lindstrøm 1995). Lokalt finnes det kropper av gabbro. Langs Frøyfjorden på de nordlige deler av Hitra dominerer glimmerskifer, med mindre innslag av kalkskifer og marmor i veksling. Flere steder finnes yngre, granittiske ganger som skjærer foliasjonen i metasedimentene. Som på Frøya er foliasjonen i hovedsak orientert ØNØ-VSV med vekslende men generelt steile fall.

Bergartenes sterke foliasjon er dannet ved plastisk deformasjon som foregikk ved relativt høy temperatur (>400° C). Denne deformasjonen har påvirket de intrusive bergartene og relateres derfor til kompresjon under innskyvning av de kaledonske dekkene i silur. Yngre deformasjon har påvirket blant annet de devonske bergartene på sørlige Hitra (Bøe et al. 1989) og har sammenheng med sen-silursk til tidlig-devonsk ekstensjon (Braathen et al. 2000, se under).

## 2.1 Deformasjon rundt Frøyafjorden

Den undersjøiske tunnelen under Frøyfjorden, fra Dolmøya til Frøya, krysser en rekke forkastningssoner (se Fig. 1b). Mange av disse sonene ble gjennomboret og prøvetatt i forundersøkellesfasen, enten med kjerneboringer fra land eller fra borefartøy. Under ingeniørgeologisk feltarbeid ble enkelte slike soner også observert i fjellblotninger. Sonene ble senere kuttet av tunneltraseen. Mange av observasjonene er oppsummert i en ingeniørgeologisk rapport fra Kummeneje (1997).

Området har en lang og komplisert tektonisk historie, noe som tydelig gjenspeiles i de geologiske - (Bøe et al. 1989, 1992a, 1993b; Nordgulen & Sundvoll 1995) og ingeniørgeologiske observasjonene (Noteby 1984, 1985). Kaledonske (ca. 430 Ma og eldre) strukturer relatert til innskyvning av store bergartsflak (skyvedekker) har en duktil/plastisk karakter, og er dannet under mediumgrad metamorfe betingelser. Denne deformasjonen ses som øyegneiser og mylonittiske skifere, samt båndete marmorlag.

Den kaledonske dekkepakken kollapset i devonsk tid (ca. 410-390 Ma). Dette vises som store ekstensjonsskjærsoner som kutter gjennom – og fortynner skyvedekkene (f. eks. Braathen et al. 2000). Karakteristisk for sonene er opptreden av kraftig plastisk deformerte bergarter i form av glimmerrik mylonitt og stedvis mylonittisk marmor, med en kornstørrelse som gjennomgående er mindre enn for de kaledonske strukturene. Slike skjærsoner



opptrer hovedsakelig sørøst for Hitra, langs Møre-Trøndelag forkastningskomplekset (f.eks. Grønlie et al. 1994), men kan også påvises rundt Frøyfjorden, eksempelvis i partier av borekjernen fra Dolmøya (BH 4-1; Lothe & Zweigel 1999). I denne kjernen ser en også hvordan mylonittene har lokalisert yngre, sprø deformasjon; brudd, og soner og bånd med kataklasitt følger mylonittfoliasjonen. Disse kohesive og tette forkastningsbergartene er høyst sannsynlig relatert til bevegelser i midtdevonsk til permisk tid (ca. 390-300 Ma), i samsvar med den regionale tektoniske utviklingen (Grønlie et al. 1994; Braathen et al. 2000).

Boringene avslørte utstrakt opptreden av løse, leiraktige og ikke-kohesive forkastningsbergarter i Frøyfjorden, i form av breksjer og forkastningsmel, ofte assosiert med intenst oppsprukket fjell. Mange av disse partiene var dypt vitret og omvandlet, og svelleleire ble påvist i flere kjerner. I en av borekjernene (BH 2; Sættem & Mørk 1996) ble det også påvist planterester, noe som tyder på at den gjennomborete massen i dette tilfellet faktisk er sedimentær, og ikke tektonisk betinget. Dette samsvarer med observasjoner fra de ytterste meterne av BH 4-1, hvor en tektonisk, leiraktig breksje etterfølges av en porøs, finkornet og sandig bergart. Sistnevnte har en sedimentær karakter. Disse observasjonene underbygger at jurabergartene mot nordøst, i Frohavbassenget (Bøe 1991), har utløpere inn i Frøyfjorden. Høyst sannsynlig opptrer disse sedimentene i dag kun langs langstrakte og smale forsenkninger som eksisterte i jura (ca. 200-140 Ma).

### 3 KORT OM GEOLOGI LANGS TUNNELTRASEEN

Bergrunnen langs tunneltraseen består av kambriske- eller prekambriske høymetamorfe gneisbergarter (Lillevik, 1998 og Lien, 2000). Det er tilsynelatende gradvise overganger mellom de ulike gneisbergartene. Strøkretingen er i hovedsak ØNØ – VSV med steilt fall mot NV med unntak av på Frøya hvor fallretningen langs tunneltraseen stedvis er steilt mot SØ og strøkretingen mer Ø-V.

På Hitrasiden er det hovedsakelig en mørk glimmergneis med opptil 30% glimmer. Stedvis har bergarten migmatittisk karakter og forekommer da i veksling med grovkornige granodiorittiske partier med parallellstruktur. På Frøya er det en relativt massiv migmatitt med en hovedkomponent av grovkornig, stedvis pegmatittisk, granodioritt.

Hitra-Frøya ligger i et område av landet som har et markert mønster av forkastninger og svakhetssoner. Svakhetssonene består her i mindre grad av knuste masser, men heller av kjemisk forvitret materiale med konsistens som en kohesjonsjordart dvs. leirholdige masser (svelleleire) med silt og sand med lav fasthet.

Den dominerende oppsprekningen følger skifrihetsplanet / foliasjonsplanet (ØNØ-VSV) i glimmergneisene i søndre del av tunnelen. Sprekke / sleppesoner og dels rene leirsoner danner svakhetssoner som krysser tunnelen. Retningen på sonene er både Ø-V og ØNØ-VSV (dels også NØ-SV).

Det er rapportert (Lien, 2000) at rask sprøyting av salvene medførte at ikke hele tunnallengden ble kartlagt av byggherrens ingeniørgeologer. Omkring 35% av tunnallengden ble dessuten drevet i såpass dårlig berg at det ikke var forsvarlig å oppholde seg fremme ved stoffen før nødvendig sikring var utført.

#### 4 INJEKSJON

For å kunne legge opp til et godt injeksjonsprogram bør en ha utført forundersøkelser som gir svar på flest mulig av følgende punkter:

1. Bergart
2. Oppsprekning
  - a. oppsprekningsgrad
  - b. sprekkeorientering
  - c. i hvilken grad sprekkeene er gjennomsettende
  - d. kommunikasjon mellom sprekkesettene
3. Sprekkekarakteristikk
  - a. sprekkeåpning
  - b. sprekkefylling
  - c. ruhet
4. Spenningstilstand
  - a. totalspenning / retning
  - b. sprekkevannstrykk

Bergmassens beskaffenhet, ut i fra vurdering av de ovennevnte punkter, vil i mange tilfeller være bestemmende ved valg av forinjeksjon. De ovennevnte punkter er også avgjørende for stabiliteten i en tunnel og kan deles i følgende faktorer:

- 1) Oppsprekkingsgrad
- 2) Friksjonsforhold langs sprekker
- 3) Spenningsforhold

Disse faktorer danner grunnlag for Q-systemet som brukes generelt for klassifisering av bergmasser med hensyn til stabilitet i tunneler og bergrom. Metoden er et enkelt redskap for å beskrive bergmasser og kan brukes som veiledning når sikring skal bestemmes. Q-verdien er beregnet ut fra seks bergmasseparametre som parvis gir et uttrykk for de tre hovedfaktorene:

$$\frac{RQD}{J_n} = \text{oppsprekkingsgrad}$$

$$\frac{J_r}{J_a} = \text{bergmassens minimale skjærfasthet}$$

$$\frac{J_w}{SRF} = \text{aktiv spenning}$$

I Frøyatunnelen ble Q-systemet brukt til å bestemme bergmassekvaliteten, og det ble utarbeidet en prosedyre for injeksjon relatert til lekkasjer inn i sonderhull boret fra tunnelen. Kriteriet for injeksjon ble satt til lekkasjer større enn 5 l/min i enkelthull eller 3-5 l/min i flere hull. Ved spesielt vanskelige svakhetssoner var det også aktuelt å injisere ved mindre lekkasjer (Lien, 2000). Tilpasninger ble gjort avhengig av bergmassekvalitet og hvordan lekkasjen fordelte seg. I de fleste tilfeller varierte injeksjonstrykket mellom 40-60 bar.

Sonderboringer ble utført for hver ca 20 m. I starten ble det boret 4 hull (såle, vegger og senter av heng), etter hvert som man kom under sjøen ble det økt til 6 hull (såle, nedre del av vegger, vederlagene og senter av heng). I tillegg ble det boret et varierende antall kontrollhull i forbindelse med injeksjon. Som regel ble det boret 30 m lange hull, men i en del tilfeller ble lengden tilpasset spesielle formål. Opptil 21 hull ble boret i forbindelse med injeksjon, men i de fleste tilfeller ble det boret adskillig mindre hull. Type injeksjonsmiddel ble bestemt ut fra fjellforhold og lekkasjens størrelse. Det ble brukt både industrisement og mikrosemeter. Forbruk av mikrosemeter var mindre enn industrisement. Dette var en følge av at bergmassene var noe lettere injiserbare enn antatt samt at forbedret utstyr og rutiner gjorde det mulig å benytte industrisement i større grad ved å variere v/c- forhold (Lien, 2000).

De parameterene som er avgjørende for stabilitet i en tunnel, nemlig oppsprekkingsgrad, friksjonsforhold langs sprekker og spenningsforhold vil også påvirke valg av forinjeksjon, i tillegg til hvor stor innlekkasje som kan tolereres.

I det følgende er det forsøkt å sammenligne injiserte mengder av sement i Frøyatunnel med bergmassekvaliteten. Hver enkelt av de seks Q-parametrene er sammenlignet med injiserte mengder langs tunnelen.

## 5 SAMMENLIGNING AV INJEKSJON MED Q-PARAMETRE

Q-verdien regnes ut fra seks parametre etter følgende formel (se Tabell 1):

$$\frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

Tabell 1 Q-metoden, beskrivelse av parametre

1 Oppsprekkingstall	Antall sprekker pr. m <sup>3</sup>	RQD
A Meget sterkt oppsprukket	>27	0-25
B Sterkt oppsprukket	20-27	25-50
C Moderat oppsprukket	13-19	50-75
D Lite oppsprukket	8-12	75-90
E Meget lite oppsprukket	0-7	90-100

Anm.: i) Når RQD ≤ 10 (inkludert 0) blir verdien 10 brukt ved utregning av Q-verdi.  
ii) RQD-intervaller på 5, dvs., 100, 95, 90, osv., er tilstrekkelig nøyaktig.

2 Tall for sprekkeseett	J <sub>n</sub>
A Massivt, ingen eller få sprekker	0,5-1,0
B Ett sprekkeseett	2
C Ett sprekkeseett + sporadiske sprekker	3
D To sprekkeseett	4
E To sprekkeseett + sporadiske sprekker	6
F Tre sprekkeseett	9
G Tre sprekkeseett + sporadiske sprekker	12
H Fire eller flere sprekkeseett, meget sterkt oppsprukket, sukkerbitberg osv.	15
J Oppknust berg, jordaktig	20

Anm.: i) Ved tunnelkryss brukes (3 × J<sub>n</sub>)  
ii) I portaler brukes (2 × J<sub>n</sub>)

3 Sprekkeruhetstall	J <sub>r</sub>
a) Bergkontakt og b) bergkontakt for 10 cm skjærdeformasjon	
A Diskontinuerlig, hakkete (ru eller glatte)	4
B Ru, bølgete	3
C Glatte, bølgete	2
D Gildespeil, bølgete	1,5
E Ru, plane	1,5
F Glatte, plane	1
G Gildespeil, plane	0,5

Anm.: Første del av beskrivelsen gjelder ruhet/glatthet. Andre del gjelder ujevnheter i størrelsesorden dm, m.

c) Ingen bergkontakt ved skjærdeformasjon		J <sub>r</sub>
H Sprekkedybde med leir, silt, sand, grus eller knust berg tykk nok til å hindre bergkontakt.		1

Anm.: i) Når sprekkedybden i det aktuelle sprekkeseettet er mer enn 3 m adderes 1 til ruhetstallet.  
ii) J<sub>r</sub> = 0,5 brukes for plane sprekker med gildespeil og lineasjon der lineasjonen er orientert langs sannsynlig bevegelsesretning

4 Tall for sprekkedybde	φ <sub>r</sub> ca.	J <sub>a</sub>
a) Bergkontakt		
A Sammenvekste sprekker med harde mineraler som kvarts, feldspat, epidot.		0,75
B Uomvandlede sprekkedybder, bare overflateoksidasjon.	25-35°	1
C Svakt omvandlede sprekkedybder. Uoppbløttelig mineralbelegg, sandpartikler, oppknust berg uten leir.	25-30°	2
D Siltig eller sandig sprekkedybde, litt leir (ikke svelleleire).	20-25°	3
E Oppbløttelig leirbelegg med lav friksjon, f.eks. kaolinit eller glimmer. Også kloritt, talk, gips, grafit o.a. Kun små mengder svelleleire.	8-16°	4
b) Bergkontakt for 10 cm skjærdeformasjon (tynn sprekkedybde)		
F Sandige partikler, oppknust berg, ikke leir	25-30°	4
G Sterkt overkonsolidert (hardpakket), uoppbløttelig fylling av leirmateriale (kontinuerlig, men tykkelse < 5 mm).	16-24°	6
H Middels eller litt overkonsolidert fylling av oppbløttelig leirmateriale (kontinuerlig, men tykkelse < 5 mm).	12-16°	8
J Fylling av svelleleire (kontinuerlig, men tykkelse < 5 mm). J <sub>a</sub> -verdien avhenger av prosentvis innhold av svelleleire.	6-12°	8-12
c) Ingen bergkontakt ved skjærdeformasjon (tykk sprekkedybde)		
K Soner og bånd av knust eller desintegert berg og leir. Sterkt overkonsolidert (hardpakket) uoppbløttelig fylling.	16-24°	6
L Soner og bånd av knust eller desintegert berg og leir. Middels til litt overkonsolidert oppbløttelig fylling.	12-16°	8
M Soner og bånd av leir eller knust eller desintegert berg. J <sub>a</sub> -verdien avhenger av prosentvis innhold av svelleleire.	6-12°	8-12

N Tykke, kontinuerlige soner eller bånd med leir, silt eller sand. Sterkt overkonsolidert (hardpakket), uoppbløttelig.	16-24°	10
O Tykke, kontinuerlige soner eller bånd med leir. Middels til litt overkonsolidert, oppbløttelig.	12-16°	13
P Tykk, kontinuerlige soner eller bånd med leir. J <sub>a</sub> -verdien avhenger av prosentvis innhold av svelleleire.	6-12°	13-20

5 Sprekkedybdefaktor	J <sub>w</sub>
A Tørre bergrom, fukt eller spredte drypp.	1
B Dryppregn. Stedvis utvasking av sprekkedybde.	0,66
C Stor innlekkasje eller høyt trykk i berg med sprekker uten fylling.	0,5
D Stor innlekkasje eller høyt trykk. Utvasking av sprekkedybde.	0,33
E Meget stor innlekkasje eller vanntrykk ved utsprenning, avtagende med tiden.	0,2-0,1
F Meget stor innlekkasje eller vanntrykk. Ikke avtagende med tiden.	0,1-0,05

Anm.: i) Faktorene C til F er antatte. J<sub>w</sub>-verdien økes når dreneringsilttak blir utført.  
ii) Spesielle stabilitetsproblemer ved isdannelse er ikke vurdert.

6 Spenningsfaktor	SRF
a) Svakhetssoner som skjærer tunnelen og som kan medføre nedfall	
A Hyppig oppreden av svakhetssoner som inneholder leir eller kjemisk omvandlet berg. Avspent sideberg. Alle dybder.	10
B Hyppig oppreden av svakhetssoner i kompetente (stive) bergarter (uten leir). Avspent sideberg. Alle dybder.	7,5
C Enkle svakhetssoner med eller uten leir eller kjemisk omvandlet berg. Anleggets dybde ≤ 50 m.	5
D Ukonsoliderte, åpne sprekker, sterkt oppsprukket, sukkerbitberg. Alle dybder.	5
E Enkle svakhetssoner med eller uten leir eller kjemisk omvandlet berg. Anleggets dybde > 50 m.	2,5

Anm.: i) SRF-verdiene reduseres med 25-50 % når svakhetssonene bare innvirker på stabiliteten, men ikke skjærer anlegget.

b) Harde, kompetente bergarter, bergtrykkproblemer	σ <sub>c</sub> / σ <sub>1</sub>	σ <sub>0</sub> / σ <sub>c</sub>	SRF
H Lave spenninger, åpne sprekker. Ufall av blokker pga. lav spenning. Vanligvis nær overflaten.	>200	<0,01	2,5
J Middels høye spenninger, gunstige spenningsforhold.	200-10	0,01-0,3	1
K Høye spenninger. Vanligvis gunstige stabilitetsforhold. Kan være ugunstig for veggstabilitet.	10-5	0,3-0,4	0,5-2
L Moderat avskalling etter mer enn 1 time i massivt berg.	5-3	0,5-0,65	5-50
M Avskalling og bergslag etter få minutter i massivt berg.	3-2	0,65-1	50-200
N Intenst bergslag og umiddelbart dynamisk deformasjonsbrudd i massivt berg.	<2	>1	200-400

Anm.: ii) Tilfeller med sterkt anisotrop, jomfruelig spenningsfelt (dersom målinger foreligger): når  $5 \leq \sigma_1 / \sigma_3 \leq 10$ , reduseres  $\sigma_c$  til 0,75  $\sigma_c$ . Når  $\sigma_1 / \sigma_3 > 10$ , reduseres  $\sigma_c$  til 0,5  $\sigma_c$ , hvor  $\sigma_c$  = enskilt trykkfasthet,  $\sigma_1$  og  $\sigma_3$  er henholdsvis største og minste hovedspenning og  $\sigma_0$  = maksimal tangentialspenning (antatt fra elastisitetsteorien).  
iii) Når tunnelhengens dybde under fjelloverflaten er mindre enn spennvidden, økes SRF fra 2,5 til 5, unntatt ved høye horisontal-spenninger (se H).

c) Tyleberg: plastisk flyting av inkompetente bergarter under påvirkning av høye spenninger	σ <sub>0</sub> / σ <sub>c</sub>	SRF
O Moderat tyleberg	1-5	5-10
P Intens tyleberg	>5	10-20

Anm.: iv) Tilfeller av tyleberg kan forekomme for dybder H > 350 Q<sup>1/3</sup>. Bergmassens trykkfasthet kan estimeres fra  $\sigma_{cr} = 0,7 \gamma Q^{1/3}$  (MPa) hvor  $\gamma$  = bergartens egenvekt i kN/m<sup>3</sup>, og  $\sigma_{cr}$  = bergmassens trykkfasthet.

d) Svellende berg: Kjemisk svelleaktivitet som avhenger av tilgangen på vann	SRF
R Moderat svelling	5-10
S Intens svelling	10-15

Anm.: For J<sub>r</sub> og J<sub>a</sub> brukes verdier fra det sprekkeseett eller diskontinuitet som er mest ugunstig for stabiliteten både med hensyn til orientering og skjærstyrke, τ, hvor  $\tau \approx \sigma_n \tan^1(J_r/J_a)$ . Velg sprekkeseett eller diskontinuitet hvor utgildning mest sannsynlig vil skje.

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



De seks parametre er:

RQD Oppsprekkingstall (Rock Quality Designation)

$J_n$  Tall for sprekkesett

$J_r$  Sprekkeruhetstall

$J_a$  Tall for sprekkefylling

$J_w$  Sprekkevannstall

SRF Spenningstall (Stress Reduction Factor)

I Frøyatunnelen ble tunnel delt inn i seksjoner slik at Q-verdiene innen hver seksjon ble forholdsvis ensartet. Generelt har lengdene på tunnelseksjoner variert fra noen få meter til titalls meter.

Figur 2 sammenligner Q-verdier med injeksjon langs tunnelen. Selv om det ikke er en klar sammenheng mellom Q-verdier og injeksjon, eksisterer det en trend som viser at lave Q-verdier gir større forbruk av injeksjonsmasser. Denne trenden er vist i Figur 3.

Figur 4 sammenligner RQD (oppsprekkingstall) med injeksjon langs tunnelen. Her er det heller ikke så klar sammenheng mellom oppsprekkingstall og injeksjon, men Figur 5 viser en svak trend som indikerer høyt forbruk av injeksjonsmasser ved lave RQD-verdier.

Figur 6 sammenligner  $J_n$  (tall for sprekkesett) med injeksjon langs tunnelen. En svak sammenheng mellom antall sprekkesett og injeksjonsmengde er vist i Figur 7. Figur 8 indikerer at når forholdet RQD/ $J_n$  (oppsprekkingsgrad) blir mindre enn 2, så øker injeksjonsmengden betraktelig.

Figur 9 sammenligner  $J_r$  (sprekkeruhetstall) med injeksjon langs tunnelen. Det er ikke noen klar sammenheng mellom ruhet og injeksjonsmengde. Figur 10 viser en trend som indikerer at injeksjonsmengde kan øke med glatte sprekker. Dette kan ha sammenheng med at ru sprekker kan være diskontinuerlige, slik at inntrengningsevnen blir redusert.

Figur 11 sammenligner  $J_a$  (tall for sprekkefylling) med injeksjon langs tunnelen. Det er ikke noen klar sammenheng mellom sprekkefylling og injeksjonsmengde. Figur 12 viser en trendlinje som indikerer at injeksjonsmengde kan øke med sprekkefylling. Dette kan ha sammenheng med at det eksisterer soner med både leire og knust/desintegrert berg slik at trenden kan være misvisende. Dette aspektet vil bli undersøkt nærmere i forbindelse med detaljert undersøkelse av soner hvor det har gått inn en god del injeksjonsmasser.

Figur 13 indikerer at når forholdet  $J_r/J_a$  (bermassens minimale skjærfasthet) minker, så øker injeksjonsmengden betraktelig.

Figur 14 og 15 viser henholdsvis  $J_w$  (sprekkevannstall) og SRF (spenningstall) relatert til injeksjon langs tunnelen. Figur 14 viser at sprekkevannstallet stort sett er lik 1 langs tunnelen. Dette skyldes forinjisering som har hindret lekkasjer i tunnelen. Det er ikke gjort spenningsmålinger i tunnelen, men spenningstallet er stort sett lik 1 bortsett fra de stedene hvor svakhetssoner skjærer tunnelen. I disse svakhetssoner varierer SRF-verdien fra 2,5 til 10. Figur 15 viser at SRF-verdier høyere enn 1 er generelt knyttet til høyt forbruk av injeksjonsmidler.

Figur 16 viser sammenhengen mellom vannlekkasjer og injeksjon. Som ventet faller de injiserte områdene sammen med områdene der det har vært vannlekkasjer. Ser en mer i detalj på dette og sammenligner injeksjonsmengde med størrelsen på vannlekkasjene, se fig 17 og 18, så er ikke sammenhengen så klar. Det er derfor åpenbart at det er flere faktorer som påvirker injeksjonsmengden. En av disse faktorene vil være tetthetskravet i tunnelen, men faktorer av geologisk natur vil også spille inn. På fig. 19 er injeksjonsmengden plottet mot en tillempet Q-verdi,  $Q_i$ .

## 6 VURDERING AV Q-PARAMETRENE SAMMENHENG MED INJEKSJONSMENGDE

Q-verdien er et tall som beskriver de stabilitetsmessige forhold i en bergmasse. En kan derfor ikke vente noen klar sammenheng mellom Q-verdi og injeksjonsmengde, men som vi ser er det en viss korrelasjon mellom de enkelte Q-parametrene og injeksjonsmengden. Dette kan være til hjelp når en skal lage prognoser for injisering.

Lave Q-verdier vil oftest si sterkt oppsprukket bergmasser, slik at det generelt må ventes større injeksjonsmengder ved lave Q-verdier enn ved høye. Ekstremt lave Q-verdier vil ofte bety at bergmassene inneholder mye leire, og de kan derfor være forholdsvis tette. Omkring leirsonene kan det imidlertid være sterkt oppsprukket berg med lite leire hvor det kan gå inn mye injeksjonsmasse. Betrakter en derfor tunnelseksjoner som inneholder både leirsoner og oppsprukket sideberg med lite leire, så kan forholdene bli vanskelige å tolke med hensyn til injeksjon og Q-verdier, da det ikke er så lett å si nøyaktig hvor injeksjonsmassene har gått inn.

Oppsprekkingsgraden øker med synkende RQD, og derfor må en vente at injeksjonsmengdene generelt vil øke med synkende RQD. Noen god korrelasjon kan en likevel ikke vente siden RQD egentlig bare omfatter en del av oppsprekkingskalaen. F. eks. vil RQD uansett bli 100 så lenge sprekkeavstanden er over 10cm.

Høy  $J_n$ -verdi vil bety høyt antall sprekkesett. Dette vil også ofte si at det er muligheter for kommunikasjon mellom de enkelte sprekke og dermed generelt store injeksjonsmengder. Når forholdet  $RQD/J_n$  synker, så vil det bety økende antall sprekker og dermed økte injeksjonsmengder.

Det synes å være en viss trend mot at lave  $J_r$  –verdier betyr økte injeksjonsmengder. Dette kan ha sammenheng med at ru sprekker (høye  $J_r$ -verdier) kan være diskontinuerlige slik at injeksjonsmengden blir redusert.

Det synes å være en indikasjon på at høye  $J_a$ -verdier gir høye injeksjonsmengder.  $J_a$ -verdien øker med økende tykkelse av sprekkefyllingen, og dette skulle tilsi økt permeabilitet så lenge sprekke materialet er permeabelt. En sprekkefylling av sand vil f. eks. ha høy permeabilitet. De høyeste  $J_a$ -verdiene tilsier imidlertid en fylling av leire som kan gi tette bergmasser. Som tidligere nevnt vil det ofte langs utkanten av leirsoner være oppsprukket områder uten så mye leire, og i disse områdene kan det gå inn mye injeksjonsmasse. Dette betyr at seksjoner med tilsynelatende høye  $J_a$ -verdier kan ha stor inngang av injeksjonsmateriale, men massene kan egentlig gå inn i områder der  $J_a$ -verdien rent lokalt ikke er så høy.

Forholdet  $J_r/J_a$  er et mål på bergmassens minimale skjærstyrke. Ut fra det som er sagt ovenfor om hvert enkelt av disse parametrene, skulle dette tilsi at en synkende verdi av  $J_r/J_a$  betyr økt injeksjonsmengde. En annen ting som kan spille inn her, er at en ved lav skjærstyrke på sprekke kan få deformasjoner på grunn av sprengning eller injeksjonstrykk. Slik deformasjon vil kunne øke sprekkepermeabiliteten og dermed injeksjonsmengden.

Økende  $J_w$ -verdi betyr økte innlekkasjer, og det er logisk at dette generelt vil bety større behov for injeksjon. En må her imidlertid være klar over at den  $J_w$ -verdien som observeres i tunnelen ofte ikke er den naturlige, men  $J_w$ -verdien etter forinjeksjon. Denne  $J_w$ -verdien vil i de fleste tilfeller være høyere enn den naturlige. Derimot vil størrelsen på lekkasjer ut fra sonderhull eller injeksjonshull ofte si noe om hvor stor injeksjonsmengden vil bli. I tilfeller med bare få injeksjonshull, kan det imidlertid tenkes at disse ikke har truffet lekkasjekanalene slik at en får et feilaktig bilde av lekkasjeforholdene.

Generelt er SRF-verdien 1 i Frøyatunnelen, men i forbindelse med svakhetssoner er det verdier mellom 2,5 og 10. Resultatene viser at SRF-verdier høyere enn 1 generelt er knyttet til injiserte soner. Når det gjelder svakhetssoner kan det nok være en viss sammenheng mellom SRF og injeksjonsmengden. I stive, massive bergarter øker SRF generelt med økende spenning. Høye spenninger vil ofte bety tette bergmasser slik at en skulle vente at injeksjonsmengden vil synke med økende SRF. Spenningsretningen og spenningsanisotropien, det vil si forholdet  $\sigma_1/\sigma_3$ , vil imidlertid spille inn her. På større dyp ved høye spenninger vil det oftest bare være sprekker vinkelrett på  $\sigma_3$  som fører vann.



## 7 TILLEMPET Q-VERDI

Ovennevnte sammenligninger mellom injeksjon og Q-parametre viser en del trender, men uten noen klare korrelasjoner. I det følgende er det forsøkt å korrelere injiserte mengder med en tillempet Q-verdi ( $Q_i$ ) som er beregnet etter følgende formel:

$$Q_i = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{1}{\text{lekkasje(l/min)/hullengde(m)}}$$

I tillegg til oppsprekkingsgrad og skjærstyrke tar formelen hensyn til innlekkasjer i tunnel og lengden av borhull. I figur 19 er  $Q_i$  plottet mot sementinjeksjon ( $S_i$ ) i Frøyatunnelen. Figuren viser en forholdsvis bra sammenheng mellom  $Q_i$  og  $S_i$ . Disse to parametrene er relatert via følgende formel:

$$Q_i = \frac{240}{S_i} \quad \text{eller} \quad S_i = \frac{240}{Q_i}$$

Dette er en relativt enkel formel som kan brukes til å estimere sementmengder ved et gitt lekkasjekriterium. Det kan nevnes at for Frøyatunnelen var kriteriet for injeksjon satt til lekkasjer større enn 5l/min i enkelthull eller 3-5 l/min i flere hull. Hullengden har variert fra 15-30 meter, men ble satt til 20 meter for beregning av  $Q_i$ -verdiene.

## 8 SAMMENLIGNING AV PROGNOSE OG FAKTISKE FORHOLD

De ingeniørgeologiske forundersøkelsene for Frøyatunnelen var omfattende og trolig noe av det mest grundige som er gjort for noe tunnelprosjekt i Norge. En medvirkende årsak til at dette prosjektet ble så vellykket, var uten tvil grundige forundersøkelser og systematisk planlegging.

Lillevik, 1998 og Lien, 2000 har beskrevet undersøkelsesprogrammet og sammenlignet prognoser med de faktiske forhold. Det ble bl.a. målt 10450m med refraksjonsseimikk og boret 1850m med kjerneborhull i tillegg til geologisk kartlegging og vurdering av eksisterende geologiske data. Et karakteristisk trekk ved dette området er de store forkastningene som kan ha vært aktive i relativt sen geologisk tid, muligens i forbindelse med landhevningen i tertiær.

Det har vist seg at det kun var mindre avvik mellom prognosen basert på forundersøkelsene og de virkelige forhold i tunnelen. Vurderingen av bergmassekvaliteten var for en stor del basert på seismiske hastigheter, og

storparten av de svakhetssonene som ble forutsagt fra seismikken, ble også funnet i tunnelen. Ved tunnelkartleggingen ble bergmassene klassifisert etter Q-metoden. Q-verdier fra tunnelen har vist å avvike lite fra prognosen. Det er rapportert at noen svakhetssoner har vært bedre enn antatt, og at sikringsarbeidene ble mindre enn forventet. Dette kan ha sammenheng med at injeksjonssementen har tettet sprekker og limt sammen bergmassene slik at behovet for annen sikring er blitt redusert. Det viser seg også at det er en tydelig sammenheng mellom de seismiske hastighetene og Q-verdiene i tunnelen, se fig. 20. Økende seismiske hastigheter tilsier generelt økende Q-verdi.

Sonderboringer ble utført for hver 20. m. I tillegg ble det boret et varierende antall kontrollhull i forbindelse med injeksjon. Ved passering av de første store svakhetssonene ble det benyttet kjerneboring i tillegg til sonderboring for å undersøke forholdene i sonen best mulig. Erfaringer fra Frøyatunnelen viste at resultater fra kjerneboringen kan tolkes mer ugunstig for tunneldrift enn det som viste seg å være tilfellet i tunnelen. Dette kan for eksempel skyldes at borhullet fulgte horisontale eller langsgående, vertikale strukturer eller "linser" av forvitret materiale, som ikke hadde særlig stor utbredelse. De store svakhetssonene besto ofte i små biter av berg blandet med et jordaktig materiale. Dette materialet var ofte godt konsolidert slik at det kunne stå en god stund etter utspregning. Ved kjerneboring med bruk av spylevann kunne materialet mer eller mindre gå i oppløsning slik at det kunne se svært dårlig ut i kjernematerialet. Kjerneboring fra tunnelen i anleggstiden hadde en begrenset nytteverdi fordi det tok for lang tid.

Kostnadene forbundet med injeksjon ble betydelig lavere enn antatt og gjenspeilet i kontraktens mengder. Dette skyldes i første rekke at sonene generelt var mindre vannførende, og at omfanget av tensjonssprekker var mindre enn forventet.

Sett i forhold til injeksjonsprogrammet, kan man si at seismiske undersøkelser og sonderboringer ga den mest verdifulle informasjonen. I tillegg ga strukturgeologisk analyse og kjerneboringer fra land og sjø supplerende informasjon om lekkasjeforholdene i berggrunnen.

## 9 REFERANSER

Braathen, A., Nordgulen, Ø., Osmundsen, P.T., Andersen, T.B., Solli, A. & Roberts, D. 2000: Devonian, orogen-parallel, opposed extension of the Central Norway Caledonides. *Geology* 28, 615-618.

Bøe, R. 1991. Structure and seismic stratigraphy of the innermost mid-Norwegian continental shelf: an example from the Frohavet area. *Mar. Pet. Geol.* 8, 140-151.

Bøe, R., Nordgulen, Ø. & Sollie, A. 1992a. Nord-Frøya, berggrunnskart 1422 I, M 1:50000. NGU.

Bøe, R., Nordgulen, Ø. & Sollie, A. 1992b. Halten, berggrunnskart 1523 III, M 1:50000. NGU.

Bøe, R., Atakan, K., & Sturt, B.A. 1989. The style of deformation in the Devonian rocks on Hitra and Smøla, central Norway. *NGU Bull.* 414, 1-19.

Grønlie, A., Naeser, C.W., Naeser, N.D., Mitchell, J.G., Sturt, B.A. & Ineson, P.R. 1994. Fission-track and K-Ar dating of tectonic activity in a transect across the Møre-Trøndelag Fault Zone, central Norway. *NGT* 74, 24-34.

Kummeneje 1997. Frøyatunnelen – Ingeniørgeologisk rapport; oppdragsnr. 10615. *Kummeneje rapport nr. 4*, 22 s.

Lindstrøm, M. 1995: Petrology of the Caledonian Hitra Plutonic Complex, Central Norway. Dr. ing.-avhandling, Institutt for geologi og bergteknikk, NTNU, 143 s.

Lothe, A. E. & Zweigel, P. 1999. Characterisation of faults in a major branch of the Møre-Trøndelag fault zone – the horizontal core of the Hitra-Frøya tunnel. *Sintef report 99.025*, 20 s.

Nordgulen, Ø., Solli, A., & Sundvoll, B. 1995. Caledonian granitoids in the Frøya-Froan area, central Norway. *NGU Bull.* 427, 48-51.

Noteby rapport, 1984. Ingeniørgeologiske forundersøkelser, tunneler til Hitra og Frøya. Oppdragsnr. 21150, rapport nr. 1.

Noteby rapport, 1985. Ingeniørgeologiske forundersøkelser og prosjektering, tunneler til Hitra og Frøya. Oppdragsnr. 21150, rapport nr. 4.

Sættem, J. & Mørk, M. 1996. Forstudier basert på vertikalboringer og regional lineament informasjon. IKU Rap. 23.2574.00/01/96.

Lillevik, S., Holmøy, K.H. og Lien, J.E. 1998  
Frøyatunnelen – Passering av problemsoner – Erfaringer fra kartlegging og faktiske forhold. Fjellsprenningsteknikk, Bergmekanikk/Geoteknikk, 1998 s. 32.1- 32.22

Lien, J.E., Lillevik, S., Mehlum, A. Og Soknes, S. 2000  
Frøyatunnelen – Fra geologisk kartlegging til ferdig tunnel  
Fjellsprenningsteknikk, Bergmekanikk/Geoteknikk, 2000 s. 6.1-6.46

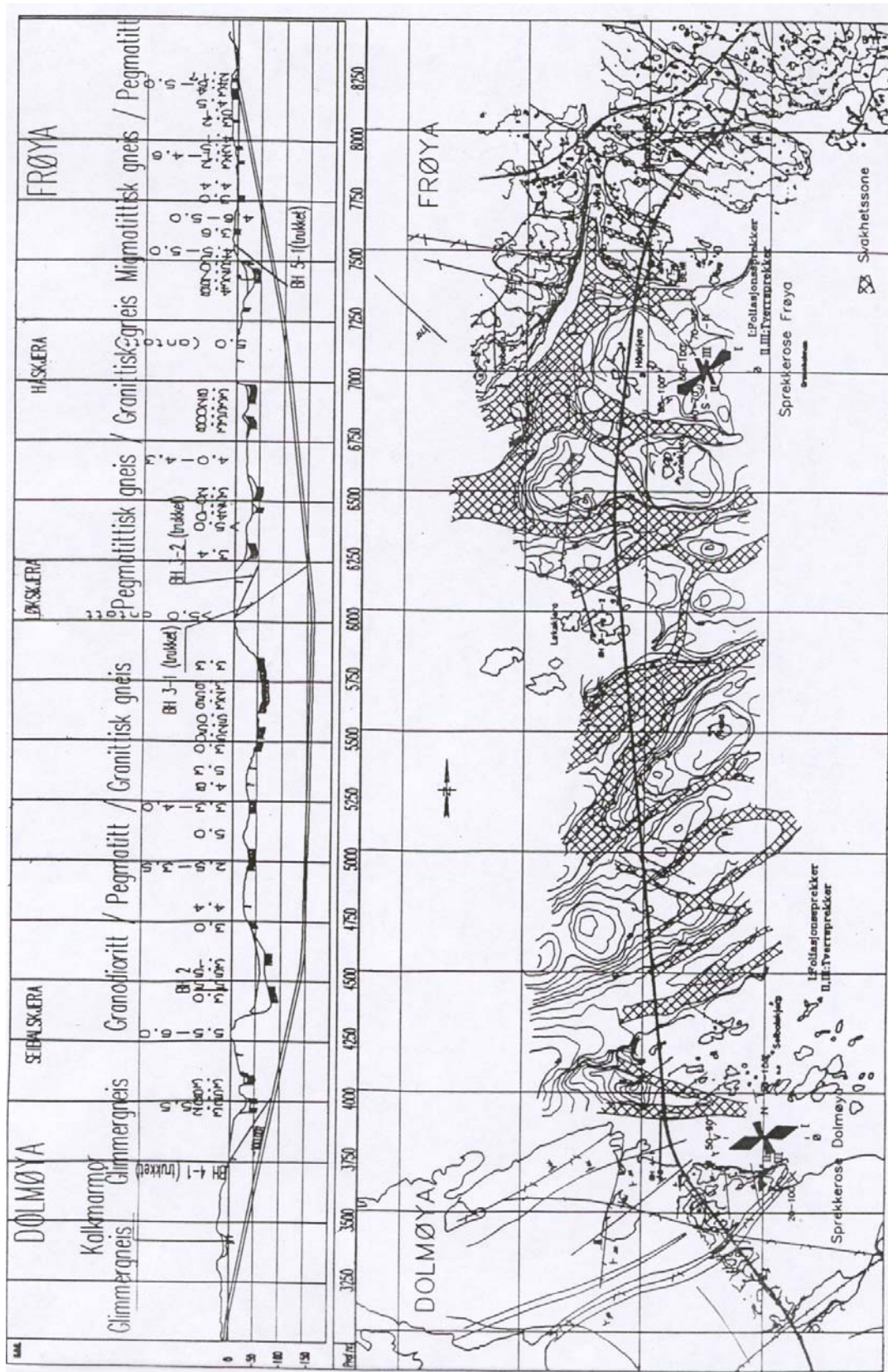
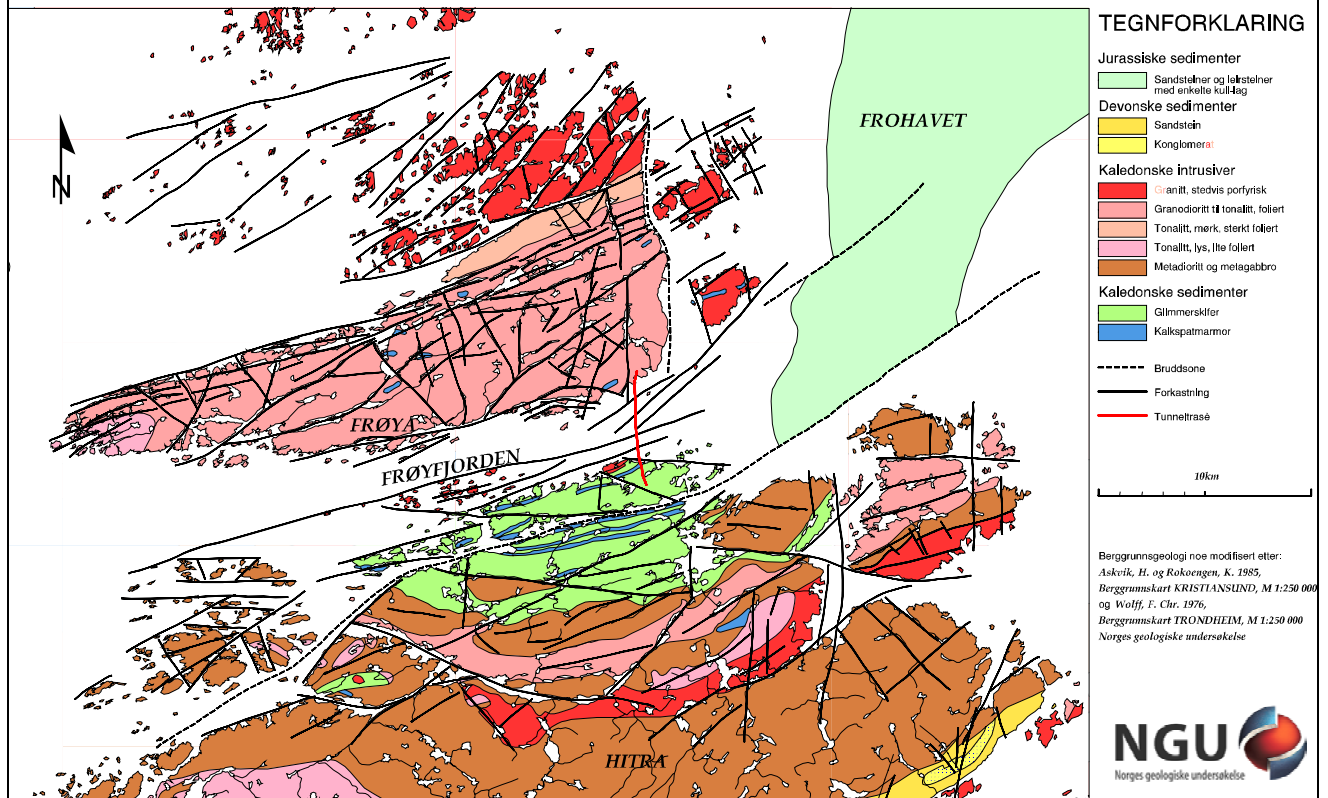


Fig. 1a Tunnelsambandet Hitra-Frøya, situasjonsplan og lengdeprofil med svakhetssoner

## GEOLOGISK KART OVER FRØYA OG HITRA



**FRØYATUNNELEN**

Rapport nr.  
20001042

Figur nr.  
1b

Geologisk kart over Frøya og Hitra (NGU)

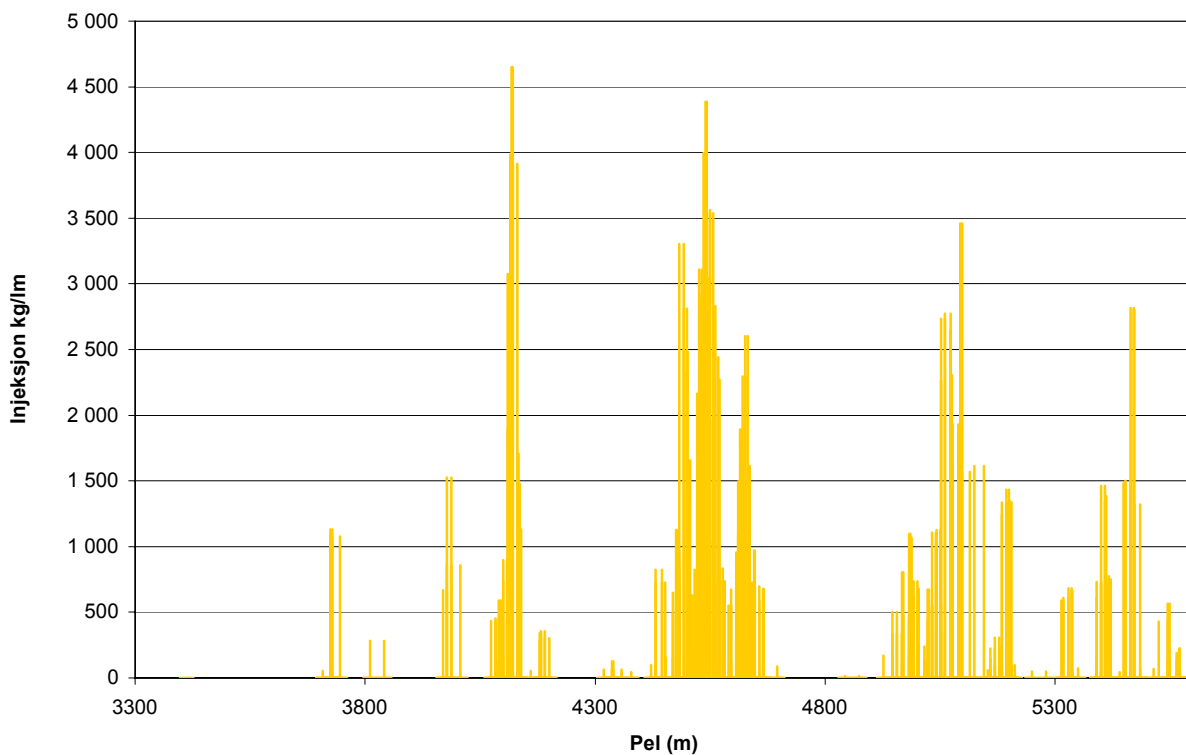
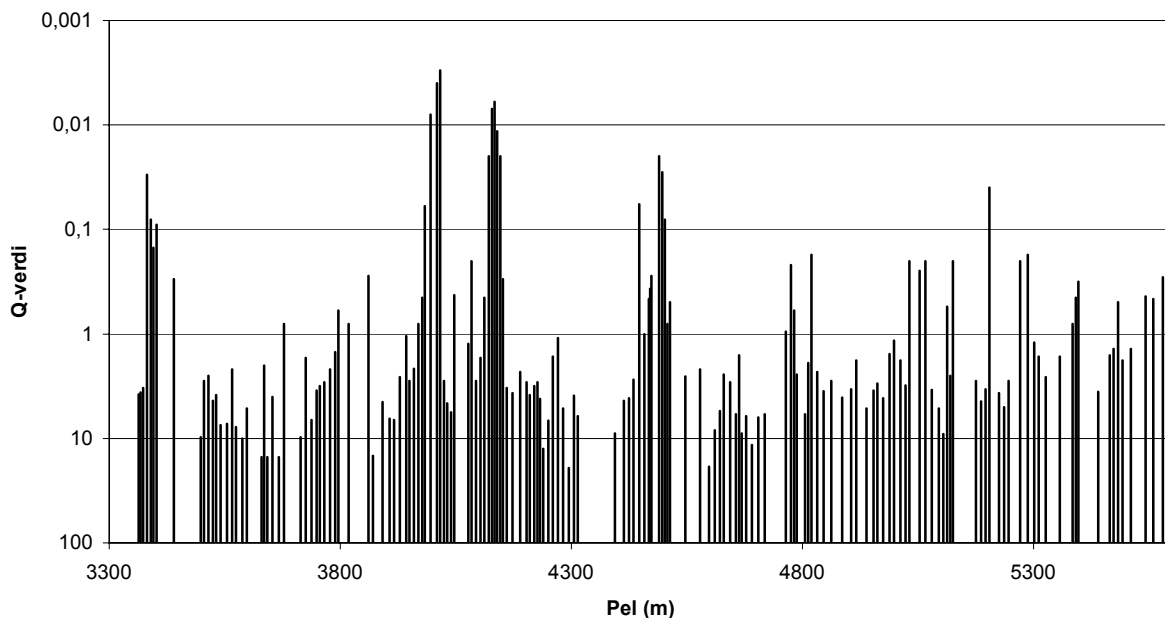
Tegner  
RKB

Dato  
2001-02-28

Kontrollert

Godkjent





F:\P\2000\10\20001042\vrkbsdel\pdf\files\rapfigs.xls\Fig2

**FRØYATUNNELEN**

Hitrastuffen

Q-verdier og injeksjon

Rapport nr.

20001042

Figur nr.

2

Utført av

rkb

Dato

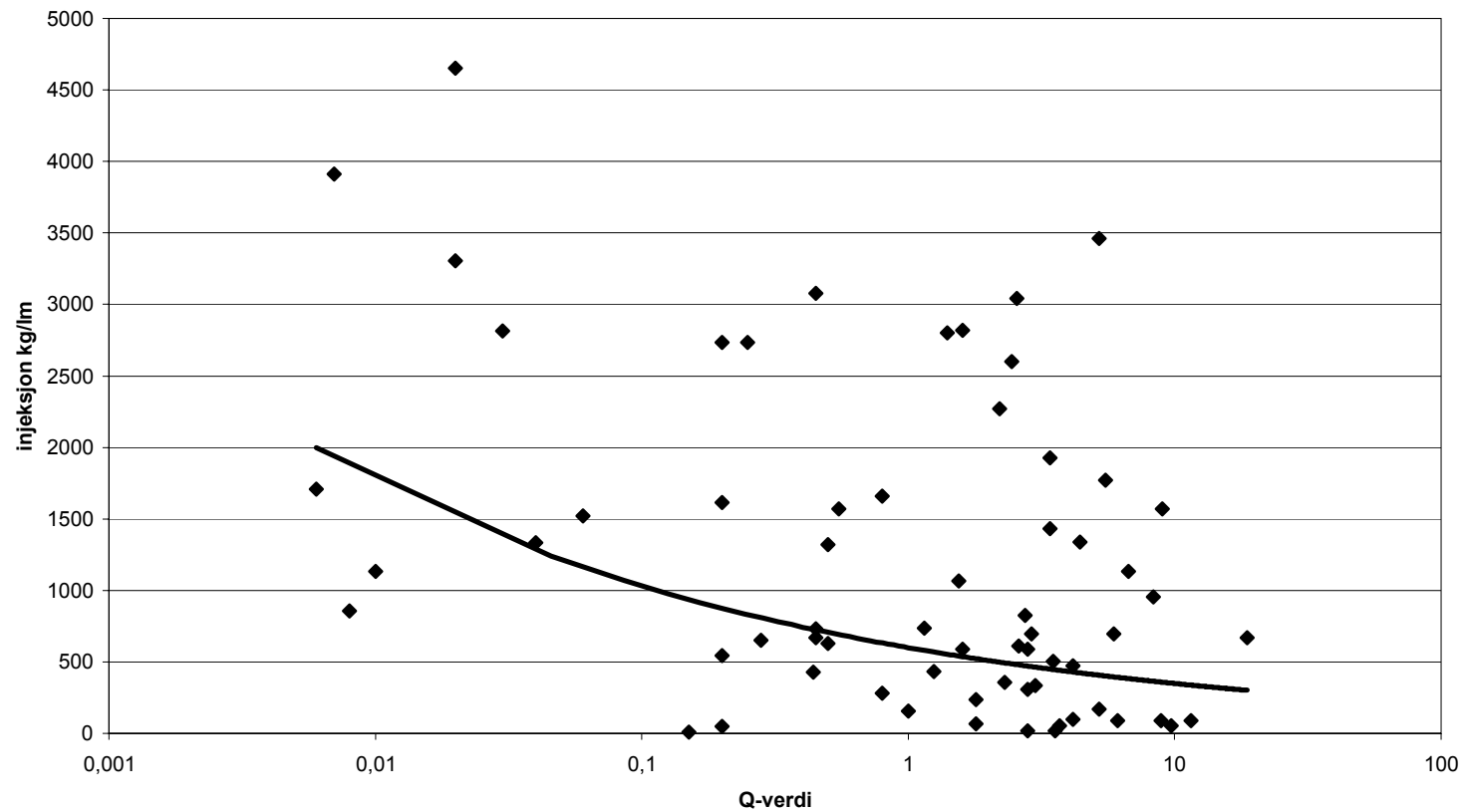
28.03.01

Kontrollert


Godkjent



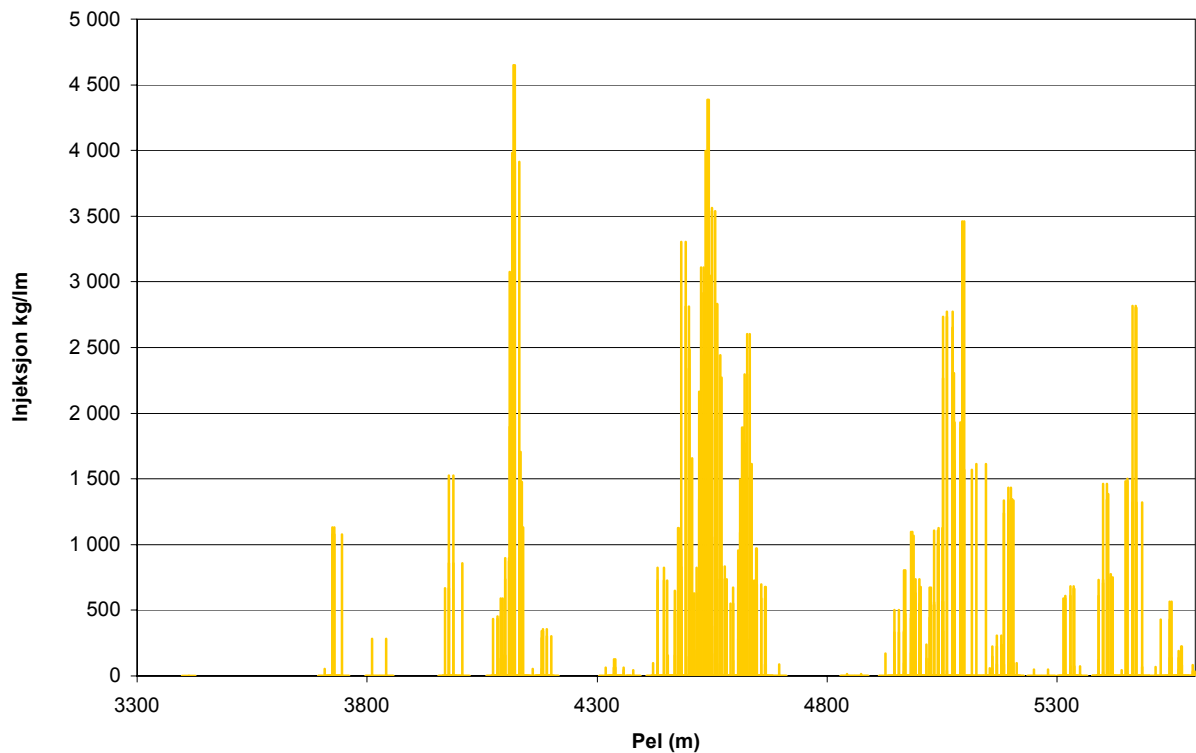
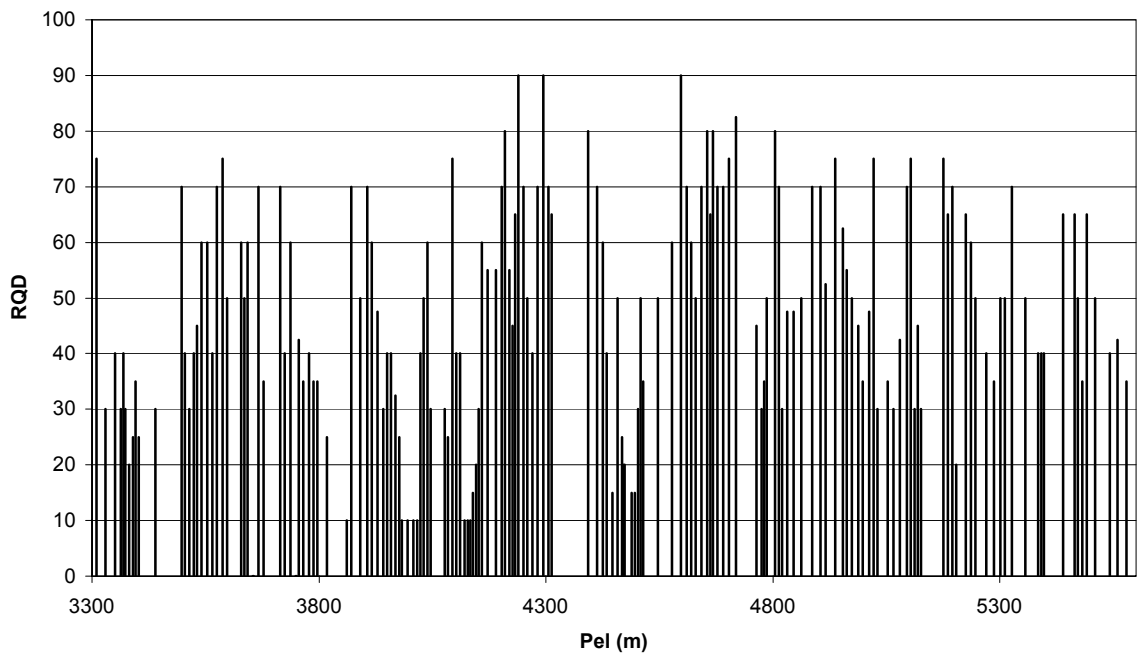
**NGI**




F:\P\2000\10\20001042\rkbsdel\pdf\files\rapfigs.xls\Fig3

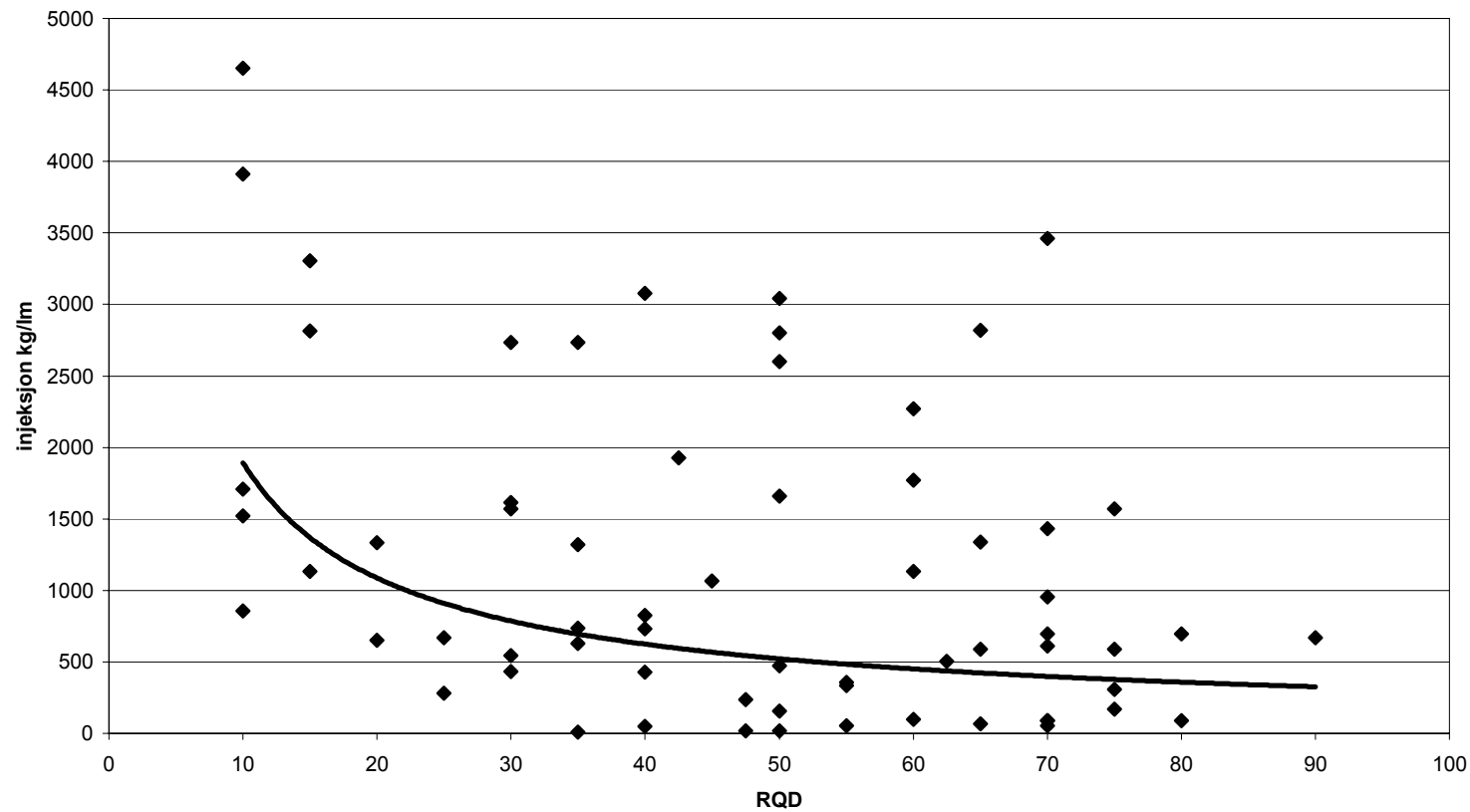
<b>FRØYATUNNELEN</b>	Rapport nr.	Figur nr.
	20001042	3
Q-verdier og injeksjon	Utført av	Dato
	rkb	28.03.01
	Kontrollert	
	Godkjent	






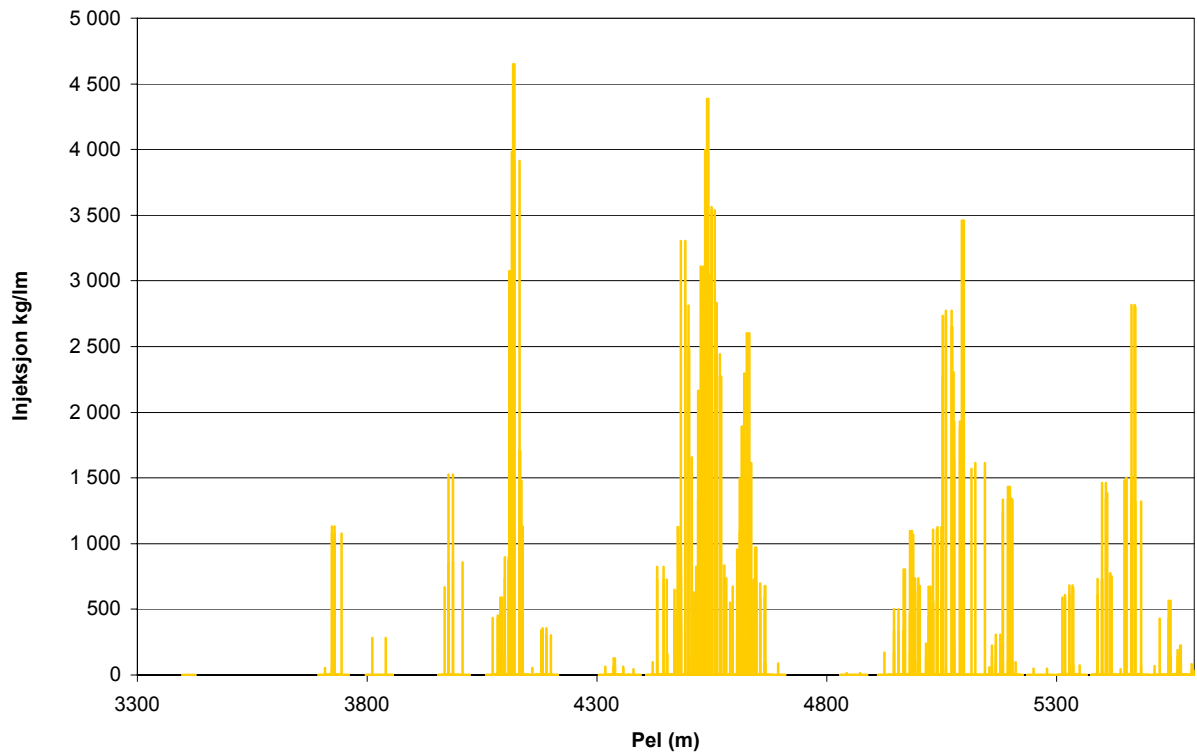
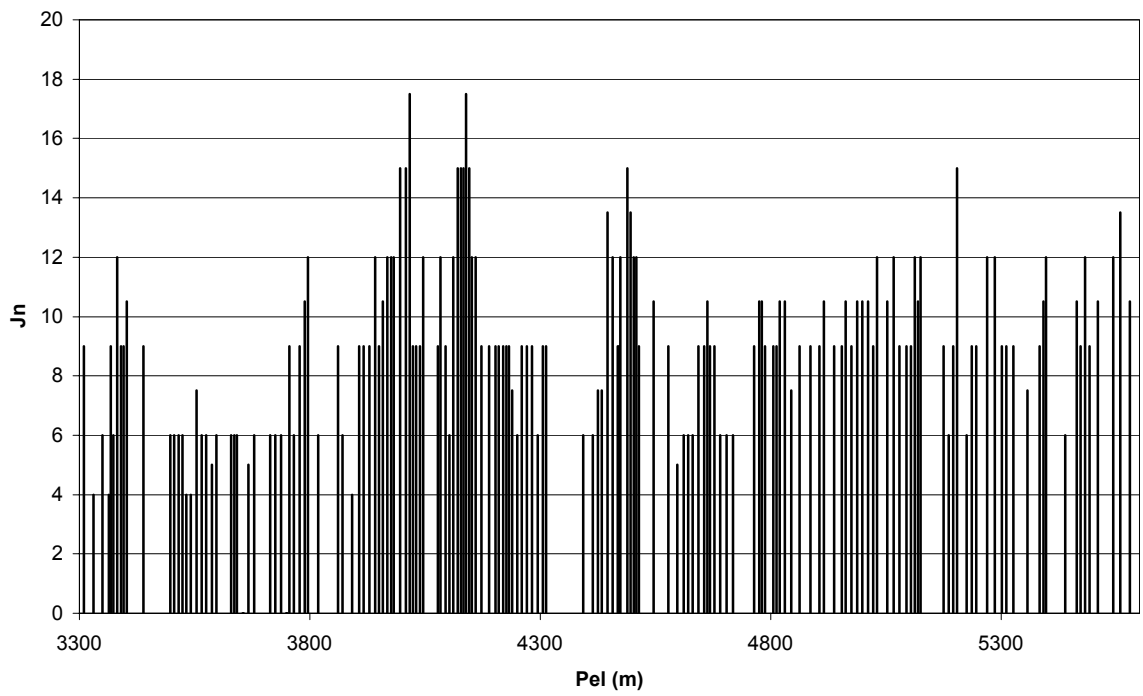
F:\P\2000\10\20001042\vrkbsdel\pdf\files\rapfigs.xls\Fig.4

<b>FRØYATUNNELEN</b>	Rapport nr.	Figur nr.
	20001042	4
	Utført av	Dato
	rkb	28.03.01
Hitrastuffen	Kontrollert	
	Godkjent	
RQD og injeksjon		




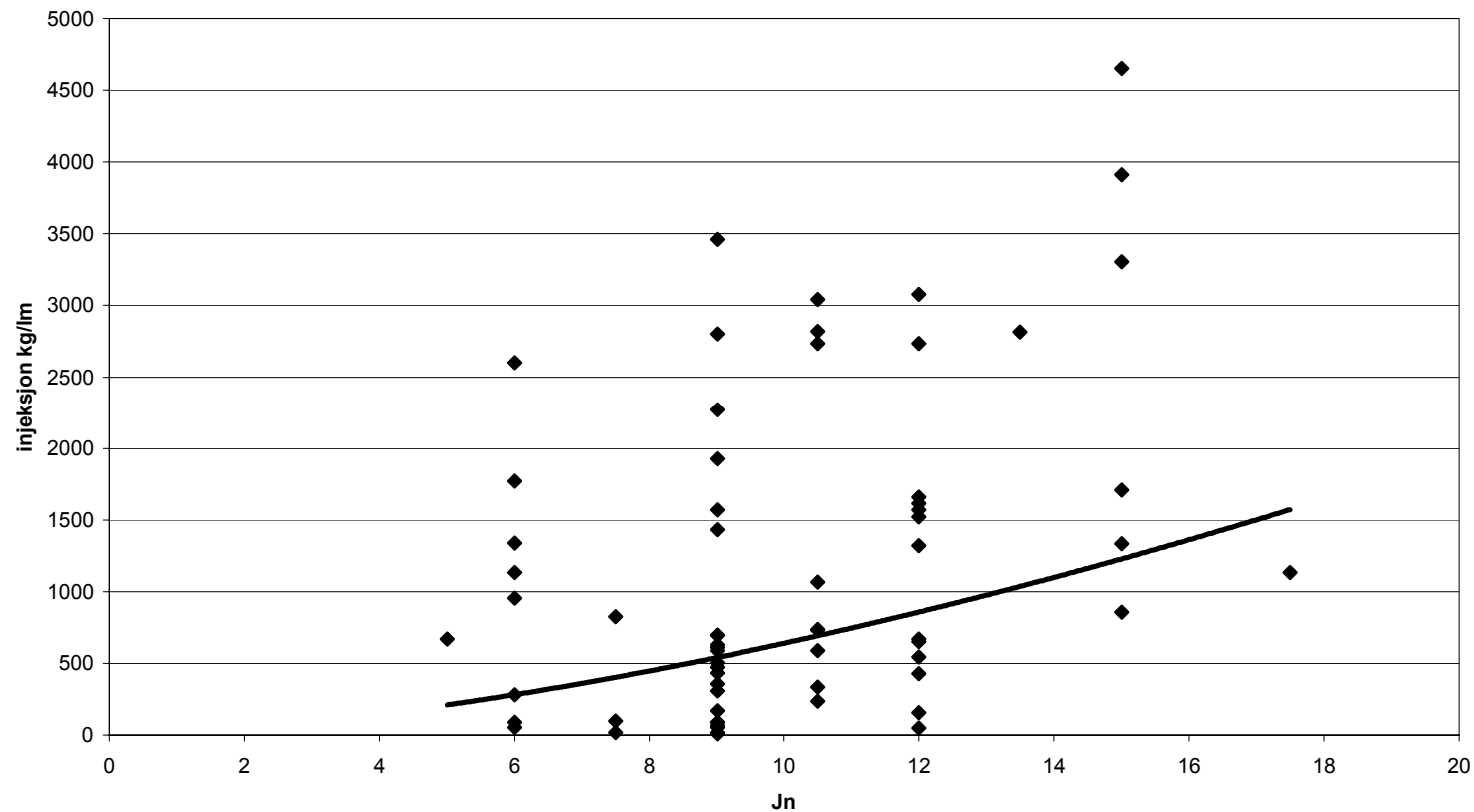
F:\P\2000\10\20001042\rkbsdel\pdf\files\rapfigs.xls\Fig5

<b>FRØYATUNNELEN</b>	Rapport nr.	20001042	Figur nr.	5
	Utført av	rkb	Dato	28.03.01
	Kontrollert			
	Godkjent			




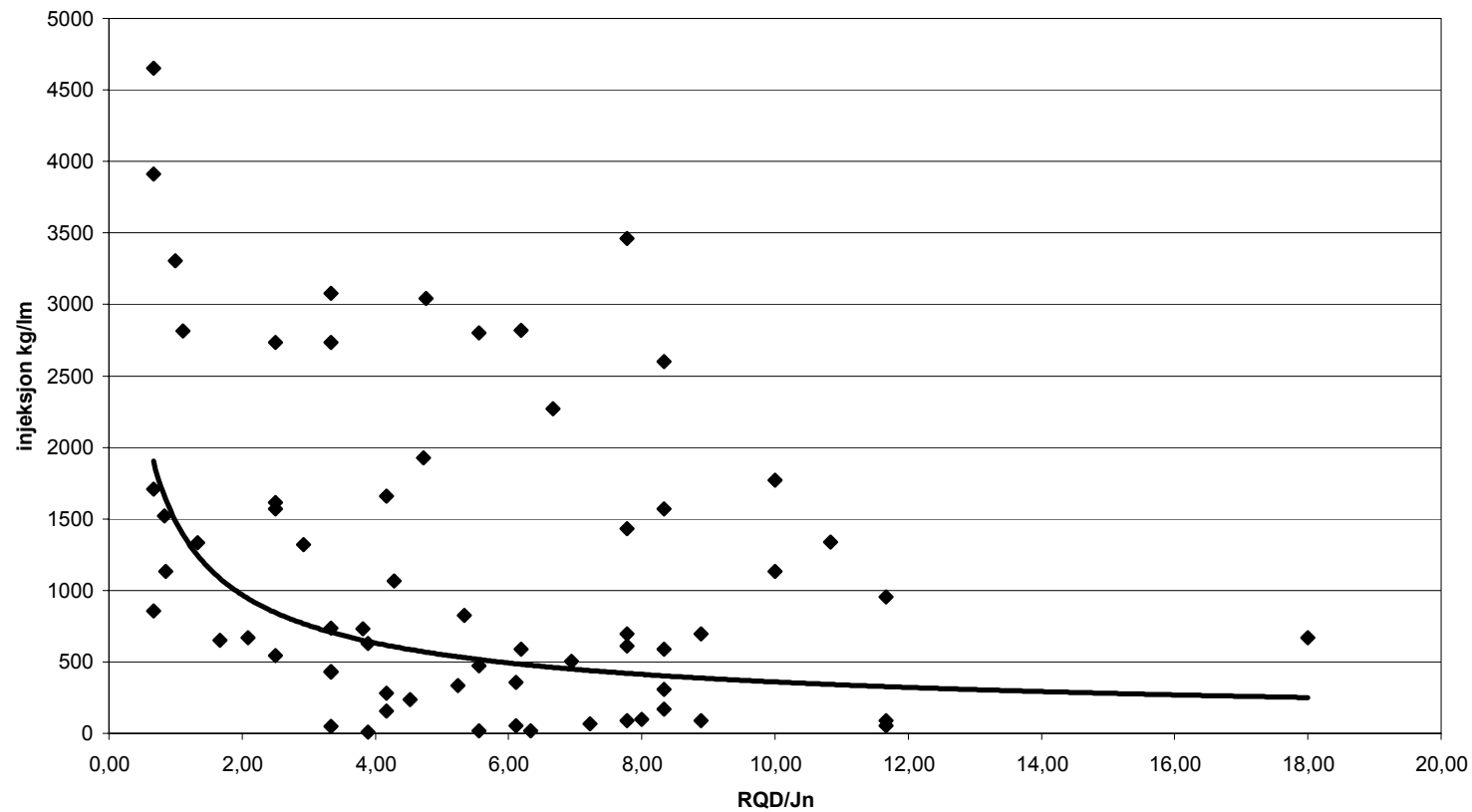
F:\P\2000\10\20001042\vrkbsdel\pdf\files\rapfigs.xls\Fig6

<b>FRØYATUNNELEN</b>	Rapport nr.	Figur nr.
	20001042	6
	Utført av	Dato
	rkb	28.03.01
Hitrastuffen	Kontrollert	
	Godkjent	
Jn og injeksjon		




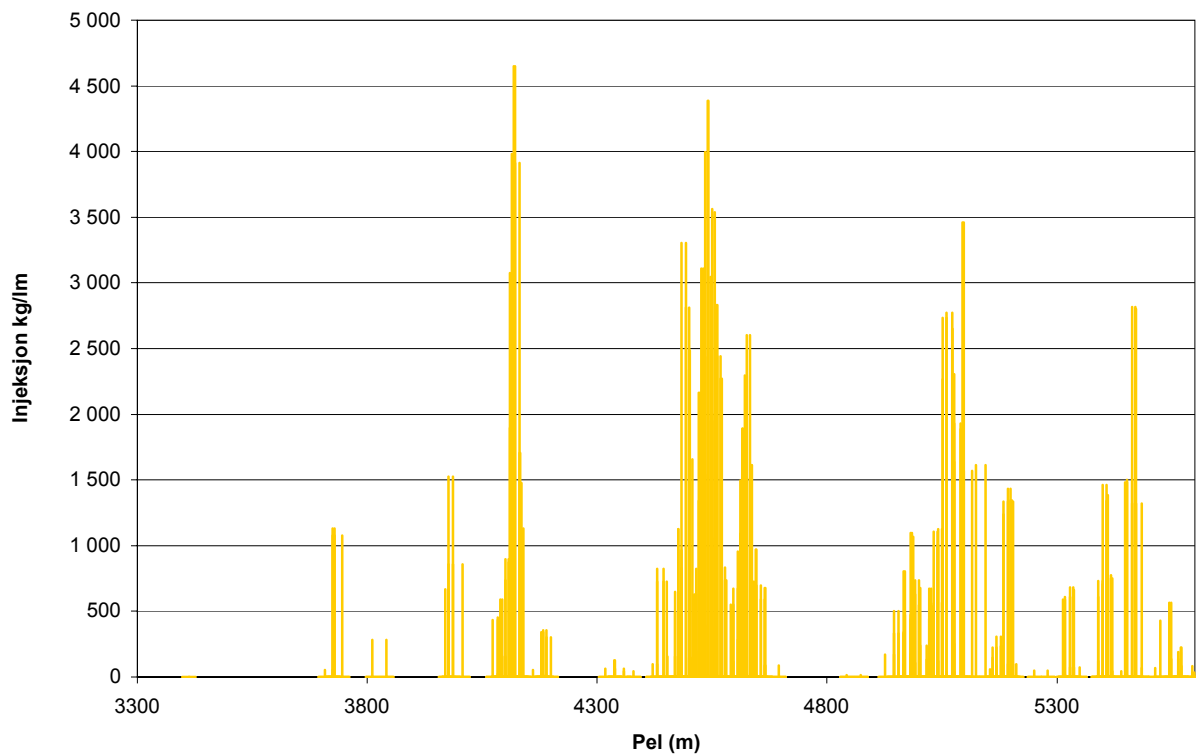
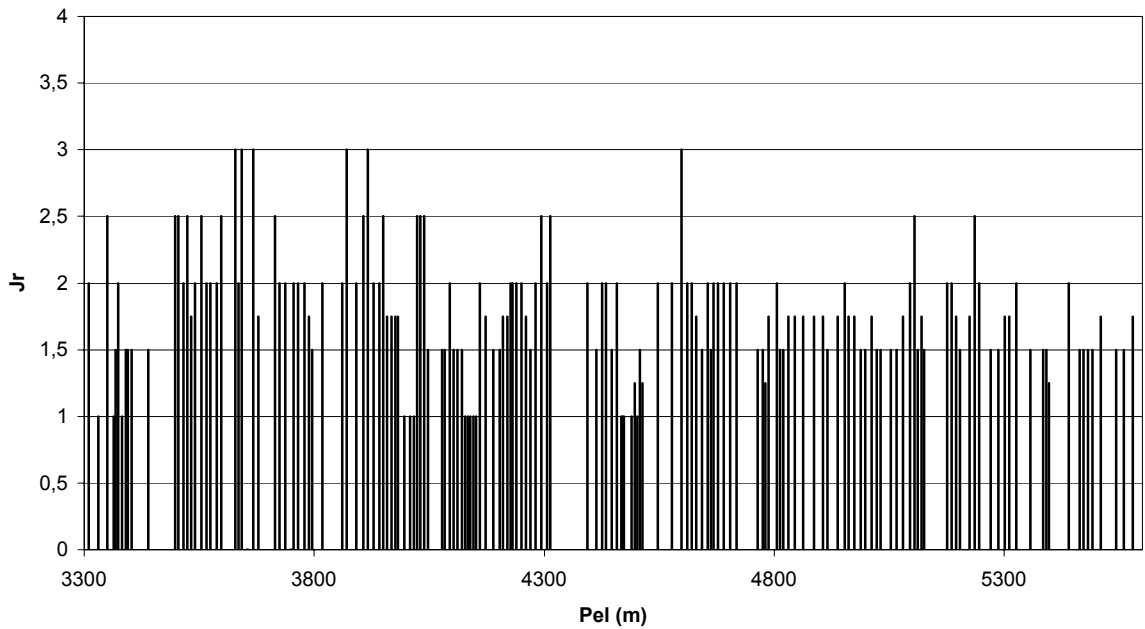
F:\P\2000\10\20001042\rkbsdel\pdf\files\[rapfigs.xls]Fig7

<b>FRØYATUNNELEN</b>	Rapport nr.	Figur nr.
	20001042	7
J <sub>n</sub> og injeksjon	Utført av	Dato
	rkb	28.03.01
	Kontrollert	
	Godkjent	




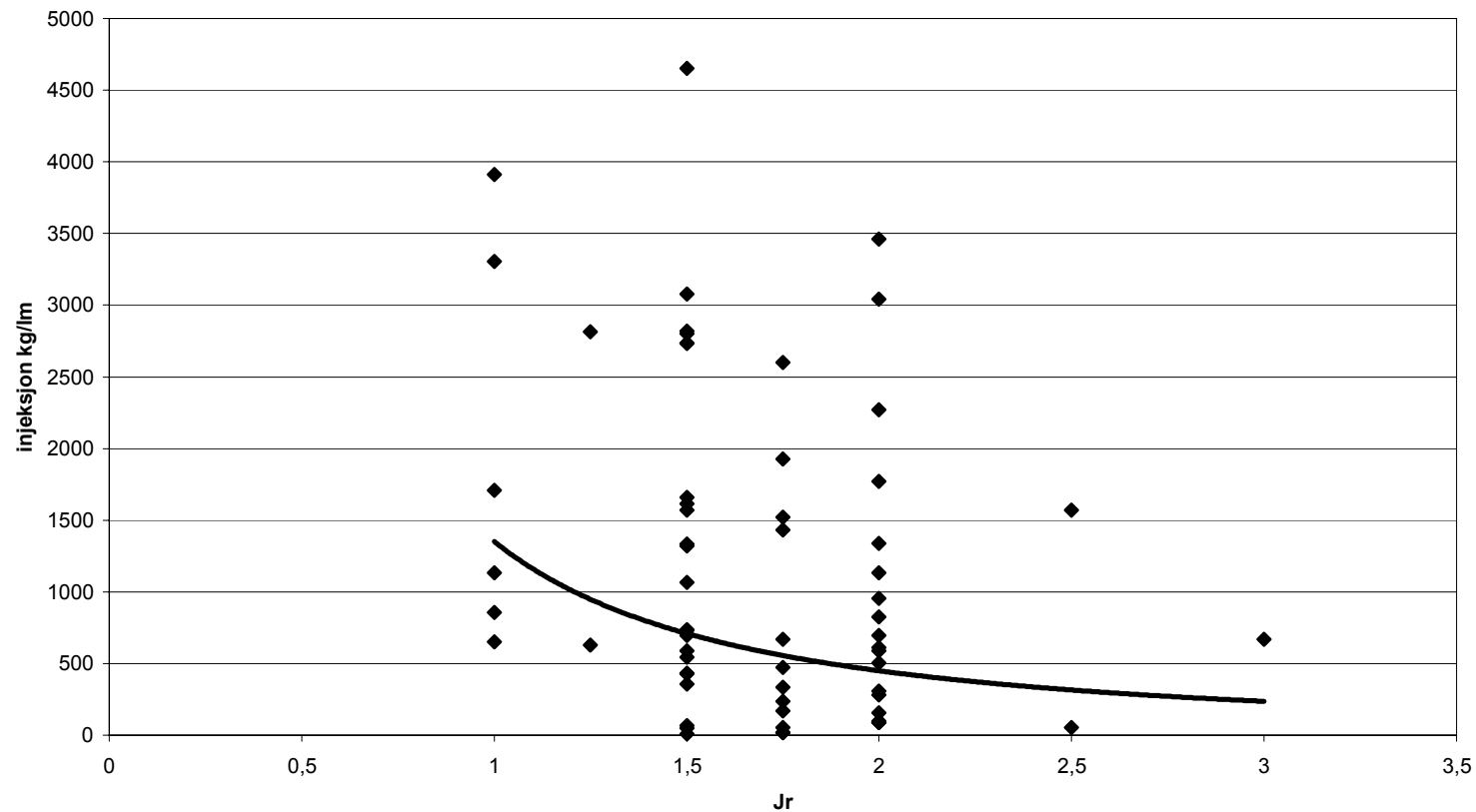
F:\P\2000\10\20001042\rkbsdel\pdf\files\rapfigs.xls\Fig8

<b>FRØYATUNNELEN</b>	Rapport nr.	Figur nr.
	20001042	8
RQD/J <sub>n</sub> og injeksjon	Utført av	Dato
	rkb	28.03.01
	Kontrollert	
	Godkjent	



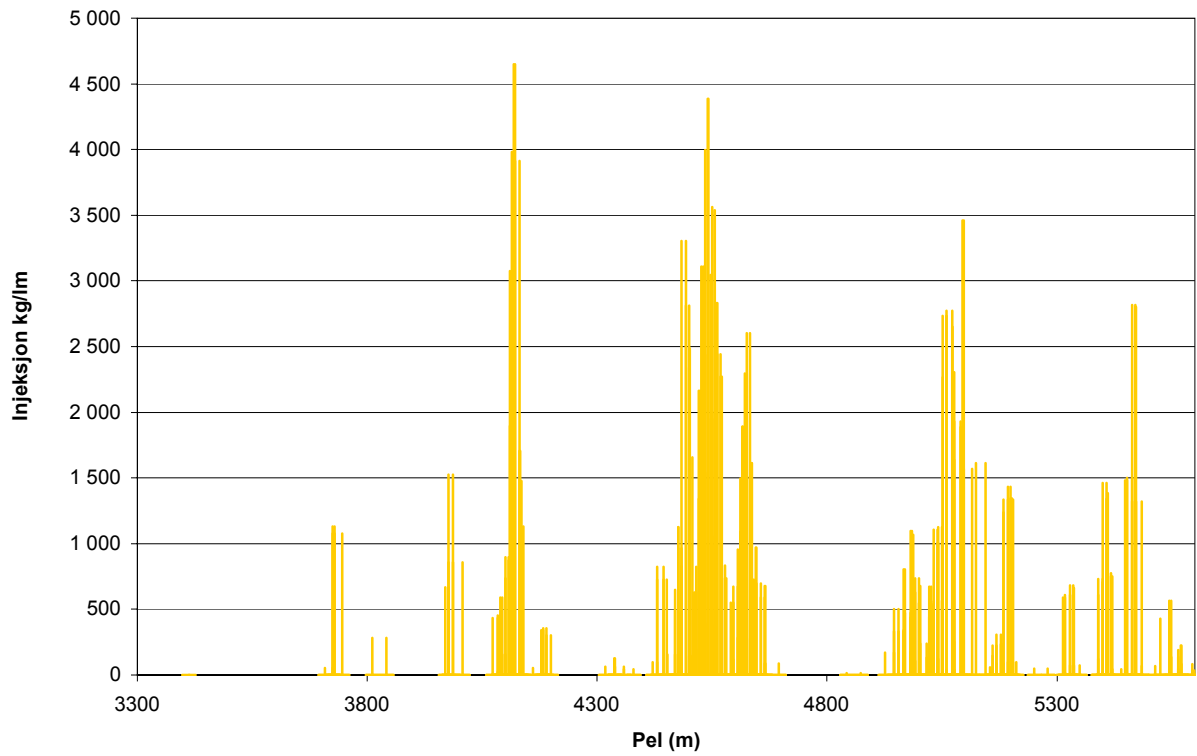
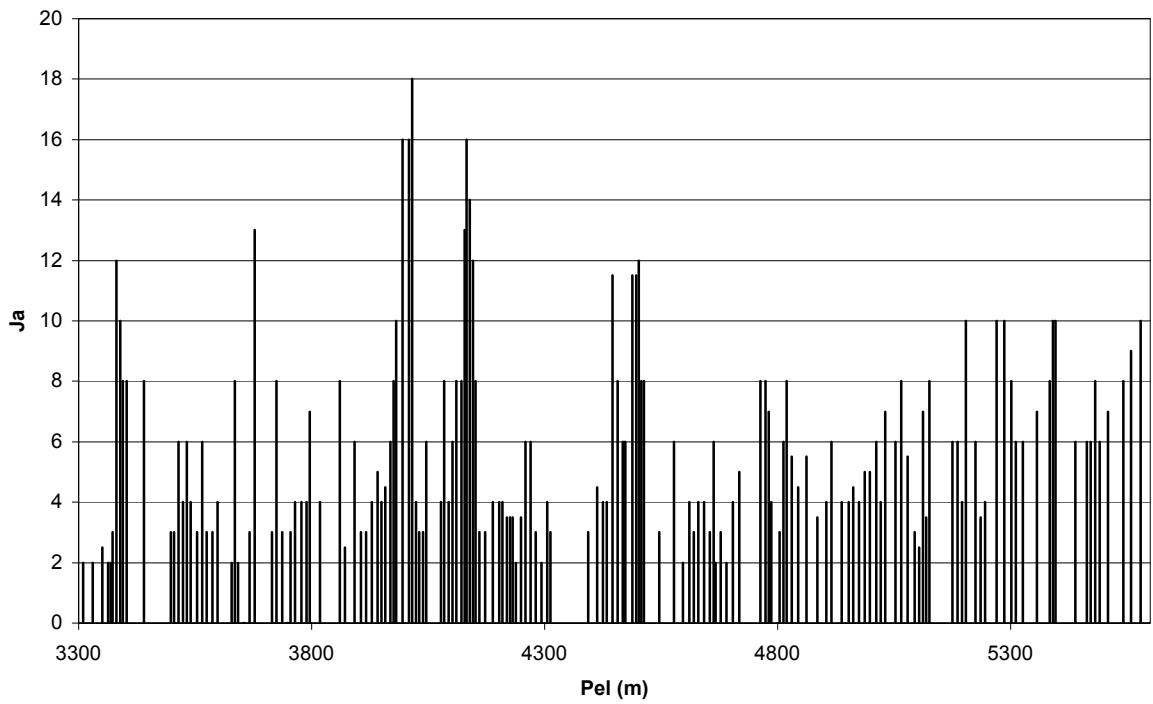
F:\P\2000\10\20001042\vrkbsdel\pdf\files\rapfigs.xls\Fig9

<b>FRØYATUNNELEN</b>	Rapport nr.	Figur nr.
	20001042	9
	Utført av	Dato
	rkb	28.03.01
Hitrastuffen	Kontrollert	
	Godkjent	
Jr og injeksjon		



F:\P\2000\10\20001042\rkbsdel\pdf\files\[rapfigs.xls]Fig10

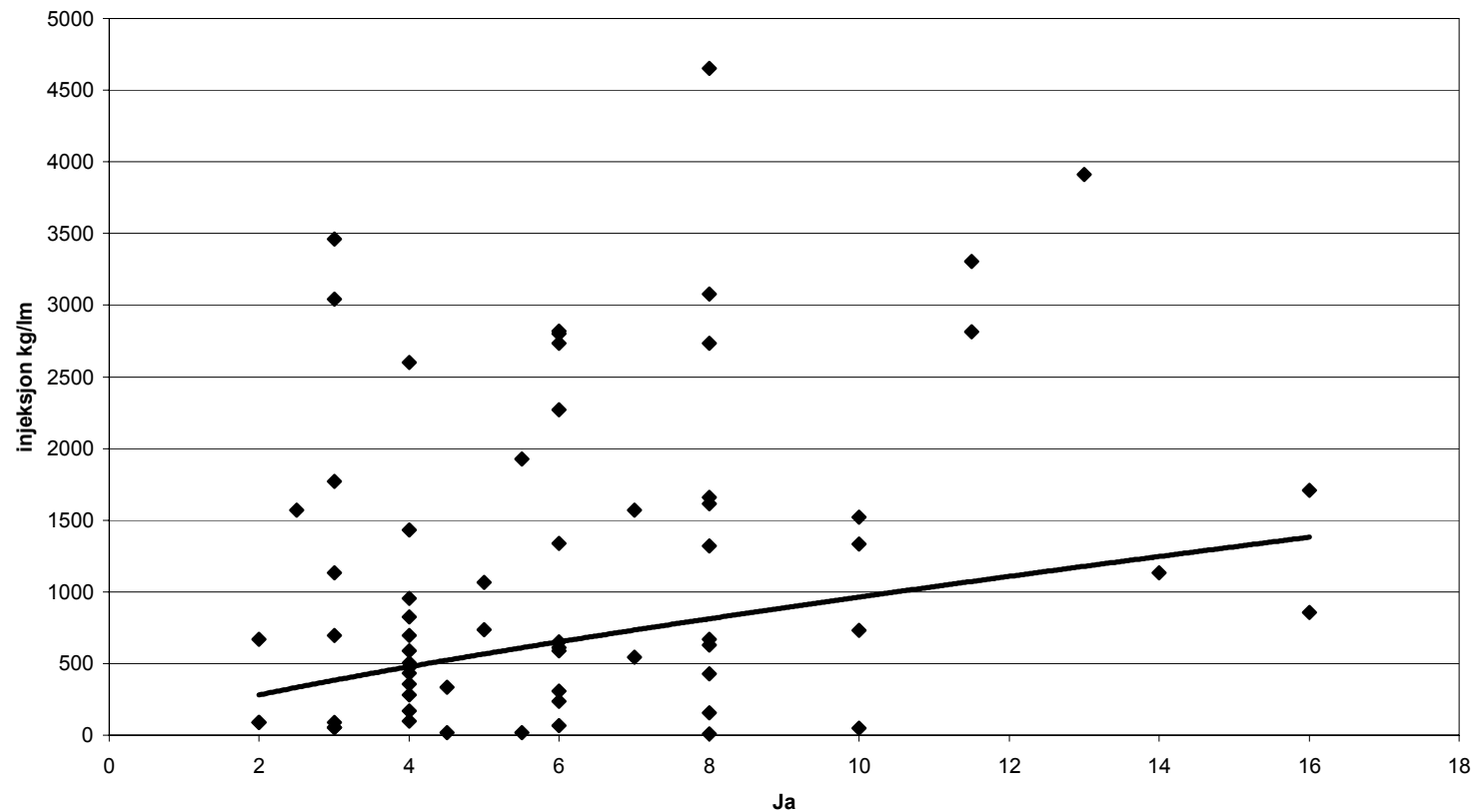
<b>FRØYATUNNELEN</b>	Rapport nr.	Figur nr.
	20001042	10
Jr og injeksjon	Utført av	Dato
	rkb	28.03.01
	Kontrollert	
	Godkjent	




F:\P\2000\10\20001042\vrkbsdel\pdf\files\rapfigs.xls\Fig11

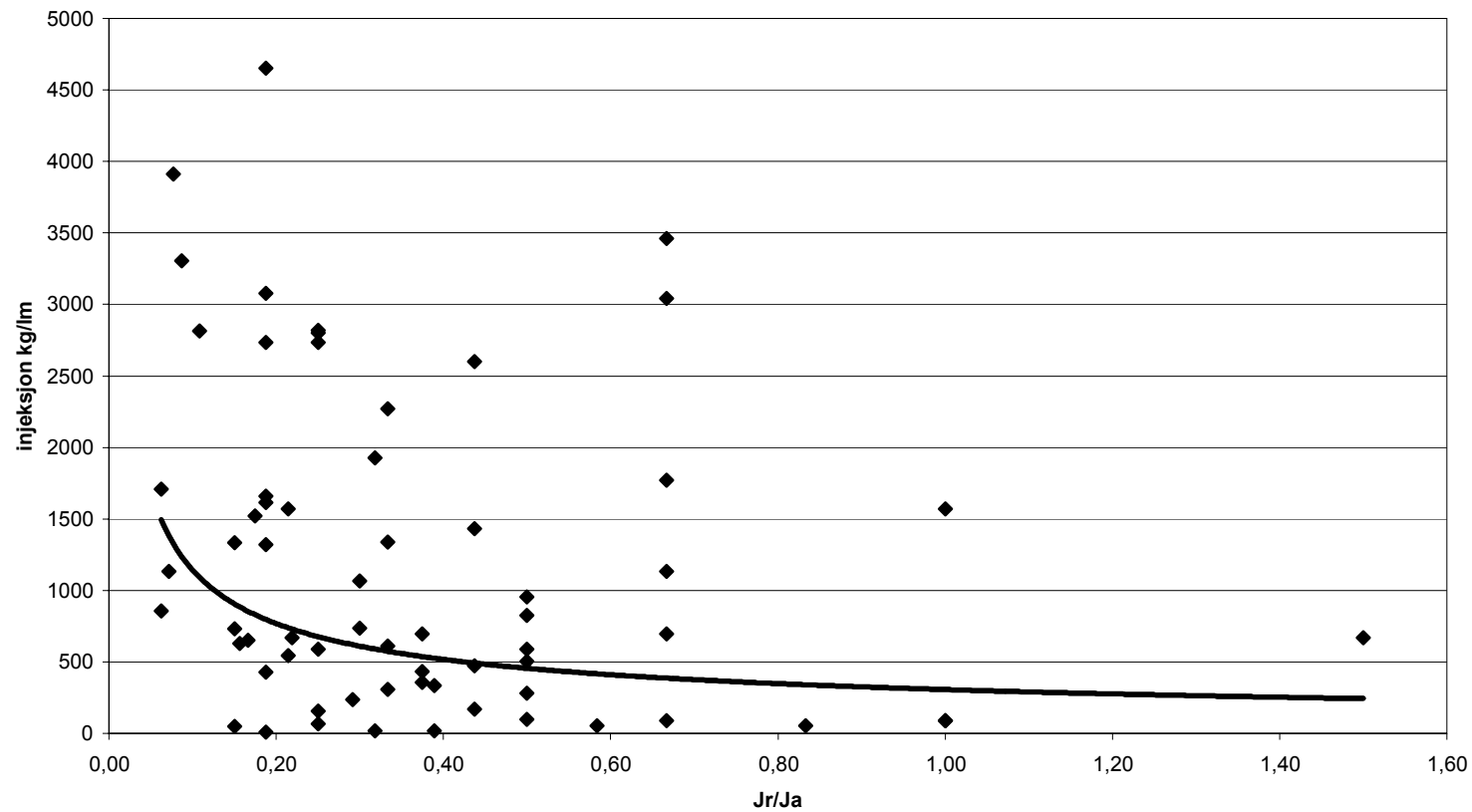
<b>FRØYATUNNELEN</b>	Rapport nr. 20001042	Figur nr. 11
	Utført av rkb	Dato 28.03.01
	Kontrollert	
	Godkjent	
Hitrastuffen		
Ja og injeksjon		






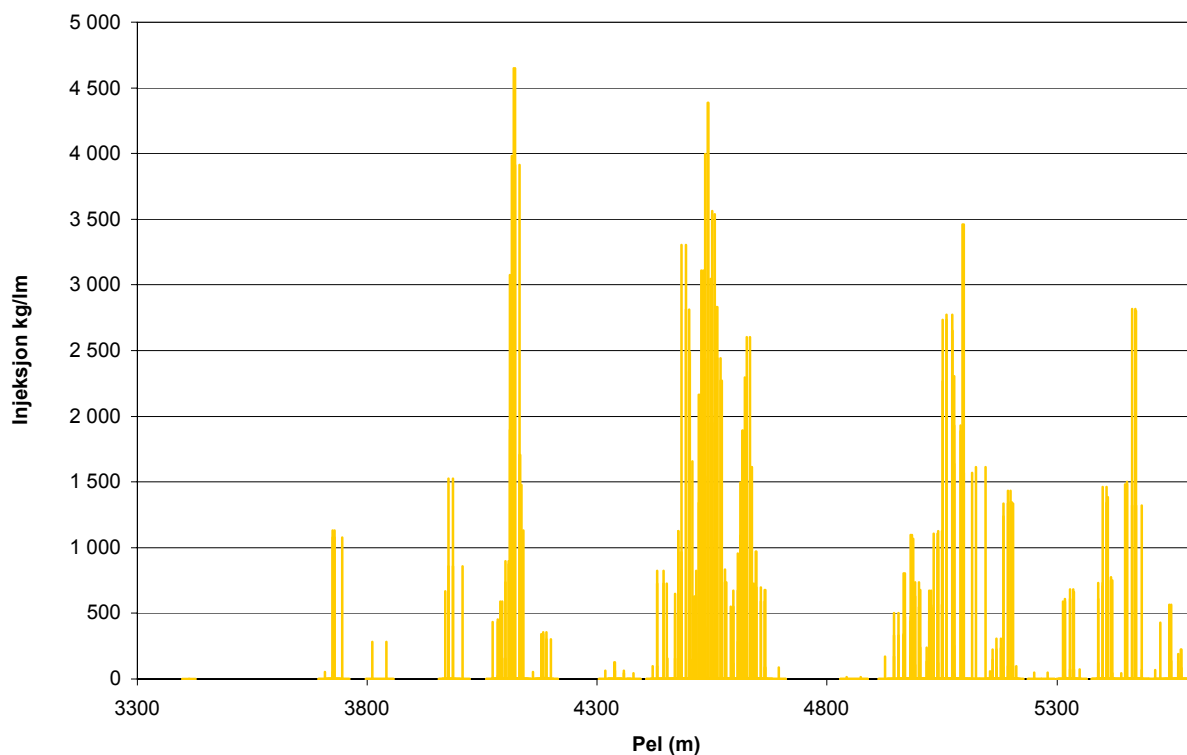
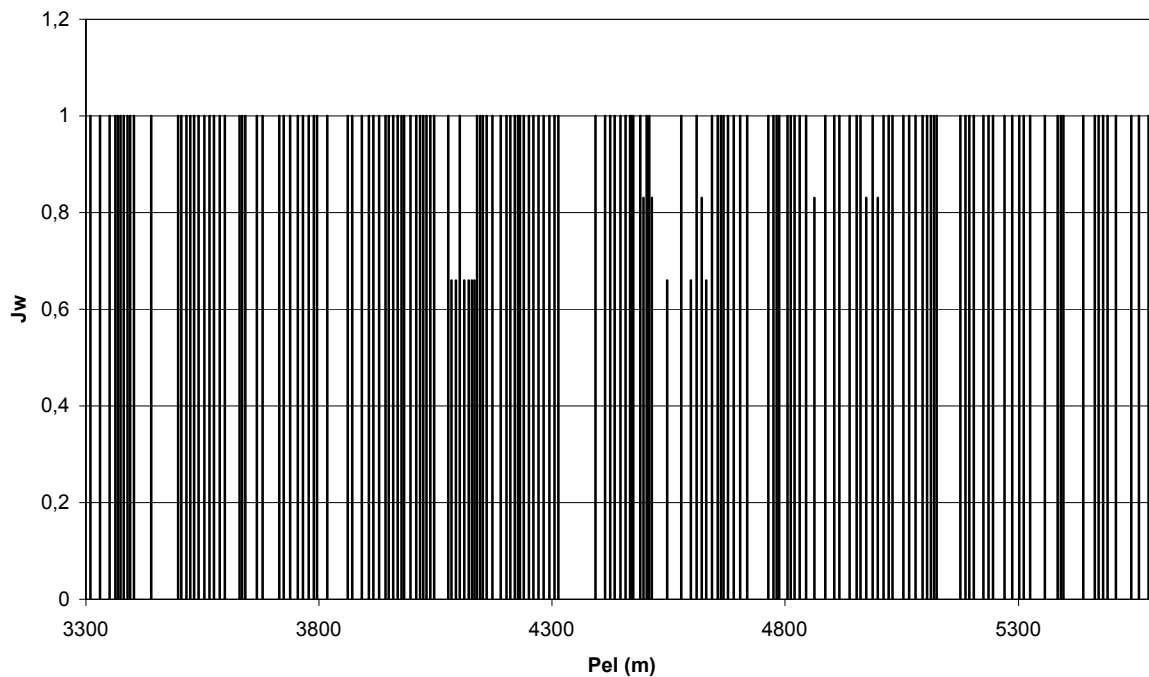
F:\P\2000\10\20001042\rkbsdel\pdf\files\[rapfigs.xls]Fig12

<b>FRØYATUNNELEN</b>	Rapport nr.	Figur nr.
	20001042	12
Ja og injeksjon	Utført av	Dato
	rkb	28.03.01
	Kontrollert	
	Godkjent	




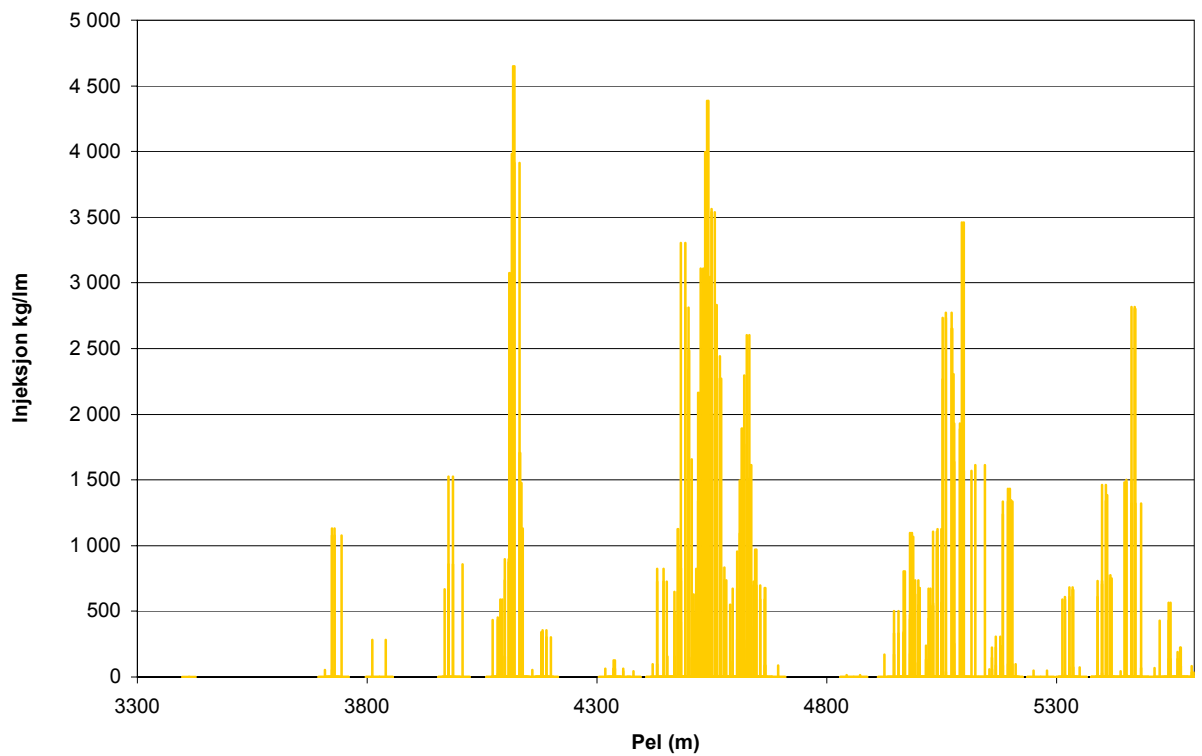
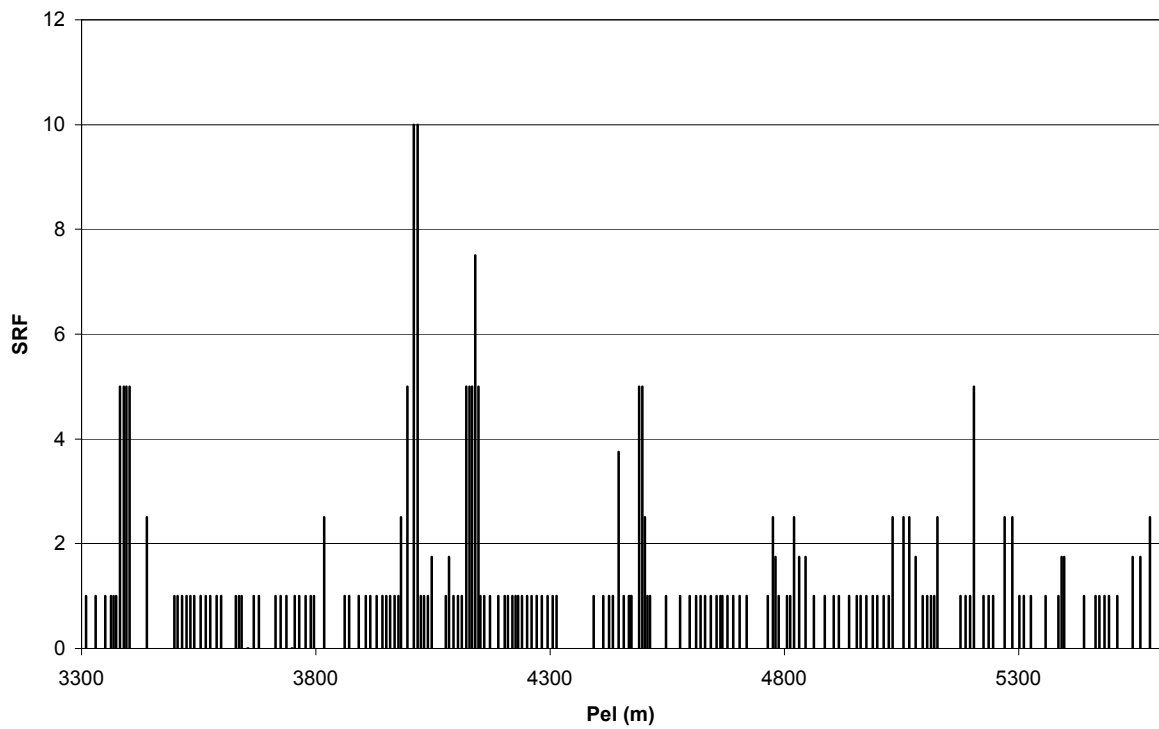
F:\P\2000\10\20001042\rkbsdel\pdf\files\rapfigs.xls\Fig13

<b>FRØYATUNNELEN</b>	Rapport nr.	Figur nr.
	20001042	13
Jr/J <sub>a</sub> og injeksjon	Utført av	Dato
	rkb	28.03.01
	Kontrollert	
	Godkjent	




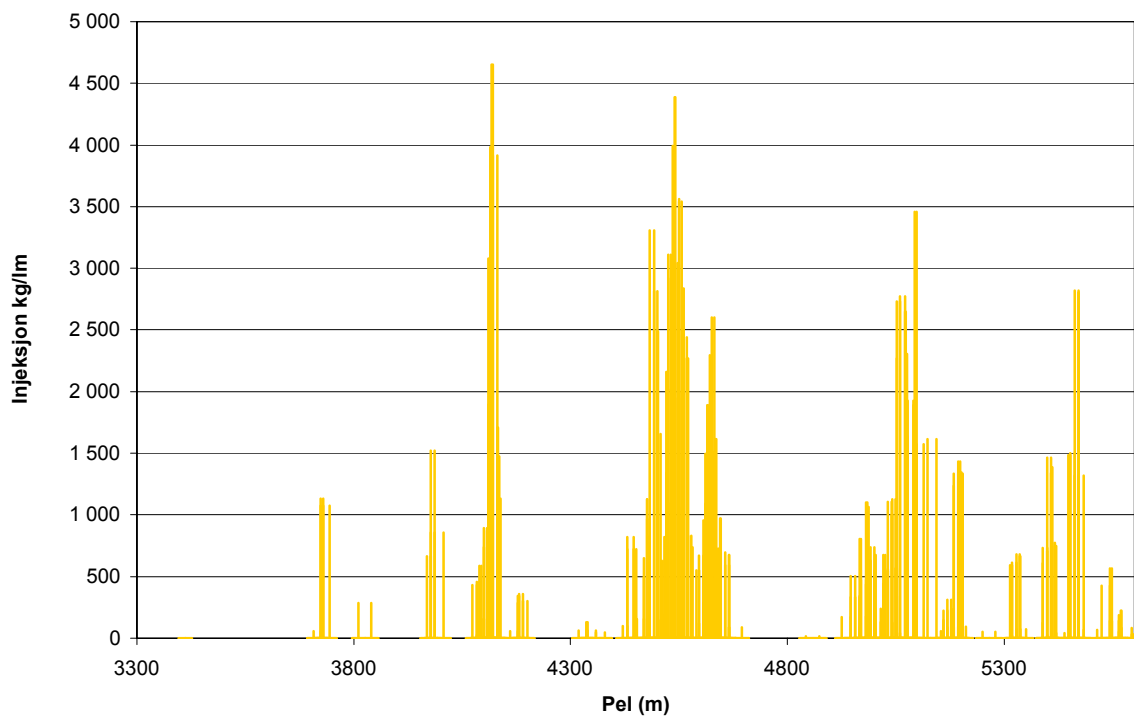
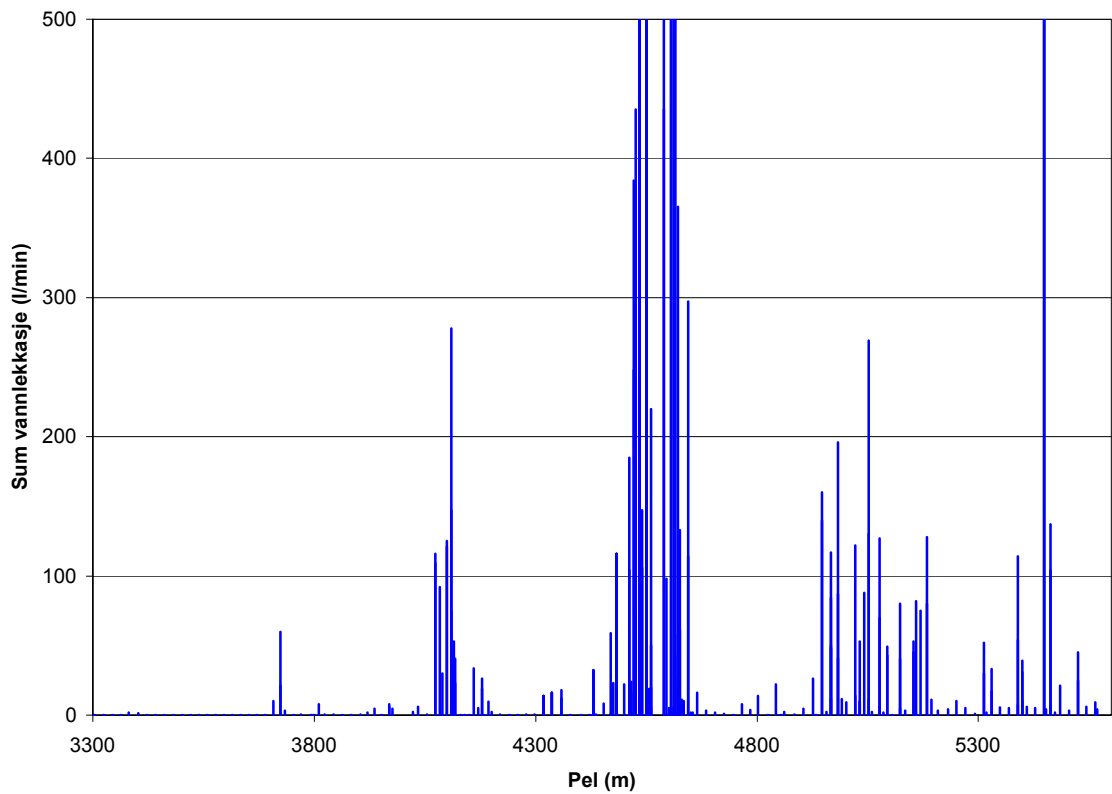
F:\PI\2000\10\20001042\vrkbsdel\pdf\files\rapfigs.xls\Fig14

<b>FRØYATUNNELEN</b>	Rapport nr.	Figur nr.
	20001042	14
	Utført av	Dato
	rkb	28.03.01
Hitrastuffen	Kontrollert	
	Godkjent	
Jw og injeksjon		





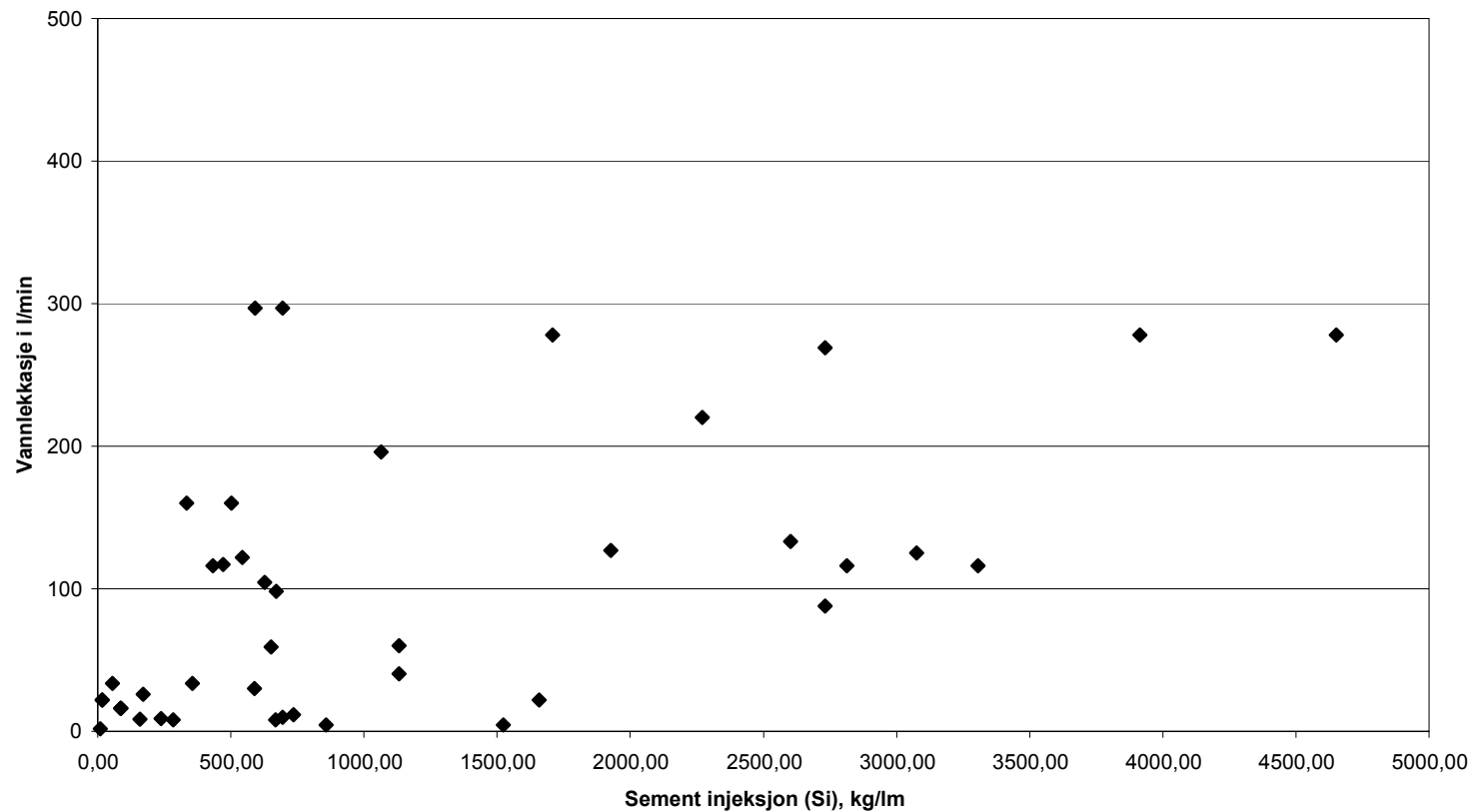
F:\P\2000\10\20001042\vrkbsdel\pdf\files\rapfigs.xls\Fig15

<b>FRØYATUNNELEN</b>	Rapport nr.	Figur nr.
	20001042	15
	Utført av	Dato
	rkb	28.03.01
Hitrastuffen	Kontrollert	
	Godkjent	
SRF og injeksjon		




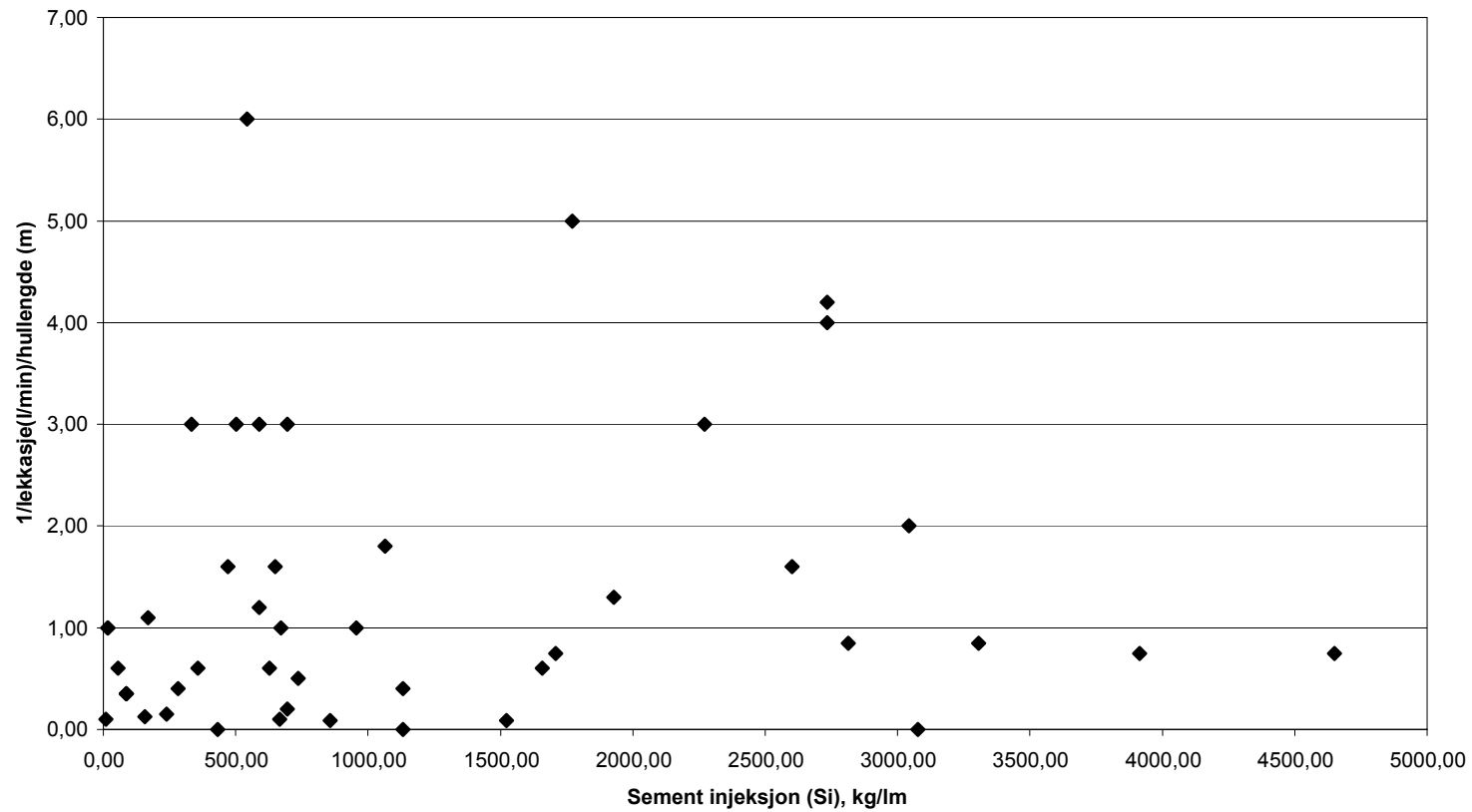
F:\P\2000\10\20001042\vrkbsdel\pdf\files\rapfigs.xls]Fig16

<b>FRØYATUNNELEN</b>	Rapport nr.	Figur nr.
	20001042	16
	Utført av	Dato
	rkb	28.03.01
Hitrastuffen	Kontrollert	
	Godkjent	
Vannlekkasjer og injeksjon		




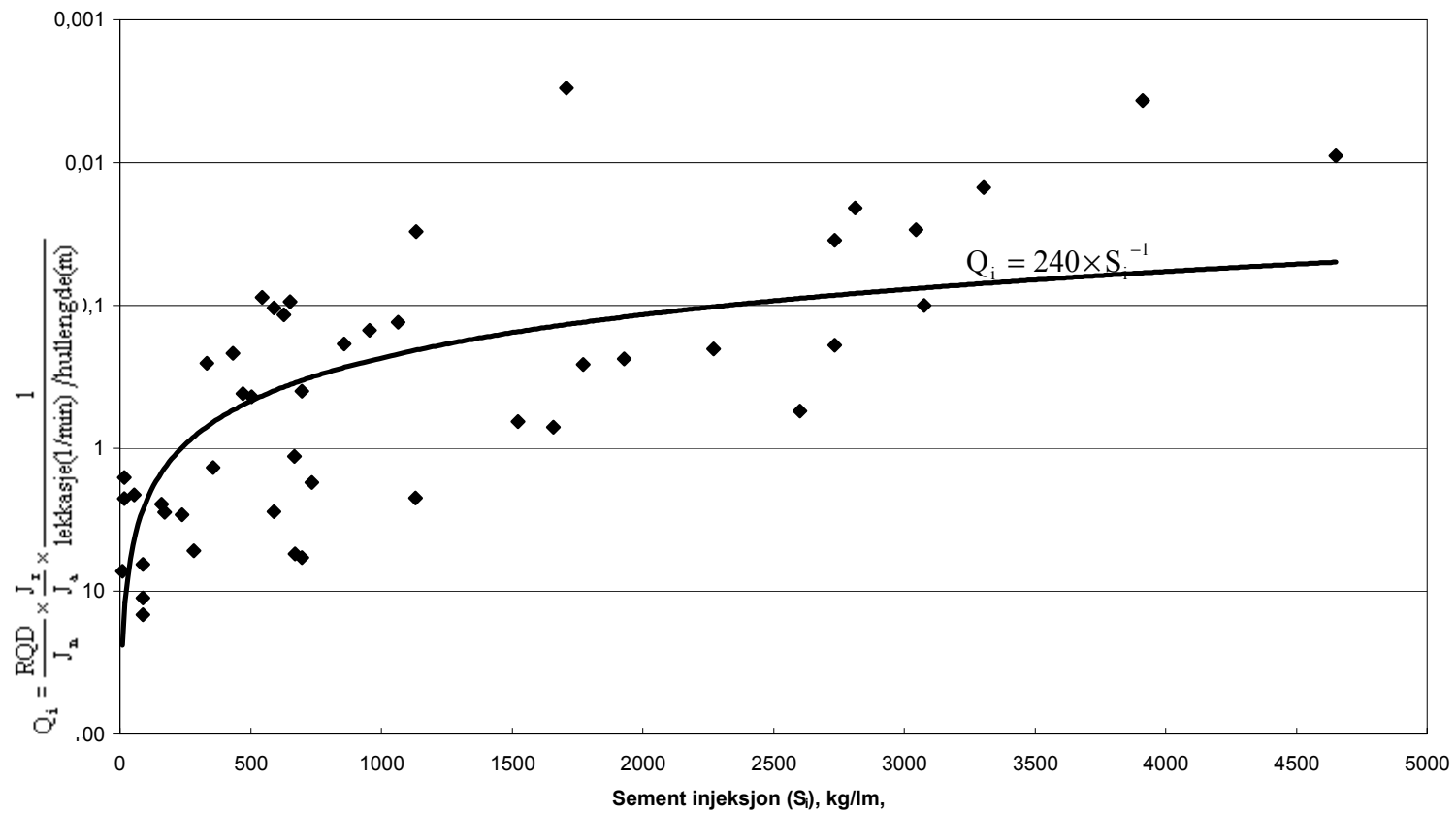
F:\P\2000\10\20001042\rkbsdel\pdffiles\rapfigs.xls\Fig17

<b>FRØYATUNNELEN</b>	Rapport nr.	Figur nr.
	20001042	17
Injeksjonsmengde og vannlekkasjer	Utført av	Dato
	rkb	28.03.01
	Kontrollert	
	Godkjent	




F:\P\2000\10\20001042\rkbsdel\pdf\files\rapfigs.xls\Fig18

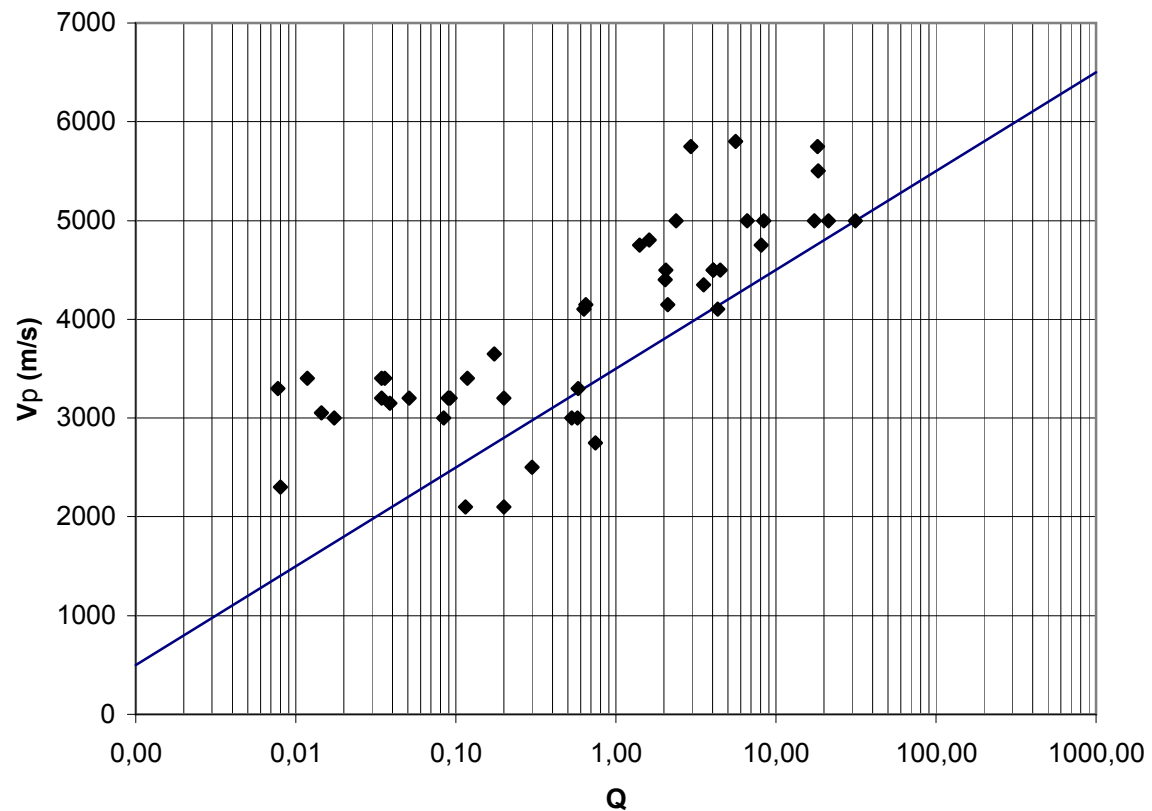
<b>FRØYATUNNELEN</b>	Rapport nr.	Figur nr.
	20001042	18
Injeksjonsmengde og vannlekkasjer/hullengde	Utført av	Dato
	rkb	28.03.01
	Kontrollert	
	Godkjent	




F:\P\2000\10\20001042\rkbsdel\pdf\files\rapfigs.xls\Fig19

<b>FRØYATUNNELEN</b>	Rapport nr.	Figur nr.
	20001042	19
	Utført av	Dato
	rkb	28.03.01
Tillempet Q-verdi ( $Q_i$ ) og sement injeksjon ( $S_i$ )	Kontrollert	
	Godkjent	





F:\P\2000\10\20001042\rkbsdel\pdf\files\rapfigs.xls\Fig20

<b>FRØYATUNNELEN</b>	Rapport nr.	Figur nr.
	20001042	20
Seismiske hastigheter og Q-verdier	Utført av	Dato
	rkb	28.03.01
	Kontrollert	
	Godkjent	

# Kontroll- og referanseside/ Review and reference page

<b>Oppdragsgiver/Client</b> Prosjektet Miljø- og samfunnstjenelige tunneller	<b>Dokument nr/Document No.</b> 20001042-1
<b>Kontraksreferanse/ Contract reference</b> Brev datert 22/3/2001	<b>Dato/Date</b> 25/02/02
<b>Dokumenttittel/Document title</b>  Frøyatunnelen- Vurdering av injeksjon i forhold til Q-parametre <b>Prosjektleder/Project Manager</b> Vidar Kveldsvik <b>Utarbeidet av/Prepared by</b> Rajinder Bhasin	<b>Distribusjon/Distribution</b>  <input type="checkbox"/> <b>Fri/Unlimited</b> <input type="checkbox"/> <b>Begrenset/Limited</b> <input type="checkbox"/> <b>Ingen/None</b>
<b>Emneord/Keywords</b>  Lekkasjer, Injeksjon, Q-system	
<b>Land, fylke/Country, County</b> Norge <b>Kommune/Municipality</b> Sør Trøndelag <b>Sted/Location</b> Frøya-Hitra <b>Kartblad/Map</b> 1422 II og III <b>UTM-koordinater/UTM-coordinates</b>	<b>Havområde/Offshore area</b>  <b>Felt navn/Field name</b>  <b>Sted/Location</b>  <b>Felt, blokknr./Field, Block No.</b>

Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001							
Kon- trollert av/ Reviewed by	Kontrolltype/ Type of review	Dokument/Document		Revisjon 1/Revision 1		Revisjon 2/Revision 2	
		Kontrollert/Reviewed		Kontrollert/Reviewed		Kontrollert/Reviewed	
		Dato/Date	Sign.	Dato/Date	Sign.	Dato/Date	Sign.
VK	Helhetsvurdering/ General Evaluation *						
FL	Språk/Style						
FL	Teknisk/Technical - Skjønn/Intelligence - Total/Extensive - Tverrfaglig/ Interdisciplinary						
	Utforming/Layout						
RKB	Slutt/Final						
JGS	Kopiering/Copy quality						

\* Gjennomlesning av hele rapporten og skjønnsmessig vurdering av innhold og presentasjonsform/  
On the basis of an overall evaluation of the report, its technical content and form of presentation

<b>Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release</b>	<b>Dato/Date</b>	<b>Sign.</b>
--	------------------	--------------