

MILJØ- OG SAMFUNNSTJENLIGE TUNNELER

Rapport nr: **41**

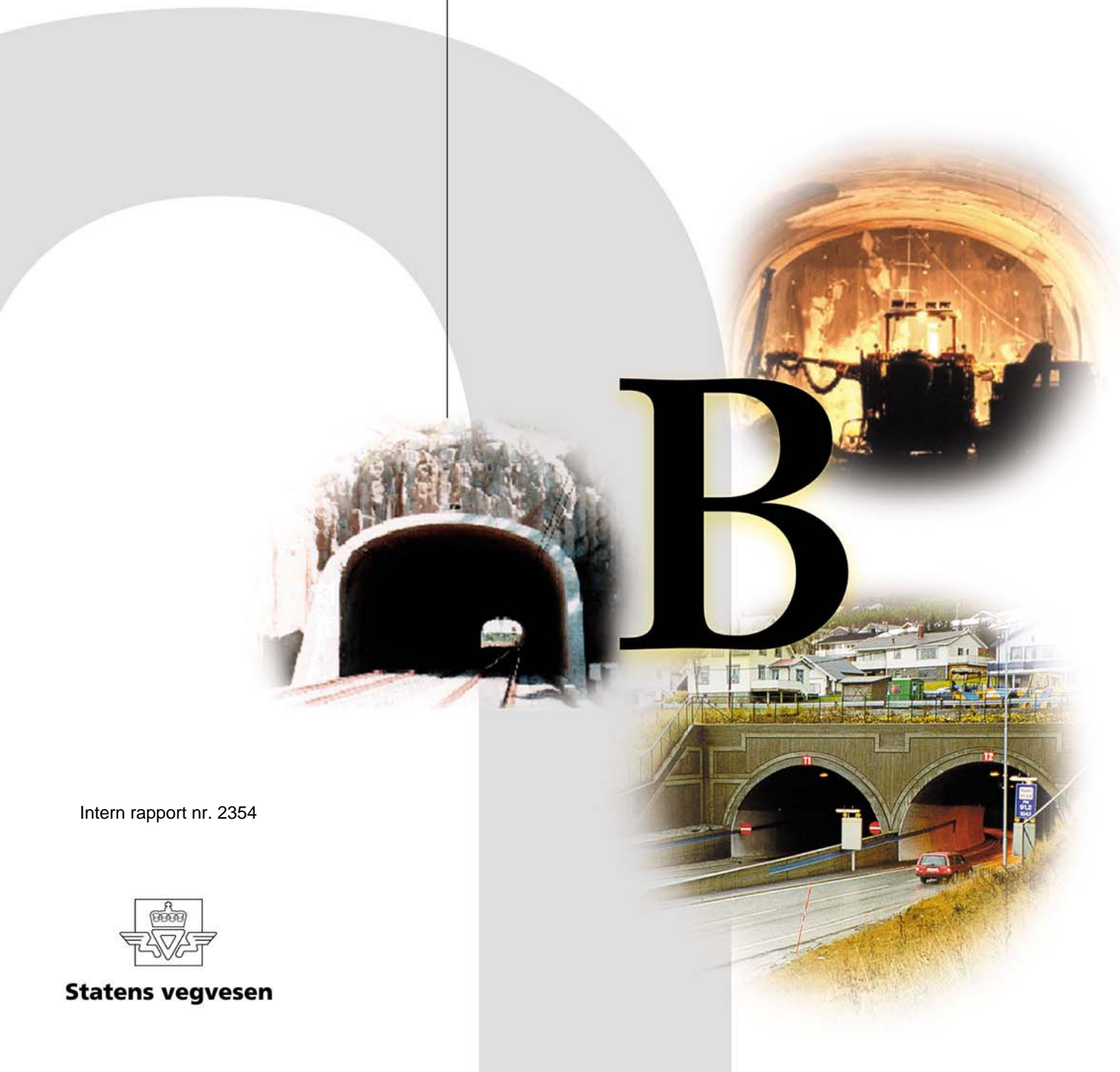
Sammenheng mellom
grunnvannssenkning og tunnellekkasjer

B

Intern rapport nr. 2354



Statens vegvesen



Miljø- og samfunnstjenlige tunneler

Sammenheng mellom grunnvannssenkning og tunnellekkasjer

20031322-1

19 mars 2004

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

Kontaktperson:
Kontraktreferanse:

For Norges Geotekniske Institutt

Prosjektleder: Kjell Karlsrud

Rapport utarbeidet av: Fredrik Løset

Kontrollert av: Vidar Kveldsvik

Arbeid også utført av:

Sammendrag

Denne rapporten er utarbeidet som en del av prosjektet "Miljø- og samfunnstjenlige tunneler", Delprosjekt B "Undersøkelser og krav til innlekkasje for å ivareta ytre miljø".

Med bakgrunn i data fra tunneler og målinger av grunnvannstand, er sammenhengen mellom grunnvannssenkning, avstand fra tunnelene og innlekkasjer i tunnelene vurdert. Det er brukt data fra tre områder: Oslo sentrum, Østmarka over Romeriksporten og Baneheia ved Kristiansand.

Dataene gir ingen helt entydige korrelasjoner, men større grunnvannssenkning, dvs. over 5 – 10 m, synes bare å forekomme når avstanden til tunnelen er mindre enn 150 – 200 m.

Grunnvannssenkningen korrelerer ikke i særlig grad med størrelsen på tunnellekkasjene selv om det kan synes som om større grunnvannssenkninger først inntreffer når lekkasjene overstiger 25 l/minutt per 100 m tunnel. Lekkasetallene er imidlertid oftest gjennomsnittstall over lengre tunnelstrekninger, mens lekkasjene i virkeligheten kan være konsentrert langs relativt smale soner. Det er derfor nødvendig med et stort antall målere for å få oversikt over grunnvannssenkning i forbindelse med tunneldrift.

Innhold

1	INNLEDNING	4
2	MÅLING AV GRUNNVANNSSTAND	5
3	GRUNNFORHOLD	6
	3.1 Generelt	6
	3.2 Oslo sentrum	6
	3.3 Baneheia, Kristiansand	6
	3.4 Romeriksporten	7
4	DATAGRUNNLAGET	7
5	VURDERING AV RESULTATENE	10
6	KONKLUSJON	16
7	REFERANSER	16

Kontroll- og referanseside

1 INNLEDNING

Denne rapporten er utarbeidet som en del av prosjektet ”Miljø- og samfunnstjenlige tunneler”, Delprosjekt B ”Undersøkelser og krav til innlekkasje for å ivareta ytre miljø”.

På grunn av lekkasjer inn i tunneler kan det oppstå grunnvannssenkning i omliggende områder. Grunnvannssenkning kan medføre skader av forskjellig karakter: Det kan oppstå setningskader på bygninger, og det kan bli skader på vegetasjon som er avhengig av grunnvannet. Grunnvannsbrønner kan også bli ødelagt, og i områder med alunskifer kan grunnvannssenkningen medføre at skiferen forvitrer, noe som ved senere tilgang på vann kan medføre svelling og dermed skader på ulike fundamenter. De mest dramatiske skadene kan være utdrening av tjern, noe som skjedde i Puttjern i Østmarka ved Oslo i forbindelse med byggingen av Romeriksporten. Slike hendelser har også forekommet tidligere, f. eks. i Trollvann i Oslo i forbindelse med sprengning av en vanntunnel, og ved byggingen av Kjela kraftverk i Telemark der to mindre tjern tømte på grunn av en tunnel rett under.

Det er naturlig å anta at grunnvannssenkningene vil være avhengig av størrelsen på lekkasjen inn i tunnelen og avstanden til tunnelen. I forbindelse med tunnelanlegg foreligger det en god del måledata når det gjelder disse forhold. I denne rapporten blir data fra tre forskjellige områder vurdert:

Oslo sentrum

Her ble det fra 1968 og utover på 1970-tallet drevet flere tunneler i forbindelse med T-banen og i tillegg jernbanetunnelen mellom Skøyen og Oslo sentralstasjon. Problematikken her var først og fremst frykt for setningsskader, og et omfattende måleopplegg for å overvåke grunnvannet ble gjennomført.

Baneheia, Kristiansand

I perioden 2000-2001 ble det drevet en vegtunnel under Baneheia nord for Kristiansand sentrum for å få gjennomgangstrafikken vekk fra bykjernen. Det en særlig fryktet her, var utdreninger av noen små vann rett over tunnelen, men prosjektet ble gjennomført uten større problemer.

Romeriksporten

I forbindelse med den nye jernbanelinjen til Gardermoen ble denne 14 km lange tunnelen drevet i perioden 1994-1997. Tunnelen ble mye omtalt i massemediene på grunn av problemer med betydelige lekkasjer, noe som medførte setningsskader og utdrening av et par mindre tjern.

*

For sammenheng mellom tunnellekkasje og poretrykksfall i overgangen mellom berggrunn og løsmasser, har NGI gjennom flere år analysert data fra ulike anlegg i Oslo-regionen. Se for eksempel sluttrapporten fra delprosjekt B:



Publikasjon nr. 103 fra Statens vegvesen, Kapittel 4 ”Bestemmelse av lekkasjekrav i urbane områder”.

2 MÅLING AV GRUNNVANNSSTAND

Det er særlig i Oslo sentrum at det har vært problemer med setninger i forbindelse med tunnellekkasjer. Ved byggingen av tunnelbanen mellom Nasjonalteateret og Majorstua i 1920-årene oppsto det betydelige setningsskader på bygninger, og det ble derfor klart at det var nødvendig med tetningstiltak i tunneler i dette området (Holmsen 1953). Det som spesielt gjør forholdene ugunstige i Oslo, er den ujevne fjelltopografien med markerte dypprenner som er fylt med bløt, marin leire. Det er derfor nødvendig med et omfattende måleopplegg for å overvåke grunnvannet i forbindelse med anleggsvirksomhet. Det er særlig viktig å måle poretrykket i bunnen av dypprennene. I bunnen av slike dypprenner er det ofte et permeabelt lag med grus, og målere som plasseres i dette laget, vil som regel reagere raskt på trykkendringer. Målere i den tette leira vil trenge lenger tid på å innstille seg.

Det brukes flere typer målere til grunnvannsmålinger. De kan være enkle, åpne borehull der vannstanden kan peiles. Vannstanden i slike brønner vil som regel tilsvare grunnvannsoverflaten. Det kan også være lukkede hull der det kan plasseres der det kan plasseres målere (piezometre) i ett eller flere nivåer. Slike piezometre har et filter som er forbundet med en slage oppover i hullet. Vannstanden i slangen vil da indikere vanntrykket ved måleren. Eventuelt artesisk trykk kan måles ved å plassere et manometer på toppen av slangen.

Med grunnvannsstand menes generelt overgangen mellom umettet og mettet sone og der poretrykket er lik null. Nå vil ikke alltid denne grunnvannsstanden være i samsvar med poretrykket lenger nede i grunnen. Bergmassene rundt en tunnel kan bli utdrenert på grunn av åpne sprekker inn mot tunnelen, og vanntrykket kan derfor være langt lavere her enn det avstanden opp til grunnvannsoverflaten skulle tilsi. Dette betyr at piezometermålinger i berggrunnen i nærheten av tunneler ikke nødvendigvis gir noe korrekt bilde grunnvannsstanden. I Oslo sentrum er det i flere av målehullene satt ned trykkmålere på ulike nivåer. De dypeste målerne kan her vise et lagt større trykkfall enn de øvre. Dette kan være på grunn av at de dypeste målerne er blitt påvirket av tunnelen. Når en skal vurdere grunnvannssenkning, må en ta dette i betraktning. Målere langt nede i fjellgrunnen i nærheten av en tunnel vil ofte ikke gi noe korrekt bilde av grunnvannsstanden, og en bør derfor vurdere om resultatene fra slike målere skal tas når en skal vurdere grunnvannssenkning.

3 GRUNNFORHOLD

3.1 Generelt

Grunnforholdene er avgjørende for hvor stor skade en grunnvannssenkning kan medføre. I fast fjell vil det ikke bli setninger, men vegetasjonen ta skade, og eventuelle tjern kan i verste fall bli utdrenert. Det vil spesielt være i tykke avsetninger med marin leire at det kan oppstå setninger. Tetthetskravene som må settes til en tunnel, vil være avhengig av grunnforholdene og hva som finnes på overflaten. Det betyr at i en og samme tunnel kan tetthetskravet variere noe.

3.2 Oslo sentrum

Berggrunnen består her av sedimentære bergarter av kambrosilur alder. Disse bergartene er vesentlig leirskifer og knollekalk som i utgangspunktet er forholdsvis tette. Forkastninger og eruptivganger representerer de viktigste lekkasjeveiene. Fjelloverflaten er ofte sterkt kupert med markerte dyprenner som er fylt med løsmasser som for det meste er marin leire. De generelt bløte massene og stor variasjon i tykkelse gjør forholdene spesielt ugunstige i det skjeve setninger lett kan oppstå under slike forhold. Dette betyr at det må settes strenge krav til tetthet i tunnelene. Dette vil si noen få liter per minutt per 100 m tunnel. Tetthetskravet vil bl.a. avhengig av løsmassetykkelse og hva slags konstruksjoner som finnes på overflaten. De strenge tetthetskravene tilsier at systematisk forinjeksjon er nødvendig ved tunneldrift. I tilfeller med spesielt strenge tetthetskrav, det vil si et par liter per minutt per 100 m, kan dette være vanskelig å oppnå med bare injeksjon, og vannstett støp kan da bli nødvendig. Til tross for omfattende tetting har det stedvis forekommet en del setningsskader.

Det er gjennomført en rekke studier av sammenhengen mellom grunnforhold, grunnvannssenkning og setningsskader i Oslo, se Kveldsvik og Karlsrud, 1995 og Karlsrud, 2002. Mer detaljerte data fins i Carsson 1987 og NGI-rapporter 1970, 1986 og 1987.

3.3 Baneheia, Kristiansand

Berggrunnen her består av prekambrisk gneis for det meste med granittisk sammensetning. Bergartene er generelt lite oppsprukket, og det er få markerte svakhetssoner. Tunnelen går under skogsterreng med flere små vann. Det er generelt lite løsmasser rett over tunnelen, men Kristiansand sentrum ligger på tykke avsetninger av sand og silt. Det var imidlertid de små vannene rett over tunnelen som var utslagsgivende for tetthetskravet for tunnelen, siden det av miljøhensyn var viktig å bevare disse. Fjelloverdekningen for tunnelen varierte fra 10 til 40 m. Det generelle tetthetskravet for tunnelen var 2 l/min/100 m, og ved hjelp av systematisk forinjeksjon holdt en seg innenfor dette, og det oppsto ikke skader av betydning (Hellerlien 2000 og Tveide 2000).

3.4 Romeriksporten

Tunnelen går gjennom prekambrisk gneis med varierende sammensetning. Bergartene er til dels sterkt oppsprukket, og det er mange svakhetssoner som krysser tunnelen. Over tunnelen er det kupert terreng. Det er åsrygger med lite løsmasser, men også forsenkninger hvor det kan være betydelige mektigheter med løsmasser som dels er marin leire. Fjelloverdekningen over tunnelen ligger stort sett mellom 50 og 230 m. Det oppsto betydelige lekkasjer inn i tunnelen under utsprenget til tross for forinjeksjon. På strekningen mellom Bryn og Nordre Puttjern var lekkasjene etter forinjeksjon ca 4000 l/minutt, noe som tilsvarer nærmere 100 l/minutt per 100 m, og det ble setningsskader i en del boligområder som ligger på marin leire. (Buen, Roald og Tveiten 1999). Nordre- og Søndre Puttjern ble i en periode utdrenert. Det var derfor nødvendig med en omfattende etteretting, for å oppfylle tetthetskravene.

4 DATAGRUNNLAGET

Fra de ulike anleggene er til sammen data fra 87 målere studert. I datagrunnlaget som er vist på Tabell 1, er det imidlertid bare tatt med resultater fra 76 av disse. Grunnen er at det i noen av målehullene er satt ned to målere i forskjellige nivåer, og det synes som måleren på det laveste nivået ofte ikke representerer grunnvannsoverflaten. Brønner med to målere er vist i Tabell 2, og flere av B-målerne er her ikke tatt med i det datagrunnlaget som er analysert nærmere.

Tabell 1 Grunnlagsdata med målerresultater fra 76 hull

Anlegg	Lokalitet	Kote Terr/fjell	Målekote	Installert år	Tunnel drevet år	Lekkasje l/min/100m	GV før tunnel kote	GV etter tunnel kote	GV senkning m	Avstand til tunnel m
NSB vest	346 Colbjørnsengt. 2	?	?	?	1973-79	88,5	21	8,9	12,10	30
NSB vest	201 Solheimsgt/Havsfgt.	33,44/32,24	Hull til -4,6	1970	1973-79	40	29,9	26,5	3,40	280
NSB vest	202 Solheimsgt. 2B	30,17/27,22	Hull til -5,3	1970	1973-79	42,2	26,8	24,4	2,40	153
NSB vest	203 Tostrupgt. 25	18,80/18,30	Hull til -7,2	1970	1973-79	42,2	16,4	15	1,40	255
NSB vest	204 Lille Frogner Alle 10	38,30/36,80	Hull til -8,7	1970	1973-79	34,5	33,5	25	8,50	152
NSB vest	205 Balchengt.	32,57/32,37	Hull til -8,4	1970	1973-79	54,3	30,1	23,7	6,40	80
NSB vest	206 Haxthausengt. 10	29,80/28,70	Hull til -8,2	1970	1973-79	40	24,5	23,5	1,00	10
NSB vest	207A Gyldenløvesgt. 12	30,20/28,50	Hull til -9,8	1970	1973-79	40	28,3	20,1	8,20	90
NSB vest	207B Gyldenløvesgt. 10	32,97/29,47	Hull til -9,0	1970	1973-79	40	29,7	23,2	6,50	80
NSB vest	208 Incognitogt. 26	31,42/31,02	Hull til -8,6	1970	1973-79	75	25,1	20,6	4,50	75
NSB vest	209 Oscarsgt/Frogner.	?	Hull	?	1973-79	69,4	22	19,8	2,20	175
NSB vest	104 Nobelsgt. 18	20,31/8,51	6	1970	1973-79	40	15,3	6,8	8,50	0
NSB vest	105A E. Skjalgsonsgt. 22	22,68/12,71	6,7	1970	1973-79	42,2	20	20	0,00	0
NSB vest	111A Haxthausengt. 10	28,54/27,97	Hull til -11,2	1970	1973-79	40	26,7	21,8	4,90	0
NSB vest	115 Incognitogt. 28	24,88/12,58	6,1	1970	1973-79	40	20,4	10,5	9,90	0
NSB/OTB Oslo sentrum	8A Kr. Augustgt. 2	11,6/2,5	7,6	1968	1968-75	10	9,7	9,3	0,40	200
NSB/OTB Oslo sentrum	8B K. Augustgt. 2	11,6/2,5	3,6	1968	1968-75	10	9,30	8,92	0,38	200



Sammenheng mellom grunnvannssenkning og tunnellekkasjer

Anlegg	Lokalitet	Kote Terr/fjell	Målekote	Installert år	Tunnel drevet år	Lekkasje l/min/100m	GV før tunnel kote	GV etter tunnel kote	GV senkning m	Avstand til tunnel m
NSB/OTB Oslo sentrum	8C K. Augustgt.2	11,6/2,5	2,5	1968	1968-75	10	8,80	8,26	0,54	200
NSB/OTB Oslo sentrum	9A K. Augustgt. 1	12,4/1,3	7,1	1964	1968-75	10	9,70	9,70	0,00	180
NSB/OTB Oslo sentrum	9B K. Augustgt. 1	12,4/1,3	1,3	1964	1968-75	10	9,90	9,81	0,09	180
NSB/OTB Oslo sentrum	10A Rosenkrantzplass	12,6/4,2	6,3	1964	1968-75	10	10,20	10,13	0,07	160
NSB/OTB Oslo sentrum	10B Rosenkrantzplass	12,6/4,2	4,2	1964	1968-75	10	11,20	11,20	0,00	160
NSB/OTB Oslo sentrum	11B Rosenkrantzplass	12,5/-1	-1,0	1964	1968-75	10	8,80	7,97	0,83	140
NSB/OTB Oslo sentrum	12 Apotekergata 10B	14,4/7,8	4,8	1968	1968-75	10	10,00	9,68	0,32	90
NSB/OTB Oslo sentrum	13 Apotekergata 5	16,6/14,8	11,6	1968	1968-75	10	13,30	13,11	0,19	20
NSB/OTB Oslo sentrum	14 P. Ashehougspl.	13,2/3,7	0,7	1968	1968-75	10	8,60	7,94	0,66	100
NSB/OTB Oslo sentrum	21 Akersgata 20	13,3/5,8	5,8	1948	1968-75	10	7,10	6,06	1,04	30
NSB/OTB Oslo sentrum	22 Akersgata 18	13,4/5,0	4,6	1948	1968-75	10	5,90	5,06	0,84	60
NSB/OTB Oslo sentrum	23 Øvre Slottsgt. 19	12,8/1,8	1,8	1948	1968-75	10	6,50	3,99	2,51	30
NSB/OTB Oslo sentrum	24 Øvre Slottsgate 12	13,1/5,7	5,7	1948	1968-75	10	8,00	7,67	0,33	10
NSB/OTB Oslo sentrum	25 Nedre Slottsgate 108	9,4/6	6	1964	1968-75	10	6,70	6,07	0,63	25
NSB/OTB Oslo sentrum	26 Kongensgt. 33	6,6/0,1	0,1	1964	1968-75	10	5,10	4,46	0,64	35
NSB/OTB Oslo sentrum	27 Nedre Slottsgt. 12	10,6/5,2	5,2	1967	1968-75	10	6,60	5,18	1,42	5
NSB/OTB Oslo sentrum	32 Domkirken	10,2/3,2	3,2	1952	1968-75	10	6,3	4,74	1,56	10
NSB/OTB Oslo sentrum	33A Domkirken	10,2/2,2	2,2	1952	1968-75	10	8,1	7,12	0,98	5
NSB/OTB Oslo sentrum	38 Munchsgt.	14,9/8,1	5,1	1968	1968-75	10	12,1	12,06	0,04	80
NSB/OTB Oslo sentrum	39 Regjeringsb.	17,1/11,5	11,5	1968	1968-75	10	13,4	12,95	0,45	35
NSB/OTB Oslo sentrum	44 Rosenkrantzgt. 9B	11,4/9,1	9,1	1969	1968-75	10	7,3	7,30	0,00	95
NSB/OTB Oslo sentrum	45 Smedkroken	13,5/8,3	5,7	1969	1968-75	10	8,7	8,45	0,25	75
NSB/OTB Oslo sentrum	64A Tostrupgården	11,4/3,7	-1,1	1971	1968-75	10	7,28	0,84	6,44	15
NSB/OTB Oslo sentrum	64B Tostrupgården	11,4/3,7	-10,7	1971	1968-75	10	7,16	0,87	6,29	15
NSB/OTB Oslo sentrum	65A Lille grensen	12/7,7	2	1971	1968-75	10	7,51	3,16	4,35	5
NSB/OTB Oslo sentrum	65B Lille grensen	12/7,7	-13,0	1971	1968-75	10	7,05	3,45	3,60	5
NSB/OTB Oslo sentrum	66A Akersgata 28	15,8/11,4	7,7	1971	1968-75	10	10,74	10,08	0,66	5
NSB/OTB Oslo sentrum	67C Akersgata 30	15,8/14,1	-7,4	1975	1968-75	10	9,32	5,73	3,59	5
NSB/OTB Oslo sentrum	68A K. Johansgt. 23	12,5/7,1	2,3	1971	1968-75	10	6,34	2,02	4,32	0
NSB/OTB Oslo sentrum	69A Øvre Slottsgt. 20	13,7/10,5	7,2	1971	1968-75	10	9,25	9,25	0,00	0
NSB/OTB Oslo sentrum	70A Nedre Slottgt. 21	12,6/10,5	6,1	1971	1968-75	10	6,49	6,13	0,36	10
NSB/OTB Oslo sentrum	71A Nedre Slottsgt. 25	12,9/9,3	5,3	1971	1968-75	10	9,28	6,77	2,51	5
NSB/OTB Oslo sentrum	72A Grensen 3	13,2/10,2	6,6	1971	1968-75	10	9,24	8,36	0,88	10
NSB/OTB Oslo sentrum	73A Kreditkassen	11,8/9,5	5,4	1971	1968-75	10	7,98	5,73	2,25	5
NSB/OTB Oslo sentrum	74A Glassmagasinet	10,5/5,2	1,8	1971	1968-75	10	6,27	2,38	3,89	35
NSB/OTB Oslo sentrum	74B Glassmagasinet	10,5/5,8	-10,5	1971	1968-75	10	6,08	2,38	3,70	35
Baneheia	Kjerneborhull			1998	2000-01	2			2	10
Baneheia	Kjerneborhull			1998	2000-01	2			4	0
Baneheia	Brønn			1997	2000-01	2			1	155
Romeriksporten	B4 6500-7000			1997	1997	30			1	600
Romeriksporten	B5 6500-7000			1997	1997	30			1	500
Romeriksporten	B6 6500-7000			1997	1997	30			7	150
Romeriksporten	B7 6500-7000			1997	1997	30			1	100

Anlegg	Lokalitet	Kote Terr/fjell	Målekote	Installert år	Tunnel drevet år	Lekkasje l/min/100m	GV før tunnel kote	GV etter tunnel kote	GV senkning m	Avstand til tunnel m
Romeriksporten	B8 6500-7000			1997	1997	30			30	100
Romeriksporten	B9 6500-7000			1997	1997	30			40	0
Romeriksporten	B10 6500-7000			1997	1997	30			15	0
Romeriksporten	B11 7500-8000			1997	1997	225			1	125
Romeriksporten	B12 7500-8000			1997	1997	225			2	30
Romeriksporten	B13 8000-8500			1997	1997	100			6	75
Romeriksporten	B14 8000-8500			1997	1997	100			25	75
Romeriksporten	B15 8000-8500			1997	1997	100			27	75
Romeriksporten	B16 8500-9000			1997	1997	55			30	150
Romeriksporten	B17 8500-9000			1997	1997	55			20	50
Romeriksporten	B18 8500-9000			1997	1997	55			35	0
Romeriksporten	B21 8500-9000			1997	1997	55			1	300
Romeriksporten	B22 9000-9500			1997	1997	12			1	150
Romeriksporten	B23 9000-9500			1997	1997	12			1	175
Romeriksporten	B24 9500-10000			1997	1997	10			5	50
Romeriksporten	B25 9500-10000			1997	1997	10			5	25

Tabell 2 Grunnvannsbrønner i Oslo sentrum med to målepunkter

Måler Nr.	Lokalitet	Kote terreng/fjell	Målerdybde i fjell (m)	Maksimal grunnvannssenkning (m)
33A	Domkirken	10,2/2,2	0	0,98
33B			7,3	5,07
64A	Tostrup- gården	11,4/3,7	4,8	6,44
64B			14,4	6,29
65A	Lille Grensen	12/7,7	5,7	4,35
65B			20,7	4,60
66A	Akersgt. 28	15,8/11,4	3,7	0,66
66B			19,6	14,7
68A	K. Johansgt. 23	12,5/7,1	4,8	4,32
68B			17,2	10,34
69A	Ø. Slottsgt. 20	13,7/10,5	3,3	0
69B			20,8	3,32
70A	N. Slottsgt. 21	12,6/10,5	4,4	0,36
70B			18,7	5,06
71A	N. Slottsgt. 21	12,9/9,3	4,0	2,52
71B			19,4	5,11
72A	Grensen 3	13,2/10,2	3,6	0,88
72B			20,0	3,68
73A	Kreditkassen	11,8/9,5	4,1	2,25
73B			18,7	8,84
74A	Glass- magasinet	10,5/5,2	3,4	3,89
74B			16,3	3,70

Fra Oslo sentrum er det tatt med data fra 53 målere i forbindelse med Tunnelbanen og NSB-tunnelen. Målerne er av forskjellige typer. Det er 12 åpne borehull ned i fjell hvor vannstanden kan peiles. 42 av målerne er piezometre, og av disse står 4 i løsmasser, 15 står ved fjelloverflaten og 22 nede i fjell. De fleste av målerne i fjell er bare noen få meter under fjelloverflaten, men det er også tatt med resultater fra noen få målere som er mer enn 10 m nede i fjellet. Disse dyptliggende målerne viser en moderat trykkreduksjon på grunn av tunnelen, og det er derfor antatt at de gir et uttrykk for grunnvannssenkning. Som nevnt er en del målere dypt nede i fjellgrunnen ikke tatt med da de viser en mye større trykkreduksjon enn målere høyere opp i samme hull. Målerne i Oslo ble satt ned før tunnelen ble drevet forbi, og skulle derfor gi et tilnærmet korrekt bilde av tunnelens påvirkning i forhold til den naturlige grunnvannsstanden.

For Romeriksporten er det tatt med resultater fra 20 fjellbrønner (Jordforsk 1998 og 1999). Dette er åpne målebrønner hvor vannstanden kan peiles. På et senere tidspunkt ble noen av disse brønnene delt i to, slik at det er målepunkter i to nivåer. I de sistnevnte målerne viser resultatene av og til betydelige forskjeller mellom øvre og nedre måler i samme hull. Fjellbrønnene ved Romeriksporten ble satt ned etter at tunnelen var drevet forbi, slik at de nødvendigvis ikke viser den totale grunnvannsenkningen. Det er også usikkerhet omkring de tidlige lekkasjemålingene for Romeriksporten, dvs. i slutten av 1997 og begynnelsen av 1998, hvorfra grunnvannsenkningen i fjellbrønnene er medtatt i denne rapporten.

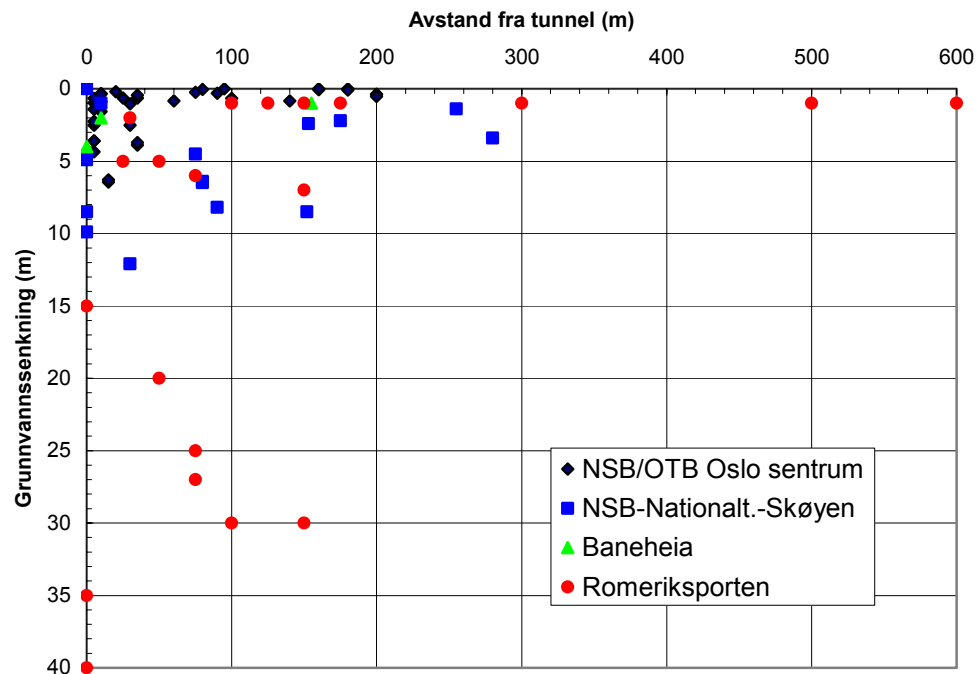
Fra Baneheia foreligger det målerresultater fra to kjerneborehull som ble boret i forbindelse med forundersøkelsene for tunnelen. I tillegg er det en grunnvannsbrønn som ligger hele 600 m unna tunnelen.

Dataene inneholder opplysninger om beliggenheten av brønnene og grunnvannssenkning. Det foreligger også en del data om lekkasjene inn i tunnelene. Lekkasjene er oppgitt i liter per minutt per 100 m og referer seg til måledammer i tunnelene. De tallene som oppgis, vil derfor være gjennomsnittsverdier for tunnelstrekninger med betydelig lengde. Man må regne med at lekkasjene noen steder kan være konsentrert langs spesielle soner, som da vil ha et langt høyere lekkasjetall.

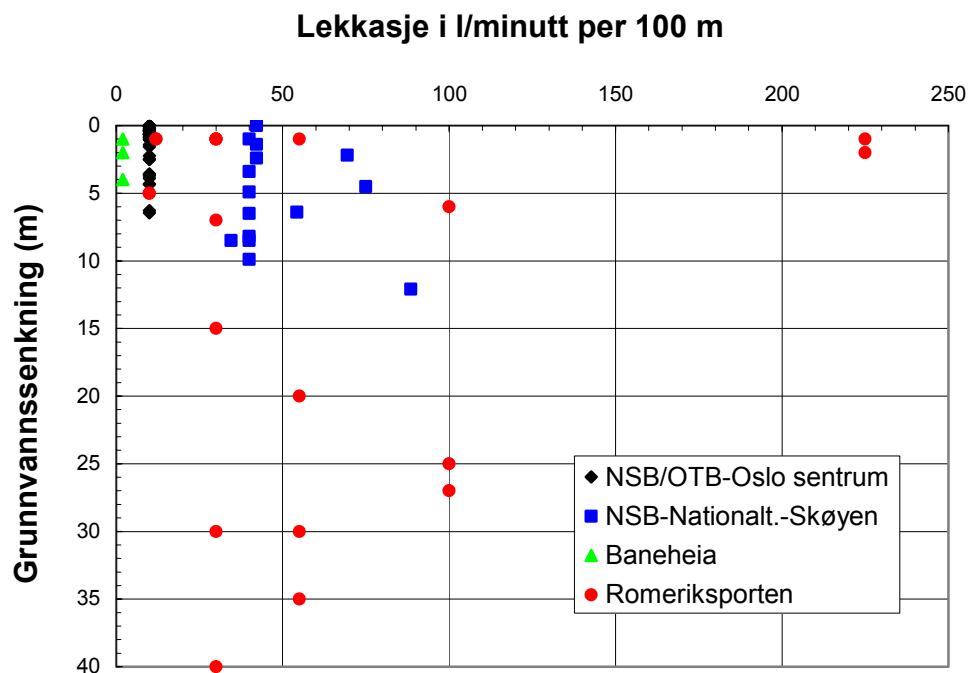
5 VURDERING AV RESULTATENE

Figur 1 viser sammenheng mellom grunnvannssenkning og avstand fra tunnelen. Generelt må en vente at grunnvannsenkningen vil avta med økende avstand fra tunnelen, noe vi kan se tendenser til på Figur 1. Grunnvannssenkning på mer enn 10 m opptrer først når avstanden blir mindre enn 150 – 200 m. For kortere avstander enn ca. 150 er det ingen markerte korrelasjoner mellom avstand og grunnvannssenkning, men her vil selvsagt også størrelsen på lekkasjene inn i tunnelen bety mye. Er tunnelen tett, vil det

heller ikke bli grunnvannssenkning. For avstander større enn 300 m er maksimal grunnvannssenkning 1 m.



Figur 1 Sammenheng mellom grunnvannssenkning og avstand fra tunnel

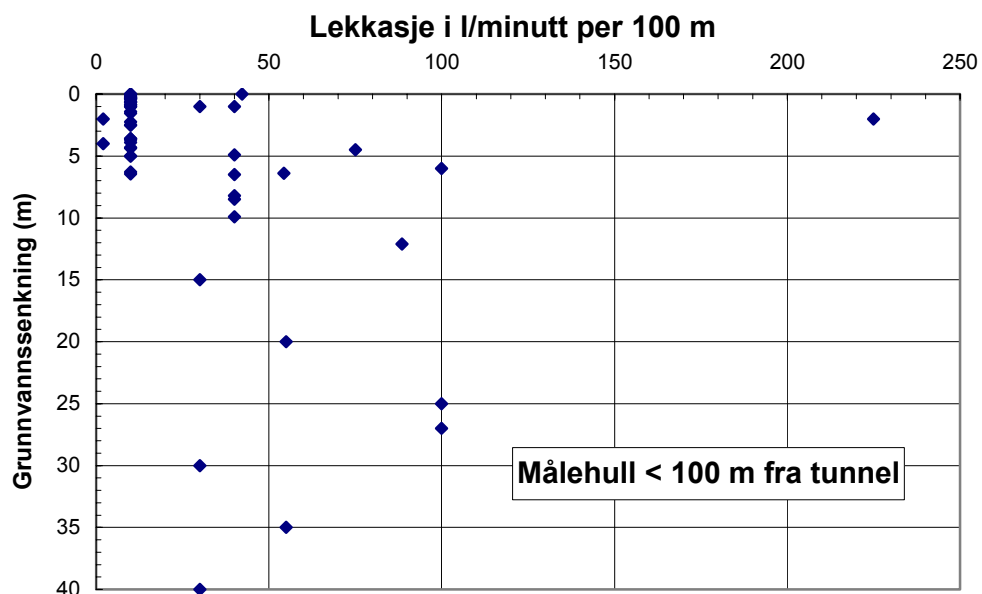


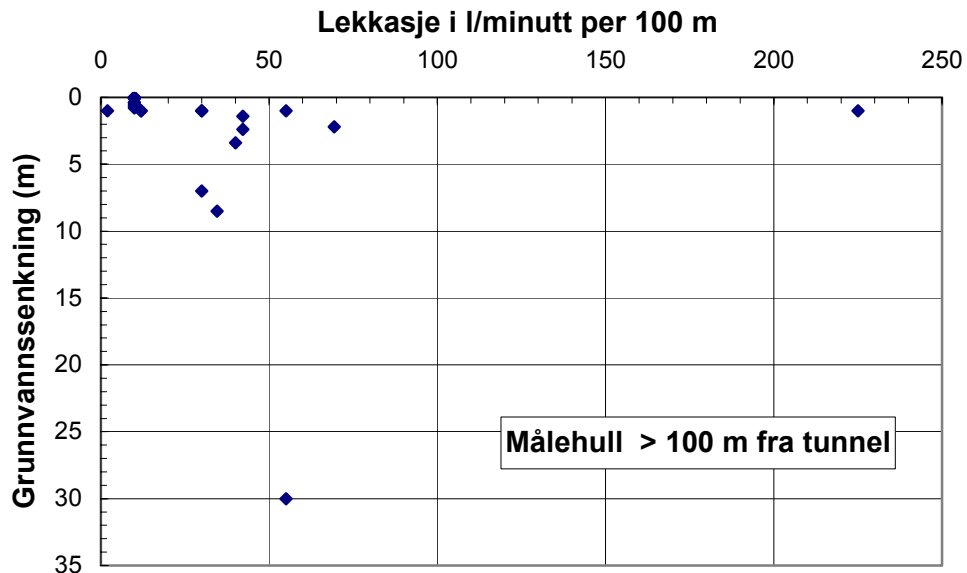
Figur 2 Sammenheng mellom grunnvannssenkning og lekkasjer

Figur 2 viser sammenhengen mellom grunnvannssenkning og lekkasjer inn i tunnelene. Her må en generelt vente at store lekkasjer vil forårsake stor

grunnvannssenkning. Figuren gir ikke noen klar tendens, men avstanden fra tunnelen vil selvsagt også spille inn her. Man ser at store grunnvannssenkninger kan opptre når lekkasjene blir større enn 25 l/minutt per 100 m. Her må man imidlertid ta i betraktning at lekkasjemålingene viser gjennomsnittslekkasjer over en viss tunnellengde. Lekkasjene kan være konsentrert lang spesielle soner, dvs. mer åpne sprekker, og grunnvannsmålere som står i influensområdet til disse sprekke kan da reagere kraftig. Grunnvannsmålere som ikke har forbindelse med lekkasjesprekkene behøver ikke å reagere i hele tatt, selv om de ligger nær tunnelen.

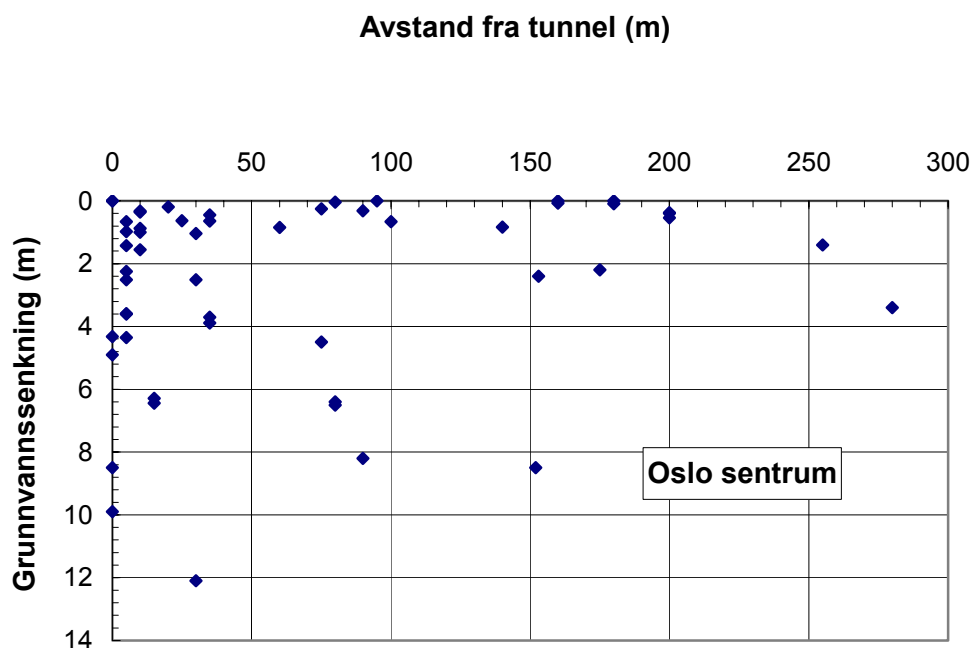
På Figur 3 og 4 er brønnene med avstand mindre enn 100 m fra tunnel og de med større avstand skilt fra hverandre, og lekkasjene er satt opp mot grunnvannssenkningen. For brønner med avstand mindre enn 100 m fra tunnelen ser vi at større grunnvannssenkning kan opptre når lekkasjen overstiger 25 l/minutt per 100 m. For brønner med avstand over 100 m fra tunnelen ser vi en viss tendens til økende grunnvannssenkning med økende lekkasjer, men datagrunnlaget er her for tynt.



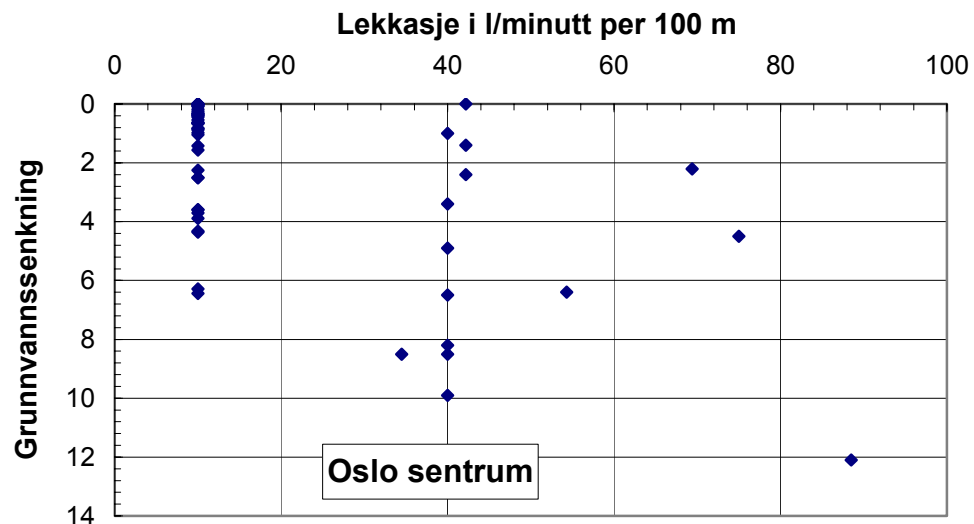


Figur 4 Sammenheng mellom lekkasjer grunnvannssenkning ved avstand mer enn 100 m fra tunnelen

På Figur 5 og 6 er brønnene fra Oslo sentrum vist for seg. Vi ser at det også her er det bare brønner som er nærmere tunnelen enn 150 – 200 m som gir store grunnvannssenkninger. Når det gjelder lekkasjemålingene, så er ikke de detaljerte nok til at en kan vente noen tydelig korrelasjon.

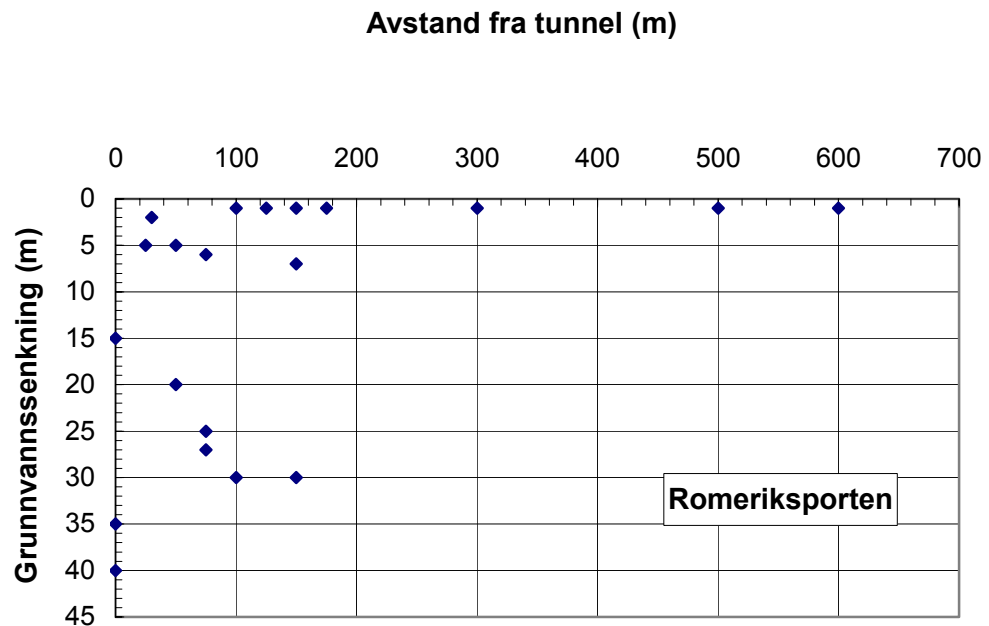


Figur 5 Sammenheng mellom grunnvannssenkning og avstand fra tunnelen i Oslo sentrum

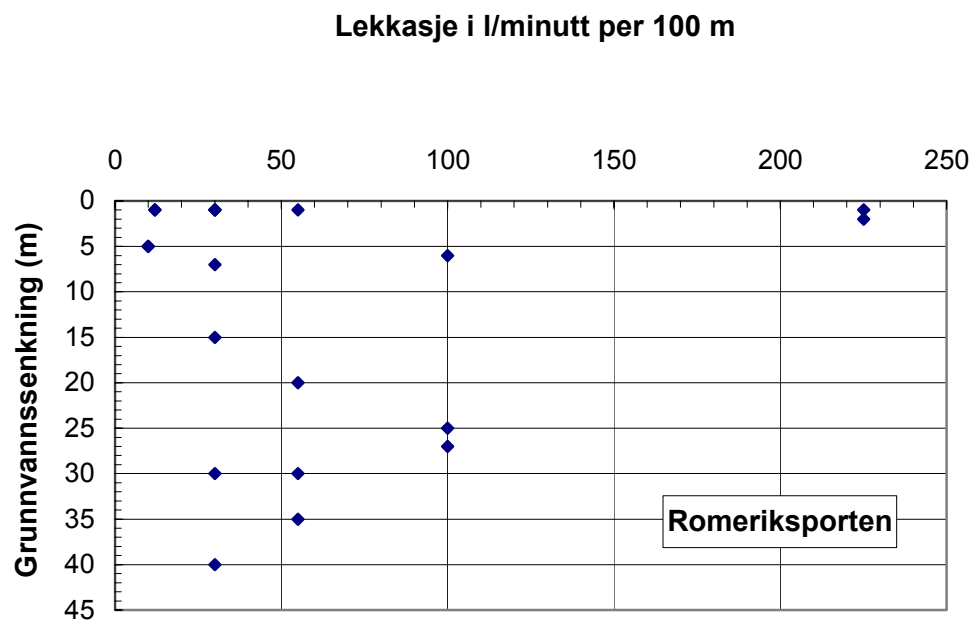


Figur 6 Sammenheng mellom grunnvannssenkning og lekkasjer i Oslo sentrum

Figur 7 og 8 viser resultatene fra Romeriksporten. Også her synes det bare å være i områder som ligger nærmere enn 150 – 200 m fra tunnelen at det blir store grunnvannssenkninger. Når det gjelder lekkasjer og grunnvannssenkning synes det ikke å være noen god korrelasjon. Spesielt er det her to tunnelstrekninger med lekkasjer på 225 l/minutt per 100 m som tilsynelatende ikke ga noen vesentlig grunnvannssenkning. Disse områdene ligger imidlertid nær inn til Lutvann, slik at vannstanden i Lutvann trolig har påvirket vannstanden i grunnvannsbrønnene. Siden brønnene ved Romeriksporten kom på plass etter at tunnelen var drevet forbi, viser de nødvendigvis ikke total grunnvannssenkning i forbindelse med tunneldriften.



Figur 7 Sammenheng mellom grunnvannssenkning og avstand fra tunnel for Romeriksporten



Figur 8 Sammenheng mellom grunnvannssenkning og lekkasjer for Romeriksporten

For Baneheia er det resultater fra kun tre målere. Det har her vært små lekkasjer og små grunnvannssenkninger.

6 KONKLUSJON

Resultater fra Oslo sentrum og Romeriksporten viser at større grunnvannsenkning, dvs. mer enn 5 – 10 m bare forekommer i områder som er mindre enn 150 – 200 m fra tunnelen. For Baneheia er det resultater fra kun tre målere. Det har her vært små lekkasjer og små grunnvannssenkninger.

Det er ingen klare korrelasjoner mellom grunnvannssenkning og lekkasjer inn i tunnelen. Det er likevel en tendens til at større grunnvannssenkninger kun oppstår ved lekkasjer på minst 25 l/minutt per 100 m.

At det ikke er så klare korrelasjoner, kan ha en helt naturlig forklaring. Det vil ofte være sprekker i forbindelse med forkastninger eller eruptivganger som er vannførende, og det vil da være grunnvannsmålere som står i influensområdet til disse sonene som reagerer. I områder mellom de vannførende sonene behøver ikke grunnvannet å bli særlig berørt selv i områder nær tunnelen. Dette betyr at for å få full oversikt over grunnvannssenkning i forbindelse med tunneler, trengs det et stort antall grunnvannsmålere.

7 REFERANSER

Buen, B., Roald, S., Tveiten, V. 1999
Infiltrasjon av grunnvann i Romeriksporten – en vellykket nødløsning?
Fjellsprengningsteknikk Bergmekanikk/Geoteknikk 1999
Norsk jord- og fjellteknisk forbund

Carlsson T. 1987
Fjelltunneler – sammenheng mellom lekkasjer og influensområde
Cand. scient. Oppgave Institutt for Geologi Universitetet i Oslo
Februar 1987

Gardermobanen 1999
Vannmålinger i Romeriksporten
Juni 1999

Hellerslien, R. 2000
Injeksjonsarbeidene i Baneheia
Hovedoppgave 2000 NTNU

Holmsen, G. 1953
Regional settlements caused by a subway tunnel in Oslo
3rd ICSMFE, Proceedings Vol. 1, pp. 381-383

Jordforsk 1998
Vannbalansen i Østmarka Grunnvann i løsmasser og fjell

Rapport 48/98 juni 1998

Jordforsk 1999

Romeriksporten. Overvåking av grunnvann i fjell og løsmasser

Rapport 95/99 desember 1999

Karlsrud, K. 2002

Control of water leakage when tunneling under urban areas in the Oslo region

Norwegian tunnel society, publication no. 12

Kveldsvik, V., og Karlsrud, K. 1995

Support and water control in Oslo

World Tunneling Vol. 8 May 1995, pp. 167-171

NGI 1970

Jernbanens forbindelsestunnel øst-vest gjennom Oslo. Vannstandobservasjoner i fjell på strekningen Abelhaugen - Olav Kyrres plass.

NGI-rapport 62/62 8. juni 1970

NGI 1986

Oslo sporveier A/S Stortinget stasjon og vendesløyfe

Utredning om innvirkning på grunnvanns- og setningsforhold i Oslo sentrum

NGI-rapport 68003-1 18. desember 1986

NGI 1987

Oslo sporveier A/S Stortinget stasjon og vendesløyfe

Poretrykk- og setningsobservasjoner. Datarapport

NGI-rapport 68003-2 26. juni 1987

Tveide, E. 2000

Baneheia –driving, sikring, tetting

Fjellsprengningsteknikk Bergmekanikk/Geoteknikk 2000

Norsk jord- og fjellteknisk forbund

Kontroll- og referanseside/ Review and reference page



Oppdragsgiver/Client Prosjektet Miljø- og samfunnstjenlige tunneler	Dokument nr/Document No. 20031322-1
Kontraksreferanse/ Contract reference	Dato/Date 19 mars 2004
Dokumenttittel/Document title Miljø- og samfunnstjenlige tunneler. Sammenheng mellom grunnvannssenkning og tunnellekkasjer. Prosjektleder/Project Manager Kjell Karlsrud Utarbeidet av/Prepared by Fredrik Løset	Distribusjon/Distribution <input checked="" type="checkbox"/> Fri/Unlimited <input type="checkbox"/> Begrenset/Limited <input type="checkbox"/> Ingen/None
Emneord/Keywords Grunnvannssenkning, tunnellekkasjer	
Land, fylke/Country, County Oslo, Vest-Agder Kommune/Municipality Oslo, Kristiansand Sted/Location Kartblad/Map UTM-koordinater/UTM-coordinates	Havområde/Offshore area Feltnavn/Field name Sted/Location Felt, blokknr./Field, Block No.

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 *						
	Språk/Style						
	Teknisk/Technical - Skjønn/Intelligence						
	- Total/Extensive						
	- Tverrfaglig/ Interdisciplinary						
	Utforming/Layout						
KK	Slutt/Final						
	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

Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release	Dato/Date 19 mars 2004	Sign.
--	----------------------------------	--------------