

GK 10066

**Jernbaneverket
Region Nord**

 Jernbaneverket	
Dokumentnummer: UB.101741-000	Rev: 000



**RISIKOVURDERING AV KULVERTER PÅ
STREKNINGEN FINNSÅS – EITERÅGA
(km 374 – 388)**

Oppdrag nr 4314

september 1999

Saksnr 99/00549

UTFØRT AV: Kåre Sand Lars Jenssen <i>Kåre Sand Lars Jenssen</i>	KONTR.	KONF.
--	--------	-------

UB.101741-000

INNHOLDSFORTEGNELSE

1	GENERELT OM OPPDRAGET	1
2	FLOM- OG KAPASITETSBEREGNING PÅ STREKNINGEN FINNSÅS - EITERÅGA	1
2.1	HYDROLOGISKE FORHOLD	1
2.2	FLOMBEREGNING	2
	BEREGNING AV NEDBØR	2
	BEREGNING AV AVRENNING FRA FELTENE	3
2.3	BEREGNING AV KULVERTENES KAPASITET	5
3	BEFARINGSRAPPORT	7
3.1	GENERELLE PROBLEM VED KULVERTENE	7
	TILSTOPPING AV INNLØPET	7
	SVILLELEMMER	7
	EROSJONSSIKRING VED UTLØPENE	7
	DÅRLIG KVALITET PÅ UTBEDRINGER	7
	STABILITET AV FYLLINGER	7
3.2	KULVERTER DER DET ER SPESIELLE PROBLEMER	8
	KULVERT 374.400 KM	9
	KULVERT 374.725 KM	9
	KULVERT 375.970 KM	10
	KULVERT 376.650 KM	10
	KULVERT 377.795 KM	10
	KULVERT 379.320 KM	11
	KULVERT 380.020 KM	11
	KULVERT 380.190 KM	11
	KULVERT 381,160 KM	11
	KULVERT 381.840 KM (ULYKKESTEDET)	12
	KULVERT 382.805 KM	12
	KULVERT 383.650 KM	12
	KULVERT 384.290 KM	13
4	FORSLAG TIL TILTAK	14
4.1	PERIODISK VEDLIKEHOLD	14
4.2	SPESIELT VEDLIKEHOLD	14
	UNDERGRAVING AV MURER	14
	SKADER I GJENNOMLØPET	14
4.3	SIKRING MOT GRUNNVANNSEROsjON OG STABILITETSPROBLEMER SOM FØLGE AV EN HEVET GRUNNVANNSTAND.	15
4.4	KONKLUSJON	15

LISTE OVER VEDLEGG

VEDLEGG 1: Liste over kulverter som ble befart

VEDLEGG 2: Bilder

VEDLEGG 3: Siktekurver

VEDLEGG 4: Flomberegning og kulvertdimensjonering

VEDLEGG 5: Generelt om erosjon

I tillegg er det laget ett separat bilag med kopier av alle bildene som ble tatt under befaringen.

1 GENERELT OM OPPDRAGET

Bakgrunnen for oppdraget er togavsporingen på Nordlandsbanen den 17.12.98 som følge av flom og, sannsynligvis, utilstrekkelig kulvertkapasitet. Prosjektet tar sikte på å bedre person- og driftssikkerheten langs banen.

Grøner Trondheim har kompetanse både på geoteknikk, flomberegning og kapasitetsberegning for kulverter, og har fått i oppdrag å gjøre en risiko/kapasitetsvurdering av kulvertene på en prøvestrekning på Nordlandsbanen. Strekningen går fra Finnsåsen (km 374) til Eiteråga (km 388), mellom Mosjøen og Trofors.

15 kulverter ble valgt ut på grunnlag av kart og lengdeprofil. Det ble utført flomberegninger og kapasitetsberegninger for kulvertene. Strekningen ble befart i mai 1999, og 25 kulverter ble undersøkt. Det omfattet oppmåling, inspeksjon for skader og geoteknisk vurdering og prøvetaking.

Kulvertene på strekningen har generelt god kapasitet, men flere har fått skader. Fyllingene består i hovedsak av ensgraderte, finkornete masser, med bratte skråninger, som er sårbare for grunnvannserosjon.

Rapporten er organisert med hoveddel og vedlegg. Hoveddelen inneholder et kapittel med resultatene fra flom- og kapasitetsberegningene av kulvertene, ett kapittel med resultat fra befaringene, og ett kapittel med gjennomgang av problemer og forslag til tiltak. I vedleggene finnes blant annet et omfattende billedmateriale, siktekurver, en gjennomgang av metoder for flom og kapasitetsberegninger og en gjennomgang av erosjonsproblemer.

2 FLOM- OG KAPASITETSBEREGNING PÅ STREKNINGEN FINNSÅS - EITERÅGA

2.1 Hydrologiske forhold

Undersøkelsen omfatter en rekke småfelt som drenerer fra østsiden av Eiteråfjellet og ut i Vefsna. Felthøyden varierer fra over 700 moh til 20 – 40 moh ved utløpet i Vefsna. Alle feltene er bratte. Bare to av feltene har innsjøer av betydning.

Gjennomsnittlig nedbør øker sterkt fra nederst mot Vefsna og opp mot Eiteråfjellet. Ved nedbørstasjonen Grane som ligger nær Vefsna, ca 70 moh, er midlere årsnedbør 1380 mm. Øverst i feltet har vi anslått midlere årsnedbør til ca 2000 mm, og middelnedbøren i felene er anslått til ca 1750 mm.

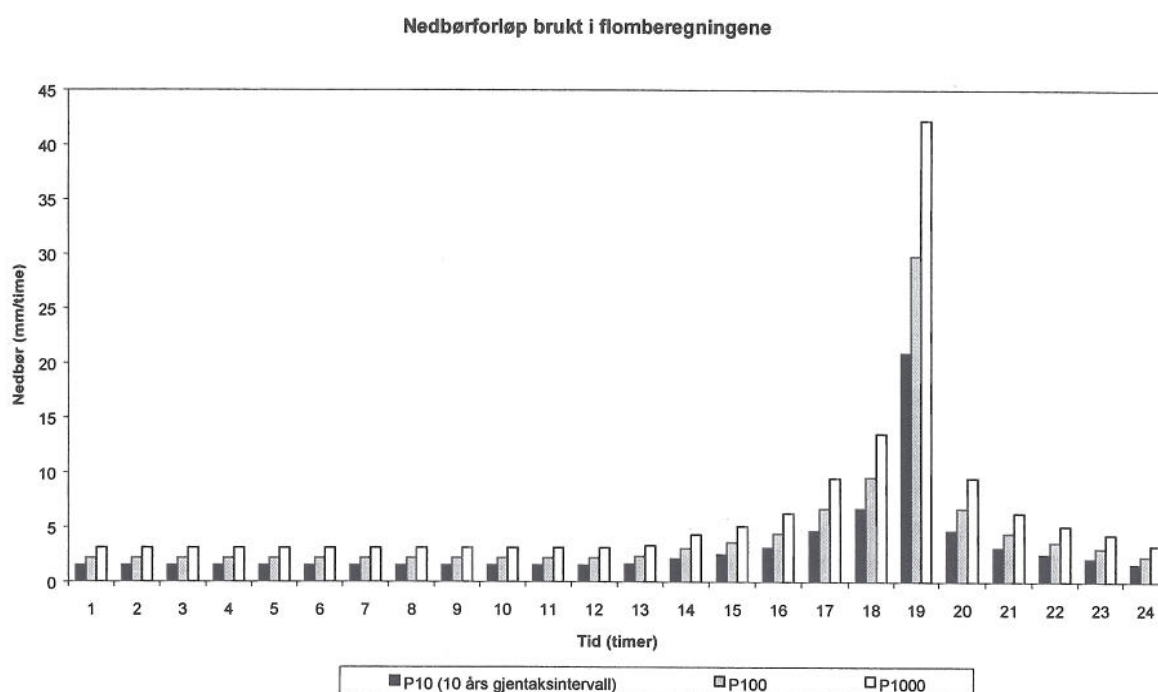
Befaringen viste at det var mye bart fjell i de delene av feltet som ligger over den marine grense. Bratte felt, mye bart fjell og lite innsjøer gjør at vi må forvente rask og intens avrenning.

2.2 Flomberegning

Vi har utført flomberegninger for 15 av kulvertene. Flomstørrelsen er beregnet for tre ulike gjentakintervall: 10-år, 100-år og 1000-år. Flomberegningene utføres i to trinn: 1) beregning av nedbør og 2) beregning av avrenning. Resultatet er vist i Tabell 3. Dette kapitlet gir et sammendrag av beregningene og resultatene. En generell gjennomgang av metoden for flomberegning og kapasitetsberegning er gitt i vedlegg 4.

Beregning av nedbør

Vi har brukt en metode som er utviklet av DNMI (Førland 1992). Nedbørforløp er beregnet for tre gjentakintervall (10-, 100- og 1000-år). Figur 1 viser forløpene.



Figur 1: Nedbørforløp brukt i flomberegningene

Som kontroll og supplement har vi brukt data fra en frekvensanalyse på de to nærmeste nedbørstasjonene som måler med kort tidsoppløsning: Øvre Saltdal (nr 8162) og Nordli-Brattvold (nr 7349) (Myrabø 1991). Nordli-Brattvold ligger i Lierne i Nord-Trøndelag og har innlandsklima med en årsnedbør på 650 mm. Øvre Saltdal har en årsnedbør på ca 1200 mm og kystklima. Resultatene fra frekvensanalysen ble skalert for å ta hensyn til forskjellen i årsnedbør. Timesnedbøren som er beregnet med DNMI's metode (Førland 1992) ligger mellom verdiene for Øvre Saltdal og Nordli.

Tabell 1: Timesnedbør beregnet med to ulike metoder

	Nedbør i løpet av en time (mm)	
	10-års gjentakintervall	100-års gjentakintervall
Beregning med DNMI's metode	21	30
(brukt videre)		
Frekvensanalyse Øvre Saltdal	16 (11)*	22 (15)
Frekvensanalyse Nordli	35 (12)	46 (17)

*Tallene i parentes er ikke skalert for å ta hensyn til forskjellen i årsnedbør.

Nedbøren som er beregnet med DNMI's metode (Førland 1992), er brukt videre i flomberegningene.

Beregning av avrenning fra feltene

Avrenningen fra de fleste feltene er beregnet med forholdstall-metoden, som er beskrevet i vedlegg 4. I de tre største feltene, som også inneholdt innsjøer, ble modellen PQFLOM brukt (se vedlegg 4). Tabell 2 viser feltparametre og grunnlagsdata. Tabell 3 viser resultatene av flomberegningene. (Q_{10} betyr vannføring for 10-års flommen etc.) Befaringen viste mye bart fjell i feltet, og det er sannsynlig at avrenningskoeffisientene bør justeres opp med 15-25%.

Tabell 2: Data brukt i flomberegningene

Feltparametre og grunnlagsdata					
Kulvert	Feltareal	Feltaksens lengde	Høydeforskjell	Konsentrasjonstid*	C**
(km)	(km ²)	(km)	(m)	(timer)	(-)
374.345	0.95	1.9	240	0.6	0.4
374.950	1.5	2.2	260	1	0.4
375.970	0.45	0.8	140	0.7	0.4
376.410	15.7	5.9	900	2	PQFLOM
377.300	8.7	5	940	1.6	PQFLOM
377.795	0.1	0.5	60	0.6	0.3
378.831	2.5	3.4	740	1.25	0.4
379.320	1.5	2	680	0.8	0.5
380.190	3	2.6	680	1	0.5
381.160	1.9	2.8	720	1	0.4
381.840	0.65	1.7	600	0.7	0.5
382.544	1.65	2.5	680	0.96	0.6
382.805	0.35	0.9	160	0.7	0.35
384.775	0.3	0.9	50	1.3	0.25
385.620	4.6	3.2	690	1.2	PQFLOM

* Konsentrasjonstid (t_c) er den tiden det tar før hele feltet bidrar med avrenning (se vedlegg 4).

** C er en avrenningskoeffisient som angir hvor stor del av nedbøren som går til avrenning (se vedlegg 4).

Tabell 3: Resultat av flomberegningene

Beregnet flomstørrelse for ulike gjentakintervall							
Kulvert ID	Q ₁₀		Q ₁₀₀		Q ₁₀₀₀		Merknad
(km)	q* m ³ /(s·km ²)	Q (m ³ /s)	q m ³ /(s·km ²)	Q (m ³ /s)	q m ³ /(s·km ²)	Q (m ³ /s)	
374.345	2.3	2.2	3.6	3.5	5.6	5.4	Ber. m PQFLOM Ber. m PQFLOM
374.950	2.3	3.5	3.6	5.5	5.6	8.5	
375.970	2.3	1.1	3.6	1.6	5.6	2.5	
376.410	1.82	28.6	2.64	41.4	3.80	59.6	
377.300	2.28	19.8	3.18	27.7	4.66	40.5	
377.795	1.7	0.2	2.7	0.3	4.2	0.4	
378.831	2.3	5.8	3.6	9.1	5.6	14.1	
379.320	2.9	4.4	4.6	6.8	7	10.6	
380.190	2.9	8.7	4.6	13.7	7	21.1	
381.160	2.3	4.4	3.6	6.9	5.6	10.7	
381.840	2.9	1.9	4.6	3	7	4.6	Ber. m PQFLOM
382.544	3.5	5.8	5.5	9	8.5	13.9	
382.805	2	0.7	3.2	1.1	4.9	1.7	
384.775	1.7	0.5	2.7	0.8	4.3	1.3	
385.620	2.87	13.2	3.93	18.1	5.78	26.6	

*q er spesifikk avrenning, det vil si avrenning per flateenhet (km²) per sekund (s)

2.3 Beregning av kulvertenes kapasitet

For hver kulvert er oppstrøms vannstand beregnet for Q_{10} , Q_{100} og Q_{1000} . Beregningene er utført med programmet HEC-RAS. HEC-RAS er en forkortelse for Hydrologic Engineering Center – River Analysis System, og programmet er utviklet av US Army Corps of Engineers (Brunner1997).

Kulvertens lengde er målt fra kart (1:5000). Hvis fallet ikke er kjent, er det satt til 1:50. Tabell 4 viser resultatene av beregningene, og Tabell 5 viser kulvertenes originale dimensjoner. Dybden forutsetter at vannet ikke renner over fyllingen. Beregningene forutsetter at kulvertene er i god stand. Vi ser bort fra virkningen av tilstopping. Det er ikke tatt hensyn til den flomdempende virkningen av at vannet kan magasineres i en "innsjø" oppstrøms fyllingen.

Det generelle inntrykket er at kulvertene har relativt god kapasitet. En vanlig regel er at man bør ha frispeilstrømning gjennom hele kulverten under dimensjonerende flom for å unngå ulempene som følger med høy vannstand. I tabell 4 er det anslått hvilken strømning man vil ha ved innløpet ved en 100-års flom.

Et alvorlig unntak er kulvert på 382.805 km, som har blitt utbedret ved å legge inn to plastrør. Utbedringen har ført til en drastisk reduksjon av kapasiteten.

Tabell 4: Oppstrøms vannstand ved ulike flomstørrelser (fra bunn av kulvert)

Kulvert ID	Q_{10}		Q_{100}		Q_{1000}		Antatte strømningsforhold v Q_{100}
	Q m ³ /s	h (m)	Q m ³ /s	h (m)	Q m ³ /s	h (m)	
(km)							
374.345	2.2	1.4	3.5	1.9	5.4	2.8	Frispeilstrømning
374.950	3.5	Bru	5.5	Bru	8.5	Bru	-
375.970	1.1	1.2	1.6	1.5	2.5	2.8	Frispeilstrømning
376.410	28.6	2.4	41.4	3.1	59.6	4	Frispeilstrømning
377.300	19.8	2.3	27.7	2.9	40.5	3.8	Frispeilstrømning
377.795	0.2	0.4	0.3	0.5	0.4	0.6	Frispeilstrømning
378.831	5.8	1.6	9.1	2.3	14.1	4.5	Dykket innløp
379.320	4.4	1.6	6.8	2.8	10.6	7.5	Dykket innløp
380.190	8.7	1.6	13.7	2.2	21.1	2.9	Dykket innløp
381.160	4.4	1.4	6.9	1.8	10.7	2.5	Frispeilstrømning
381.862	1.9	1.5	3	2.2	4.6	4.3	Dykket innløp
382.544	5.8	1.2	9	1.6	13.9	2.2	Frispeilstrømning
382.805	0.7	1.4	1.1	5.9	1.7	16.8	Dykket innløp
		(0.9) ¹		(1.2)		(2.3)	
384.775	0.5	0.7	0.8	1	1.3	1.4	Frispeilstrømning
385.620	13.2	2.1	18.1	2.6	26.6	4	Frispeilstrømning

¹Tallene i parentes viser vannstanden før kulverten ble utbedret med to plastrør

Tabell 5: Kulvertdimensjoner (fra seksjonsbøker og kart)

Km	Bredde (m)	Høyde (m)	Lengde (m)
374.345	1.0	1.5	50
374.950	Bru		
375.970	0.6	1.2	40
376.410	5.2	3.7	50
377.300	4.0	3.0	50
377.795	0.6	0.9	25
378.831	2	1.5	80
379.320	1.5	1.5	80
380.190	3.0	3.0	30
381.164	2.0	2.0	45
381.840	0.8	1.2	20
382.544	3.0	3.0	ca 5
382.805	0.6*	0.9	25
384.775	0.6	0.9	antatt 10
385.620	3.0	2.0	60

*Utbedret med plastrør

3 BEFARINGSRAPPORT

19. og 20. mai 1999 befarte Kåre Sand og Lars Jenssen 25 kulverter på strekningen Finnsås – Eiteråga. Are Sjømo fra Jernbaneverket i Mosjøen var med som kjentmann. I dette kapittelet gjennomgås de viktigste observasjonene. Først gjennomgås generelle forhold som gjentok seg ved mange kulverter, deretter kulverter der vi fant forhold som krever spesiell oppmerksomhet.

3.1 Generelle problem ved kulvertene

Tilstopping av innløpet

Innløpet til svært mange av kulvertene var delvis tilstoppet med grus, stein, kvist og rask. Tilstopping kan redusere kapasiteten dramatisk. Flere steder lå det grus og stein langt innover kulverten.

Kulvertene må kontrolleres og ryddes regelmessig. Om mulig graves det en grop oppstrøms for å fange opp stein og grus. Gropen tømmes med jevne mellomrom. Hvis det er mye kvist i elveløpet oppstrøms (f eks etter tynningshogst), bør det ryddes unna.

Svillelemmer

Mange steder lå det store lemmer av sviller eller tømmer foran inntakene. Lemmene bar preg av manglende vedlikehold og gjengroing. Ved store flommer kan lemmene hindre tilstrømningen til kulverten og øke faren for tilstopping. Om lemmene ikke blir vedlikehold kan de råtne og sige sammen foran inntaket.

Svillelemmene bør vedlikeholdes regelmessig. Vegetasjonen fjernes, råtne deler byttes. Lemmene bør åpnes på våren, så snart faren for kjøving er over.

Erosjonssikring ved utløpene

Erosjonssikringen ved utløpene var mangelfull flere steder. Det er viktig at kulvertens endemur og eventuelle vingemurer sikres godt i foten, ellers kan selv en relativt beskjeden erosjonsgrop true murens stabilitet. Utløpet av kulverter med stor høydeforskjell mellom innløp og utløp, og utløpet av kulverter med stort tverrsnitt, er særlig utsatt.

Dårlig kvalitet på utbedringer

Enkelte steder hadde vært skader som var blitt utbedret. Arbeidet var av dårlig kvalitet.

- Noen steder var kapasiteten til kulverten sterkt redusert fordi det var lagt inn rør med utilstrekkelige dimensjoner.
- Store stein var fylt direkte mot rørene, helt i strid med vanlige regler for tilbakefylling.
- Erosjonssikringen var dårlig utført

Stabilitet av fyllinger

Stabiliteten av en fylling avhenger av fyllmassenes styrke (friksjonsvinkel), skråningens helning og grunnvannstandens nivå over fot fylling. Direktemetoden for $\alpha\phi$ - analyse (etter Janbu) er egnet til å illustrere forholdet.

En fylling med overflatehelning beskrevet ved $\text{tg } \beta$ og jordartens styrke ved $\text{tg } \phi$ vil uten ytre vannstand, terenglast eller oppsprekking ha følgende stabilitetsmessig sikkerhet.

$$\gamma_m = (\gamma * H - \gamma_w * H_w) / (\gamma * H) * (\text{tg } \phi / \text{tg } \beta)$$

hvor γ og γ_w beskriver romvekten for jord og vann
hvor H og H_w beskriver fyllingshøyde og grunnvannets høyde i fyllingen
og hvor γ_m beskriver sikkerheten (materialfaktoren).

Med grunnvann i nedstrøms terreng blir sikkerheten avhengig av forholdet mellom skråningshelning og styrke. Med masse utlagt i rasvinkel – d.v.s. på høy tipp – blir sikkerheten $=1,0$. Derav følger at den minste grunnvannsheving i fyllingen vil føre sikkerhetsfaktoren under en, eller i det minste svekke stabiliteten dersom skråningen opprinnelig hadde høyere sikkerhetsfaktor enn 1 ($\text{tg } \varphi > \text{tg } \beta$).

Sikkerhet $\gamma_m=1,0$ tilsvarer labil likevekt.

Flere fyllinger lå med nedstrøms skråning i rasvinkel ($\text{tg } \varphi = \text{tg } \beta$), og flere skråninger bar spor etter glidninger. For hver glidning blir skråningshelningen brattere, sikkerheten avtar ytterligere, og risikoen for at glidningen når sporet øker.

Tydelige tegn på dårlig overflatestabilitet er:

- trær med krum stamme nederst
- oppsprekking med vertikale sprang langsetter skråningsoverflaten
- valker langs skråningsfoten
- små raviner i skråningen og "delta" med finstoff på terrenget nedenfor.

3.2 Kulverter der det er spesielle problemer

I det følgende beskrives kulverter der det ble oppdaget særlige problemer, og det foreslås bøtende tiltak. Kulvertene er listet fra syd mot nord.

I tillegg til kulvertene som er nevnt her ble det konstatert problemer av generell karakter ved mange andre kulverter.

Kulvert 374.400 km

Problem/fare	Tiltak
Utløpet og endemur har rast sammen.	Kulvert og endemur bygges opp. Gjennomløpet utbedres. Området nedstrøms utløpet plastres.
Skråningshelning tg $\beta = 0,75 - 0,8$. Massene består av sandig silt på siltig leire (kornfordelingskurver i vedlegg 3). Sikkerheten er tilnærmet 1,0 og det tåles ikke grunnvanns-heving. Vegetasjonen på nedstrøms skråning viser at overflaten siger (jmf. bilde i vedlegg 2)	Drenering av nedstrøms skråning.

Kulvert 374.725 km

Problem/fare	Tiltak
Dårlige tilstrømningsforhold. Sterkt redusert kapasitet fordi opprinnelig gjennomløp er erstattet med stålrør.	Rydd foran inntaket. Kapp utstikkende rørende i flukt med veggen
Det har sannsynligvis skjedd ett ras/utglidning ved utløpet. Det er utbedret ved å legge inn 2 stålrør ($d = 300$). Rørene er plassert direkte mellom store steiner uten omfylling med fine masser. Det kan lett føre til skader på røret og utstrømning av vann inne i fyllingen.	Oppgraving, og korrekt tilbakefylling. Erstatt med ett rør $d = 600$ mm.
Det er et stygt sår etter grunnvannserosjon på nedstrøms skråning. Massene består av stein og grus. (jmf. bilde i vedlegg 2)	Påfylling av støttefylling med grove steinmasser.

Kulvert 375.970 km

Problem/fare	Tiltak
Det har tidligere gått ett ras som har skadet kulvertutløpet. Utløpet er gjenoppbygget med plastrør og betongrør. Stor stein er fylt direkte mot rørene. Dårlig erosjonssikring ved utløpet, begynnende erosjonsskader.	Dette er en stor kulvert med mange meter høydeforskjell mellom innløp og utløp, det gir stor vannhastighet ved utløpet, og stor erosjonsbelastning. Omhyggelig plastret basseng ved utløpet. Sammenføyningen mellom de tre delene i utløpet (opprinnelig kulvert, betongrør, plastrør) bør kontrolleres med jevne mellomrom.
Det er et stygt sår etter grunnvannserosjon i nedstrøms skråning. Massene består av stein. (jmf. bilder i vedlegg 2)	Påfylling av støttefylling med grove steinmasser.

Kulvert 376.650 km

Problem/fare	Tiltak
Tørrmuren på begge sider i utløpet har rast ut. Vingemur nedstrøms utløpet raser ut.	Utløpet bygges opp på nytt. Foten av endemur (utløp) og vingemur erosjonssikres.

Kulvert 377.795 km

Problem/fare	Tiltak
Vi hører vann renne inn oppstrøms, men ser ikke vannstrømmen. Nedstrøms er kulvertutløpet tørt. Her er altså vannet på avveie.	Oppgraving på oppstrøms side for å få kontroll med vannstrømmen
Nedstrøms skråning har $\tan \beta = 0,8 - 0,85$ og er 15 meter høy. Den ligger ut mot Vefsna, og ser ut til å være plastret et stykke opp. Massene består over plastringslaget av ensgradert siltig finsand med $\tan \phi$ antatt $< 0,8$ (kornfordelingskurve i vedlegg 3). Stabiliteten er anstrengt. Krumme trær på nedstrøms skråning bekrefter dette. Det kan også være fare for elveerosjon.	Erosjonsbeskyttelse av kulvertutløpet og erosjonssikring av sporfyllingen bør vurderes.

Kulvert 379.320 km

Problem/fare	Tiltak
Opp til 7 m vannstand ved Q_{1000} .	Eventuell kontroll under flom.

Kulvert 380.020 km

Problem/fare	Tiltak
Nedstrøms skråning har $tg \beta = 0,7$. Massene består av siltig finsand (kornfordelingskurve i vedlegg 3). Det er spor etter sig i skråningen. Ved flom i elva står vannstanden over kulvertutløpet og grunnvannstanden stiger i fyllingen, også som følge av oppstuvning på oppstrøms side. Ved rask vannstandssenking kan en få grunnvannserosjon.	Drenering av nedstrøms skråningsfot.
Det er mye stein i gjennomløpet, enkelte steder er mer enn halve tverrsnittet fylt. En blokk ligger midt i gjennomløpet.	Rensk av gjennomløpet.

Kulvert 380.190 km

Problem/fare	Tiltak
Elva transporterer mye stein og grus som deponeres både oppstrøms, nedstrøms og i gjennomløpet.	Grav bort massene som har bygget seg opp, rydd gjennomløpet.

Kulvert 381,160 km

Problem/fare	Tiltak
Tynningshogst er utført oppstrøms, og hogstavfallet ligger i bekken. Flom vil føre dette med seg med risiko for tetting av kulvertinnløpet. Massene i nedstrøms fylling er grus og stein til over kulverttaket (kornfordelingskurve i vedlegg 3), men med finere masser høyere oppe.	Opprydding på oppstrøms side.
Begynnende erosjon under vingemur (høyre) ved utløp.	Foten av vingemuren sikres.

Kulvert 381.840 km (ulykkesstedet)

Problem/fare	Tiltak
Mangler plastring ved innløp og i grøft som går fra innløpet og nordover parallelt med banen.	Plastring
Det er 2 (meget) små raviner på nedstrøms side nord for kulverten. Massene ved utløpet består av ensgradert sand. Undergrunnen består av siltig finsand (kornfordelingskurver i vedlegg 3).	Forholdet holdes under oppsikt. Ved uheldig utvikling dreneres skråningsfoten
Manglende/utilstrekkelig plastring ved utløpet. Kulverten munner ut høyt oppe i fyllingen noe som øker erosjonsfaren.	Omhyggelig plastring

Kulvert 382.805 km

Problem/fare	Tiltak
Liten kapasitet fordi det er lagt inn plastrør i kulverten. Kan få meget høy vannstand oppstrøms under flom.	Nærmere vurdering av stabiliteten under flom. Bør vurdere å øke kapasiteten.
Det er erosjonsskade ved kulvertutløpet og tegn på grunnvannserosjon i nedstrøms skråning. (jmf. bilder i i vedlegg 2). Skråningen ligger med $\tan \beta = 0,8$ og massene består av ensgradert siltig finsand over morenemasser (siltig, sandig grus) (kornfordelingskurver i vedlegg 3). Stabiliteten antas å være anstrengt. Det er registrert et "hull" i original bakke til side for fyllingen. Bilder viser "hullet" og krumme trær i skråningen. Flomstor elv går over kulverttakket, og grunnvannet vil stige i fyllingen.	Drenering av nedstrøms skråning og terrenget på sidene.
Betydelig erosjonsgrop ved utløpet, endemuren er delvis undergravet og i ferd med å skli ut.	Utløpet plastres og foten av endemuren sikres, eventuelt må muren gjenoppbygges.

Kulvert 383.650 km

Problem/fare	Tiltak
Erosjon/utvasking av betong inne i kulverten, i overgangen vegg-gulv.	Dårlig betong fjernes og erstattes med ny betong.

Kulvert 384.290 km

Problem/fare	Tiltak
Det er et lavbrekk midt i kulverten der vannet forsvinner ned i fyllingen. Det kan føre til en gradvis utvasking av finstoff med påfølgende setninger/ras.	Gjennomløpet tettes for å få kontroll med vannet. Unngå tiltak som reduserer kapasiteten vesentlig.

4 FORSLAG TIL TILTAK

Hovedinntrykket etter befaringen er at de fleste kulvertene har god kapasitet, men er dårlig vedlikeholdt. Mange av skadene vi har sett kunne vært unngått om vedlikeholdet var bedre. Flere av utbedringene som var foretatt hadde en dårlig standard. Vi foreslår at Jernbaneverket legger større vekt på periodisk vedlikehold, på overvåkning og utbedring på et tidlig stadium. Standarden på utbedring og reparasjon bør forbedres gjennom opplæring.

4.1 Periodisk vedlikehold

Befaringen gav inntrykk av at det rutinemessige vedlikeholdet av kulvertene var mangelfullt. Typiske eksempler på dette er tilstopping og gjengroing.

Med jevne mellomrom må det foretas et grunnleggende vedlikehold av kulvertene. Det bør omfatte:

1. Rensk av kvist
2. Fjerning av stein og grus fra inntak og gjennomløp
3. Grav om nødvendig, et enkelt steinfang oppstrøms inntaket
4. Vedlikehold av svillelemmer
5. Åpning og lukking av svillelemmer (vår/høst)
6. Vurder kulvertens tilstand. Se særlig etter skader og nedfall i gjennomløpet, og erosjon i foten av endemurer og støttemurer.

4.2 Spesielt vedlikehold

Det er to typer skader som vil oppstå ved mange av kulvertene:

1. Undergraving av endemurer og vingemurer
2. Skader i gjennomløper (utvasking av betong, utfall av stein, sammenrasing etc.)

Undergraving av murer

Skaden skyldes at strømmende vann graver bort fundamentet for murene. Under normale forhold skjer erosjonene sakte, men kommer det en stor flom kan skadene utvikle seg svært raskt.

Oppdages begynnende undergraving på et tidlig tidspunkt, før muren har begynt å sige, er skaden normalt enkel å utbedre. Gropen fylles igjen og området plastres. Får undergravingen fortsette vil muren begynne å sige og kan til slutt rase helt ut. Det vil også kunne skade selve kulvertgjennomløpet og, i verste fall, banelegemet. I dette tilfelle blir reparasjonen adskillig mer omfattende og kostbar.

Tiltak:

1. Regelmessige inspeksjoner for å avdekke begynnende skade (gjerne i forbindelse med periodisk vedlikehold).
2. Rask utbedring av skadene før de får utvikle seg.
3. Utvikle og beskrive noen standard framgangsmåter for erosjonssikring/reparasjon.
4. Opplæring

Skader i gjennomløpet

Mange av gjennomløpene er murt av naturstein som er lagt tørt eller i mørtel. Det ble registrert mindre skader i en del av gjennomløpene, noe som er naturlig etter snart 60 år. Pga banens alder er det naturlig å forvente at antallet skader vil øke i årene fremover.

Sammenrasing av gjennomløpet vil redusere kapasiteten dramatisk, og i tillegg lede vannet direkte ut i fyllingen. Under flom vil man få høy vannstand oppstrøms (pga nedsatt kapasitet) og høyt trykk i

gjennomløpet. Det høye trykket presser vannet fra skadestedet og ut i fyllingen. Består fyllingen av fine masser kan omfattende skader utvikle seg meget raskt.

Utbedring av et sammenrast gjennomløp er svært vanskelig. Metoden med å legge inn rør og støpe rundt kan redusere kapasiteten betydelig (se vedlegg 4), og bør bare benyttes etter en grundig vurdering. Å grave opp fyllingen for å erstatte kulverten med en ny er en god, men kostbar metode.

Tiltak:

Alvorlige skader i et gjennomløp innebærer store og vanskelige reparasjoner, og fare for utrasing av fyllingen. Vi foreslår derfor:

1. Regelmessige inspeksjoner for å avdekke begynnende skade (gjerne i forbindelse med periodisk vedlikehold).
2. Rask utbedring av skadene før de får utvikle seg. På denne måten kan utbedringene utføres fra innsiden, uten omfattende oppgraving. Dersom utbedringen vil føre til innsnevring av løpet (eks utstøping) må den nye kapasiteten vurderes.
3. Utvikle og beskrive framgangsmåte for utbedring av skader i gjennomløpet.
4. Alltid vurdere kapasitet og flomfare før kulverttverrsnittet reduseres.
5. Opplæring

4.3 Sikring mot grunnvannserosjon og stabilitetsproblemer som følge av en hevet grunnvannstand.

Der en har skader etter grunnvannserosjon, og stedlige masser består av stein og/eller grus, må skadestedet fylles opp med steinmasser til overflatehelning minst $\tan \beta = 0,7$. Vertikal oppsprekking må etterfylles slik at bruddflaten ikke arbeider seg opp mot sporet.

Der en har skader fra grunnvannserosjon eller det kan være risiko for at slik skade vil oppstå, vil vi anbefale å drenere skråningsfoten.

Ved eksisterende skråninger kan dette gjøres ved å grave grøfter vinkelrett sporretningen. Grøftene må gå til minst 0,5 meter lavere enn skråningsfoten og gjerne så langt inn og opp i skråningen som en gravemaskin rekker. Grøfta sikres med en fiberduk kl II og fylles med pukk, for eksempel 60 – 120. Drensrør er ikke nødvendig. Behovet for samlegrøft på nedstrøms side må vurderes i hvert enkelt tilfelle. En vil da senke grunnvannstanden ved nedstrøms skråning slik at sikkerheten mot overflateglidninger (initialglidningen for større skader) øker.

Ved nyanlegg kan en legge ut en horisontal drenering langs og innunder hele skråningsfoten, eller helst bygge fyllingen opp av grove, permeable masser.

4.4 Konklusjon

Det generelle inntrykket er at kulverter som er i sin opprinnelige stand, og ikke er innsnevret av nedfall, innlagte rør eller liknende, har brukbar til god kapasitet. Her vil faretruende høy vannstand bare forekomme i forbindelse med relativt store flommer (lav sannsynlighet) eller tilstopping av innløpet. Innsnevring av stikkrennen, enten det skyldes nedfall/sammenpressing, eller innlagte rør, kan redusere kapasiteten vesentlig. Utbedring av stikkrenner ved å legge inn rør bør bare foretas etter en fagmessig vurdering av kapasiteten etter utbedring.

Kulverter med alvorlige feil og skader er listet sammen med forslag til tiltak. I tillegg har vi påpekt at det er et generelt behov for bedre vedlikehold og utbedringer. Vi har ikke foretatt noen prioritering av tiltakene, men mener at kulverten på 382.805 km krever særlig oppmerksomhet.

LITTERATUR

Andersen m fl (1983) **Hydrologisk modell for flomberegninger**. Rapport nr 2-83. NVE

Berg, A., Lunde, T., Mosevoll, G. (1992) **Flomberegning og kulvertdimensjonering**, SINTEF NHL, Rapport nr STF60 A92101

Brunner, G. W. (1997) **HEC-RAS River Analysis System, Users Manual**, Hydrologic Engineering Center, US Army Corps of Engineers

Førland, E. J. (1992) **Manual for beregning av påregnelige ekstreme nedbørverdier**. Rapport 21/92 Klima. Det norske meteorologiske institutt.

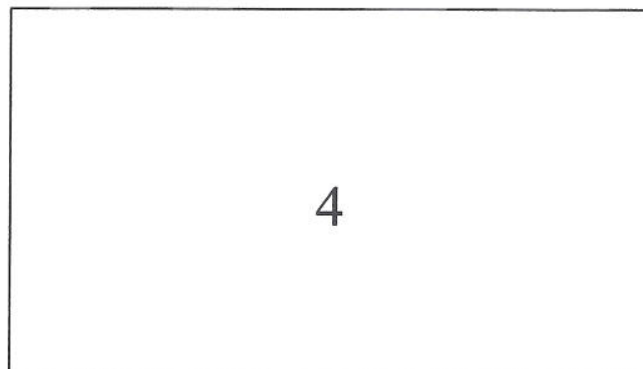
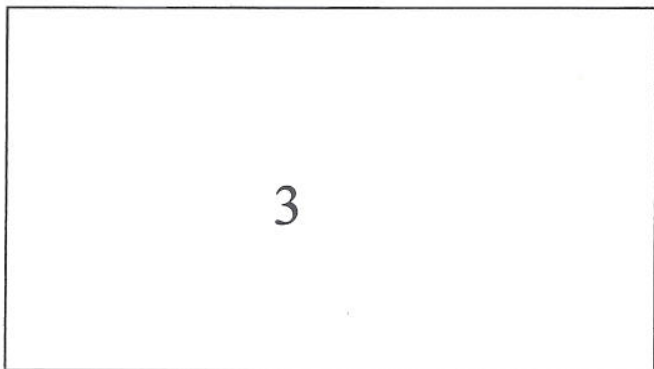
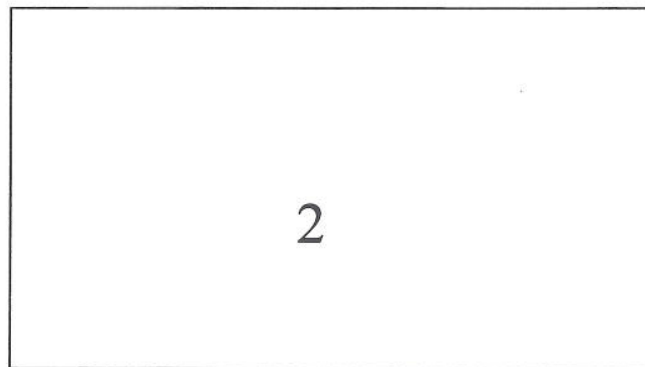
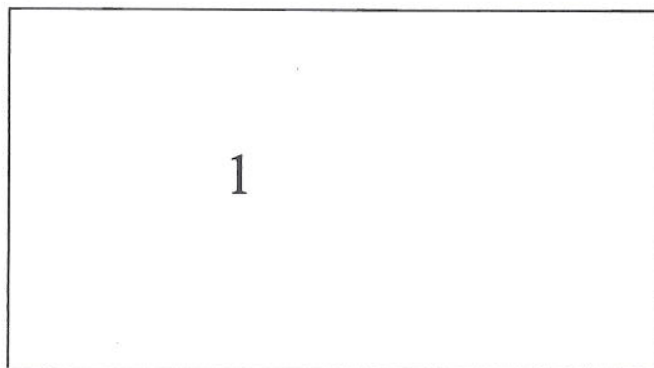
Myrabø, S.. (1991) **Flomberegning**. Hydrologisk avdeling. Norges vassdrags og energiverk. Rapport 8-91

Vedlegg 1: Liste over kulverter som ble befart

km	Kommentarer
373.190	Utrasing av sidemur ved utløp
373.420	Noe utrasing av forbygning nedstrøms
373.650	Utløp: Høyre side av tørrmur har rast ut, venstre side begynner å rase ut
374.345	
374.400	Se kap 3: Befaringsrapport
374.725	Se kap 3: Befaringsrapport
375.520	Gress og torv henger ned foran innløpet, utløpet er frosset
375.970	Se kap 3: Befaringsrapport
377.300	Tunnel, har ikke tatt bilde
377.795	Se kap 3: Befaringsrapport
378.800	
379.320	
379.873	
380.020	Se kap 3: Befaringsrapport
380.190	Se kap 3: Befaringsrapport
381.160	Se kap 3: Befaringsrapport
381.840	Se kap 3: Befaringsrapport
382.544	
382.805	Se kap 3: Befaringsrapport
383.650	Se kap 3: Befaringsrapport
384.290	Se kap 3: Befaringsrapport
384.390	Mye grus i innløp og gjennomløp, renses
385.400	Innløp nesten helt dekket av svillelem
385.610	

Vedlegg 2: Bilder

Her følger bildene som det er henvist til i befaringsrapporten. I tillegg er det laget ett separat bilag som med kopier av alle bildene som ble tatt under befaringen. Bildene er vist for kulvertene i rekkefølge fra syd mot nord. Bildene viser samme kulvert fram til neste blide som er påført km angivelse. Rekkefølgen er vist under:



VEDLEGG 2







Vedlegg 3: Siktekurver



TEKNISK SEKSJON
TRONDHEIM KOMMUNE

STED:

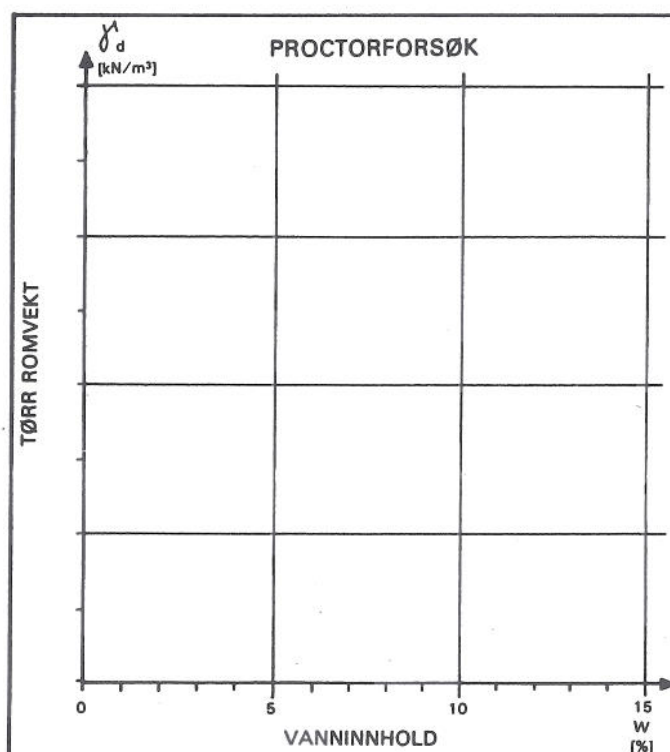
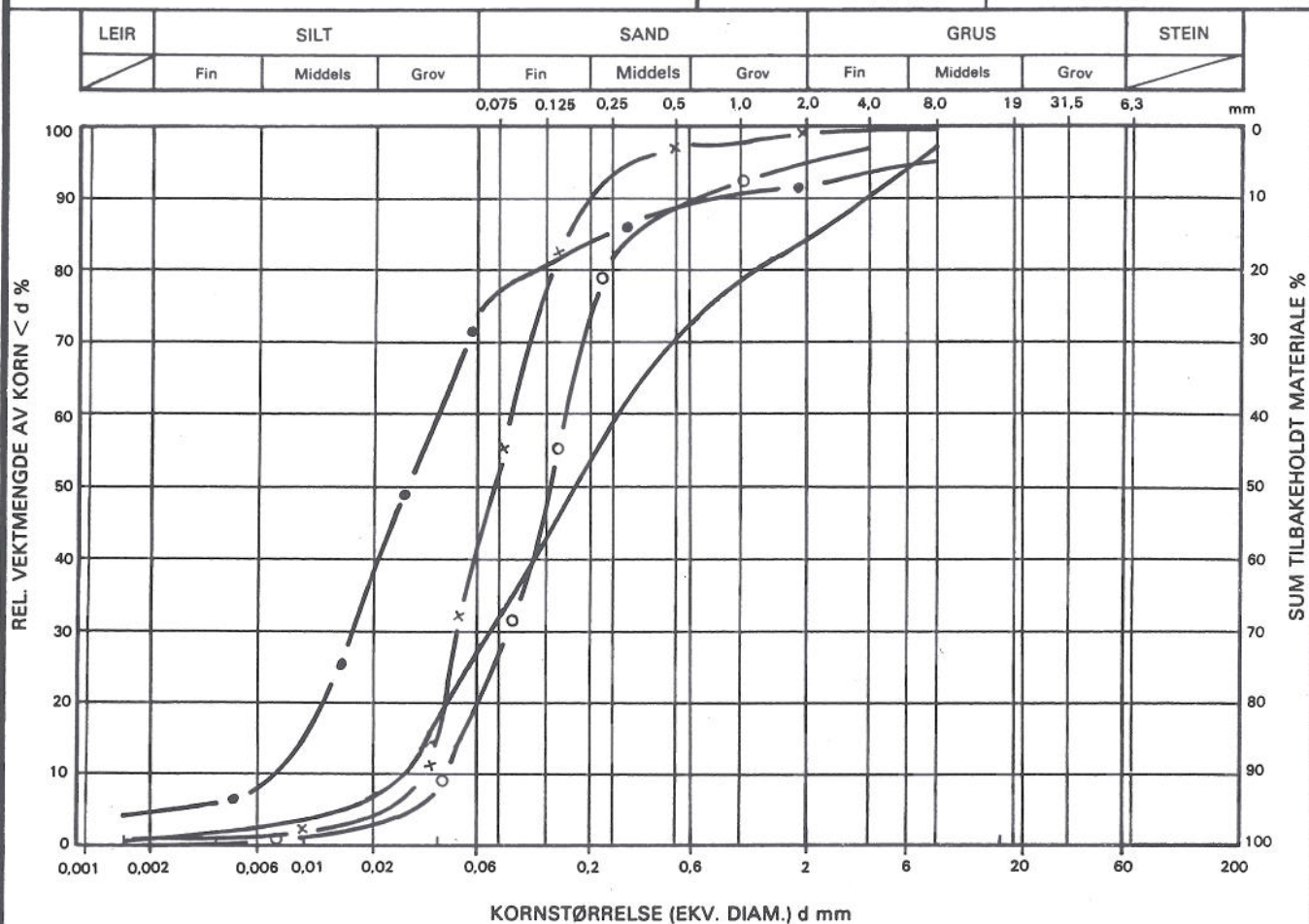
Oppdragsgiver: Grøner Trondheim A/S

Dato: 22.06.99

Rapport nr.: S.1220

Sign.: KTR/SSS

Bilag:



SYMBOL	PRØVE	C _u
—	374.400 Dybde 0,4m	
—●—	374.400 Dybde 0,7m	
—○—	377.800 Dybde 0,5m	
—x—	380.020 Dybde 0,5m	
BESKRIVELSE AV MATERIALET		
MERKNAD		



TEKNISK SEKSJON
TRONDHEIM KOMMUNE

STED:

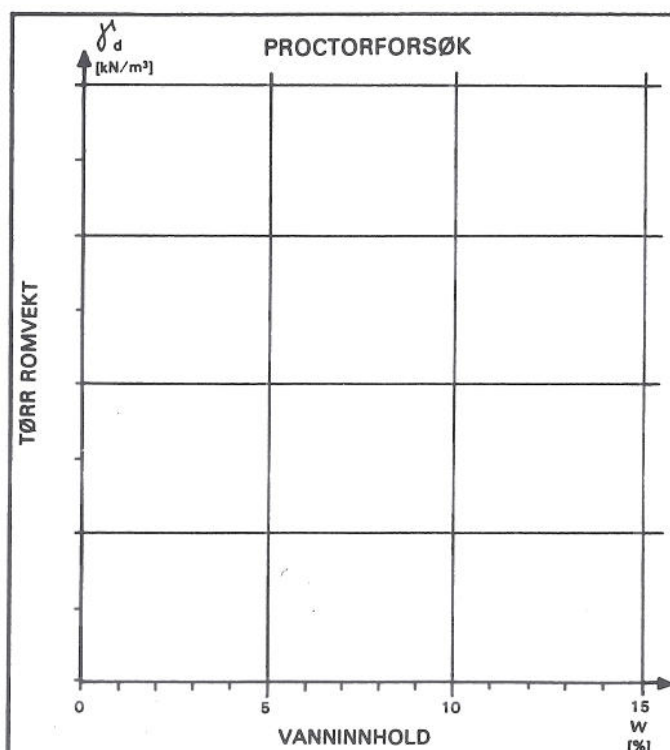
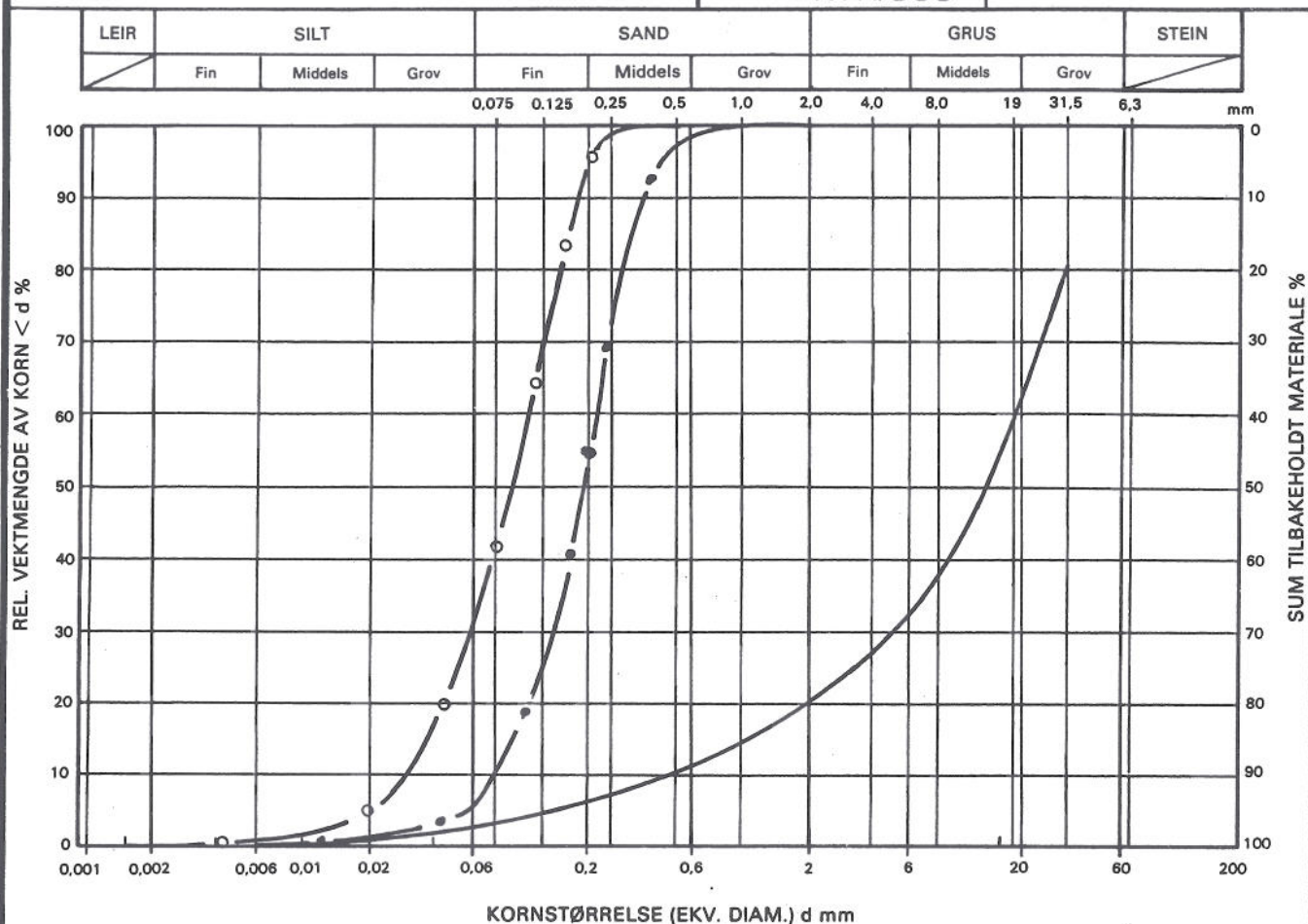
Oppdragsgiver: Grøner Trondheim A/S

Dato: 22.06.99

Rapport nr.: S.1220

Sign.: KTR/SSS

Bilag:



SYMBOL	PRØVE	C _u
—	381.160 Dybde 0,5m	
—●—	381.850 Dybde 0m	
—○—	381.850 Dybde 0m	
—X—		
BESKRIVELSE AV MATERIALET		
MERKNAD		



TEKNISK SEKSJON
TRONDHEIM KOMMUNE

STED:

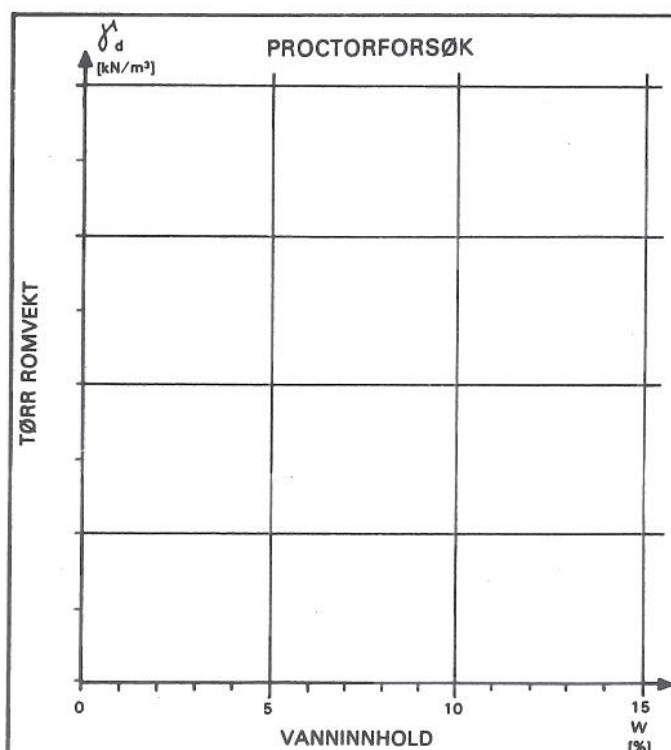
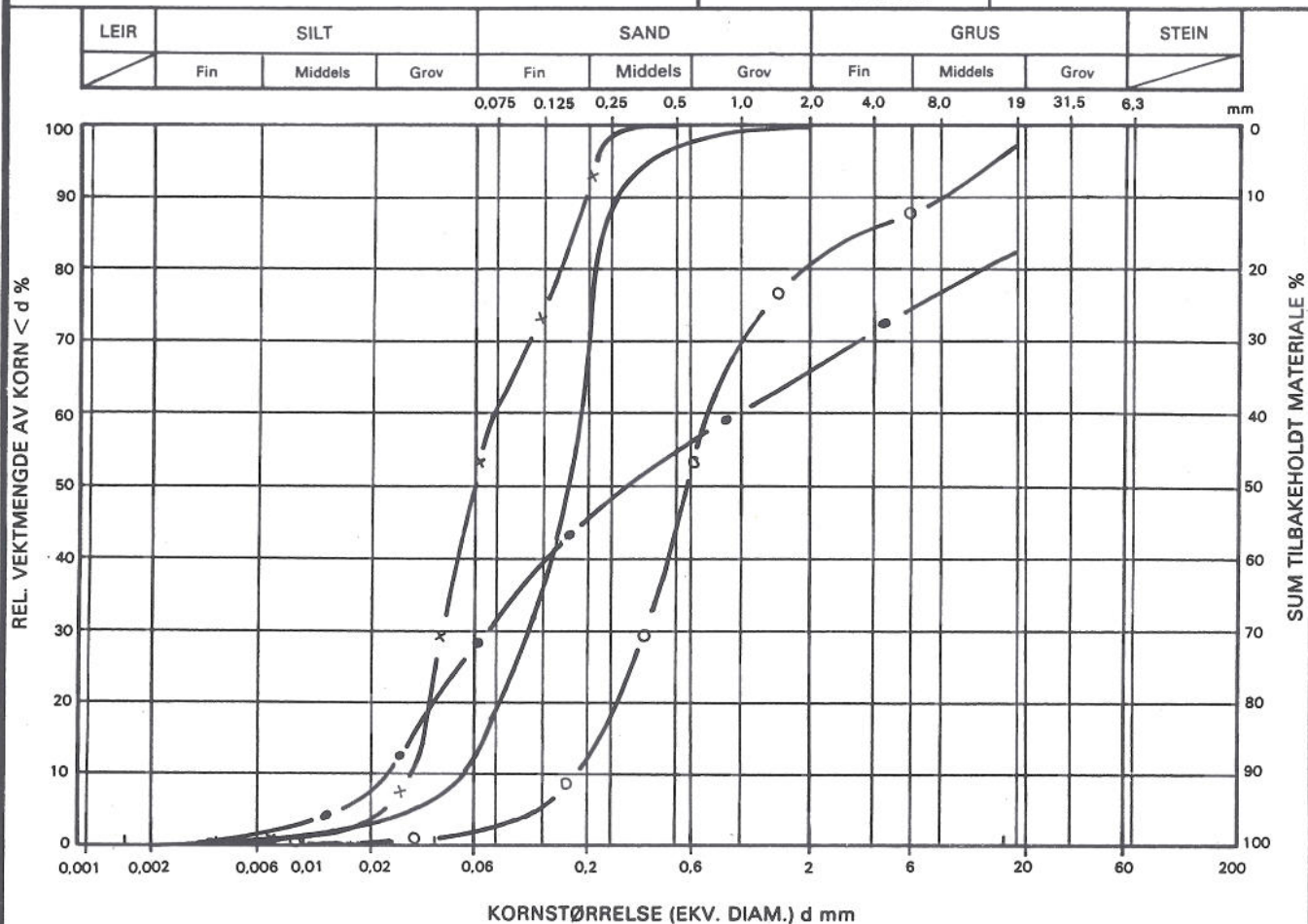
Oppdragsgiver: Grøner Trondheim A/S

Dato: 22.06.99

Rapport nr.: S.1220

Sign.: KTR/SSS

Bilag:



SYMBOL	PRØVE	C _u
—	382.805 Dybde 0,5m	
—●—	382.805 Dybde 0,7m	
—○—	385.610 Dybde 0m	
—X—		
BESKRIVELSE AV MATERIALET		
MERKNAD		

Vedlegg 4: Flomberegning og kulvertdimensjonering

Her gis det en kort innføring i kulvertdimensjonering. Den er tenkt som en bakgrunn for de kapasitetsvurderingene som er gjort i prosjektet.

De viktigste trinnene når en kulvert skal dimensjoneres er:

1. Valg av gjentakintervall (flomsannsynlighet)
2. Beregning av flomstørrelsen for det valgte gjentakintervallet
3. Valg av kulvertdimensjoner og kapasitetsberegning
4. Dimensjonering av energidreper og plastring

I tillegg kommer dimensjonering av gjennomløpets styrke (betong, armering etc).

1 VALG AV GJENTAKSINTERVALL

Gjentaksintervallet beskriver flomens sannsynligheten. Har en flom et gjentakintervall på 10 år, vil det, i gjennomsnitt, inntreffe en like stor eller større flom hvert 10. år.

Ofte brukes standardiserte gjentakintervall. Vegvesenet dimensjonerer bruer for 100-års flommen, norske dammer dimensjoneres for 1000-års flommen, etc. Standardiserte gjentakintervall tar ikke hensyn til to viktige forhold. Kostnadene ved å øke kapasiteten og konsekvensene når det kommer en flom som er større enn kulverten er dimensjonert for. Ideelt sett bør kulverten dimensjoneres slik at grensekostnadene ved å øke kapasiteten blir lik grenseinntektene pga redusert skadefrekvens. Jernbaneverket bør også vurdere de alvorlige konsekvensene et brudd kan ha for mennesker.

Man bør også se gjentakintervallet i forhold til anleggets forventede levetid. Er kulvertens levetid 50 år, så er sannsynligheten for en 100 års flom (eller større) i løpet av levetiden ca 40%. Sannsynligheten kan beregnes tilnærmet av uttrykket:

$$P = 1 - (1 - 1/T)^L$$

P er sannsynligheten for at flommen inntreffer i løpet av levetiden

L er levetiden (år)

T er gjentakintervallet (år)

2 BEREKNING AV FLOMSTØRRELSE FOR ET VALGT GJENTAKSINTERVALL

Når vi har valgt gjentakintervall gjenstår det vanskeligste, å beregne størrelsen på flommen. Flere forhold ved flommen er viktige. Til kulvertdimensjonering er vi først og fremst interessert i den største vannføringen i løpet av flommen; kulminasjonsverdien (m^3/s). Ofte er det også viktig å kjenne flommens forløp i tid, hydrogrammet. Det gjelder særlig der det er et betydelig magasin oppstrøms kulverten som vil dempe flommen.

Det finnes en rekke metoder for flomberegning, men de kan deles inn i to hovedgrupper:

1. Nedbør-avløpsberegning
2. Frekvensanalyse av avløp

2.1 Nedbør-avløpsberegning

Man begynner med å beregne nedbøren som har det ønskede gjentakintervall (dimensjonerende nedbør), og deretter hvilken avrenning det vil gi fra feltet.

Beregning av dimensjonerende nedbør

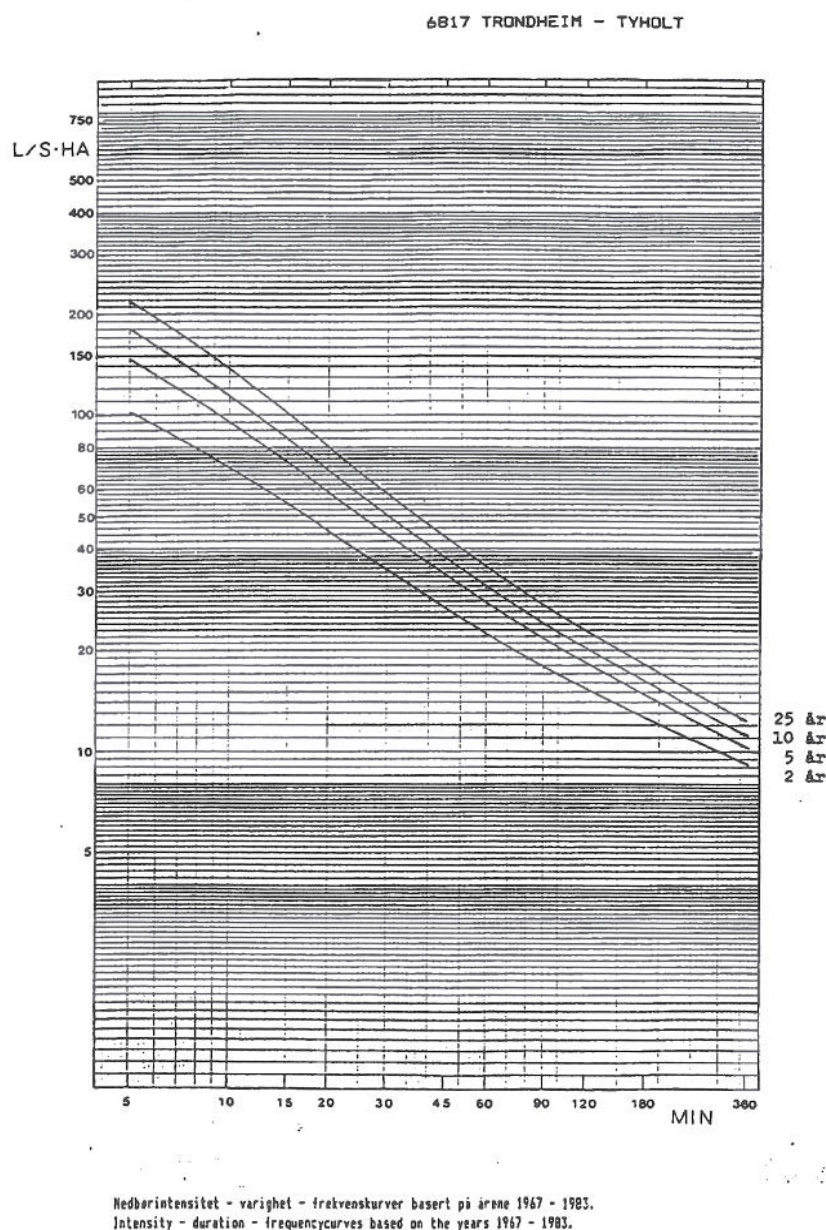
Midlere nedbørintensitet (f eks mm/minutt) er svær avhengig av varigheten . I korte perioder kan man ha svær intens nedbør, men når varigheten øker synker intensiteten raskt. Man bruker varighetskurver til å vise sammenhengen mellom intensitet, varighet og gjentakintervall (eksempel i Figur 1). For et gitt felt er man interessert i den nedbøren som gir størst flom. Velger man for kort varighet blir intensiteten høy, men vannet vil ikke rekke å renne fra alle deler av feltet til utløpet. Velger man for lang varighet vil vannet nå utløpet, men intensiteten blir for lav. Den tiden som er akkurat tilstrekkelig til at vann fra hele feltet når fram til utløpet gir størst flom. Det kalles **feltets konsentrasjonstid, t_c** . Konsentrasjonstiden bestemmes særlig av feltlengden, feltets helling og eventuelle innsjøer i feltet. Det finnes forskjellige empiriske formler for å anslå varigheten. For feltene i denne undersøkelsen var konsentrasjonstiden ca 0.5 til 2 timer.

Når gjentakintervall og varighet for nedbøren er bestemt er det i praksis to metoder som kan brukes til å beregne nedbørens intensitet:

1. Statistisk analyse av nedbøren på nærliggende nedbørstasjoner
2. En generell metode utviklet ved Det norske meteorologiske institutt (DNMI)

Hvis det er nedbørstasjoner i nærheten som måler nedbør med fin tidsoppløsning gir dette det sikreste resultatet. DNMI har over 400 målestasjoner for nedbør rundt om i Norge, men på de aller fleste måles nedbøren bare en gang i døgnet. Det er utilstrekkelig for felt der konsentrasjonstiden er 1 – 2 timer.

DNMI har gjort en omfattende analyse av data fra nedbørstasjoner i hele landet. Fra denne analysen er det utviklet en generell metode for beregning av ekstrem nedbør; “Manual for beregning av påregnelig maksimal nedbør” (Førland 1992). Den metoden, supplert med to andre metoder, er brukt i dette prosjektet.



Figur 1: Eksempel på varighetskurve (Tyholt i Trondheim)

Beregning av avløpet

Når nedbøren er bestemt er neste skritt å beregne hvilket avløp (flom) den vil føre til. Viktige forhold er størrelsen på feltet som drenerer til kulverten, feltets helling, innsjøer og grunnforholdene. Av grunnforholdene er det særlig stor andel av myr og bart fjell som fører til stor avrenning.

Flere metoder kan brukes til å beregne avrenningen. De to mest aktuelle er:

1. Forholdstall-metoden (den rasjonale metode)
2. Nedbør-avløpsmodellen PQFLOM

Forholdstallmetoden antar at en bestemt andel av nedbøren går til avrenning. Dette forholdstallet kalles avrenningskoeffisienten, C. Avløpet beregnes som:

$$Q = C \cdot A \cdot I$$

Q er flommens kulminasjonsverdi (m^3/s)

C er avrenningskoeffisienten

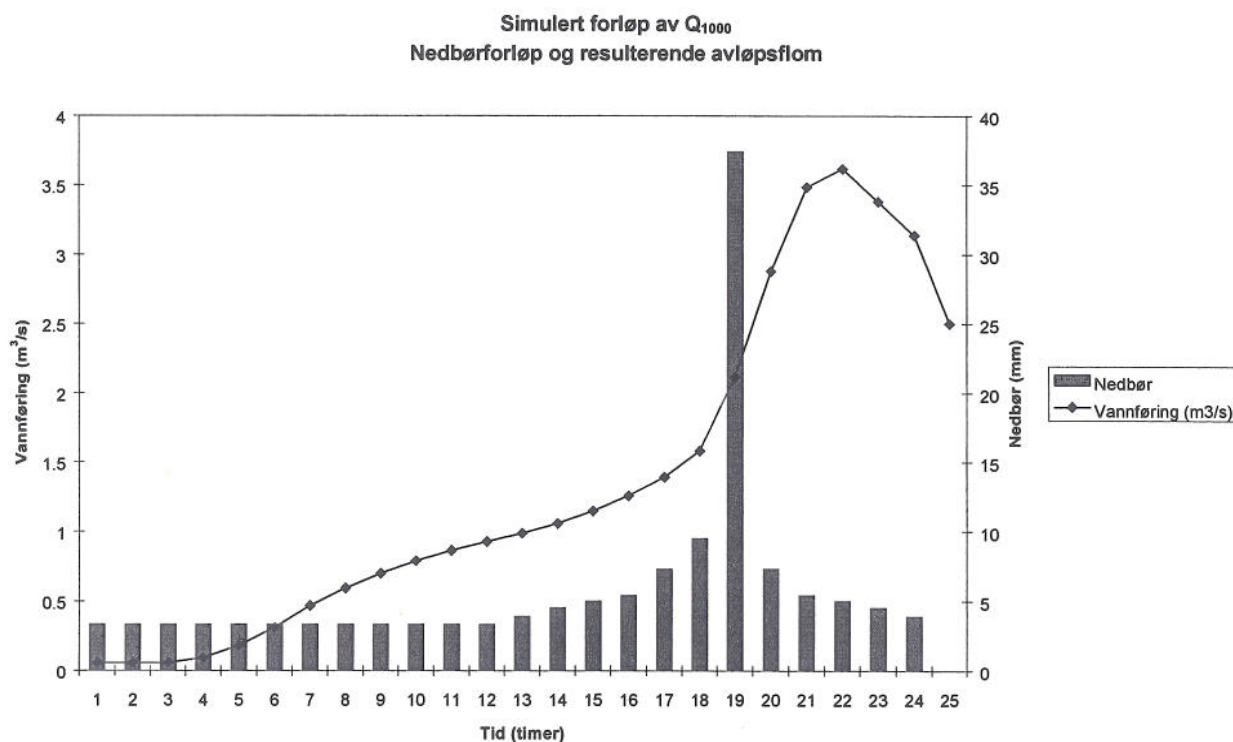
A er feltstørrelsen (km^2)

I er nedbørintensiteten ($\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$)

C må fastsettes skjønnsmessig etter en vurdering av forholdene i feltet.

Nedbør-avløpsmodellen PQFLOM

PQFLOM er en datamodell utviklet ved Norges vassdrags- og energiverk (Andersen m fl 1983). Ved å sammenholde målt flomstørrelse og målt nedbør for en rekke felt i Norge har man laget formler som gir en sammenheng mellom nedbørforløp, avrenning og forhold i feltet. Modellen er ikke egnet for de minste feltene. Feltet bør minst være $4 - 5 \text{ km}^2$ stort. Figur 2 viser nedbørsserie og beregnet flom.



Figur 2: PQFLOM - nedbørsserie og resulterende flom

2.2 Frekvensanalyse av avløp

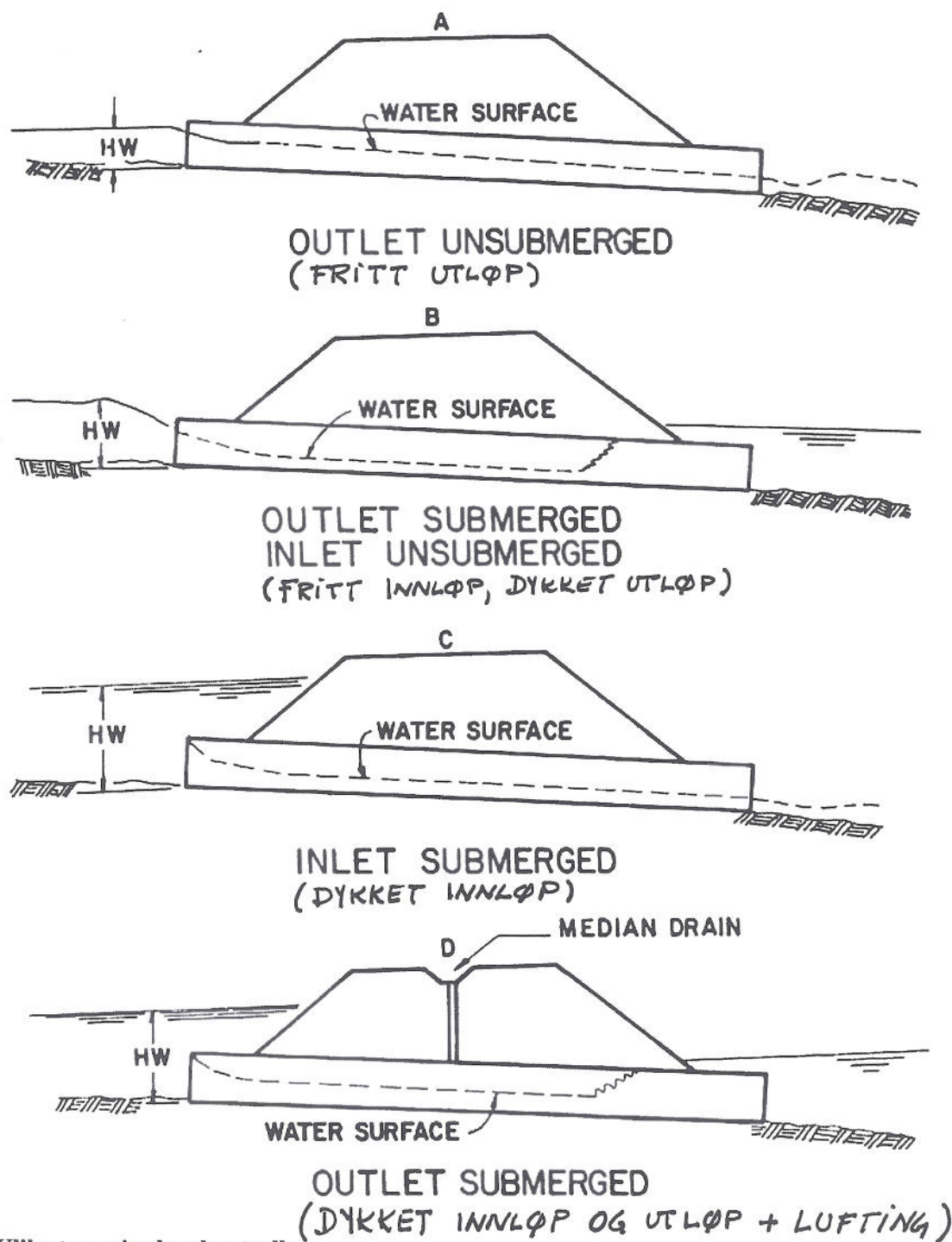
NVE driver en rekke målestasjoner som måler vannføringen i elver. Der målingene har pågått i lang tid kan man gjøre en statistisk analyse av sammenhengen mellom flomstørrelse og gjentaksintervall. Resultatet kan ofte overføres til nærliggende, umålte, vassdrag.

For små felt, som i dette prosjektet, er metoden mindre egnet. De fleste av NVEs stasjoner måler vannføringen fra relativt store felt. Små felt har en helt annen respons. Flommene er kortvarige og intense sammenliknet med flom fra større felt.

3 GENERELT OM KAPASITETSBEREGNING AV KULVERTER

Når flomstørrelsen er beregnet er neste skritt å finne nødvendig størrelse på kulverten, eller avgjøre om kapasiteten på en eksisterende kulvert er tilstrekkelig. Det er viktig å være klar over at kapasiteten ikke er et entydig begrep. Kapasiteten (m^3/s) er alltid knyttet til vannstanden rett oppstrøms kulverten. Øker vannstanden vil også vannføringen gjennom kulverten øke. Det er derfor mer naturlig å snakke om en kapasitetskurve enn en enkelt kapasitet. Hvilken vannstand man vil tillate oppstrøms avgjøres av høyden, massene og stabiliteten til fyllingen, faren for indre erosjon og faren for å oversvømme området oppstrøms. For eksisterende kulverter er dimensjonene og vannføringen gitt. Oppgaven blir da å beregne vannstanden oppstrøms.

Kulvertens kapasitet begrenses enten av innløpet (innløpskontroll) eller av gjennomløpet (utløpskontroll). Korte kulverter med skarpkantet innløp og glatt, bratt, gjennomløp har vanligvis innløpskontroll. Lange kulverter, og kulverter med ru overflate (korrugerte stålrør) og lite fall, har utløpskontroll. Kapasitetsberegning av kulverter er, med enkelte unntak, forholdsvis komplisert. Det kan inntreffe en rekke forskjellige strømmingssituasjoner (Figur 3 og Figur 4) som hver krever sin egen beregning. I praksis gjøres kulvertberegninger ved hjelp av dataprogram. Unntaket er kulverter som man vet har innløpskontroll, og fulltløpende kulverter der nedstrøms vannstand er kjent. Da kan kapasiteten beregnes med enkle metoder (formler/nomogrammer). SINTEF-rapporten "Flomberegning og kulvertdimensjonering" (Berg m flere 1992) gir en god innføring i dimensjonering av kulverter.



Figur 3: Ulike typer innløpskontroll

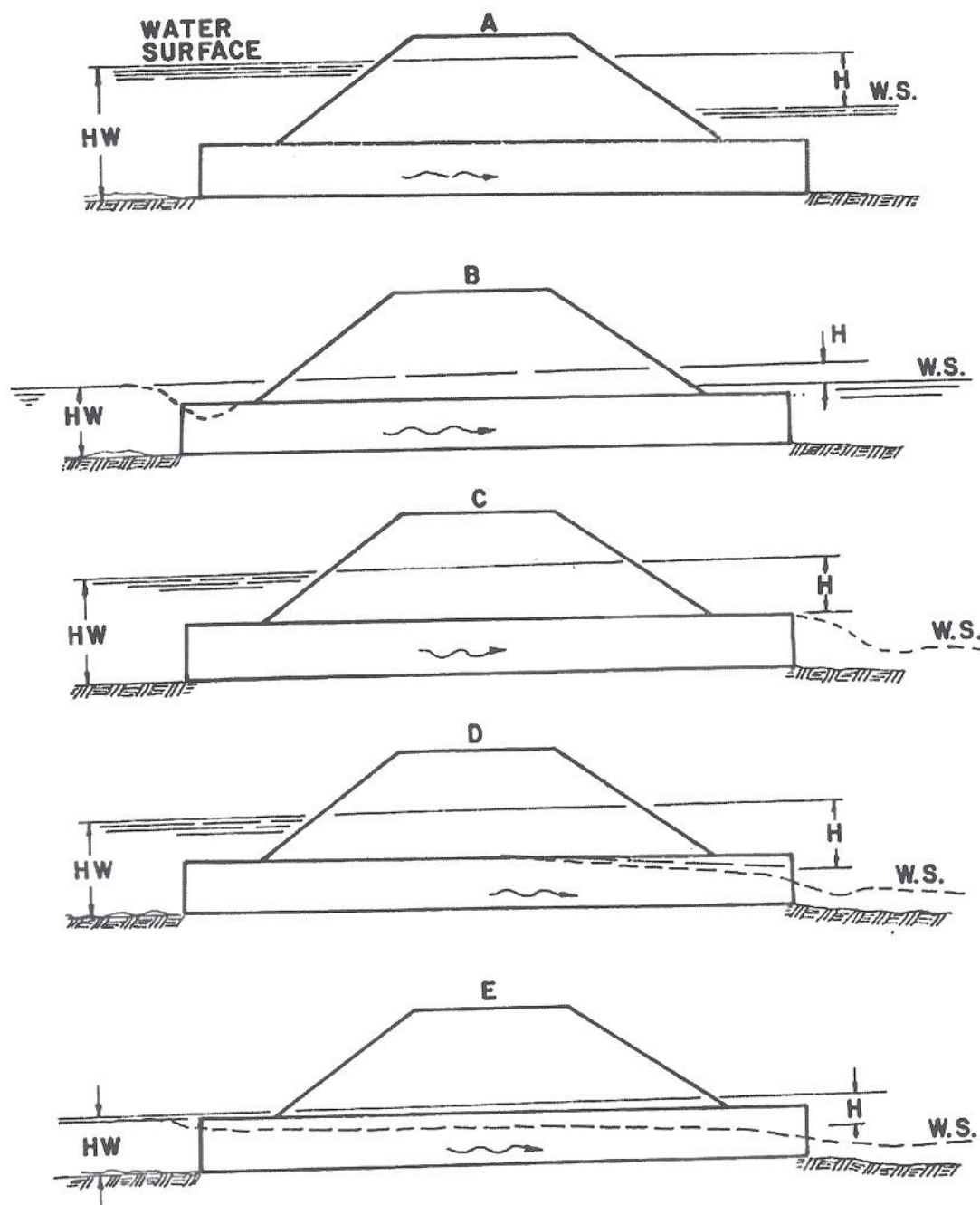


Figure III-7-- Types of outlet control.

Figur 4: Ulike typer utløpskontroll

3.1 Innsnevring av kulvertene- utbedring med plastrør

Det er flere eksempler på at skader på gamle betongkulverter blir utbedret ved å legge inn plastrør og støpe rundt. Det er en løsning som kan redusere kulvertens kapasitet dramatisk. Både friksjonstap og tap i innløp og utløp varierer med kvadratet av vannhastigheten. Dersom arealet til stikkrennen

halveres må vannhastigheten dobles for å få igjennom samme vannmengde. Dobling av vannhastigheten fører til en firedobling av energitapet gjennom kulverten.

Under er det vist et eksempel på hvordan innstikksrør reduserer kapasiteten.

Eksempel: Kapasitetsreduksjon ved utbedring med innlagte plastrør

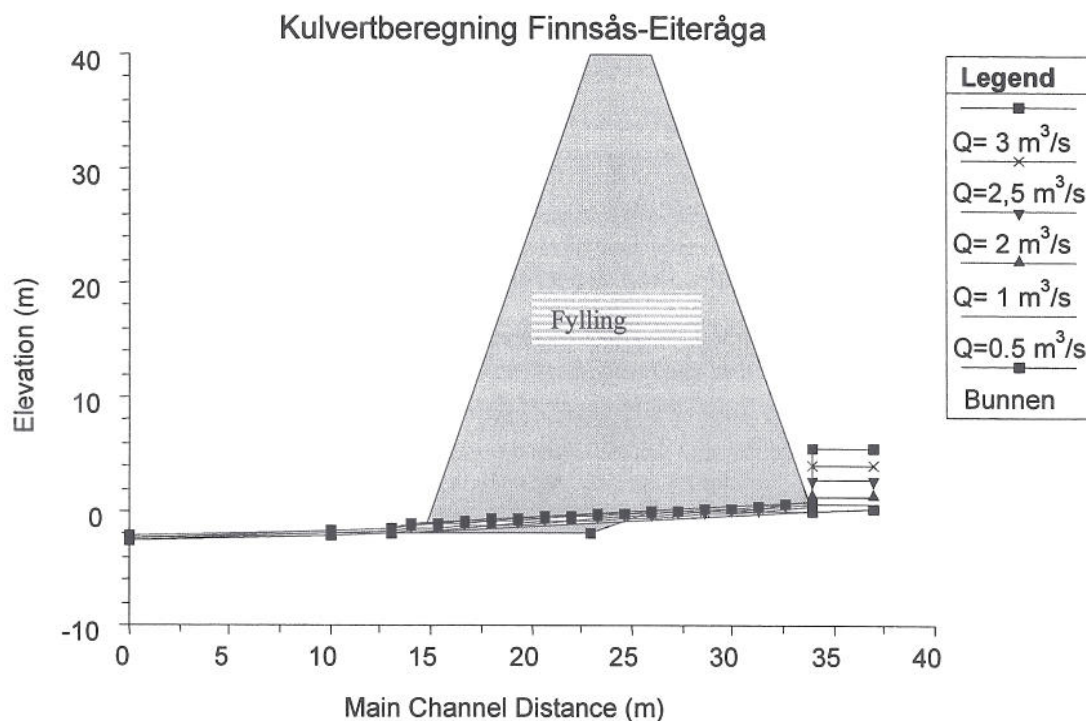
I en kulvert med data som vist under, legges det inn 2 stk 350 mm plastrør, og rundt disse fylles det betong.

Tabell 6: Dimensjoner for kulvertene i eksempelet

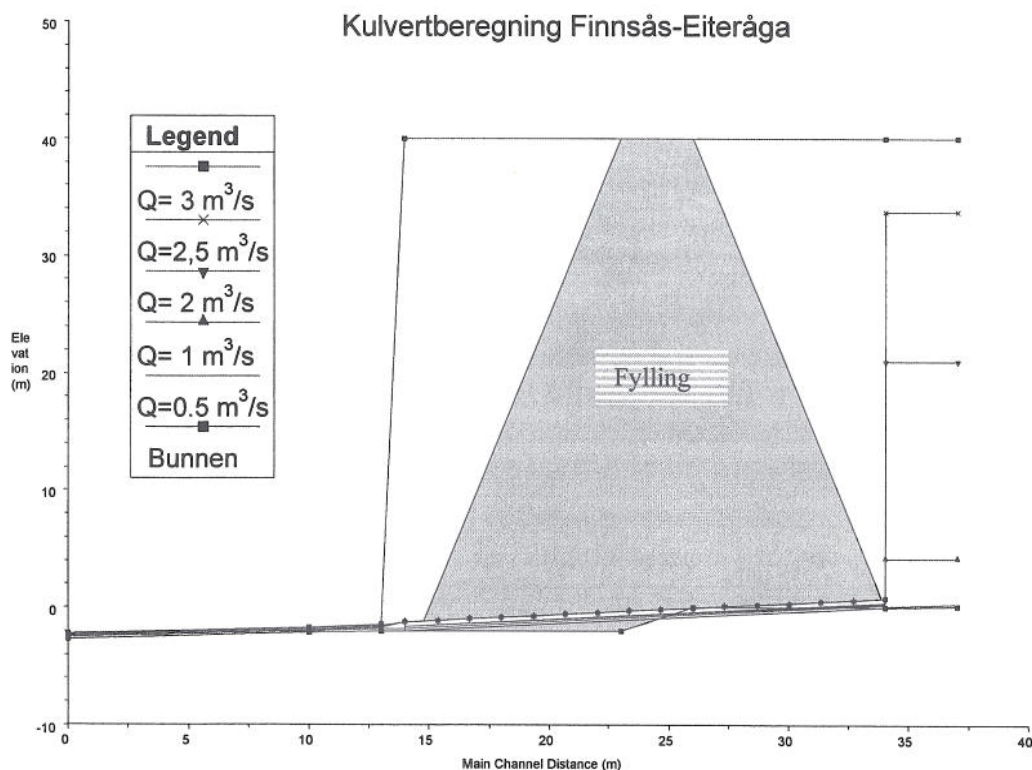
	Gammel kulvert	Utbedret kulvert
Lengde (m)	20	20
Bredde (m)	0.6	-
Høyde (m)	0.9	-
Diameter (m)	-	0.35 (2 stk)
Fall (V:H)	0.1	0.1
Mannings tall (ruhet)	40 (betong)	80 (glatt)

Vannstanden er beregnet for fem vannføringer: 0.5, 1, 2, 2.5 og 3 m³/s. Figur 5 og Figur 6 viser vannstanden for de forskjellige vannføringene, og Figur 7 viser kapasitetskurvene før og etter utbedringen. Vi ser at kapasiteten er vesentlig redusert. Ved en vannføring på 2.5 m³/s øker vanddybden oppstrøms fra ca 4 m før "utbedring" til mer enn 34 m etter utbedring! I tillegg er faren for tilstopping av to små rør vesentlig større enn for ett stort.

Ved den største vannføringen ($Q = 3.0 \text{ m}^3/\text{s}$) stiger vannstanden over fyllingen, noe som vil føre til overtopping og erosjonsskader.

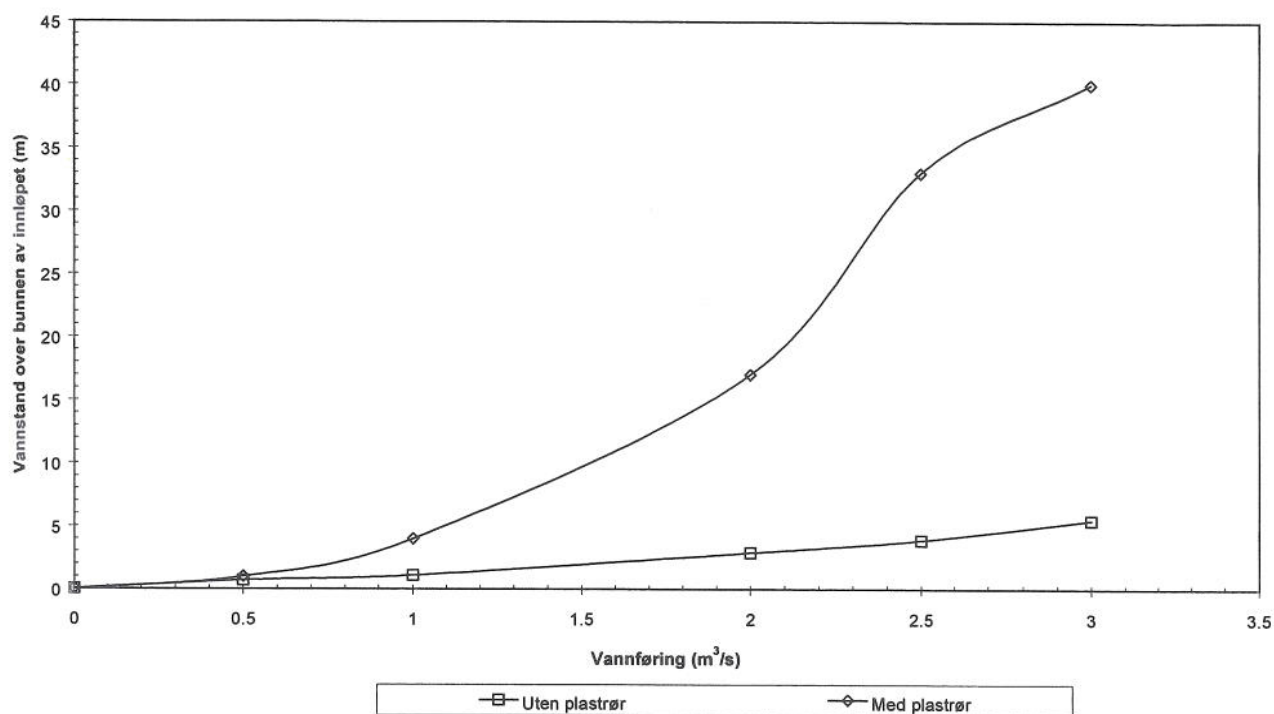


Figur 5: Vannstander før utbedring (Q = 0.5, 1, 2, 2.5 og 3 m³/s)



Figur 6: Vannstander etter utbedring (Q = 0.5, 1, 2, 2.5 og 3 m³/s)

Kapasitetskurve før og etter utbedring



Figur 7: Kapasitetskurve før og etter utbedring

Vedlegg 5: Generelt om erosjon

1 GRUNNVANNSEROSJON

Grunnvannserosjon kan oppstå i skråninger når grunnvannstanden står høyere enn skråningsfoten, og hvor utstrømmende grunnvann eroderer overflaten. Erosjonen er størst der fyllmassens kornstørrelse er minst, og der skråningshelningen er størst.

Grunnvannsskred kan oppstå i perioder der tele hindrer drenering av grunnvannet og bidrar til å heve grunnvannstanden i fyllingen. Når vanntrykket blir større enn vekten av telelaget bryter laget. Massene bak har da nederst som regel så lave effektivspenninger at de ikke er stabile med sin skråningshelning før grunnvannstanden er senket, men før så skjer kan massene skli ut. Siden finkornige masser drenerer senere enn grove, er fine masser mest utsatt for slike grunnvannsskred.

Heving av grunnvannstanden kan forårsakes av sterk nedbør, snøsmelting og kulverter med for liten kapasitet i forhold til flomsituasjonen, slik at det blir oppstuvning på oppstrøms side.

2 EROSJON VED UTLØPET - PLASTRING

Erosjon ved utløpet av en kulvert kan ødelegge vingemurer/endemurer ved utløpet, og forplante seg oppstrøms og skade gjennomløpet og true skråningens stabilitet. Men, med enkle midler og godt handverk kan skadene forhindres.

Erosjonsbelastningen avhenger av vannhastighet og vannmengde. Nedstrøms kulverter med stor høydeforskjell mellom innløp og utløp, og glatt gjennomløp (plast, betong) kan belastningen bli stor.

Behovet for sikring avhenger også av massene ved utløpet. Silt, sand og grus har svært liten erosjonsmotstand, og rask erosjonsutvikling.

En god måte for å sikre utløpet er å bruke et steinsatt basseng. Turbulens og hvirvling konsentreres i bassenget som fungerer som energidreper. Bassenget skjermer sider og bunn for direkte kontakt med strålen fra utløpet, den dempes i vannmassene slik at størrelsen på plastringsteinen kan reduseres.

Generelt bør man legge vekt på at:

- Enden av kulverten (undersiden) sikres med endemur eller grov stein, slik at den ikke undergraves.
- Endemurer og sidemurer føres godt under bunn. Det forhindrer erosjonsskader i foten.
- Filtermasser/filterduk bak plastringen. Det er særlig viktig om de stedlige massene er finkornige.

For større kulverter bør basseng og plastring vurderes spesielt.

Under følger bilder som vedlegg i rapporten.

Dok.nr: UB.101741-000

Rev:.....

**Jernbaneverket
Region Nord**



**RISIKOVURDERING AV KULVERTER PÅ
STREKNINGEN FINNSÅS – EITERÅGA
(km 374 – 388)**

BILDER

Oppdrag nr 4314

september 1999

UTFØRT AV:

Kåre Sand

Lars Jenssen

Kåre Sand

L. Jenssen

KONTR.

KONF.

Bilder

Dette er et billedbilag til hovedrapporten "Risikovurdering av kulverter på strekningen Finnsås – Eiteråga (km 374 – 388). Det inneholder kopier av alle bildene som ble tatt under befaringen, unntatt de som er lagt ved hovedrapporten.

Bildene er vist for kulvertene i rekkefølge fra syd mot nord. Bildene viser samme kulvert fram til neste blide som er påført km angivelse. Rekkefølgen på siden er vist under:

1

2

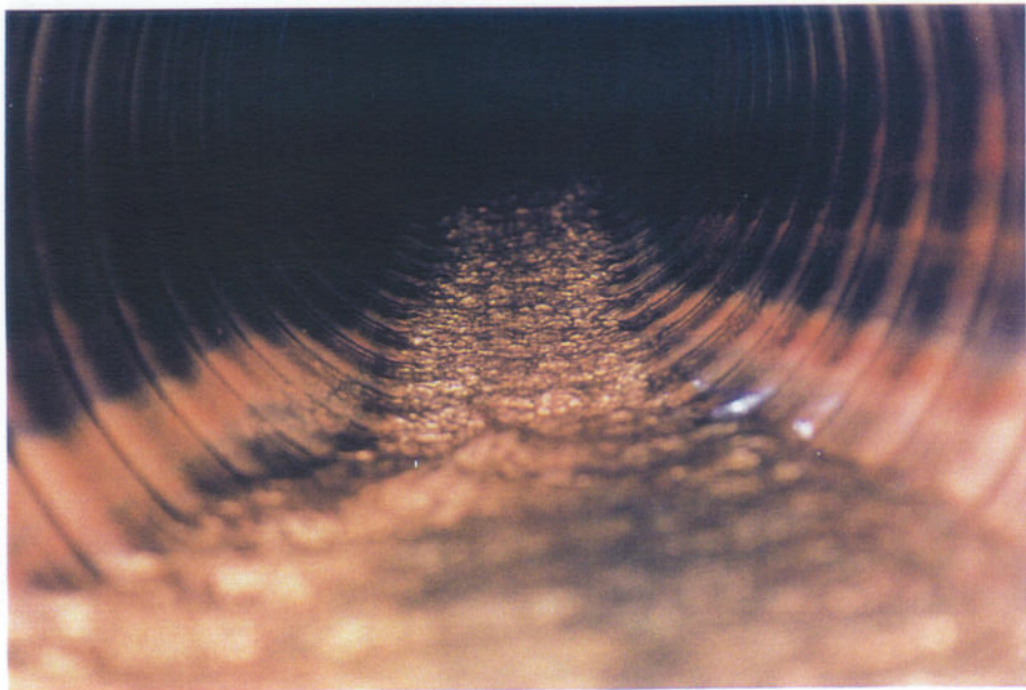
3

4









375520

