

Intern rapport nr. 2313

MILJØ- OG SAMFUNNSTJENLIGE
TUNNELER

- et bransjeprosjekt

Rapport nr. 23:

Injeksjon - erfaringer fra
Lunnertunnelen



Intern rapport nr. 2313

Rapport nr. 23

Injeksjon - erfaringer fra Lunnertunnelen

Sammendrag

En systematisk innsamling av erfaringer med injeksjonsmetodikken som er brukt på forskjellige prosjekter i tettbygde strøk er tidligere utført i regi av "Miljø- og samfunnstjenlige tunneler" (Rapport nr. 2). Den tidligere studien var knyttet til tunnelprosjekter i tettbygde strøk, hvor tunnelene til dels er gruntliggende og pålagt meget strenge tetthetskrav.

Denne rapporten sammenfatter på samme måte erfaringene fra injeksjonsarbeidet i østre del av Lunnertunnelen (rv. 35), hvor tetthetskravene var strenge pga. at traséen går under et vernet naturområde.

Erfaringene fra denne og de tidligere studerte tunnelprosjektene er oppsummert bl.a. med hensyn til bergmassevariasjon, tetthetskrav/resultater, utførelse og materialforbruk.

Rapporten er utarbeidet ved NVK av Helen Andersson

Emneord: *Tunnel, forinjeksjon, erfaringer, NFR-prosjekt*

Seksjon: Geo- og tunnelteknikk

Saksbehandler: Mona Lindstrøm

/ML

Dato: *Mars 2003*

Norges forskningsråd

MILJØ- OG SAMFUNNSTJENLIGE TUNNELER

Injeksjon -
erfaringer fra Lunnertunnelen



INNHALDSFORTEGNELSE

SAMMENDRAG	ii
1 INNLEDNING	1-1
1.1 Bakgrunn.....	1-1
1.2 Aktivitet "Injeksjonsstrategi".....	1-1
2 VALG AV AKTUELLE TUNNELPROSJEKTER	2-1
2.1 Kriterier for utvalg.....	2-1
2.2 Tidligere studerte tunneler.....	2-1
2.3 Aktuell tunnel i denne studien.....	2-2
3 METODIKK FOR INNHENTING OG BEARBEIDING AV ERFARINGER	3-1
3.1 Planlegging av studien.....	3-1
3.2 Opplegg for intervju og rapportering.....	3-1
4 LUNNERTUNNELEN, RV. 35 GARDERMOEN	4-1
4.1 Kortfattet prosjektbeskrivelse.....	4-1
4.2 Tetthetskrav og lekkasjeforhold.....	4-2
4.3 Rutinemessig injeksjon.....	4-4
5 OPPSUMMERING LUNNER	5-1
REFERANSER	6-1

SAMMENDRAG

Prosjektutvalg	<p>En systematisk innsamling av erfaringer med injeksjonsmetodikken som er brukt på forskjellige prosjekter ble utført under 2000-2001 [1]. Samtlige seks tunnelprosjekter i denne tidligere studien var knyttet til tettbygde strøk, til dels gruntliggende og pålagt meget strenge tetthetskrav.</p> <p>For et FoU-prosjekt som skal innhente og bearbeide erfaringer fra injeksjonsarbeider er det selvfølgelig ønskelig med et stort antall tunnelprosjekter. Våren 2002 ble studien utvidet til å omfatte en til tunnel under utførelse – Lunnertunnelen.</p> <p>Denne rapporten omfatter kun erfaringene innhentet fra østlige delen av tunnelen, hvor rutinemessig injeksjon ble utført av NCC. På vestsiden hadde et fåtall skjermer blitt injisert før store injeksjonsinnsatser ble utført i et område med vanskelige forhold. Dette ble betraktet som et tilfelle av tilpasset injeksjon, og er ikke behandlet i denne rapporten.</p>
Prosjektvurdering	<p>I likhet med de tidligere studerte prosjektene (dvs Tåsen, Svartdalen, Lundby, Storhaug, Bragernes og Baneheia) ble den aktuelle tunnelen valgt ut fra en vurdering av følgende:</p> <ul style="list-style-type: none">• Godt dokumentert utførelse og resultater• Representativ mht dagens injeksjonsstrategi og metodevalg• Strenge tetthetskrav• Stor tetteinnsats <p>I motsetning til tidligere prosjekter er Lunnertunnelen et samferdselsprosjekt lokalisert i et tynt befolket område (Rv. 35 mot Gardermoen). Vedlegg 1 oppsummerer erfaringene fra denne og tidligere studerte tunnelprosjekter.</p>
Nøkkeldata	<p>Gjennomsnittstall for tetteinnsatsen i det enkelte prosjekt er sammenstilt mht bergmasseforhold i tabellen på side iv. Tabellen presenterer tetthetskrav / resultater og inkluderer også de seks prosjektene fra den første studien. Den kan ved behov anvendes til grovsøk i datamengden som er innhentet. Erfaringene er beskrevet og oppsummert under det enkelte prosjektkapittel i denne og den forrige rapporten "Injeksjon. Erfaringer fra utvalgte tunnelprosjekter" [1].</p>
Bergmasseforhold	<p>Erfaringene i den tidligere rapporten [1] dekker en viktig del av bergmassevariasjonene i Norge. Rapporten fra Lunnertunnelen legger til erfaringer fra injisering i syenitt, vulkanitt og sandstein / konglomerat.</p>
Tetthetskrav	<p>Forundersøkelsene for Lunnertunnelen var omfattende og tetthetskravene er relativt strenge (10-20 l/min/100 m). En 750 m strekning av tunnelen går nemlig under Rinilhaugen naturreservat.</p>
Valg av tettestrategi	<p>Systematisk forinjeksjon som hovedstrategi for tetteinnsatsen for tunnelprosjekter med strenge tetthetskrav er blitt helt vanlig. På noen</p>

prosjekter blir systematisk injisering bestemt før drivingen starter, andre ganger velger en å basere beslutningen om injisering på resultater fra sonderboringer.

Optimalisering

Ved østre del av Lunnertunnelen har en ved "normale" bergmasseforhold klart å oppnå ønsket tetthet på én injeksjonsomgang, noe som ble vurdert som kostnadsoptimalt. Den systematiske forinjeksjonen har gitt tilfredsstillende tetthet, målt til 4-5 l/min per 100 m i de østre områder hvor 10 l/min per 100 m var kravet og 8,4 l/min per 100 m totalt i ferdigstilt tunneldef.

For områder med svakhetssoner er det viktig å få bedret beredskap for å redusere utgang av injeksjonsmasse inn i tunnelen og stoppe ukontrollert utbredelse av masse langt fra tunneltraséen. I den siste delen av NCC's tunnelstrekning (ca 150 m) var det betydelig økning i forbruket av masse, vilket samsvarer med varslede svakhetssoner under Langvatnet.

Det var her vanlig med stort forbruk i noen hull i skjermen og mindre i øvrige hull. Et eksempel på ekstremt forbruk var over 19 tonn med industrisement i ett hull (dvs ca 800 kg/m hull). Forbruket av sement og dermed injeksjonstiden burte nok i dette og andre lignende tilfeller ha vært begrenset.

På tross av meget stort forbruk av både masse og tid per skjerm i dette området (mellom 21000-46000 kg og 21-44 timer) ble likevel ønsket resultat oppnådd på én injeksjonsrunde. Det var ikke samsvar mellom prognosen for forbruk – det var stipulert til 900 tonn for hele tunnelen, men over det doble ble brukt for den østlige delen (1555 m av totalt 3800 m) av tunnelen alene.

BERGMASSE OG GRUNNVANN			KRAV OG RESULTATER		HOVEDSAKLIG INJEKSJONSSTRATEGI		TUNNELFAKTA				GJENNOMSNIITSTALL FOR BORING OG SEMENTFORBRUK							
Bergart / kvalitet	Bergoverdekning	Grunnvann	Tetthetskrav	Målt lekkasje	Sporadisk / systematisk	Injeksjonsmiddel	Prosjekt / beskrivelse	Pel nr / tunnallengde	Tunnel-tverrsnitt	Merknad *	Bormeter pr m inj.tunnel	Bormeter pr m ² inj.tunnel	Masse kg pr hull, inkl. fyll	Masse kg pr m hull, inkl. fyll	Masse kg pr m inj. tunnel	Masse kg pr m ² inj.tunnel	Masse kg pr time inj.tid	Inj.tid time pr m inj.tunnel
	m	m	l/min/100m	l/min/100m					m ²		bm/m	bm/m ²	kg/hull	kg/m hull	kg/m	kg/m ²	kg/time	
Gneis	10-40	20-40	2 *	1,7	Systematisk	Mikrosemnt Ultrafin 12	Baneheia, hele tunnelsystemet	3000 m totalt	87 (44-93)	60 l/min totalt, under Stampene 6-12 l/min/100m	40	1,08	256	11,4	514	14,2	755	0,68
Gneis			2		Systematisk	Mikrosemnt Ultrafin 12	Baneheia, tunnel B1000	Pel 3384-4054	93	33 hull pr skjerm i snitt	47 *	1,24	311	13,6	629	16,5	850	0,74
Gneis			2		Systematisk	Mikrosemnt Ultrafin 12	Baneheia, tunnel B1100	Pel 58-3913	93	27 hull pr skjerm snitt	48 *	1,26	283	12,5	601	15,8	834	0,72
Gneis			2		Systematisk	Mikrosemnt Ultrafin 12	Baneheia, tunnel B2200	Pel 58-400	69	28 hull pr skjerm i snitt	48 *	1,33	193	8,2	395	11,0	800	0,49
Gneis			2		Systematisk	Mikrosemnt Ultrafin 12	Baneheia, tunnel B2800	Pel 188-428	69	26 hull pr skjerm i snitt	38 *	1,19	236	11,2	432	13,5	536	0,81
Gneis, svakhetsone			2		Systematisk	Mikrosemnt Ultrafin 12	Baneheia, sone i tunnel B1000	Pel 3609-3624	93	6 runder, varav én med Thermax, ved pel 3619	133 *	3,51	175	10,1	1353	35,6	845	1,60
Gneis, svakhetsone			2		Systematisk	Mikrosemnt Ultrafin 12	Baneheia, sone i tunnel B1100	Pel 3543-3590	93	2-4 runder for 3 skjerm mellom pel 3578 og 3558	72 *	1,89	285	13,8	992	26,1	716	1,39
Gneis / alunskifer	2,5-3		5	4,3 *	Sporadisk	Industrisemnt Rapid	Svartdal, hele tunnelsystemet	3450 m totalt, varav 280 m inj.	65		22	0,66	1358	77	1719	50	978	1,76
Gneis / alunskifer	2,5-3		5		Sporadisk	Industrisemnt Rapid	Svartdal, Ekebergforkastningen	Pel 400-555Ø	65	13 skjerm (20 runder), 14898 kg pr skjerm	22 *	0,66	945	57	1249	19	822	1,52
Gneis / alunskifer	2,5-3		5		Sporadisk	Industrisemnt Rapid	Svartdal, Ekebergforkastningen	Pel 645-745V	65	8 skjerm (10 runder), 30586 kg pr skjerm	22 *	0,66	2074	108	2447	37	1427	1,71
Granitt, skifrig	5-35	5-35	0,5-2,5	0,9	Systematisk	Injekterings-cement	Lundby, hele tunnelsystemet	4358 m totalt	86-92		80	2,00	79	5,9	476	11,9	-	-
Granitt, skifrig		12-35	1,0 og 0,5	0,9 og 0,85	Systematisk	Injekterings-cement	Lundby, tetteklasse 1	Pel 1190-1780 og 2040-2660	86-92	149 skjerm med 62 hull, 4692 kg pr skjerm	113 *	2,83	76	6,3	669	16,7	-	-
Granitt, skifrig		30-35	2,0	1,5	Systematisk	Injekterings-cement	Lundby, tetteklasse 2	Pel 1780-2040	86-92	167 skjerm med 44 hull, 3372 kg pr skjerm	82 *	2,05	77	5,9	481	12,0	-	-
Granitt, skifrig		15-30	2,5	1,1	Systematisk	Injekterings-cement	Lundby, tetteklasse 3	Pel 600-1190	86-92	269 skjerm med 30 hull, 2527 kg pr skjerm	61 *	1,53	84	4,9	360	9,0	-	-
Granitt, knusningssone	5-10	18-28	0,8 (0,5)	1,0	Systematisk	Injekterings-cement / Tacss polyuretan	Lundby, Lammelyckan	Pel 2240-2450	86-92	Hullengde 10 m, for- og etterinj. m/ komb. PU og sement	166 *	4,16	84	7,7	1158	29	-	-
Fyllitt	3-4	10-15	3 *	1,6	Systematisk	Mikrosemnt Ultrafin 12	Storhaug, del av tunnelen	Pel 1400-1550	85	Mellom pel 750-900 var det 10 l/min/100 m, ikke injisert	130	3,34	112	7,8	1014	26	273	3,71
Rombe / kvartsporfyrr / basalt	10-150 snitt ~100	10-150 snitt ~100	10 og 30	10,1	Systematisk	Industrisemnt Rapid	Bragernes, hele tunnelen	2310 m hovedtunnel	72-83		17	0,57	2050	81	1242	42	2744	0,41
Rombeporfyrr			-	8	Systematisk	Industrisemnt Rapid	Bragernes, del av tunnelen	Pel 240-400	72-83	10 hull pr skjerm i snitt, 9758 kg pr skjerm	18 *	0,61	1324	52	788	26	-	-
Rombeporfyrr			30	8	Systematisk	Industrisemnt Rapid	Bragernes, del av tunnelen	Pel 400-800	72-83	7 hull pr skjerm i snitt, 16650 kg pr skjerm	10 *	0,34	2233	85	918	31	-	-
Rombeporfyrr			10	8	Systematisk	Industrisemnt Rapid	Bragernes, del av tunnelen	Pel 800-1420	72-83	12 hull pr skjerm i snitt, 22810 kg pr skjerm	19 *	0,64	2153	85	1445	48	-	-
Basalt			10	8	Systematisk	Industrisemnt Rapid	Bragernes, del av tunnelen	Pel 1420-1820	72-83	11 hull pr skjerm i snitt, 17947 kg pr skjerm	15 *	0,51	1704	62	928	31	-	-
Kvartsporfyrr			30	25	Systematisk	Industrisemnt Rapid	Bragernes, del av tunnelen	Pel 1820-1900	72-83	10 hull pr skjerm i snitt, 11450 kg pr skjerm	13 *	0,44	1145	42	290	10	-	-
Kvartsporfyrr			30	25	Systematisk	Industrisemnt Rapid	Bragernes, del av tunnelen	Pel 1900-2050	72-83	6 hull pr skjerm i snitt, 7487 kg pr skjerm	6 *	0,20	1365	62	267	9	-	-
Rombeporfyrr, oppsprukket			-	25	Systematisk	Industrisemnt Rapid	Bragernes, del av tunnelen	Pel 2050-2500	72-83	13 hull pr skjerm i snitt, 34111 kg pr skjerm	17 *	0,57	2722	111	1911	64	-	-
Rombeporfyrr / forkastning		80-100	10	8	Systematisk	Industrisemnt Rapid	Bragernes, Bjerringdalsforkastningen	Pel 1257-1293	80	2-4 runder for 3 skjerm mellom pel 1267 og 1283	101 *	1,26	1534	78	7881	99	-	-
Kalk / leirskifer	5-20	5-20	Systematisk 10 Sporadisk 15-20	25,7	Systematisk	Industrisemnt Rapid	Tåsen, hele tunnelsystemet	1870 m totalt	65-80		31	1,00	535	26	802	26	870	0,92
Syenittgang, oppsprukket	5-10	15-20	10	32	Systematisk	Ind.sement Rapid, litt mikrosemnt	Tåsen, del av østre løp	Pel 2750-2815Ø	80	11 skjerm (22 runder), 14077 kg pr skjerm	84 *	2,72	445	28	2382	77	-	-
Syenittgang, oppsprukket	5-10	15-20	10	28	Systematisk	Ind.sement Rapid, litt mikrosemnt	Tåsen, del av vestre løp	Pel 2800-2860V	80	11 skjerm (21 runder), 15485 kg pr skjerm	88 *	2,85	491	32	2839	92	-	-
Syenittgang, oppsprukket		10	7	14,9 *	Systematisk	Mikrosemnt Rheccem 900	T-baneringen	Pel 700-750	64	Målt mellom pel 650-750.	380	5,94	700	31	11900	186	644	18,47
Syenitt / vulkanitt / sandstein	10-130	snitt ~100	10-20 *	8,4	Systematisk	Industrisemnt, mikrosemnt Ultrafin 12	Lunner, hele østre del	Pel 2395-3960	61	10 og 20 l/min/100 m fordelt omtrent likt over strekningen	40	1,34	722	30	1299	41	1224	1,06
Syenitt	75-100	100	20	26,6	Systematisk	Industrisemnt, mikrosemnt Ultrafin 12	Lunner, del av tunnelen	Pel 2405-2580	61	13 skjerm (13 runder), 38566 kg pr skjerm	41	1,29	1552	64,7	2728	86	1856	1,47
Vulkanitt	80-130	110	10	4,0	Systematisk	Industrisemnt, mikrosemnt Ultrafin 12	Lunner, del av tunnelen	Pel 2580-3770	61	77 skjerm (82 runder), 13909 kg pr skjerm	40	1,24	567	23,9	1019	36	1140	0,89
Sandstein / konglomerat	10-50	40	10-20, likt fordelt	4,1	Systematisk	Industrisemnt, mikrosemnt Ultrafin 12	Lunner, del av tunnelen	Pel 3770-3940	61	12 skjerm (12 runder), 24002 kg pr skjerm	41	1,28	952	40,8	1592	51	1131	1,41

1 INNLEDNING

1.1 Bakgrunn

En stor del av fremtidige tunnelprosjekter i Norge vil være knyttet til tettbebygde strøk. Slike tunneler vil ofte være grunnleggende og pålagt meget strenge tetthetskrav. En systematisk innsamling av erfaringer med injeksjonsmetodikken som er brukt på forskjellige prosjekter i tettbygde strøk ble utført under 2000-2001 [1] innenfor FoU-prosjektet "Miljø- og samfunnstjenlige tunneler".

Analyse av erfaringene fra utførte prosjekter er av avgjørende betydning for å kunne videreutvikle injeksjonsmetodikken. Det må legges stor vekt på å undersøke og dokumentere injeksjonserfaringer ytterligere. Deretter må konklusjoner og oppdagelser gjort på utførte prosjekter føres videre til utprøving på nye prosjekter. Dette gjelder for eksempel materialer, utstyr, metode, skjermgeometri.

1.2 Aktivitet "Injeksjonsstrategi"

Utfordringene i aktivitet "Injeksjonsstrategi" i delprosjekt "Tetteteknikk" er å studere injeksjonstekniske metoder og resultater både for rutinemessige utførelser og utførelser tilpasset mer spesielle, men likevel vanlig forekommende situasjoner som:

- Liten overdekning
- Dårlig bergmassekvalitet
- Strenge tetthetskrav
- Ugunstig tunnelgeometri

Hovedmål for aktivitet "Injeksjonsstrategi" er derfor å:

1. Dokumentere og analysere erfaringer med forinjisering på stoff både ved normale "rutinemessige" forhold og ved spesielle "tilpassede" forhold.
2. Videreutvikle utstyr, materialer og prosedyrer for optimal forinjeksjon både mht tidskostnader og spesielle forhold.

Punkt 1 beskriver arbeidet i Fase 1 for aktivitet "Injeksjonsstrategi ved forinjisering av tunneler", som rapporteres i rapport nr 2 "Injeksjon – Erfaringer fra utvalgte tunnelprosjekter" [1] og denne rapporten.

Punkt 2 beskriver arbeidet i Fase 2 for aktiviteten, hvor en vil søke å få utprøvd og videreutviklet viktige (og mulige) problemstillinger og erfaringer som er kommet fram i fase 1. Dette er blitt gjennomført på prosjektet T-baneringen i Oslo under år 2001. Fase 2 er temaet for rapportene nr 3 "Injeksjon av "problemsone" ved byggingen av T-baneringen" [2] og nr 16 "Sluttrapport for injeksjonsarbeidene ved T-baneringen" [3].

2 VALG AV AKTUELLE TUNNELPROSJEKTER

2.1 Kriterier for utvalg

En systematisk innsamling av erfaringer med injeksjonsmetodikken som er brukt på forskjellige prosjekter ble utført under 2000-2001 [1]. Ved oppstart ble det kartlagt og utført en grov vurdering av de fleste tunnelprosjekter av nyere dato hvor forinjisering hadde vært en viktig komponent.

Basert på denne gjennomgangen ble 6 tunnelprosjekter valgt ut for grundigere bearbeiding. Kriteriene for valget var grovt sett følgende:

- samferdselsprosjekt i tettbygde strøk
- omfang og type strategi for forinjeksjon
- nok omfang av foreliggende erfaringsmateriale og tilgjengelige personer med førstehåndskunnskap om utførelsen

Totalt sett ble de 6 prosjektene vurdert å være de mest representative tunnelprosjekter mht dagens injeksjonsstrategi og metodevalg.

2.2 Tidligere studerte tunneler

Samtlige tunnelprosjekter i den tidligere studien var knyttet til tettbygde strøk, til dels gruntliggende og pålagt meget strenge tetthetskrav. De utvalgte prosjektene beskrives i korthet nedenfor:

- Tåsentunnelen i Oslo har liten overdekning og til dels meget permeabel bergmasse. Tetthetskravene var moderate (10-20 l/min/100m) og rapporteringen fra anlegget var god.
- Svartdalstunnelen i Oslo har komplisert tunnelgeometri (to løp og kryss med ramper), liten overdekning og vanskelige geologiske forhold gjennom Ekebergforkastningen.
- Lundbytunnelen i Gøteborg har til dels liten overdekning med setningsømfintlige løsmasser ovenfor. Det var svært høye krav til tetthet (0,5-2,5 l/min/100m) og godt dokumenterte arbeider.
- Storhaugtunnelen i Stavanger hadde meget strenge tetthetskrav langs en strekning, med fyllitt med meget lav permeabilitet og liten overdekning. Mye data var publisert i et par rapporter.
- Bragernestunnelen i Drammen hadde en bergmasse med høy permeabilitet og lå nær andre tunneler. Tetthetskravene var differensierte, selv om overdekningen var jevnt over god.
- Baneheiatunnelene i Kristiansand ble bygget med to løp og hadde kryssninger i flere plan. Kravet til tetthet var høyt og permeabiliteten av bergmassen var gjennomgående lav.

2.3

Aktuell tunnel i denne studien

For et FoU-prosjekt som skal innhente og bearbeide injeksjons-erfaringer er det selvfølgelig ønskelig med et stort antall tunneler. Våren 2002 ble studien utvidet til å omfatte enda et tunnelprosjekt under utførelse – Lunnertunnelen. Erfaringene fra denne og tidligere studerte tunnelprosjekter oppsummeres i tabellform i Vedlegg 1.

Både Bragernestunnelen og Baneheiatunnelen var under utførelse da den forrige studien ble utført. I tillegg til at oppfølging på prosjektet da kan kompletteres ved behov, er også personer med førstehåndskunnskap om utførelsen lett tilgjengelige.

I likhet med Baneheiatunnelene på E18 i Kristiansand var det for Lunnertunnelen sin del rettet sterk fokus på injeksjonsarbeidene før byggingen tok til. Baneheiatunnelene går like under noen vann i et populært utfartsområde, mens Lunnertunnelen langs en 750 m lang strekning går under Rinilhaugen naturreservat. I begge tilfeller fantes derfor mer informasjon og data fra før byggingen startet enn det som er vanlig.

Forundersøkelsene for Lunnertunnelen har vært omfattende og inkluderer vanlige forundersøkelser som feltkartlegging, refraksjonsseismiske målinger og kjerneboring. Dessuten er det i regi av FoU-prosjektet "Miljø- og samfunnstjenlige tunneler" utført undersøkelser som tidligere er lite brukt ved tunnelprosjekt, som helikoptermålinger, geofysiske anomalier, geofysiske målinger på bakken, borehullslogging og strukturgeologiske studier.

I motsetning til tidligere prosjekter som alle er samferdselsprosjekt i tettbygde strøk, er Lunnertunnelen lokalisert i et tynt befolket område. Tunnelen er likevel blitt pålagt relativt strenge tetthetskrav (mellom 10-20 l/min/100m) og langs store deler av tunnelen har tetteinnsatsen vært betydelig.

Tunnelen i denne studien utfyller erfaringsgrunnlaget fra den første studien [1] med hensyn til bergmasseforhold (se tabell på side iv i "Sammendrag"). I østlige delen av Lunnertunnelen er det syenitt, vulkanitt og sandstein / konglomerat. På vestsiden er det en god del hornfels, som stort sett var tett. Injeksjonsinnsatsene på vestsiden inngår ikke i denne rapporten.

3 METODIKK FOR INNHENTING OG BEARBEIDING AV ERFARINGER

3.1 Planlegging av studien

Arbeidet i Fase 1 med å undersøke og dokumentere injeksjons-
erfaringer fulgte stort sett opplegget som blir beskrevet nedenfor.

Aktuelle prosjekter	ble kartlagt gjennom litteraturstudier, kontakter med personer innen tunnelbransjen etc. Eventuelle rapporter som foreligger allerede, vedrørende for eksempel analyse av injeksjonsresultater eller vurdering av tetthetskrav, ble studert.
Nøkkelpersoner	i de aktuelle prosjektene, men eventuelt også i injeksjonsmiljøet allment, ble kartlagt. Disse kunne eventuelt inngå i en grundigere undersøkelse i form av detaljerte intervjuer mht temæt tetting av tunneler med strenge tetthetskrav og spesielle forhold.
Spørsmålsliste	ble sammenstilt for å ha et strukturert underlag for diskusjonene ved intervjuene med nøkkelpersonene i de aktuelle prosjektene. Denne sjekklisen skal omfatte alt fra organisasjon og beredskap til praktisk utførelse og kontroll, og bør sendes ut i forkant av besøket.
Besøk / befaring	ble gjennomført ved den utvalgte tunnelen for å intervjuer nøkkel- personene på prosjektet og samle inn rapporter over analyser av injeksjonsresultater og/eller kopier av eksisterende underlag for å kunne gjøre egne vurderinger av injeksjonsarbeidene.
Dobbelsjekk	av materialet fra de ulike personene som er blitt intervjuet vedrørende de aktuelle prosjektene og vurdering av de ev. forskjeller som disse kan ha opplevd, ble utført gjennom at en preliminær sammenstilling av erfaringene sendes til de intervjuede personene for kontroll. En viktig del i det å få sammenstillingen av erfaringene mest mulig riktig er akkurat muligheten for de intervjuede personene å rette opp feil og mistolkninger, samt å komplettere materialet ved behov. Videre ble det ansett som meget viktig at flere sentrale personer fra alle involverte parter vurderte og kommenterte de innsamlede data.

3.2 Opplegg for intervju og rapportering

For å gjøre bearbeiding og sammenligning av erfaringene enklere brukes samme spørsmålslisten for både rutinemessig og eventuell tilpasset forinjisering. Listen sammenfattes nedenfor:

Organisering	Hvordan ble injeksjonsarbeidet planlagt mht organisasjon, programansvarlig, kontroll, oppfølging og dokumentasjon, samt erfaringstilbakeføring?
Forundersøkelser	Hvordan ble eventuelle resultater av kartlegging av bergmassen i tunnelen respektive i sonderhull, vanntapsmålinger i sonderhull, samt hydrogeologiske grunnundersøkelser brukt i planleggingen av forinjiseringen i den aktuelle tetningsssituasjonen?

Injeksjonsskjerm	Hvordan ble injeksjonsskjermen som skulle tilfredsstille det oppsatte tetthetskravet for den aktuelle bergmassen utformet mht hullengde, vinkel, avstand og eventuelle injeksjonshull i stuff? Redegjør også for boreutstyret, eventuell innmåling av hull, rengjøring for kaks, etc.
Injeksjonsmiddel	Angi verdier for noen nøkkelegenskaper (kornstørrelse, viskositet, v/c-tall, separasjonsstabilitet og herdetid) for det sementbaserte injeksjonsmiddelet som ble valgt for å injisere den aktuelle fjellmassen, samt hvordan disse egenskapene kunne styres og kontrolleres. Ble eventuelt ikke sementbaserte injeksjonsmidler brukt?
Injeksjonsutstyr	Hvordan planla og bygde dere opp injeksjonsutstyret (antall pumper og blandere, flerhullsutstyr, registreringsutrustning, samt pakkere og plassering av disse) for å klare tetningsoppgaven?
Planlagt utførelse	Hvordan utførte dere selve injeksjonsarbeidet mht hullbehandling før injeksjonsstart, statisk eller eventuelt dynamisk trykk, maksimalt trykk ifht grunnvann- og bergtrykk, samt rekkefølgen for injeksjonshullene?
Endringer i utførelsen	Ble dere nødt til å forandre injeksjonsarbeidet underveis, for eksempel når det gjelder organisasjon, injeksjonsskjerm, middel, utstyr, og utførelse?
Tetteresultatet	<p>Gjør en vurdering / prognose av resultatet av forinjeksjonsarbeidet når det gjelder inntrengningsdybde, forbruk injeksjonsmiddel, tetningseffekt, behov for ominjisering eller ev. etterinjisering.</p> <p>Under intervjuene blir innledningsvis data som størrelse på tunnelen, type tunnel, geologiske og hydrogeologiske forhold etc. gjennomgått. Videre blir innlekkasjekravene (i l/min pr 100 m tunnel), bestandighet og eventuelle økonomiske forhold behandlet.</p> <p>Svarene vedrørende rutinemessig forinjiseringen brukes for å kartlegge hvordan injeksjonsarbeidet ved normale forhold i tunnelen ble løst. Det blir lagt vekt på optimalisering av tid og kvalitet.</p> <p>For ev. tilpasset injeksjon er hensikten å kartlegge hvordan man valgte å løse injeksjonsarbeidet ved mer spesielle forhold. Den aktuelle tetningssituasjonen blir beskrevet (størrelse på sonen, type sone, geologi og hydrogeologi etc. og sortert i følgende deltemaer:</p> <ul style="list-style-type: none">• Meget permeabel bergmasse og meget høyt krav til tetthet for deler av tunnel• Lav permeabel bergmasse og meget høyt krav til tetthet for deler av tunnel• Sone med varierende permeabilitet og eventuelt med krav til kritisk stabilitet• Liten fjelloverdekning, eventuelt med overliggende setningsømfintlig materiale• To parallelle tunnellop eller passering over / under / nær andre fjellanlegg

4

LUNNERTUNNELEN, RV. 35 GARDERMOEN

Tunnellengde	3800 m, hvorav NCC's entreprise ca 1555 m
Utforming	Ett løp, tverrsnitt ca 61 m ²
Drevet	2001-2002
Innlekkasje	122,6 l/min. totalt dvs 8,4 l/min/100m
Lekkasjekrav	Pel 1450-1600, 1800-2100 og 2700-3850: 10 l/min/100m el. 5 l/min/20 m Pel 1250-1450, 1600-1800, 2100-2700 og 3850-3960: 20 l/min/100m el. 10 l/min/20 m
Gjennomsnittstall for sementforbruk	722 kg/hull – 30 kg/m hull – 1299 kg/m injisert tunnel – 41 kg/m ² injisert tunnel – 1224 kg/time

Tabell 1: Fakta og kjernedata fra Lunnertunnelen

4.1

Kortfattet prosjektbeskrivelse

Lunnertunnelen fører trafikken på Rv. 35 gjennom Tveitmarktoppen, Nysæterhøgda og Rinilhaugen øst for Grua. Riksvei 35 mellom Roa og Gardermoen knytter områdene ved Hadeland-Tyriifjorden-Randsfjorden til den nye hovedflyplassen. Tunnelen som strekker seg fra Grualia til Bruvoll, skjærer langs en strekning på ca 750 m under den nordlige delen av Rinilhaugen naturreservat [4].

Fjelloverdekningen er mellom 10-220 m, i snitt ca 130 m og under Langvannet ca 75 m. Berggrunnen ved Grua tilhører det såkalte Oslofeltet. Området ligger på grensen mellom Hadelands eldre kambrosiluriske sedimentære bergarter og Nordmarkas yngre granitter og syenitter [5].

Bergarten i vestre halvdel av tunnelen er hornfels, dvs leirskifer omdannet gjennom kontaktmetamorfose under perm-tiden. Mot øst krysser tunnelen en forkastning og kommer inn i syenitt. Lenger mot øst er det permiske vulkanske bergarter (bl a rombeporfyr) og til slutt sedimentære bergarter (særlig konglomerat) [5].

Den hydrogeologiske situasjonen for Lunnertunnelens østlige del var kjennetegnet av de høypermeable lavabergartene og konglomerat, mens hornfelsen i vest var mindre permeabel, skjønt med en rekke soner med høy sprekkefrekvens. Tunneltraséen krysser videre et antall markerte vertikale sprekkesoner / forkastninger.

Vannene ovenfor tunnelen har meget ulike store nedbørfelt og sårbarheten for lekkasje varierer. En hydrogeologisk rapport [6] konkluderte med at Munkerudtjernene vest for Langvatnet, samt tjernet Måråputten og flere små myrer i naturreservatet Rinilhaugen øst for Langvatnet, kunne bli utsatt for dreneringsskader. Rapporten presenterte beregninger av endringer i vannivå for ulike vann og foreslo begrensning av maksimum innlekkasje for ulike strekninger i tunnelen (se nedenfor).

Prisingen av injeksjonen var kr/kg inj.middel ferdig plassert, dvs inkl. utstyr og mannskap for å utføre injeksjonen. Det var egen pris for sonder- og injeksjonsboring per meter og pakkere per stykk [7].

Byggherren betalte videre timekostnader for injeksjonsarbeidene – tiden måles fra pumping av injeksjonsmasse starter til pumping er avsluttet. Dette omfatter kostnader på maskiner og mannskap og alle øvrige kostnader som er en følge av at injeksjon utføres, men det inkluderer for eksempel ikke reparasjoner og herdetid/ventetid etter avsluttet injeksjon. Timekostnadene er 3500 kr/time dagtid (06.00-02.00 mandag til fredag og 06.00-18.00 lørdag) og 1500 kr/time utenom dagtid [7].

I FoU-prosjektet er Lunnertunnelen prioritert pga de omfattende forundersøkelsene som er blitt utført og nærheten til naturreservatet Rinilhaugen, som har medført uvanlig strenge tetthetskrav for en tunnel utenfor tettbygde strøk.

Tetthetskravene er hentet i beskrivelsen [7] og lekkasjeforholdene i tunnelen blir rapportert ut fra resultat av målinger på byggeplassen. Informasjonen angående injeksjonsarbeidene ble utdypet ved intervjuer av nøkkelpersoner som var med på anlegget.

4.2

Tetthetskrav og lekkasjeforhold

Tetthetskravene ble satt opp under prosjekteringen basert på en konsekvensvurdering fra Jordforsk [6]. Avhengig av potensiell skade som kunne oppstå ble det i beskrivelsen [7] satt opp for hvilke strekninger de ulike tetthetskravene skulle gjelde, se nedenfor:

Profil	Klasse	Anmerkning
157-1250	0	
1250-1450	1	
1450-1600	2	Soner fra Nysætertjern
1600-1800	1	
1800-2100	2	Nysæterhøgda med Munkerudtjernene
2100-2700	1	Langvatn
2700-3850	2	Rinilhaugen naturreservat
3850-3960	1	

Jordforskrapporten anbefalte en maksimal lekkasje inn i tunnelen på 10 l/min/100 m og 5 l/min/20 m på strekninger med størst fare for skader grunnet grunnvannsenking. I øvrige områder anbefaltes det at lekkasjen ikke overstiger 20-30 l/min/100 m.

Basert på disse anbefalingene ble følgende 3 tetthetsklasser satt opp:

Klasse	Krav
0 – intet krav til lekkasje	-
1 – moderate krav til lekkasje	20 l/min/100 m og 10 l/min/20 m
2 – strengt krav til lekkasje	10 l/min/100 m og 5 l/min/20 m

Innlekkasjene til østre del av Lunnertunnelen, som ble drevet på synk, ble målt etter at vannet inn i tunnelen hadde vært avstengt under helgen. Resultatene av målingene er presentert i Tabell 2.

Innlekkasjen til tunnelen etter injeksjon lå rundt 4-5 l/min per 100 m, men når tunnelen kom inn i svakhetssonene under Langvatnet [5] økte den til rundt det doble. Fra skjerm 95 ved pel 2541 og mot gjennomslaget økte også utlekkasjen fra sonderhullene (se Figur 1) og forbruket av masse (se Figurene 2-6) betraktelig.

Innlekkasjer til østre del av Lunnertunnelen er målt til totalt 8,4 l/min per 100 m (i ferdig tunnel, frem til profil 2395).

14 januar 2002	Pel. 3824-3597	9,5 l/min per 227 m	4,2 l/min per 100 m
2 april 2002	Pel. 3950-3202	50,1 l/min per 392 m	6,69 l/min per 100 m
8 april 2002	Pel. 3835-3169	24,6 l/min per 666 m	3,69 l/min per 100 m
29 april 2002	Pel. 3835-3018	25,7 l/min per 817 m	3,15 l/min per 100 m
6 mai 2002	Pel. 3835-2973	38,2 l/min per 862 m	4,43 l/min per 100 m
27 mai 2002	Pel. 3835-2924	45,1 l/min per 911 m	4,95 l/min per 100 m
5 august 2002	Pel. 3823-2650	47,6 l/min per 1173 m	4,06 l/min per 100 m
26 september 2002	Pel. 3850-2395	122,6 l/min per 1455 m	8,42 l/min per 100 m

Tabell 2 Innlekkasjer til østre del av Lunnertunnelen etter injeksjon

En rapport fra "Miljø- og samfunnstjenlige tunneler" [8] presenterer en prognose for potensiell innlekkasje i tunnelen uten injeksjon. For den østlige delen ble lekkasjen da angitt til 50 l/min/100 m (eller 430 l/min mellom pel 2390-3250).

4.3 Rutinemessig injeksjon

NCC drev tunnelen fra østsiden, mens vestfra drev Statens Vegvesen i egen regi ved Tunnelproduksjon.

Når intervjuene ble gjennomført hadde bare to skjermer blitt injisert på vestsiden, så noen utdypet informasjon ble ikke innhentet av Tunnelproduksjon. Senere ble det på vestsiden utført betydelige injeksjonsinnsatser i et område (spesielt mellom pel 2220-2260) med vanskelige forhold. Dette ble dog betraktet som et tilfelle av tilpasset injeksjon, og er ikke behandlet i denne rapporten.

Herunder gis et sammendrag av den utdypede informasjonen om de rutinemessige injeksjonsarbeidene for den østlige delen av Lunner-tunnelen, innhentet ved intervjuer med Helge Hamar og Endre Hallan Statens vegvesen Akershus (SvA) samt Kjell Kløvfjell og Sverre Måge (NCC).

Organisering

Injeksjonsarbeidene ble utført av stuffmannskapet på 2-3 mann. Alle på anlegget var innledningsvis på injeksjonskurs under 2 dager i regi av materialleverandøren Elkem. Entreprenøren benytter såkalt Nordsjøordning (2 uker på, 1 uke av) og arbeidstiden var 06-16 for dag-skiftet og 16-02 for kveldsskiftet.

Som byggherre var SvA ansvarlig for injeksjonsprosedyren som var lagt fast i kontrakten etter et forslag laget av Norconsult as. Foruten normal kontroll under arbeidet, har byggherren regnet sekker sement. Så lenge entreprenørens dokumentasjonen av injeksjonen var god ble det ansett å være tilstrekkelig med stikkprøvekontroller. Det ble heller ikke utført noen spesielle materialkontroller på sementen.

Injeksjonen ble av NCC i øst dokumentert en datafil per skjerm hvor blant annet forbruk av masse og sluttrykk angis. Antallet blandinger med ulike resepter (v/c-tall) ble også dokumentert, hvilket gjør det mulig å følge utviklingen for hvert hull. Skjema for boring av sonder-, injeksjons- og kontrollhull skrives for hand og utlekkasje av vann blir ført på samme skjema. Entreprenøren fikk betalt for utført tetting ut fra fremlagt dokumentasjon.

Som eksempel på erfaringstilbakeføring kan nevnes at kriteriet for utlekkasje fra sonderhull for valg av injeksjonsmiddel ble endret fra 20 til 15 l/min. Likeså ble mengdekriteriet på maksimalt 600 kg per hull før varsling endret (dvs økt betraktelig). I begynnelsen ble 25 hull à 24 m brukt for hver skjerm, med 3 (iblant 4) salver à 5 m mellom hver skjerm. Senere ble det bare brukt 14 hull i skjermen, men det gikk like mye masse uansett.

Forundersøkelser

Tradisjonelle geologiske forundersøkelser som feltkartlegging [5], refraksjonsseismiske målinger over Langvatn [9] og kjerneboring [10] ble initiert av Statens vegvesen. Dessuten er ekstra undersøkelser som tidligere er lite brukt i sammenheng med tunneler initiert av Miljø- og samfunnstjenlige tunneler innenfor delprosjekt A. Disse omfatter helikoptermålinger for vurdering av geofysiske anomalier [11], geofysiske målinger på bakken og borehullslogging [12], samt struktur-geologiske studier [13].

Kartlegging av fjellet i sonderhull ble ikke utført, men boringen ble MWD-registrert. Dvs boreloggen viser for eksempel slepper / vann i fjellet. Kjerner ble ikke tatt fra tunnelen, men kjerneborehull hadde blitt boret under prosjekteringsfasen. Forundersøkelsene varslet *svakhetssonenes plassering*.

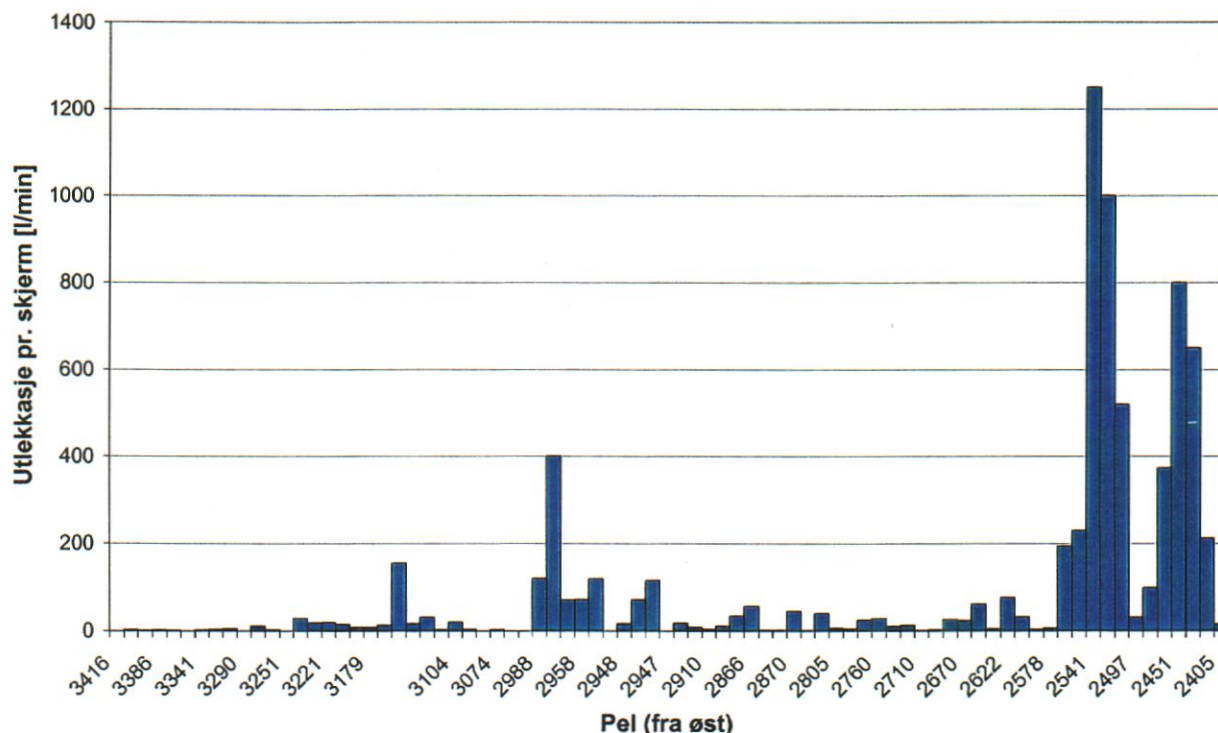
Kartleggingen av fjellet i tunnelen ble ikke utført systematisk og geologien hadde dermed ikke noen direkte innvirkning på valg av injeksjonsmasse eller injeksjonsskjermens utforming. Tunnelen ble kartlagt i etterhand av Terje Kirkeby og Alf Kveen fra Vegteknisk avdeling og Fredrik Løset fra NGI. Dette for å danne grunnlag for en modell av tunnelen, som ble satt opp av Rockma.

Kartleggingen påviste de viktigste bergartsgrensene langs tunneltraséen. Det er hornfels fra påhugg ved Gualia i vest til den første, store lekkasjesonen ved ca pel 2235, hvor syenitt overtar. Grensen mellom syenitt og vulkanitter lå på pel 2580 og grensen mellom entreprisene havnet rundt pel 2395.

Mellom pel 2580-2640 er det vekslende syenitt og vulkanitt, og fra og med 2640 til et sted mellom pel 3715 og 3770 (det er sprøytet helt ned til sålen) er det vulkanitter (inkl. syenitt-porfyr). Vulkanittene er mørke, meget finkornet, feltspat-/ kvartsrike, og noen steder rombe-porfyr-lignende. Fra 3770 til 3937 er det til slutt sandstein/konglomerat. Ved tunnelåpningen i øst er det en rombe-porfyr-gang (mellom pel 3937-3948). Midt i området med vulkanitt krysser en syenitt-gang, ved pel 3290-3300. Gjennomsnittsforbruket av injeksjonsmasse for de ulike bergartene presenteres i Tabell 3.

Vanntapsmålinger i sonderhull var med i kontrakten, men ble ikke utført med begrunnelsen at det er for kostbart og at man ikke anser informasjonen som nyttig. Som nevnt var det satt opp tre tettklasser og det var også angitt Lugeonverdier som kriterier for injeksjon; 0,3L i tettklasse 2 og 0,6L i tettklasse 1 skulle gi injeksjon. Siden det ble utført systematisk injeksjon fra øst, uten bruk av vanntapsmålinger, ble disse kriterier ikke brukt der.

Isteden ble valg av injeksjonsmiddel basert på resultatet av utlekkasje fra sonder-, injeksjons-, kontrollhull (se nedenfor under "Injeksjonsmiddel"). På østsiden ble utlekkasjen målt fra skjerm nr 34, resultatet av utlekkasjemålingene er presentert i diagrammet på neste side.



Figur 1 Utlekkasje per skjerm for østre del av Lunnertunnelen

Injeksjonsskjerm

Hullengden for sonder/kontroll- og injeksjonshull var generelt 24 m (med avvik i spesielle tilfeller pga geometri eller ved flere runder). Med vanligvis 3 salver à 5 m ble overlappen ca 9 m. Borehullene hadde 5 m stikning fra enden av hullene til tunnelveggen i hengen og veggene. Nede i sålen var stikningen 8 m.

For 24-hullsskjermen som ble brukt i begynnelsen var avstanden mellom hullene i kransen 1,5-2 m, mens for 14-hullsskjermen som ble brukt senere var c/c-avstanden 2-3 m. Hullene ble fordelt jevnt rundt tverrsnittet og det ble lagt vekt på å plassere hullene jevnt i hjørnene.

Boreutstyret var en standard 3-boms AMV tunnelrigg utstyrt med Bever Control for registrering av skjermen. På tross av at boreavviksmåling var beskrevet i kontrakten (maksimalt $\pm 0,5$ m), ble det ikke bedømt å være nødvendig her. Diameter på hullene var 64 mm.

Spyling av borehullene med spesielle dyser og høyt trykk fantes med i beskrivelsen, men hullene ble rengjort for kaks ved at stengene ble trukket frem og tilbake med borevannstrykk og lufttrykk på. Dette ble utført i alle typer bergarter.

Om det var store sprekker med utgang av sement i stuff, ble det av og til satt 3-5 hull i stuffen. Disse ble gjerne injisert med Thermax, mens resten av skjermen ble injisert med sement som vanlig.

Injeksjonsmiddel

Den systematiske injiseringen på østsiden ble utført med industri-sement hvis utlekkasjen fra sonderhullene var over 15 l/min (angitt til 20 l/min i begynnelsen). Hvis utlekkasjen var mindre enn som så ble

mikrosementen Ultrafin 12 brukt. Tilsetningsstoffer var 2-3 % av tørrstoffvekt med SP40 og 5-25 % Grout Aid. Når en hadde problemer med utganger ble spesialsementen Thermax brukt fra samme riggen.

Det ble innledningsvis brukt et vann/semementtall på 2, men en gikk forholdsvis raskt ned til 1,1. Som lavest var v/c-tallet ca 0,5. Nøkkелеgenskaper for sementen som kornstørrelse, viskositet, vann/semementtall eller separasjonsstabilitet ble ikke kontrollert med målinger.

Heller ikke herdetiden ble målt for sementen, men Thermax ble satt i kopper som egenkontroll for ikke å få herding av materialet i utstyret. Kontrollhull ble ikke satt før etter én salve (for å gi sementen tid til å herde), og likevel har det kommet ut sement når en salve er blitt skutt. Det ble sagt at salven trolig presser massen lenger inn og at det ikke virker å ha noe å si for tettingsresultatet.

Injeksjonsutstyr

Kravet i beskrivelsen var at pumpen skulle klare minst 60 l/min og også ned mot 0 l/min, samt ha en trykkapasitet på minst 100 bar. På NCC-riggen fantes det 2 Craelius pumper, 1 CEMIX 201 mikser og 2 CEMAG 400/700 aktivatører. Hvis ønskelig kunne en altså pumpe 2 forskjellige blandinger (med forskjell i v/c-forhold).

Riggen hadde flerhullsutstyr som ble brukt tidligere ved gjennomgang mellom hull. Det ble ansett for å være vanskelig å ha kontroll på alle slanger og det er lett at det blir stopp noen steder uten at en merker det. Det ble ikke brukt flere enn 2-3 slanger under injeksjonen, trykk og inngang kunne leses av for hver slange. Automatisk registreringsutrustning fantes ikke på riggen, så injeksjonen ble dokumentert på tradisjonelt vis med håndskrevet skjema.

Pakkerne var mekaniske Codan (63 eller 57 mm) som ble oppspent for hånd. De ble plassert ca 2 m inn i fjellet. Pakkere ble satt inn etter hvert under injeksjonen eller når en fikk gjennomgang mellom hull.

Planlagt utførelse

Hullene ble rengjort gjennom spyling med trykkluft og vann direkte etter boringen. Generelt startet injeksjonen med 1-2 slanger i midten av sålen og deretter gikk en opp på hver side. Hvis en fikk utganger i andre hull, ble pakker og slange montert og injeksjon startet opp i disse hullene for å oppnå mottrykk.

I beskrivelsen ble det angitt at normalt skal injeksjon avsluttes med så høyt trykk som forholdene på stedet tillater, dvs 50-100 bar. Det ble i begynnelsen brukt 50 bar sluttrykk, men en kunne gå opp høyere (til 70 bar) for å få i gang massen igjen når den har stabilisert seg.

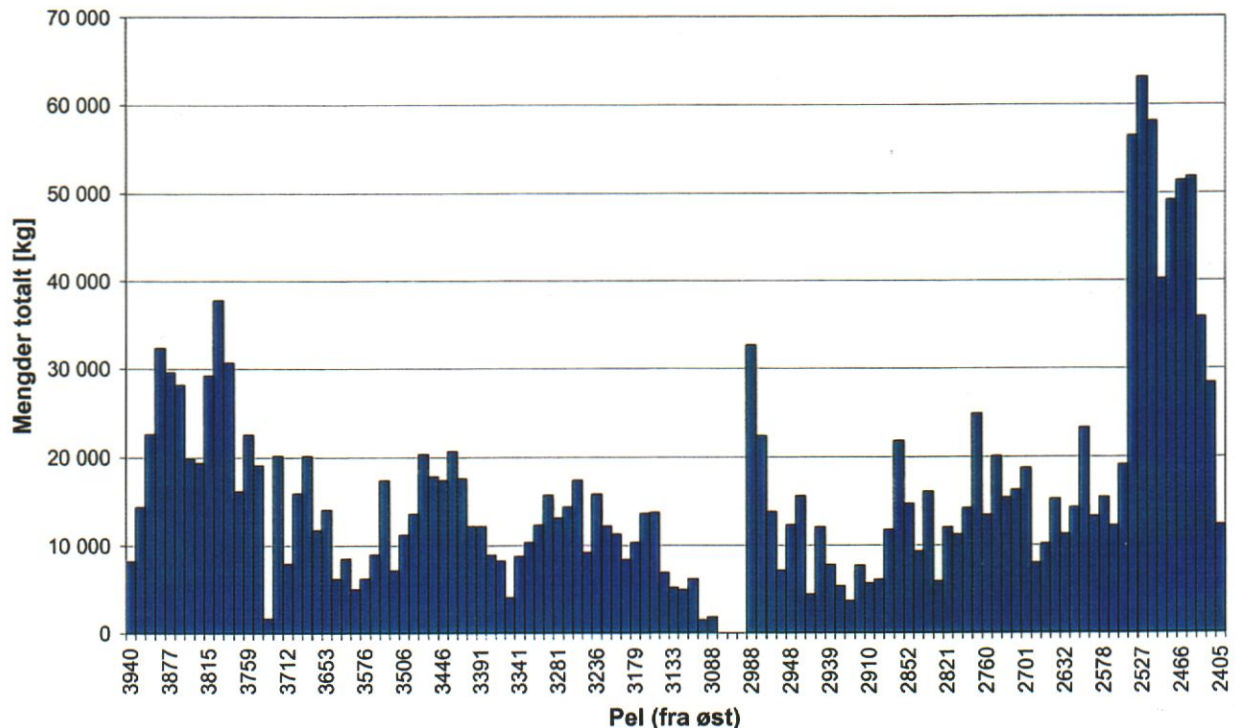
Endringer i utførelse

Det ble brukt den samme organisasjonen for hele tunnelen. Det ble endret på antallet hull (fra 25 til 14) og salver mellom injisering (fra 3 til 4). Når stoffhull ble brukt ble disse injisert først og Retrackkroner ble brukt når en hadde borevansker. NCC byttet ut injeksjonsriggen, fordi den som ble levert blant annet ikke hadde sementsifo. Maksimalt injeksjonstrykk i forhold til grunnvann- og bergtrykk er blitt økt noe underveis.

Tetteresultat

Prognosen for forbruk i hele tunnelen var 900 tonn, men den mengden masse ble brukt opp før de verste sonene anmeldte seg.

Over det doble ble brukt for den østlige delen av tunnelen alene, fordelt på 45 % industrisement, 26 % mikrosegment, 23 % Grout Aid, 4,5 % Thermax og 2 % SP40. Diagrammet nedenfor viser den totale mengden for hver skjerm i tunnelen østfra.



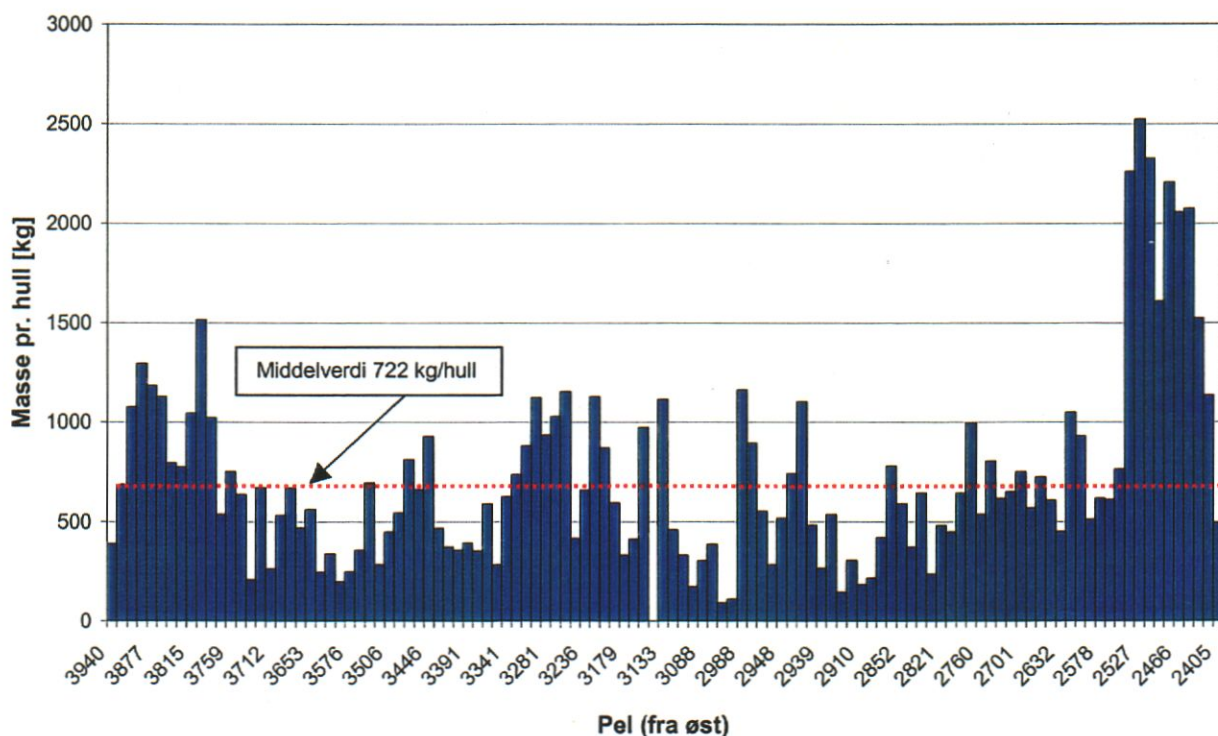
Figur 2 Totale mengder injeksjonsmasse for østre del av Lunnertunnelen

Inntrengningsdypet for injeksjonen, som teoretisk sett skulle være rundt 5-8 m som stikningen var satt til, ble ikke kontrollert med for eksempel kjerneboring. Noen ganger lekket det når 3 m bolter ble satt og da måtte en etterinjisere.

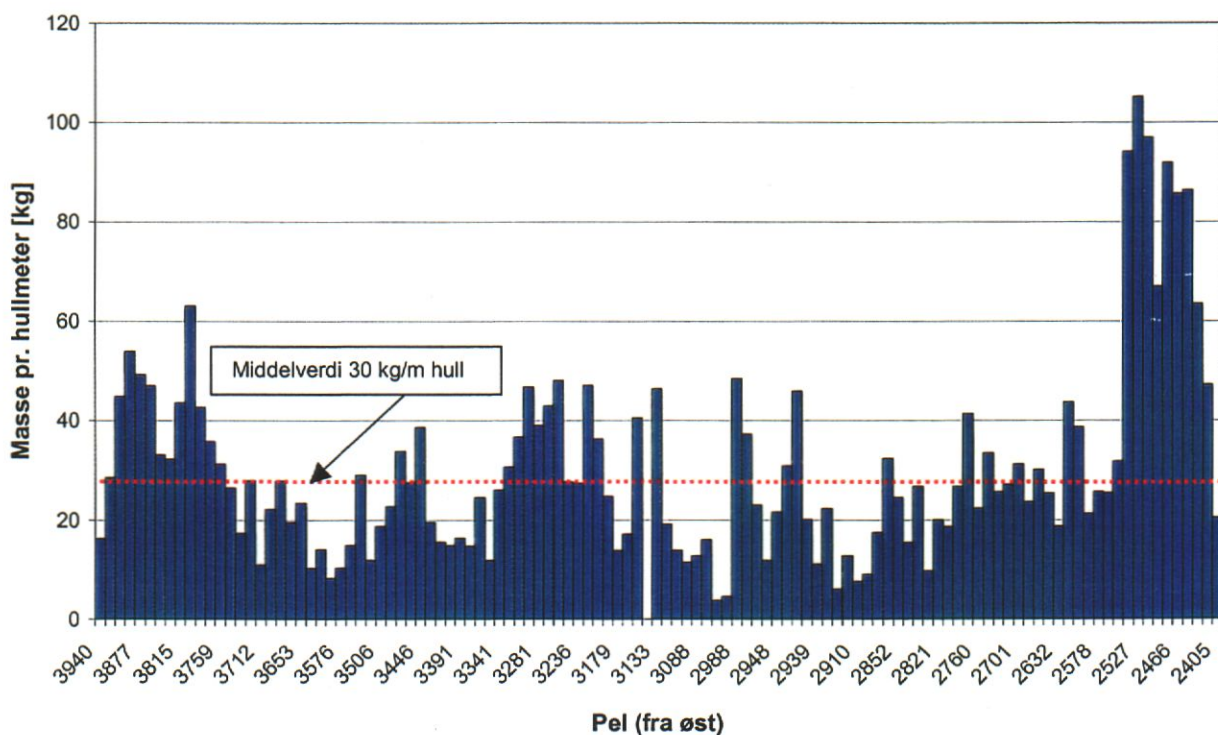
Tetningseffekten i østre del av Lunnertunnelen er så langt konstatert tilstrekkelig og det oppsatte kravet til innlekkasje er oppfylt. På NCC-siden ble innlekkasjen målt til litt over 8 l/min/100 m (se tabell 2). Prognosen for potensiell lekkasje i tunnelen (om ingen injeksjon ble utført) var for den aktuelle østlige delen angitt til 50 l/min/100 m (eller 430 l/min mellom pel 2390-3250) [8].

Det var behov for flere runder forinjisering iblant, opp til 3 runder fra samme stoffen, og noe etterinjisering ble utført med sement når boltehull lekket. Mellom 60-70 % av hele tunnelen skal vannsikres.

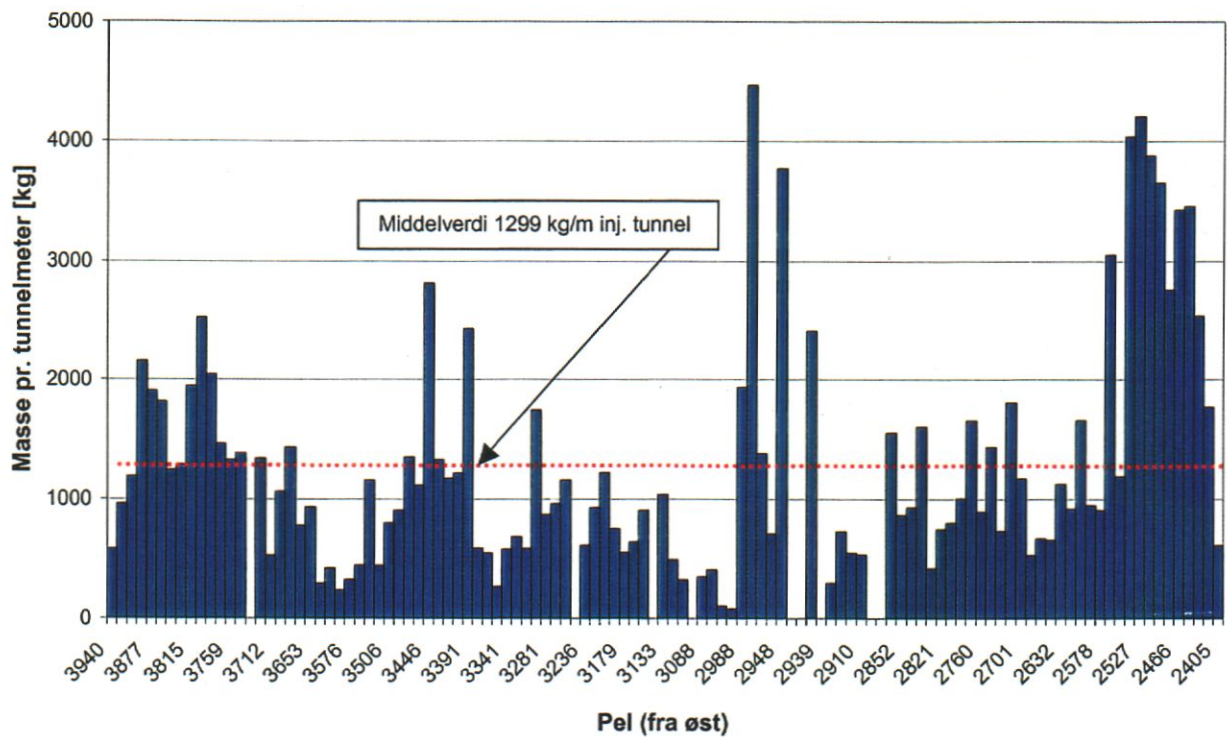
Forbruket av injeksjonsmiddel kan sammenfattes med følgende gjennomsnittlige tall for hele den østlige delen av tunnelen; 722 kg/hull, 30 kg/m hull, 1299 kg/m injisert tunnel, 41 kg/m² injisert tunnel og 1224 kg/time. Diagrammene på sidene fremover viser motsvarende gjennomsnittstall i tunnelen østfra. Grunnlaget for gjennomsnittstallene er basert på data fra anlegget.



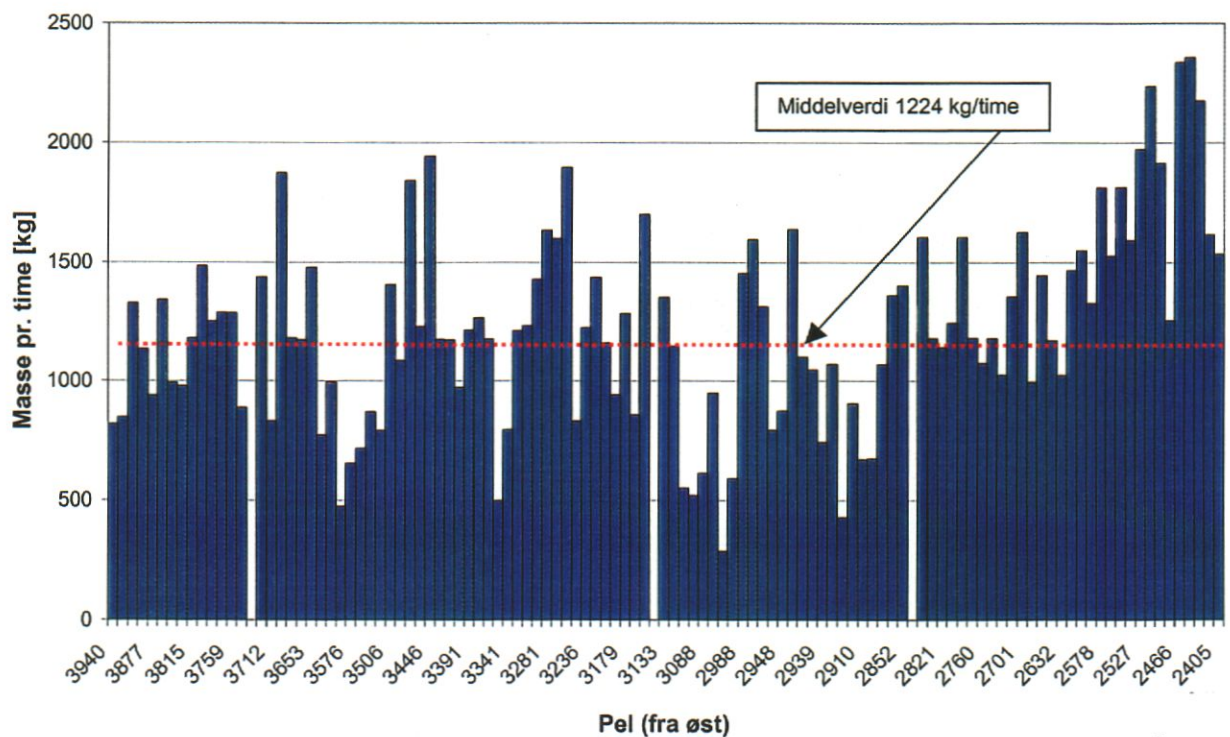
Figur 3 Injeksjonsmasse per injeksjonshull for østre del av Lunnertunnelen



Figur 4 Injeksjonsmasse per meter injeksjonshull for østre del av Lunnertunnelen



Figur 5 Injeksjonsmasse per meter injisert tunnel for østre del av Lunnertunnelen



Figur 6 Injeksjonsmasse per time for østre del av Lunnertunnelen

I den siste delen av tunnelen var det betydelig økning i forbruket av masse, fra skjerm 95 ved pel 2541 og vestover mot omtrent pel 2400. Dette samsvarer med de tidlige prognosene i [5] om svakhetssonene under Langvatnet. I dette området var det vanlig med stort forbruk i noen hull i skjermen (1000-6000 kg/hull) og mindre i øvrige hull (60-1000 kg/hull). På tross av meget stort forbruk av både masse og tid per skjerm (21000-46000 kg og 21-44 timer) ble likevel ønsket resultat oppnådd på én injeksjonsrunde.

Som eksempel på et ekstremt forbruk i ett hull kan nevnes hull 19 i skjerm 97, der det ble pumpet over 19 tonn med industrisement (dvs ca 800 kg/m hull). I dette tilfellet og andre lignende (10-15 tonn i ett hull, konstatert utgang på overflaten) burde forbruket av sement og dermed injeksjonstiden ha vært begrenset.

Grunnlaget for tabellen nedenfor, hvor gjennomsnittsforkbruket av injeksjonsmasse er oppdelt i ulike strekninger av tunnelen, er basert på data fra anlegget samt kartleggingen av fjellet (se side 4-5).

Pel nummer, bergart, samt tetthetskrav	Antall skjerner	Antall runder	Masse pr skjerm	Masse pr hull	Masse pr m hull	Masse pr m tunnel	Masse pr time
ca 2405-2580, syenitt, 20 l/min/100 m	13	13	38566	1552	64,7	2728	1856
ca 2580-3770, vulkanitt, 10 l/min/100 m	77	82	13909	567	23,9	1019	1140
ca 3770-3940, sandstein/konglomerat, 10-20 l/min/100 m	12	12	24002	952	40,8	1592	1131

Tabell 3: Masseforbruk [kg] for ulike bergmasseforhold i østre del av Lunnertunnelen

Som tabellen viser var gjennomsnittsforkbruket av masse i vulkanitten, hvor tetthetskravet var strengest, betydelig lavere enn i syenitten med svakhetssoner. Detaljstudium av forbruket i østligste del av tunnelen, i sandstein/konglomerat, viser ingen større forskjell mellom områder med tetthetskrav 10 eller 20 l/min/100 m. Forbruket per time viser at kapasiteten for injiseringen økte innover tunnelen og lå jevnt høyt, sammenlignet med tunneler i tidligere studier [1], [2], [3] (se A3-tabell på side iv i "Sammendrag").

5

OPPSUMMERING LUNNER

Østre del av Lunnertunnelen (NCC's entreprise) ble systematisk forinjisert i praktisk talt hele lengden. Tetthetskravet var differensiert over delstrekninger med henholdsvis 10 og 20 l/min per 100 m eller 5-10 l/min per 20 m. Tunnelen er østfra drevet gjennom sandstein / konglomerat, så vulkanitt (til dels rombeporfyrlignende), for deretter å komme inn i syenitt. Overdekningen har variert fra 10 til 220 m, i snitt rundt 130 m.

Hovedelementene i injeksjonsprogrammet og erfaringene kan beskrives som følger:

- Meget standardisert injeksjonsopplegg, som ga høy kapasitet og tidseffektiv gjennomføring.
- Normalt bare én injeksjonsrunde, noe som har vært en viktig målsetting.
- Oppboringsgrad på 25 hull/skjerm (ca 61 m² tverrsnitt), lengde 24m. Ved behov inkludert 3-5 hull i stuff.
- Kun utlekkasjemåling av vann fra borehull i injeksjonsskjerm, for valg av injeksjonsmiddel.
- Industrisement (45 %) eller mikroement Ultrafin 12 (26 %) med Grout Aid og SP40-tilsetning.
- Varierende v/c-tall, mellom 1,3 til 0,55, litt smøring med v/c 2,0.
- Varierende injeksjonstrykk, men maksimalt 50-70 bar.
- Store masseinnganger per hull og lang injeksjonstid i området med svakhetssoner under Langvatn.

Den systematiske forinjeksjonen har gitt tilfredsstillende tetthet, målt til 4-5 l/min per 100 m i de østre områder hvor 10 l/min per 100 m var kravet og 8,4 l/min per 100 m totalt i ferdigstilt tunneldel. Ingen måleterskler ble bygd.

REFERANSER

- [1] *Injeksjon. Erfaringer fra utvalgte tunnelprosjekter.* Rapport nr. 2 fra Miljø- og samfunnstjenlige tunneler. Intern rapport nr. 2233 fra Vegdirektoratet, signert Torkild Åndal, Helen Andersson og Oddbjørn Aasen (NVK), datert november 2001.
- [2] *Injeksjon av "problemzone" ved byggingen av T-baneringen.* Rapport nr. 3 fra Miljø- og samfunnstjenlige tunneler. Intern rapport nr. 2234 fra Vegdirektoratet, signert Torkild Åndal (NVK), datert november 2001.
- [3] *Sluttrapport for injeksjonsarbeidene ved T-baneringen.* Rapport nr. 16 fra Miljø- og samfunnstjenlige tunneler. Intern rapport nr. 2289 fra Vegdirektoratet, signert Knut Boge (Geo Vita AS), Torkild Åndal og Oddbjørn Aasen (NVK), og Reidar Kjølberg (Norconsult AS), datert juli 2002.
- [4] *Rv. 35 Gualia – Slettmoen, tunnel gjennom Tveitmarktoppen og Rinilhaugen (Lunner, Oppland). Botaniske verdier og lekkasjerisiko.* Oppdragsmelding 706: 1-28 fra NINA (Norsk institutt for naturforskning), Egil Bendiksen.
- [5] *Rv. 35 Gualia – Slettmoen, tunnel gjennom Tveitmarktoppen. Geologiske undersøkelser for detaljplanen.* Oppdrag E-218 A, rapport nr. 2, oktober 1996. Statens vegvesen, Vegdirektoratet, signert Terje Kirkeby og Edvard Iversen, datert 16.10.96.
- [6] *Hydrogeologiske konsekvenser av vegtunnel Gualia-Bruvoll. Sårbarhet, vannbalanse og lekkasjekriterier.* Rapport nr. 9/99, februar 1999. Jordforsk, signert Bjørn Kløve, Amund Gaut og Jens Kværner, datert 18.02.99.
- [7] *PRODUKSJONSAVTALE NR. 1-1. Rv 35 Lunner – Gardermoen. Parsell 1.1 Kryss Gualia og Parsell 1.2 Tunnel Gualia – Bruvoll. Utbyggingsavdelingen, Statens vegvesen, Akershus.*
- [8] *Oppsummering av utførte undersøkelser og prognose for innlekkasje ved Gualia.* Rapport nr. 15 fra Miljø- og samfunnstjenlige tunneler. Intern rapport nr. 2284 fra Vegdirektoratet, signert Kristin Holmøy (NTNU), datert mai 2002.
- [9] *Refraksjonsseismiske målinger over Langevatn, Lunner.* Geomap Rapport nr. 97.943 nr 1. Geomap AS.
- [10] *Rv. 35 Gualia – Slettmoen. Kjerneboring for tunnel under Langvann.* Oppdrag E-218 A, rapport nr. 3, mars 1998. Statens vegvesen, Vegdirektoratet, signert Edvard Iversen.
- [11] *Assessment of Geophysical Anomalies near Langvatnet, Lunner, Oppland Fylke.* NGU rapport 2001.046, eller *Forundersøkelser – Vurdering av geofysiske anomalier ved Langvatnet med bruk av helikoptermålinger.* Rapport nr. 5 fra Miljø- og samfunnstjenlige tunneler. Intern rapport nr. 2247 fra Vegdirektoratet, signert Les P. Beard, datert 28.05.01.
- [12] *Geofysiske målinger ved Langvatnet, Lunner, Oppland.* NGU rapport 2001.090, Rapport nr. 7 fra Miljø- og samfunnstjenlige tunneler. Intern rapport nr. 2253 fra Vegdirektoratet, signert Jan Steinar Rønning og Einar Dalsegg.

- [13] *Borehullslogging og strukturgeologiske studier, Gualia, Lunner kommune. NGU rapport 2001.117, Rapport nr. 10 fra Miljø- og samfunnstjenlige tunneler. Intern rapport nr. 2259 fra Vegdirektoratet, signert Harald Elvebakk, Alvar Braathen, Jan S. Rønning og Øystein Nordgulen.*
- [14] *Tekniske spesifikasjoner for injeksjonsriggen.*
- [15] *Datafiler med sammenstilling av forbruk masse. Statens vegvesen Akershus.*
- [16] *Kopier av dagbok for utlekkasjemålinger og datafil med sammenstilling av utlekkasjene. Statens vegvesen Akershus.*
- [17] *Injeksjonsrapporter, borerapporter og bestilling av injeksjon for NCC-skjermene i Lunnertunnelen.*

MILJØ- OG SAMFUNNSTJENLIGE TUNNELER

Sammenstilling av injeksjon for følgende tunnelprosjekter:	Forutsetninger			Organisering av injeksjon					
	Bergmasseforhold	Bergoverdekning	Tetthetskrav l/min/100 m	Injeksjonsstrategi	Mannskap og opplæring	Spesiell beredskap	Rutinemessig injeksjon	Tilpasset injeksjon	Kriterier for injisering
Tåsen	Kalk/leirskifer gjennomskåret av oppsprukne syenittganger.	5-20 m.	Selvpålagt krav ved systematisk injeksjon: 10, og ved sporadisk injeksjon: 15-20.	Sporadisk / systematisk.	Ord. stufflag m/spesialformann.	Ingen.	Systematisk injeksjon pel 2525-2956Ø og 2525-2912V basert på utlekkasjemålinger.	Pel 2750-2815Ø og 2800-2860V: tett oppsprukne syenittganger med borevansker.	Utlekkasje sonder/kontrollhull (se tabell 5, rapport nr 2, for videre detaljer).
Svartdal	Gnels inkl. Ekebergforkastningen.	2,5-3 m (i området med tilpasset injeksjon).	Selvpålagt krav: 5.	Sporadisk.	Ord. stufflag, m/opplæring av Stave maskin.	Ingen.	Ikke injisert utenfor området med tilpasset injeksjon	Pel 400-555Ø og 645-745V (eneste området som ble injisert)	Utlekkasje sonder/kontrollhull.
Lundby	Skifrig gneis, inkl. knusningsone med liten overdekning.	5-35 m.	Pel 600-1190: 2,5. Pel 1190-1780: 1,0. Pel 1780-2040: 2,0. Pel 2040-2660: 0,5.	Systematisk, alltid to runder.	Spesiallag.	Ingen.	Hele veien, tre tetthetsklasser satt opp med detaljerte injeksjonsopplegg.	Pel 2300-2400 (Lammelyckan): hullengde 9-10 m, en salve mellom hver skjerm.	Vanntapsmåling utført i alle hull, to runder injeksjon uansett, 2. runde av og til utelatt ved null vanntap i 1. runde.
Storhaug	Fyllitt (finkrystallisk glimmerskifer).	3-15 m.	Pel 1250-1550: 3. Pel 750-900: 10.	Systematisk / sporadisk.	Ord. stufflag, m/opplæring av Tunnelstøt.	Ingen.	Ikke injisert utenfor området med tilpasset injeksjon.	Pel 1400-1550 (eneste området som ble injisert).	Vanntapsmåling i sonder- og kontrollhull, ved Lugeon over 0,1 skulle injeksjon vurderes, varsling BH ved inngang >300 kg i ét hull.
Bragernes	Basalt, rombeporfyr og kvartsporfyr.	10-150 m, ca 100 m i snitt.	Pel 800-1700: 10. Pel 400-800 og 1700-1900: 30.	Systematisk.	Ordinære stufflag.	Ingen.	Stort sett hele veien, ble besluttet tidlig, pga pumpeproblemer og innlekkasje tilbake i uninjerte områder.	Pel 1257-1293 (Bjerringdalsforkastningen): skjerm m/ 2-4 runder, 1-2 salver mellom skjerm.	Utlekkasje fra sonderhull over 5 l/min samlet ga injeksjon, varsling BH ved inngang over 1000 kg i ét hull (senere økt til 5000 kg og v/c 0,5 direkt ved inngang >3000 kg).
Baneheia	Gneis med pegmatittganger.	10-40 m.	Under Stampene: 6-12 og 60 l/min totalt (se tabell 17, rapport nr 2, for videre detaljer).	Systematisk.	Ord. stufflag, m/opplæring av Tunnelstøt.	Ingen.	Stort sett hele veien, ble besluttet tidlig, pga tilbakepressing av vann i uninjerte områder.	Pel 3609-3624V: skjerm m/ 5 runder. Pel 3543-3590Ø: skjerm m/ 3 runder.	Vanntapsmåling i 5 hull pr. skjerm i starten (ca 3 måneder), ble ganske tidlig forlatt og systematisk injeksjon innført.
Lunner (øst)	Syenitt, vulkanitt og sandstein/konglomerat.	10-220 m, ca 130 m i snitt.	Pel 1450-1600, 1800-2100 og 2700-3850: 10. Pel 1250-1450, 1600-1800, 2100-2700 og 3850-3960: 20.	Systematisk.	Ord. stufflag, m/opplæring av Tunnelstøt.	Ingen.	Stort sett hele veien østfra, ble besluttet tidlig, pga lekkasje i uninjerte områder.	Pel 3770-3742: borevansker, stor inngang, sprøytebetongbuer/spiling.	Utlekkasje sonder/injeksjonshull bestemmer bruk av industri/mikrosement, varsling BH ved inngang over 600 kg i ét hull (er blitt økt).

MILJØ- OG SAMFUNNSTJENLIGE TUNNELER

Sammenstilling av injeksjon for følgende tunnelprosjekter:	Injeksjonsskjerm				Utstyr for injeksjon		
	Utstyr for boring	Borhullslengder og -stikning, c/c-avstand og skjermoverlapp	Injeksjons-hull i stoff	Boravviks-måling	Pakkere og plassering	Registrering av mengder	Utstyr for blanding og pumping
Tåsen	Tunnelrigg.	I start 21 m, men økte til 24 m for å øke overlapp og salver mellom injeksjon. 5 m stikning. 25 hull ved systematisk injeksjon. Tre salver mellom hver skjerm. Ytre og indre skjerm ved tilpasset injeksjon.	Dersom der var slepper som kom ut i stoffen.	Boravvik testet en gang med enkelt utstyr, lomme-lykt montert inne i 6 m langt plastrør.	Mekaniske pakkere, plassert 1 m inn i hullet.	Manuell registrering av mengder og trykk for hvert hull.	1 mikser, 2 aktuatorer, 2-3 pumper m/totalt 9 uttak fra manifold (brukte bare 3). Krav til pumpe 60 bar og 100 l/min.
Svardal	Tunnelrigg.	Lengde 21 m, ble ofte kortere pga borevansker. 5 m stikning, 15-16 hull pr. skjerm (c/c-avstand 1,5-2 m).	Enkelte ganger ved lekkasje på stoff, med stor stikning for mest mulig å inngå i skjerm.	Boravvikmåling med i kontrakt, ble ikke utført.	Mekaniske pakkere, plassert 1 m inn i hullet.	Manuell registrering av mengder og trykk for hvert hull.	Rigg med 1 mikser, 1 aktuator og 1 pumpe m/4-5 utganger (brukte opptil 4). Krav til pumpe var 75 bar trykk.
Lundby	Tunnelrigg.	Tre tetthetsklasser: hullengde 10-17 m, 4 m stikning og antall hull 30, 44 og 62. To salver mellom hver skjerm. Dårligere fjell/strengere krav gav generelt flere og kortere hull og større overlapp.	Av og til.	Boravvik målt på over 20% av skjermene, med inclinometer 95 i alle hull (1-1,5 h). Stort sett bra, toleranse 80 cm i enden.	Engangs og hydrauliske pakkere av type Stabilator 48 og 60 mm diameter, plassert 1-1,5 m inn.	Riggen hadde Loggart, men registrering ble gjort manuelt.	To rigger med 1 EPV Craelius mikser på vekt, 1 aktuator og 2 Craelius ZBE200 pumper m/4 utganger (trykk og volum lest av for hver slange).
Storhaug	Tunnelrigg.	Hullengde 14 m. Stikning 2 m i heng, 4 m i vegg og 6 m i sålen. Antall hull variert mellom 30-70, havnet optimalt på 62. To salver å 3 m mellom hver skjerm.	Hele veien (12 hull i stoff av totalt 62 hull pr. skjerm).	Boravvikmåling med i kontrakt, ble ikke utført.	Mekaniske pakkere med 48 mm diameter, plassert 1 m inn i hullet først, deretter økt til 2-3 m.	Manuell registrering av mengder og trykk for hvert hull.	To sett med kolloidblandere, aktuator og stømpelpump. Bare én pumpelinje ble valgt å bruke pga enklere å følge opp.
Bragernes	Tunnelrigg.	I start 21 hull (c/c ca 1,5-2,5 m) å 22 m, 2-3 salver å 5 m mellom hver skjerm. Senere 7 hull (c/c ca 3,5-6,5 m) å 27 m og 4 salver mellom. Stikning ca 5 m i heng og vegger og 7,5 m i såle.	Av og til, basert på erfaringene fra forrige skjerm og sleppemønster.	Pga få hull ble det ikke ansett som nødvendig.	Codan 48 mm mekaniske engangspakkere, plassert ca 1,5 m inn i hullet, fikk problem med at de gikk tett ved bruk av Mauring.	Riggen hadde automatisk reg. (LOGAC), men registreringer ble gjort manuelt.	1 Cemix mikser, 2 aktuatorer, 2 pumper m/2 utganger (trykk og volum leses av for hver) og vekt for blanding. Krav til 90 bar trykk og 100 l/min.
Baneheia	Tunnelrigg.	Lengde 21 til 24 m, 6-8 m stikning. Optimale antall hull ca 30 for et tunnel-tverrsnitt på 50-80 m ² , c/c-avstand mellom hvert hull 1-2 m. Tre salver mellom hver skjerm. Ytre, indre og sperreskjerm prøvd ut.	Hele veien (4-7 hull i stoff av totalt 30 hull pr. skjerm).	Boreavvik var satt til 0,5 m i kontrakten, men måling ble ikke utført.	Codan 58 mm mekaniske engangspakkere, plassert ca 1,5 m inn, hadde hurtigkobling og brukte jekker for å feste pakkene.	Manuell registrering av mengder og trykk for hvert hull.	Gammel rigg ble brukt til Thermax. Ny rigg med 2 miksere, 2 aktuatorer, 2 pumper m/2 utganger hver og vekt for blanding. Krav til pumpe var 50 bar og 50 l/min.
Lunner (øst)	Tunnelrigg.	Lengde 24 m, 5 m stikning i heng og vegger og 8 m i såle. 24 hull (c/c ca 2 m) i start, senere nede i 14 hull (c/c 2-3 m). Oftest tre salver mellom hver skjerm.	Av og til (3-5 hull), gjerne Thermax om utgang i store sprekker.	Boreavvik var satt til 0,5 m i kontrakten, men måling ble ikke utført.	Codan 63 el. 57 mm mekaniske engangspakkere, plassert ca 2 m inn.	Manuell registrering av mengder og trykk for hvert hull.	1 Cemix mikser, 2 Cemag aktuatorer, 2 Craeliuspumper og vekt for blanding. Krav til 100 bar trykk og 60-0 l/min.

MILJØ- OG SAMFUNNSTJENLIGE
TUNNELER

Sammenstilling av injeksjon for følgende tunnelprosjekter:	Injeksjonsmiddel			Prosedyre			Resultat		
	Injeksjonsmiddel	Tilsetningsstoffer	Andre midler	V/C-tall	Rekkefølge av injeksjonshull	Slutttrykk	Lekkasjeforhold	Vurdering av tetthetsresultat	Prosjektstatus
Tåsen	Industrisement Rapid Rp 38 fra Norcem	Rescon HP 2-3%, Grout Aid prøvd i en skjerm sent i prosjektet.	Mikrosegment Rheocem 650, Tacss til etterinjeksjon.	2,0-0,5.	Startet nede og gikk oppover, 2-3 slanger ble brukt.	15-45 bar, vanligvis 25-30 bar.	25,7 l/min/100 m og 240 l/min totalt (se tabell 4, rapport nr 2, for videre detaljer).	Opptil 3 runder på en skjerm, men tetting konstatert ikke tilstrekkelig, 4 infiltrasjonsbrønner installert fra tunnelen.	Tett nok, men med ikke planlagt vanninfiltrasjon i problemsone.
Svartdal	Industrisement Rapid Rp 38 fra Norcem	-	Mauring brukt til plugging av hull.	1,5-0,7.	Startet nede, pakker montert ved gjennomgang og injeksjon startet der. Runde 2 tilpasset etter lekkasje i 1. runde.	20-30 bar.	4,3 l/min/100 m for hele tunnelen på 3450 m. Kun injisert over 260 m totalt.	Opptil 3 runder på en skjerm, 4 m-bolter punkterte ikke skjermen, 25 cm differensialsetning på en 30 m lang mur.	Tett nok totalt, ikke målt i injisert område.
Lundby	Injeksjonsement fra Cementa	Bentonitt 3%, Intraplast 0,5%.	Tacss og Rhocagil, til etterinjeksjon.	3,0-0,5 (0,3 ved hullfylling).	Startet i hull med størst vann- tap, pakker ble montert ved gjennomgang og hull injisert, v/c-tall redusert avhengig av slutttrykk eller motstand.	25 bar.	0,9 l/min/100 m for hele tunnelen på 4358 m.	Tetthetskrav (0,5 l/min/100 m) ved Lammelyckan ikke oppfylt, lekker ca 1,0 l/min/100m. En del bolter punkterte skjermen, infiltrasjonsbrønn installert.	Tett nok, med planlagt vanninfiltrasjon i Lammelyckan.
Storhaug	Ultrafin 12 fra Scancem	Grout Aid 5-15%, SP40 2%.	Thermax for plugging av hull.	1,1-0,4 (vanligvis 0,9-0,7).	Startet nede, pakker ble montert ved gjennomgang og hullet injisert.	30 bar i kontrakt, senere 50 bar i heng og 70 bar i sålen.	1,6 l/min/100 m mellom pel 1400-1550.	Dobbel injeksjonsskjerm (stort overlapp), men en del bolter punkterte skjermen.	Tett nok.
Bragernes	Industrisement Rapid Rp 38 fra Norcem	Rescon HP 2-3%.	Mauring når det var problem med utgang i stoff.	1,0-0,5.	Startet nede med 1-2 slanger, ved gjennomgang ble pakker montert og injeksjonen fortsatte der.	20-30 bar i kontrakt, etter hvert brukt 40-70 bar (også opp til 90 bar).	10 l/min/100 m over hele tunnelen. 8 l/min/100 m mellom pel 240-1730 og 25 l/min/100 m mellom pel 1730-2540.	Injeksjonsskjerm punktert av en del 3 og 4 m-bolter. Prøve halv skjerm - ikke vellykket, medførte bare at lekkasje flyttet på seg.	Tett nok.
Baneheia	Ultrafin 12 fra Scancem	Grout Aid 5-15%, SP40 2%.	Thermax for plugging av hull (ikke alltid vellykket).	0,9-0,7.	Startet nede med 2 slanger, ved gjennomgang ble pakker montert og injeksjonen fortsatte der. Ved store innganger lot en hullet hvile før en gikk tilbake til dem senere.	50 bar vanligvis, men brukt opp til 80 bar.	1,8 l/min/100m eller 50 l/min totalt (når 2390 m var drevet).	4 og 5 m-bolter punkterte en del skjermene, 3 m-bolter gjorde ikke det. 95% av skjermene fullført med én runde.	Tett nok.
Lunner (øst)	Industrisement fra Norcem el. Ultrafin 12 fra Scancem	Grout Aid 5-25%, SP40 2-3%.	Thermax når det var problem med utgang i stoff.	2,0-0,5.	Startet nede med 1-2 slanger, ved gjennomgang ble pakker montert og injeksjonen fortsatte der.	50 bar vanligvis, men brukt opp til 70 bar.	8,4 l/min/100m (når 1565 m var drevet fra øst, pel 3850-2395).	Muligens injisering av noen bolter. 95% av skjermene fullført med én injeksjonsrunde.	Tett nok.

MILJØ- OG SAMFUNNSTJENLIGE
TUNNELER

Sammenstilling av injeksjon for følgende tunnel-prosjekter:	Tunnelfakta			Gjennomsnittstall for boring og sementforbruk							
	Tunnel-lengde	Utforming og tverrsnitt	Drevet mellom	Bormeter pr m inj.tunnel	Bormeter pr m ² inj.tunnel	Masse kg pr hull, inkl. fyll	Masse kg pr m hull, inkl. fyll	Masse kg pr m inj.tunnel	Masse kg pr m ² inj.tunnel	Masse kg pr time inj.tid	Inj.tid time pr m inj.tunnel
Tåsen	933 m Ø 937 m V	To løp med flere ramper, 65-80 m ²	1997-1998	85	2,74	535	26	802	26	870	0,92
Svardal	1700 m N 1450 m S	To løp med tilsluttende ramper, ca 65 m ²	1998-2000	22	0,65	1358	80	1719	51	978	1,76
Lundby	2060 m N 2060 m S 238 m vent-tunnel	To løp med 13 tverrforbindelser, 86-92 m ²	1994-1998	80	2,00	79	6	476	12	-	-
Storhaug	1260 m	Et løp, 85 m ²	1998-2001	130	3,33	112	8	1014	26	273	3,71
Bragernes	2310 m totalt inkl. vent.- og rømnings-tunnel	Et løp, 72-83 m ²	1999-2001	17	0,57	2050	81	1242	42	2774	0,45
Baneheia	3000 m totalt	To løp med tilsluttende ramper, 44-87 m ²	1999-2001	40	1,08	256	9	514	14	755	0,68
Lunner (øst)	1555 m av 3800 m	Et løp, ca 61 m ²	2001-2003	40	1,26	722	30	1299	41	1224	1,06

Lunnertunnelen

Skjerm nr.	Profil	Sonderboring		Utlekkasje [liter/min]	Vanntap (Max)			Injeksjon				
		Antall hull	Lengde [m]		Mengde [liter]	Tid [min]	[Lugeon]	Antall hull	Lengde [m]	Antall bormeter	Hull-diam. [mm]	
påhugg	3950											
1	3940	4	24	20				21	24	504	64	
2	3926	3	24	14,25				21	24	504	64	
3	3911	4	24	91				21	24	504	64	
4	3892	4	24	19,2	46,00	1,00	2,09	25	24	600	64	
5	3877	4	24	39,5				25	24	600	64	
6	3861,5	4	24					25	24	600	64	
7	3846	4	24		110/8/2/5	2,00	2,84	25	24	600	64	
8	3830	3	24	2	4,00	1,00	0,18	25	24	600	64	
9	3815	4	24	0				28	24	672	64	
10	3800							25	24	600	64	
11	3785							30	24	720	64	
12	3770	nedenfor presenteres utlekkasje						30	15	450	64	
13	3759	per skjerm, dvs samlet ut alle skjermhull						30	24	720	64	
14	3742							30	24	720	64	
14E	3742							8	12	96	64	
15	3727							30	24	720	64	
16	3712							30	24	720	64	
17	3697							30	24	720	64	
18	3682							30	24	720	64	
19	3668							25	24	600	64	
20	3653							25	24	600	64	
21	3638							25	24	600	64	
22	3617							25	24	600	64	
23	3597							25	24	600	64	
24	3576							25	24	600	64	
25	3557							25	24	600	64	
26	3537							25	24	600	64	
27	3522							25	24	600	64	
28	3506							25	24	600	64	
29	3492							25	24	600	64	
30	3477							25	24	600	64	
31	3462							27	24	648	64	
32	3446							44	24	1056	64	
33	3431,5							44	24	1056	64	
34	3416			0,1				47	24	1128	64	
35	3401			2				34	24	816	64	
36	3391			1				31	24	744	64	
37	3386			1,5				25	24	600	64	
38	3371			0,4				14	24	336	64	
39	3356			0,1				14	24	336	64	
40	3341			1,5				14	24	336	64	
41	3326			3,5				14	24	336	64	
42	3311			4,5				14	24	336	64	
43	3290			0,1				14	24	336	64	
44	3281			10				14	24	336	64	
45	3266			2,5				14	24	336	64	
46	3251			0,1				14	24	336	64	
46B	Injeksjon K-hull			28				3	15	45	64	
47	3236			18				14	24	336	64	
48	3221			19				14	24	336	64	
49	3204			15				14	24	336	64	
50	3194			7				19	24	456	64	
51	3179			7				25	24	600	64	
52	3164			13				25	24	600	64	
53	3148			155				14	24	336	64	
53B	Lekkende bolte-			17				3	3	9	64	
54	3133	hull, tagit bort ty		31				14	24	336	64	
55	3118	annan kategori		2,2				15	24	360	64	

Lunnertunnelen

Skjerm nr.	Profil	Sonderboring		Utlekkasje [liter/min]	Vanntap (Max)			Injeksjon		Hull-diam. [mm]	
		Antall hull	Lengde [m]		Mengde [liter]	Tid [min]	[Lugeon]	Antall hull	Lengde [m]		Antall bormeter
56	3104			20				14	24	336	64
56B	Lekkende kontrollhull			3,3				3	15	45	64
57	3088			0				16	24	384	64
58	3074			2,1				16	24	384	64
59	3059			0				16	24	384	64
60	3045							16	24	384	64
61	2988			120				25	24	600	64
62	2973			400				25	24	600	64
63	2968			70				25	24	600	64
64	2958			71				25	24	600	64
65	2948			119				27	24	648	64
65b	2948							21	24	504	64
65c	2948			17				4	24	96	64
66	2939			71				25	24	600	64
66b	2939			115				25	24	600	64
66c	2947	ak stuff						10	24	240	64
67	2929			17,5				25	24	600	64
68	2924			8				25	24	600	64
69	2910			4				31	24	744	64
70	2910			11,5				28	24	672	64
71	2910			34				28	24	672	64
72	2866			56				28	24	672	64
73	2852			1,5				25	24	600	64
73 h	2870	Nisje		1,5				25	24	600	64
74	2870	Nisje		45				25	24	600	64
75	2835			0,9				25	24	600	64
76	2821			40				25	24	600	64
77	2805			6				25	24	600	64
78	2791			4,7				25	24	600	64
79	2775			25				25	24	600	64
80	2760			28				25	24	600	64
81	2745			10				25	24	600	64
82	2731			13				25	24	600	64
83	2710			0,5				25	24	600	64
84	2701			2				25	24	600	64
85	2685			26				14	24	336	64
86	2670			23				14	24	336	64
87	2655			60				25	24	600	64
88	2632			5				25	24	600	64
89	2622			76				14	24	336	64
90	2606			32				25	24	600	64
91	2592			3,5				26	24	624	64
92	2578			6				25	24	600	64
93	2561			193				20	24	480	64
94	2557			229,5				25	24	600	64
95	2541			1250				25	24	600	64
96	2527			1000				25	24	600	64
97	2512			520				25	24	600	64
98	2497			31				25	24	600	64
99	2486			98,5				25	24	600	64
100	2466			373				25	24	600	64
101	2451			800				25	24	600	64
102	2436			650				25	24	600	64
103	2421			212				25	24	600	64
104	2405			15				25	24	600	64

Lunnertunnelen

Skjerm nr.	Profil	Masse injeksjon				Masse etterfyll		
		Industri 31,331 [kg]	Sp40 [kg]	Mikro 31,332 [kg]	Silicaslurry 31,335 [kg]	Thermax 31,333 [kg]	C-max [kg]	Silicaslurry 31,335 [kg]
påhugg	3950							
1	3940	8 180,0						
2	3926	10 800,0	351,0		3 234,0			
3	3911	15 040,0	488,8		4 522,0	1 675,0	644,0	196,0
4	3892	20 480,0	665,6		5 789,0	3 625,0	1 334,0	406,0
5	3877	16 880,0	548,6		5 271,0	4 625,0	1 702,0	518,0
6	3861,5	17 200,0	559,0		5 404,0	3 375,0	1 242,0	378,0
7	3846	12 440,0	404,3		4 032,0	2 000,0	736,0	224,0
8	3830	13 000,0	422,5		4 221,0	1 125,0	414,0	126,0
9	3815	18 240,0	592,8		5 558,0	3 250,0	1 195,0	364,0
10	3800	25 840,0	839,8		7 994,0	2 125,0	782,0	238,0
11	3785		729,3	22 440,0	7 462,0			
12	3770	11 720,0	380,9		3 990,0			
13	3759		495,3	15 240,0	4 914,0	1 250,0	460,0	140,0
14	3742		435,5	13 400,0	4 851,0	250,0	92,0	28,0
14E	3742					1 125,0	414,0	126,0
15	3727		431,6	13 280,0	4 536,0	1 250,0	460,0	140,0
16	3712		182,0	5 600,0	2 107,0			
17	3697	11 720,0	380,9		3 815,0			
18	3682	12 680,0	412,1		4 186,0	1 875,0	690,0	210,0
19	3668	7 760,0	252,2		2 737,0	600,0	276,0	84,0
20	3653		304,2	9 360,0	3 255,0	750,0	276,0	84,0
21	3638		143,0	4 400,0	1 638,0			
22	3617		201,5	6 200,0	2 051,0			
23	3597		100,1	3 080,0	1 239,0	375,0	138,0	42,0
24	3576		144,3	4 440,0	1 631,0			
25	3557		167,7	5 160,0	1 946,0	1 125,0	414,0	126,0
26	3537		390,0	12 000,0	4 242,0	500,0	184,0	56,0
27	3522		157,3	4 840,0	1 806,0	200,0	92,0	28,0
28	3506		236,6	7 280,0	2 415,0	875,0	322,0	98,0
29	3492		278,2	8 560,0	3 059,0	1 125,0	414,0	126,0
30	3477		421,2	12 960,0	4 459,0	1 625,0	598,0	182,0
31	3462		377,0	11 600,0	3 969,0	1 250,0	460,0	140,0
32	3446		921,7	28 360,0	8 729,0	1 875,0	690,0	210,0
33	3431,5		482,3	14 840,0	5 236,0			
34	3416		413,4	12 720,0	4 438,0			
35	3401		288,6	8 880,0	2 982,0			
36	3391		267,8	8 240,0	2 667,0	600,0	276,0	84,0
37	3386		179,4	5 520,0	1 862,0	875,0	322,0	98,0
38	3371		195,0	6 000,0	2 030,0			
39	3356		91,0	2 800,0	1 092,0			
40	3341		205,4	6 320,0	2 212,0			
41	3326		245,7	7 560,0	2 485,0			
42	3311		291,2	8 960,0	3 066,0			
43	3290		343,2	10 560,0	3 353,0	900,0	414,0	126,0
44	3281		296,4	9 120,0	2 919,0	500,0	184,0	56,0
45	3266		302,9	9 320,0	2 912,0	1 250,0	460,0	140,0
46	3251		348,4	10 720,0	3 381,0	1 125,0	414,0	126,0
46B	Inje		29,9	920,0	294,0			
47	3236		218,4	6 720,0	2 240,0			
48	3221		380,9	11 720,0	3 675,0			
49	3204		254,8	7 840,0	2 597,0	1 000,0	368,0	112,0
50	3194		214,5	6 600,0	2 240,0	1 500,0	552,0	168,0
51	3179		193,7	5 960,0	2 184,0			
52	3164		230,1	7 080,0	2 429,0	375,0	138,0	42,0
53	3148		266,5	8 200,0	2 534,0	1 750,0	644,0	196,0
53B			29,9	920,0	308,0			
54	3133	10 800,0	351,0		3 283,0	750,0	276,0	84,0
55	3118	5 000,0	162,5		1 708,0			

Lunnertunnelen

Skjerm nr.	Profil	Masse injeksjon				Masse etterfyll		
		Industri 31,331 [kg]	Sp40 [kg]	Mikro 31,332 [kg]	Silicaslurry 31,335 [kg]	Thermax 31,333 [kg]	C-max [kg]	Silicaslurry 31,335 [kg]
påbygg	3950	3 360,0	109,2		1 204,0			
56B	Lekken	360,0	11,7		147,0			
57	3088	3 520,0	114,4		1 260,0			
58	3074	4 400,0	143,0		1 617,0			
59	3059		31,2	960,0	448,0			
60	3045		39,0	1 200,0	532,0			
61	2988	20 520,0	666,9		6 181,0	1 125,0	414,0	126,0
62	2973	16 520,0	536,9		5 278,0			
63	2968	10 200,0	331,5		3 255,0			
64	2958	5 080,0	165,1		1 883,0			
65	2948	8 760,0	284,7		3 255,0	1 125,0	414,0	126,0
65b	2948		345,8	10 640,0	3 451,0	750,0	276,0	84,0
65c	2948		88,4	2 720,0	854,0	500,0	184,0	56,0
66	2939		256,1	7 880,0	2 779,0	750,0	276,0	84,0
66b	2939		154,7	4 760,0	1 764,0			
66c	2947		127,4	3 920,0	1 302,0			
67	2929		84,5	2 600,0	966,0			
68	2924		183,3	5 640,0	1 855,0			
69	2910		131,3	4 040,0	1 519,0			
70	2910		144,3	4 440,0	1 477,0			
71	2910	8 480,0	275,6		3 003,0			
72	2866	16 000,0	520,0		5 222,0			
73	2852		347,1	10 680,0	3 675,0			
73 h	2870			6 760,0	2 544,0			
74	2870		384,8	11 840,0	3 815,0			
75	2835		136,5	4 200,0	1 554,0			
76	2821	8 800,0	286,0		2 891,0			
77	2805	8 160,0	265,2		2 772,0			
78	2791		384,8	11 840,0	3 815,0			
79	2775	18 600,0	604,5		5 586,0			
80	2760	9 880,0	321,1		3 213,0			
81	2745	14 840,0	482,3		4 704,0			
82	2731	11 320,0	367,9		3 668,0			
83	2710	12 040,0	391,3		3 808,0			
84	2701	13 880,0	451,1		4 361,0			
85	2685	5 840,0	189,8		1 904,0			
86	2670	7 520,0	244,4		2 338,0			
87	2655	11 280,0	366,6		3 549,0			
88	2632	8 280,0	269,1		2 688,0			
89	2622	10 920,0	354,9		3 374,0			
90	2606	17 160,0	557,7		5 495,0			
91	2592	9 600,0	312,0		3 346,0			
92	2578	11 400,0	370,5		3 619,0			
93	2561	8 960,0	291,2		2 940,0			
94	2557	14 240,0	462,8		4 326,0			
95	2541	42 960,0	1 396,2		12 103,0			
96	2527	45 840,0	1 489,8		12 516,0	2 150,0	828,0	252,0
97	2512	34 480,0	1 440,4	9 840,0	12 376,0			
98	2497	30 120,0	978,9		9 058,0			
99	2486	41 720,0	1 355,9		12 054,0			
100	2466	39 000,0	1 267,5		11 109,0			
101	2451	39 240,0	1 275,3		11 305,0			
102	2436	27 160,0	882,7		7 791,0	1 500,0	552,0	168,0
103	2421	21 440,0	696,8		6 139,0			
104	2405		284,7	8 760,0	3 213,0			
		839 660,0	42 352,7	478 440,0	416 090,0	56 375,0	21 021,0	6 398,0
		0,451348	0,0227661	0,25717925	0,2236638	0,030304	0,0112996	0,0034392
Sum masser				1 860 336,7		Sum Thermax		0,045

Lunnertunnelen

Skjerm nr.	Profil	Tid		Masse		Kontrollhull				
		Dag 31,3911 [timer]	Natt 31,3912 [timer]	hull [kg]	injisert [kg]	Profil	Antall hull	Lengde [m]	Antall bormeter	Lekkasje [liter/min]
påhugg	3950									
1	3940	10		2592,9	5587,1	3940	4	21	84	2,75
2	3926	14	3	2592,9	11792,1	3921	3	15	45	0
3	3911	17		2592,9	19972,9	3906	3	15	45	0
4	3892	24,5	4	3086,7	29212,9	3892	3	15	45	0
5	3877	26,5	5	3086,7	26457,9	3872,0	3	15	45	0
6	3861,5	20	1	3086,7	25071,3	3861,5	3	15	45	0
7	3846	20		3086,7	16749,6	3840	3	15	45	0
8	3830	15,75	4	3086,7	16221,8		3	15	45	0
9	3815	20,75	4	3457,2	25742,6	3810	3	15	45	0
10	3800	21,5	4	3086,7	34732,1		3	15	45	0
11	3785	20,5	4	3704,1	26927,2		3	15	45	
12	3770	12,5		2315,1	13775,8				0	
13	3759	17,5		3704,1	18795,2		4	15	60	
14	3742	21,5		3704,1	15352,4		3			
14E	3742			493,9	1171,1					
15	3727	14		3704,1	16393,5					
16	3712	9,5		3704,1	4184,9					
17	3697	8,5		3704,1	12211,8					
18	3682	17		3704,1	16349,0					
19	3668	10		3086,7	8622,5					
20	3653	9,5		3086,7	10942,5					
21	3638	4,5	3,5	3086,7	3094,3					
22	3617	4,5	4	3086,7	5365,8					
23	3597	10,5		3086,7	1887,4					
24	3576	6	3,5	3086,7	3128,6					
25	3557	12	0,5	3086,7	5852,0					
26	3537	16	4	3086,7	14285,3					
27	3522	9		3086,7	4036,6					
28	3506	8		3086,7	8139,9					
29	3492	12,5		3086,7	10475,5					
30	3477	11		3086,7	17158,5					
31	3462	10,5	4	3333,7	14462,3					
32	3446	20	1	5432,7	35353,0					
33	3431,5	13,5	4	5432,7	15125,6					
34	3416	11	4	5803,1	11768,3					
35	3401	10	2,5	4198,0	7952,6					
36	3391	6,5	3,5	3827,6	8307,2					
37	3386	7		3086,7	5769,7					
38	3371	7		1728,6	6496,4					
39	3356	8		1728,6	2254,4					
40	3341	11		1728,6	7008,8					
41	3326	8,5		1728,6	8562,1					
42	3311	10		1728,6	10588,6					
43	3290	7	4	1728,6	13967,6					
44	3281	8		1728,6	11346,8					
45	3266	9		1728,6	12656,3					
46	3251	8,5		1728,6	14385,8					
46B	Inje	1,5								
47	3236	7,5		1728,6	7449,8					
48	3221	7	4	1728,6	14047,3					
49	3204	6,5	4	1728,6	10443,2					
50	3194	10	2	2345,9	8928,6					
51	3179	6,5		3086,7	5251,0					
52	3164	8	4	3086,7	7207,4					
53	3148	8		1728,6	11861,9					
53B		1		46,3	1211,6					
54	3133	7,5	4	1728,6	13815,4					
55	3118	3,5	2,5	1852,0	5018,5					

Lunnertunnelen

Skjerm nr.	Profil	Tid		Masse		Kontrollhull				
		Dag 31,3911 [timer]	Natt 31,3912 [timer]	hull [kg]	injisert [kg]	Profil	Antall hull	Lengde [m]	Antall bormeter	Lekkasje [liter/min]
påbygg	3960	8,5		1728,6	2944,6					
56B	Lekken	1		231,5	287,2					
57	3088	8		1975,5	2918,9					
58	3074	6,5		1975,5	4184,5					
59	3059	5		1975,5	-536,3					
60	3045	3		1975,5	-204,5					
61	2988	16,0	4,0	3086,7	25946,2					
62	2973	11,0	3,0	3086,7	19248,2					
63	2968	6,5	4,0	3086,7	10699,8					
64	2958	9,0		3086,7	4041,4					
65	2948	16,0		3333,7	10631,0					
65b	2948	9,5		2592,9	12953,9					
65c	2948		4,0	493,9	3908,5					
66	2939	7,5	4,0	3086,7	8938,4					
66b	2939	9,0		3086,7	3592,0					
66c	2947	5,0		1234,7	4114,7					
67	2929	8,5		3086,7	563,8					
68	2924	8,5		3086,7	4591,6					
69	2910	8,5		3827,6	1862,7					
70	2910	9,0		3457,2	2604,1					
71	2910	7,0	4,0	3457,2	8301,4					
72	2866	12,0	4,0	3457,2	18284,8					
73	2852	10,5		3086,7	11615,4					
73 h	2870	?	?	3086,7	6217,3					
74	2870	10,0		3086,7	12953,1					
75	2835		5,0	3086,7	2803,8					
76	2821	10,5		3086,7	8890,3					
77	2805	5,0	4,0	3086,7	8110,5					
78	2791	10,0		3086,7	12953,1					
79	2775	17,0	4,0	3086,7	21703,8					
80	2760	8,5	4,0	3086,7	10327,4					
81	2745	13,0	4,0	3086,7	16939,6					
82	2731	11,0	4,0	3086,7	12269,2					
83	2710	12,0		3086,7	13152,6					
84	2701	11,5		3086,7	15605,4					
85	2685	7,5	0,5	1728,6	6205,2					
86	2670	7,0		1728,6	8373,8					
87	2655	12,0	1,0	3086,7	12108,9					
88	2632	11,0		3086,7	8150,4					
89	2622	10,0		1728,6	12920,3					
90	2606	15,0		3086,7	20126,0					
91	2592	10,0		3210,2	10047,8					
92	2578	8,5		3086,7	12302,8					
93	2561	8,0		2469,4	9721,8					
94	2557	10,5		3086,7	15942,1					
95	2541	31,5	4,0	3086,7	53372,5					
96	2527	28,0	4,0	3086,7	59989,1					
97	2512	22,0	4,0	3086,7	55049,7					
98	2497	20,0	1,0	3086,7	37070,2					
99	2486	40,0	4,0	3086,7	52043,2					
100	2466	18,0	4,0	3086,7	48289,8					
101	2451	18,0	4,0	3086,7	48733,6					
102	2436	13,5	4,0	3086,7	34967,0					
103	2421	16,0	1,5	3086,7	25189,1					
104	2405	8,0		3086,7	9171,0					
		1 255,5	172,0	314 971,5	1 544 121,3					

Lunnertunnelen

Skjerm nr.	Profil	Gjennomsnittstall			
		Masse pr. hull [kg]	Masse pr. hullmeter [kg]	Masse pr. tunnelmeter [kg]	Masse pr. time [kg]
påhugg	3950				
1	3940	389,5	16,2	584,3	818,0
2	3926	685,0	28,5	959,0	846,2
3	3911	1074,6	44,8	1187,7	1327,4
4	3892	1292,0	53,8	2153,3	1133,3
5	3877	1181,8	49,2	1906,1	937,9
6	3861,5	1126,3	46,9	1816,6	1340,9
7	3846	793,5	33,1	1239,8	991,8
8	3830	772,3	32,2	1287,2	977,6
9	3815	1042,9	43,5	1946,7	1179,8
10	3800	1512,8	63,0	2521,3	1483,1
11	3785	1021,0	42,5	2042,1	1250,3
12	3770	536,4	35,8	1462,8	1287,3
13	3759	750,0	31,2	1323,5	1285,7
14	3742	635,2	26,5	1381,4	886,3
14E	3742	208,1	17,3		
15	3727	669,9	27,9	1339,8	1435,5
16	3712	263,0	11,0	525,9	830,4
17	3697	530,5	22,1	1061,1	1872,5
18	3682	668,4	27,9	1432,4	1179,6
19	3668	468,4	19,5	780,6	1170,9
20	3653	561,2	23,4	935,3	1476,8
21	3638	247,2	10,3	294,3	772,6
22	3617	338,1	14,1	422,6	994,4
23	3597	199,0	8,3	236,9	473,7
24	3576	248,6	10,4	327,1	654,2
25	3557	357,5	14,9	446,9	715,1
26	3537	694,9	29,0	1158,1	868,6
27	3522	284,9	11,9	445,2	791,5
28	3506	449,1	18,7	801,9	1403,3
29	3492	542,5	22,6	904,1	1085,0
30	3477	809,8	33,7	1349,7	1840,5
31	3462	659,1	27,5	1112,3	1227,3
32	3446	926,9	38,6	2812,8	1942,2
33	3431,5	467,2	19,5	1326,3	1174,8
34	3416	373,9	15,6	1171,4	1171,4
35	3401	357,4	14,9	1215,1	972,0
36	3391	391,4	16,3	2427,0	1213,5
37	3386	354,3	14,8	590,4	1265,2
38	3371	587,5	24,5	548,3	1175,0
39	3356	284,5	11,9	265,5	497,9
40	3341	624,1	26,0	582,5	794,3
41	3326	735,1	30,6	686,0	1210,7
42	3311	879,8	36,7	586,5	1231,7
43	3290	1121,2	46,7	1744,0	1426,9
44	3281	934,0	38,9	871,7	1634,4
45	3266	1027,5	42,8	959,0	1598,3
46	3251	1151,0	48,0	1157,2	1895,8
46B	Inje	414,6	27,6		829,3
47	3236	655,6	27,3	611,9	1223,8
48	3221	1126,9	47,0	928,0	1434,2
49	3204	869,4	36,2	1217,2	1159,2
50	3194	593,4	24,7	751,6	939,5
51	3179	333,5	13,9	555,8	1282,7
52	3164	411,8	17,2	643,4	857,8
53	3148	970,8	40,4	906,0	1698,8
53B					
54	3133	1110,3	46,3	1036,3	1351,7
55	3118	458,0	19,1	490,8	1145,1

Lunnertunnelen

Skjerm nr.	Profil	Gjennomsnittstall			
		Masse pr. hull [kg]	Masse pr. hullmeter [kg]	Masse pr. tunnelmeter [kg]	Masse pr. time [kg]
påbygg	3950	333,8	13,9	324,5	549,8
56B	Lekken	172,9	11,5		518,7
57	3088	305,9	12,7	349,6	611,8
58	3074	385,0	16,0	410,7	947,7
59	3059	90,0	3,7	102,8	287,8
60	3045	110,7	4,6	77,0	590,3
61	2988	1161,3	48,4	1935,5	1451,6
62	2973	893,4	37,2	4467,0	1595,4
63	2968	551,5	23,0	1378,7	1313,0
64	2958	285,1	11,9	712,8	792,0
65	2948	517,2	21,6	3768,2	872,8
65b	2948	740,3	30,8		1636,5
65c	2948	1100,6	45,9		1100,6
66	2939	481,0	20,0	2405,3	1045,7
66b	2939	267,1	11,1		742,1
66c	2947	534,9	22,3	297,2	1069,9
67	2929	146,0	6,1	730,1	429,5
68	2924	307,1	12,8	548,5	903,3
69	2910	183,6	7,6	534,3	669,4
70	2910	216,5	9,0		673,5
71	2910	420,0	17,5		1069,0
72	2866	776,5	32,4	1553,0	1358,9
73	2852	588,1	24,5	864,8	1400,2
73 h	2870	372,2	15,5	930,4	
74	2870	641,6	26,7	1604,0	1604,0
75	2835	235,6	9,8	420,8	1178,1
76	2821	479,1	20,0	748,6	1140,7
77	2805	447,9	18,7	799,8	1244,1
78	2791	641,6	26,7	1002,5	1604,0
79	2775	991,6	41,3	1652,7	1180,5
80	2760	536,6	22,4	894,3	1073,1
81	2745	801,1	33,4	1430,5	1178,0
82	2731	614,2	25,6	731,2	1023,7
83	2710	649,6	27,1	1804,4	1353,3
84	2701	747,7	31,2	1168,3	1625,4
85	2685	566,7	23,6	528,9	991,7
86	2670	721,6	30,1	673,5	1443,2
87	2655	607,8	25,3	660,7	1168,9
88	2632	449,5	18,7	1123,7	1021,6
89	2622	1046,4	43,6	915,6	1464,9
90	2606	928,5	38,7	1658,1	1547,5
91	2592	509,9	21,2	947,0	1325,8
92	2578	615,6	25,6	905,3	1810,5
93	2561	609,6	25,4	3047,8	1523,9
94	2557	761,2	31,7	1189,3	1812,3
95	2541	2258,4	94,1	4032,8	1590,4
96	2527	2523,0	105,1	4205,1	1971,1
97	2512	2325,5	96,9	3875,8	2236,0
98	2497	1606,3	66,9	3650,6	1912,2
99	2486	2205,2	91,9	2756,5	1253,0
100	2466	2055,1	85,6	3425,1	2335,3
101	2451	2072,8	86,4	3454,7	2355,5
102	2436	1522,1	63,4	2536,9	2174,5
103	2421	1131,0	47,1	1767,2	1615,8
104	2405	490,3	20,4	612,9	1532,2
		722,4	30,4	1298,9	1223,5
		90,0	3,7	77,0	287,8
		2523,0	105,1	4467,0	2355,5
		80906,9	3407,9	135085,4	134584,3
		722,4	30,4	1298,9	1223,49
		OK	OK	OK	OK

Rapporter fra NFR-prosjektet

Nr.	Intern rapport nr. [Ⓞ]	Tittel	Del-prosjekt	Dato	Utarbeidet av
1	2201	Prosjektbeskrivelse 2000-2003		Apr 01	K.I. Davik
2	2233	Injeksjon - erfaringer fra utførte tunnelprosjekter	C	Nov 01	NVK
3	2234	Injeksjon av «problemsoner» ved byggingen av T-baneringen	C	Nov 01	NVK
4	2235	Laboratorietesting av mikrosementer ved T-baneringen	C	Nov 01	NOTEBY
5	2247	Forundersøkelser - vurderinger av geofysiske anomalier ved Langvatnet med bruk av helikoptermålinger	A	Nov 01	NGU
6	2250	Laboratorieprøving av injeksjonssementer	C	Nov 01	NOTEBY
7	2253	Geofysiske målinger ved Langvatnet, Lunner, Oppland	A	Des 01	NGU
8	2254	Inspeksjon og logging av brønner over Romeriksporten. Vurdering av lekkasjepotensial og stabilitet	A	Des 01	NGU
9	2255	Borehullsinspeksjon. En utprøving og sammenligning av optisk og akustisk televiwer	A	Des 01	NGU
10	2259	Borehullslogging og strukturgeologiske studier, Gualia, Lunner kommune	A	Mar 02	NGU
11	2261	Frøyatunnelen. Vurdering av injeksjon i forhold til Q-parametre	A	Mar 02	NGI
12	2273	Forundersøkelser tunneler. Nyere undersøkelsesmetoder	A	Apr 02	NGU
13	2274	Naturlig tetting av tunneler	C	Apr 02	Aquateam
14	2276	Konsekvenser av tunnellekkasjer for det ytre miljø Statusrapport 2001	B	Mai 02	NGI, NINA, Jordforsk, Norconsult
15	2284	Oppsummering av utførte undersøkelser og prognose for innlekkasje ved Gualiatunnelen	A	Mai 02	NTNU
16	2289	Sluttrapport for injeksjonsarbeidene ved T-baneringen	C	Juli 02	GeoVita, NVK, Norconsult
17	2293	Status for NFR-prosjektet, august 2002		Sep 02	Vegtek
18	2294	Resultatrapport fra injiseringsforsøk	C	Sep 02	SINTEF
19	2295	Prosedyrer for injiseringsforsøk	C	Sep 02	SINTEF
20	2296	Hydraulisk testing av borehull i fjell i Gualia, Lunner komm.	A	Sep 02	NGU
21	2305	Geofysiske målinger, Langvatnet - øst, Lunner, Oppland	A	Jan 03	NGU
22	2306	Naturlige tetteprosesser	C	Jan 03	Aquateam
23	2313	Injeksjon - erfaringer fra Lunnertunnelen	C	Mar 03	NVK

[Ⓞ] Vegteknisk avdelings rapportserie

Delprosjekter: A Forundersøkelser
 B Samspill med omgivelsene
 C Tetteknikk