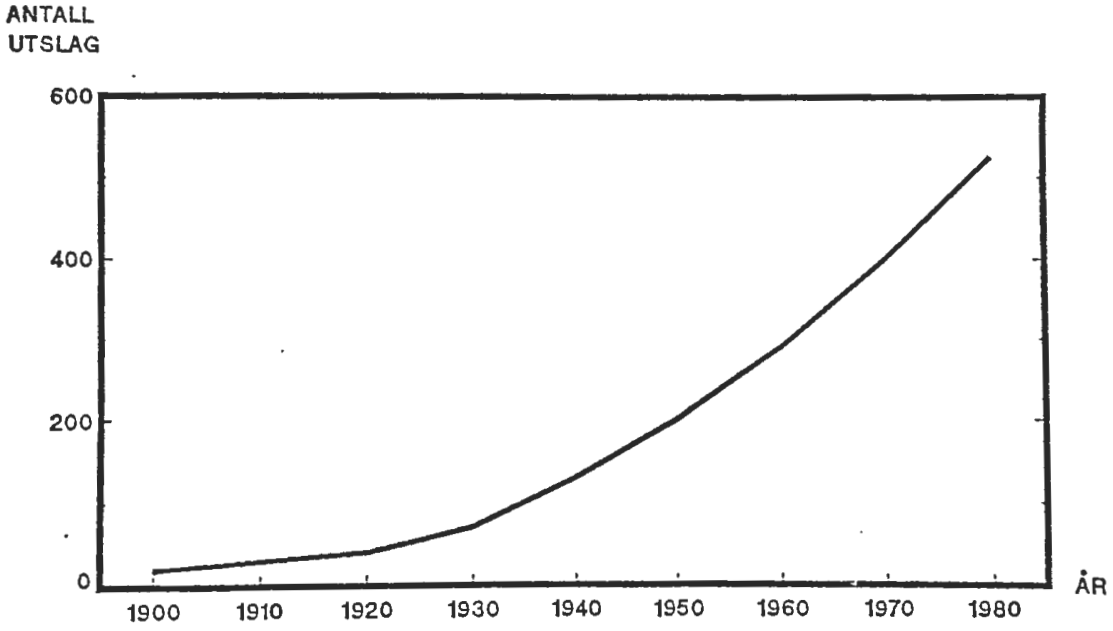
© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

UTSLAG UNDER VANN

Olaf Rømcke, sivilingeniør
Dyno Konsulent A.S, Sandvika

Norges topografi har gjort det naturlig å utnytte de mange små og store sjøer som magasin for vannkraftverk ved senkning under naturlig vannstand eller ved kombinasjon av dam og senkning.

TUNNELUTSLAG UNDER VANN I NORGE

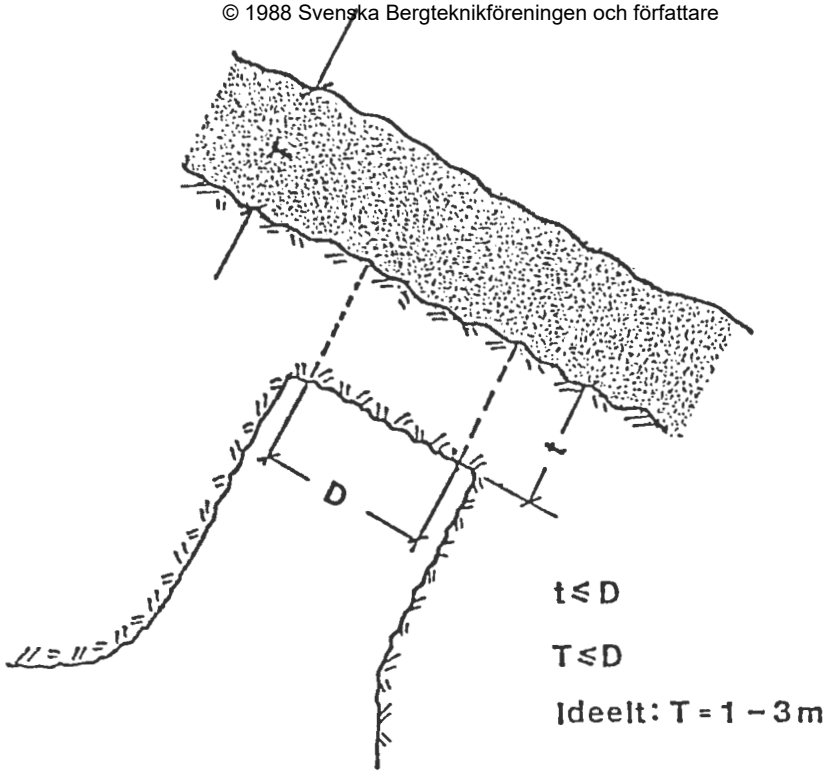


Dybden på utslag varierer fra bare noen meter til over 100 meter.

Tverrsnittet på utslagsproppen kan være fra 1 m^2 til opp mot 100 m^2, som er det største hittil.

Propptykkelsen har variert mellom 1 meter og opp mot 15 meter, avhengig av tverrsnittet og fjellkvaliteten.

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Noen krav som må stilles til utslaget:

- Utslagsproppen skal sprenges ut i ønsket tversnitt og renske seg mest mulig.

- Gjenstående fjell rundt utslaget ønskes bevart mest mulig uten bakbrytning. Massene skal ha passende stykkefall og legge seg på forutsatt sted, f.eks. i samlegrop under proppen.

- Stein må ikke legge seg i lukeforinger eller mot luke og hindre lukemanøvrering.

- Eventuelle overmasser utenfor og rundet tunnelmunningen skal trekkes minst mulig inn i tunnelen.

- Detonasjons- og det dynamiske vanntrykket mot luke og konstruksjoner må kunne beregnes med tilfredsstillende margin på forhånd.

- Hele utslagsprosedyren må til enhver tid være under full kontroll.

- Oppstøtet i lukesjakten må ikke forårsake skader på opptrekksanordningen i sjakt eller lukehus.

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

SPRENGNINGSPLAN

Boreplanen settes opp på grunnlag av kartlagt utslagspropp, tver snitt, tykkelse, bergart, løsmasselag, vanntrykk og lekkasje.

Det brukes vanligvis parallellhullskutt med flere grovhull, vanlig er å bruke fra 7 til opp mot 20 - 25 grovhull.

Boreplanen bør settes opp så oversiktlig og systematisk som mulig.

Sprengstoffet og tennmidler som benyttes må være trykkbestandig for det aktuelle vanntrykk og tid som det blir stående.

Ladningsmengden som brukes avhenger av tversnitt, propptykkelse, bergart, løsmasser, vanntrykk samt utslagsproppens form og innspenningsform.

Som en tommelfinger-regel kan følgende brukes:

- To ganger normalt forbruk i tunnelen fram mot utslaget + 0,01 kg/fm^3 i tillegg for hver meter vanntrykk.

  Tillegg for evt. store løsmasser må vurderes samt tillegg for tette borehull ca 10 %.

To tennere i hvert hull med samme nummer benyttes. Tennerne kobles til hver sin serie.

KOBLING

Koblingen gjøres med Scotchlok med silikon og spesialtenger. Dette forenkler koblingsarbeidet samtidig som koblingen blir tett.

Hver serie bør føres helt ut til avfyringssted.

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

UTSLAGSMETODE

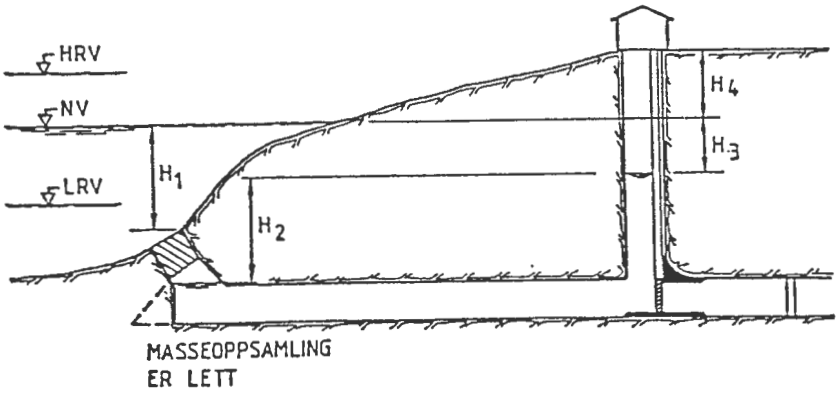
Det bør allerede på planleggingsstadiet tas standpunkt til hva slags utslagsmetode som skal anvendes.

I prinsippet skilles det mellom to hovedtyper utslag:

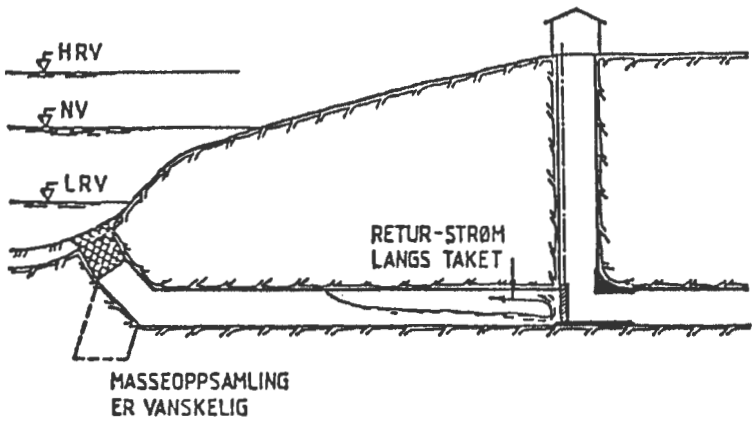
1. Utslag mot åpen tunnelsjakt (åpent system)
2. Utslag mot lukket tunnel (lukket system)

Figurene 3 og 4 viser prinsippene for de to hovedtyper.

UTSLAG MOT ÅPEN TUNNELSJAKT (ÅPENT SYSTEM)
MED VANNFYLLING



TUNNELUTSLAG UNDER VANN, LUKKET SYSTEM.



© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Ved åpent system er det direkte forbindelse mellom tunnel-stuffen ved utslagsproppen og atmosfæren. Nedstrøms-luke er da satt.

For å unngå transport av løsmasser fram mot luka og begrense sjaktoppsvinget, krever metoden oppfylling av vann.

Ved lukket system er oppstrømsluke satt. Det kan skytes med tom eller delvis fylt tunnel.

Pga. stor innstrømmingshastighet på vannet er det en fordel med delvis fylt tunnel hva massetransport angår. Steinmassene blir bremset opp og når ikke så langt innover i tunnelen.

Lukket system krever relativ lang avtand mellom utslagspropp og luke.

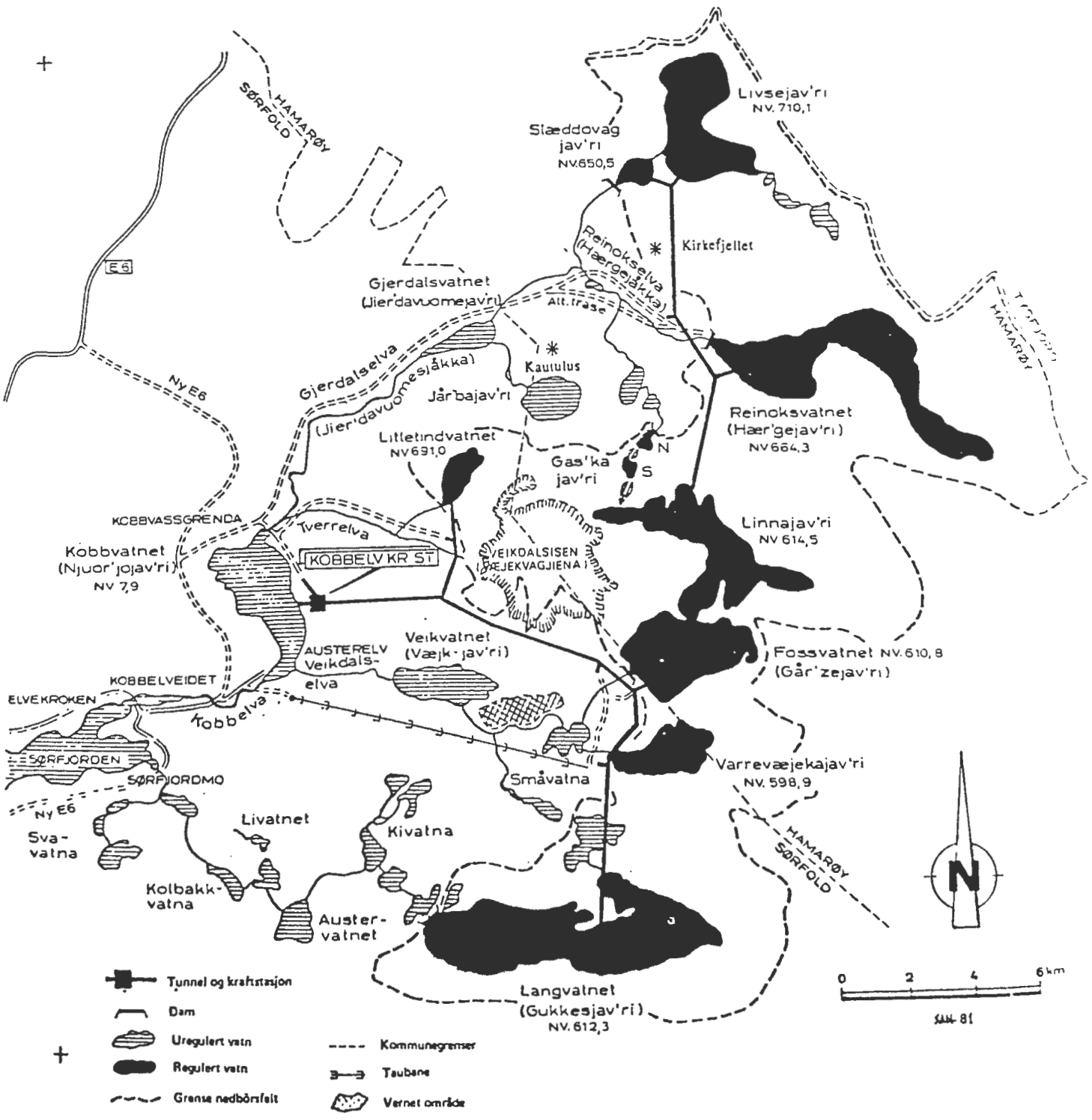
	Åpent system	Lukket system
Fordeler	-Oversiktlige hydrodynamiske forhold. -Kontrollert oppsamling av sprengnings- og løsmassene. -Trykkstigningen mot luka kan beregnes med stor sikkerhet.	- Enkel utførelse. - Kort tid fra ladning av salve til utslaget sprenges. - Relativt lave kostnader.
Ulemper	-Komplisert utførelse -Lang tid fra lading av salve til utslaget sprenges -Relativt høye kostnader.	- Komplierte hydrodynamiske forhold. - Sprengningsmassen kan skade lukekonstruksjonen. - Kan kreve lang avstand til utslagspropp - luke.

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Kobbelvanlegget ligger i Sørfold- og Hamarøy kommuner i Nordland fylke, ca 10 mil nord-øst for Bodø. Anlegget er et typisk høytrykksanlegg med tilløps-tunnel, trykksjakt og kraftstasjon i fjell.

Utbyggingen av Kobbelvanlegget har foregått i Statkrafts egen regi.

Figur 5 viser en oversikt over Kobbelvanlegget.



© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Noen hoveddata for anlegget:

Fallhøyde, maks.	622 meter
Fallhøyde, min.	520 meter
Fallhøyde, midlere	602 meter
Installert effekt	2 x 150 Mw
Vannforbruk ved maks. last	2 x 29 m^3
Magasinvolum	1500 mill m^3
Midlere produksjon	710 GWH
Tilført fastkraft	940 GWH
Byggetid	1982 - 1987
Byggekostnader ekskl. renter, prisnivå 1987	ca. 2300 mill. NOK
Samlet tunnellengde	42 km
Antall magasin	6 stk
Dammer:	
Betong hoveddammer	2 stk, 47000 m^3
Betong sperredammer	3 stk, 2000 m^3
Steinfylling med betong tetting	1 stk, 50000 m^3

Kobbelvanlegget har magasiner med store reguleringshøyder. Reguleringen ligger for det meste under normalvannstand. Alle utslagene ved Kobbelvanlegget er derfor tatt på store dyp med unntak av utløpet som lå på 8 meter. Dypest er Fossvatn med 119 meter.

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Tabellen nedenfor viser en oversikt over utslagene ved Kobbelv-anlegget.

Utslag	Type utslag	Vanndyp utslag m	Vanndyp luke m	Tverr-snitt tunnel m^2	Tverr-snitt propp m^2	Volum propp fm^3	spr.-stoff mengde kg	Avstand fra luke m
U-tunnel Kobbvatn	åpent	6	8	51	51	425	2000	10/600
Lievse-jav're	lukket	40	70	18	10	50	350	550
Reinoks-vatn	lukket	65	85	16	10	50	350	465
Fossvatn	åpent	100	119	51	40	270	1100	370
Varravæ-kajav're	åpent	34	52	35	30	150	1100	90
Langvatn vest	åpent	62	90	18	10	50	350	450
Langvatn øst	åpent	77	90	18	10	50	350	340

Langvatn vest og øst ble skutt samtidig.

Samtlige utslag ved Kobbelvanleggene var planlagt og utført av Statkraft i samarbeid med NHL-Trondheim og Dyno Konsulent A.S. Dyno Konsulent A.S har hatt ansvaret for utarbeidelse av bore- og ladeplan for utslagsalvene.

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

UTSLAG FOSSVATN

Fossvatn er regulert 10 meter opp og senket 90 meter i forhold til normalvannstand. Total reguleringshøyde blir dermed 100 meter.

Med et vanntrykk på 119 meter mot luke er Fossvatn det dypeste utslaget ved Kobbelvanlegget.

Utsalgssalven ble boret etter ferdig utarbeidet boreplan. Planen ble i det store fulgt.

Fjellet i utslagsområdet var en del oppsprukket. Det ble derfor injisert ca 15000 kg sement. Lekkasjene ble likevel relativt store. Etter at utslagssalven var boret var lekkasjen på vel 4,5 m^3/min, noe som gjorde ladearbeidet til en særdeles våt fornøyelse. Utslagssalven var ferdig boret i august 1985.

SPRENGNINGSPLANENE FOR UTSLAGSSALVEN

Bore- og ladeplanene for utslagssalven ble utarbeidet på bakgrunn av aktuelt vanndyp, propptykkelse, propptversnitt og løsmasse mektighet.

Boreplanen var basert på to stk grovhulls-kutter med i alt 8 grovhull. Forøvrig er boreplanen lagt opp med et så oversktlig og systematisk boremønster som mulig. Dette bør tilstrebes for å lette oppmerkingen av salven. Boremønstret utenfor kuttområdet var ca 60 x 60 cm.

Alle hull skulle bores til det gjennsto ca 50 cm før gjennom-boring.

Dette ble gjort med unntak av en del hull der lengden ble redusert til ca 5,5 meter pga en vannførende sleppe. Det var vannlekkasjen herfra som skapte endel problemer under lade- og koblingsarbeidene.

Etter at salven var ferdig boret ble samtlige hull tegnet inn med posisjon og lengde.

Ladeplan/tennplan

Endelig ladeplan ble satt opp etter at utslagssalven var ferdig boret og opptegnet.

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Sprengstoffet som ble brukt var Extra Dynamit 35 x 600 mm. Ladetettheten blir da ca. 1,4 - 1,5 kg/m. Det skulle lades til det gjensto ca. 50 cm.

Extra Dynamit ble bestilt spesielt for 100 meters vanntrykk i 72 timer.

Totalt ble det beregnet ca. 1200 kg sprengstoff. Med fastmasse på ca. 270 fm^3, gir dette en spesifikk ladning på 4,5 kg/fm^3.

Det ble benyttet Gruppe 1 - tennere, tyske 6-meter ladningslengde forsterket med plaststrømpe. Tennere ble bestilt spesielt for 100 meters vanntrykk i 72 timer.

I alle ladede hull ble det anvendt 2 stk millisekund tennere med samme nummer.

Arbeidsprosedyre for lading/kobling av utslagssalve Fossvatn

Stillas - Dette ble bygget som fagverk av tre helt opp til salven Høyde på stillaset var 18 meter.

Lading - Hvert hull ble kontrollert for riktig lengde.
Riktig antall patroner ble ført inn i hvert hull.
Tenneren ble normalt satt i 2. patron fra topp og bunn.
Alle hull ble fordemmet med isoporpropper. Pga ønske fra Statkraft om å redusere sprengstoffmengden hvis dette var mulig, ble den uladede delen øket noe.

Det ble tettet med treplugg etterhvert som hullene var ferdig ladet. Tennerledningene ble festet til trepluggen.

Kobling - Koblingen av salven ble gjort med Scotchlok koblingsklemmer, type UR, fylt med silikon for rette skjøter og spesialtenger.
Koblingsarbeidet gikk greit og effektivt - til tross for store vannlekkasjer.

Topp- og bunntenneren ble koblet til hver sin serie. Hver serie ble ført adskilt helt opp til luke-huset.

Skyteledning - 2 x 2,5 mm^2. Det ble strukket 3 stk 2 x 2,5 mm^2 ned sjakta. To ble ført inn til salva. En ca 100 meter innover i tunnelen for avfyring av skyteledningene og luftslange.

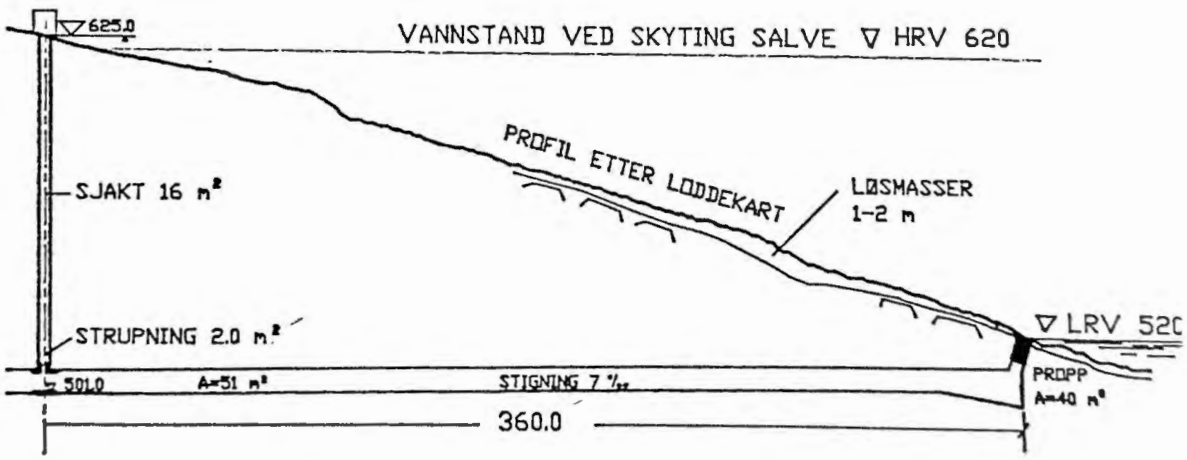
© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Skyte-
apparat - CI 160 VA Dette ble koblet til umiddelbart før avfyring.

Vann-
fylling - Det ble benyttet 2 stk pumper á 1000 m^3/time. Fylling fra Fossvatn via lukesjakta gjennom to stk 30 meter lange 10" slanger.

Luft-
fylling - 1 stk 16 m^3 elektrisk kompressor
1 stk 9 m^3 diesel kompressor
Maks. lufttrykk lik 10 bar.

PRINSIPPSKISSE
UTSLAG FOSSVATN 03.04.87



© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

TIDSFORBRUK

Lading Kobling	17 TIMER		
Rive stillas Klargjøring		27 TIMER	
Vannfylling Luftfylling			17 TIMER
AVFYRING AV SALVEN			X
	ONSDAG	TORSDAG	FREDAG

UTSLAG FOSSVATN 01.- 03. APRIL 1987

Det var planlagt å pumpe tom gropa ved utslaget under lading og riving av stillaset.

Problemer med jordfeil og derved fare for overslag og utilsiktet tenning, gjorde at alt elektrisk opplegg ble rigget ned. Det fantes ingen strømførende kabler innenfor luka.

Dette medførte at gropa ble stående full av vann. For adkomst til salven ble det brukt en plastbåt, noe som forsinket ladearbeidet noe.

På tross av store vannlekkasjer gikk selve ladearbeidet oppe fra stillaset greit.

Riving av stillaset ble også forsinket pga vannet i gropa.

Luka ble satt fredag 03.04. klokken 03:00, og vannfylling kunne starte.

Alt gikk planmessig. Vannet steg i sjakta og trykket øket i luftlommen på stuff.

Mindre luftlekkasjer ble imidlertid konstatert etterhvert som vannet steg.

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Ved vannstand på kt. 568 i sjakta var luftlekkasjene større enn kapasiteten på kompressorene. I tillegg var det konstatert betydelige vannlekkasjer gjennom luka. Lekkasjene var i skjøtene mellom de enkelte lukedelene og skyldtes en konstruksjonsfeil i pakningssystemet.

Disse lekkasjene hadde nå forårsaket en vanskelig situasjon. Det gjensto ca 32 meter med vannfylling i sjakta, dvs. en økning av lufttrykket ved stuff med 3,2 bar. Dette ville imidlertid føre til enda større lekkasjer og det kunne være fare for at luftlommen ville bli borte.

Dersom salven skulle avfyres direkte i vann, ville dette medføre ekstreme trykk på lukekonstruksjonen som dermed trolig ville bli ødelagt.

Nye beregninger ble nå foretatt. Ved oppfylling til kt. 572.8 ville dette gi et optimalt forhold mellom vannstand i sjakta og det luftrom som da var innestengt.

Beregninene som ble gjort viste at oppsvinget i sjakta ville gå ca. 10 cm over gulvet i lukehuset og at belastninene på luken ville gå opp mot det tillatte. Dette ble akseptert av anleggsledelsen.

Ruheten i tunnelen ville dempe trykkbølgen og oppsvinget noe. Dette innebar en liten sikkerhet i forhold til beregningene.

De siste metrene med vann ble fylt inn. Kompressorene gikk for fullt for å kompensere for luftlekkasjene.

Kote 572.8 ble nådd, vann- og luft-tilførsel avstengt, mens salven ble gjort klar for avfyring.

Klokken 20:08 fredag den 3. april i flott solnedgang ble salven fyrt av.

Svak risting i bakken kunne registreres og en dump lyd i det fjerne kunne høres. Salven var gått.

Etter ytterligere 2 minutter begynte flagget, som var satt opp over utslaget ca. 400 meter fra land, å heve seg. Den 1,2 meter tykke isen på Fossvatn brast.
Nok et vellykket gjennomslag ved Kobbelvanlegget var tatt.

Luka holdt og lukehusgulvet var tørt etter sprengningen. Målinger viste noe mindre trykk mot luka enn beregnet, og 20 cm mindre oppsving i sjakten enn beregnet.