

Meddelelse fra Norges Vasdrags- og Elektrisitetsvesen

TRYKKTUNNELER

OG

TETTNING AV LEKKASJER UNDER HØIT TRYKK

INNBERETNING
FRA EN STIPENDIE-REISE I AMERIKAS
FORENEDE STATER I 1921

AV

A. S. GJØLME
AVDELINGSINGENIØR

KRISTIANIA
BESØRGET AV TEKNISK UKEBLADE
1923

I

TRYKKTUNNELER

Det er nu over tretti år siden de amerikanske ingeniører optok spørsmålet om å anvende trykktunneler istedetfor tre- og jernrør- ledninger til sine vannforsyning- og vannkraftanlegg. Til en begynnelse var det små og korte tunneler med forholdsvis lite vanntrykk, som blev anlagt. Utviklingen derover har imidlertid også på dette område vært stor og enkelte av de i de senere år med hell gjennemførte trykktunnelanlegg må betegnes som helt imponerende konstruksjoner såvel hvad utstrekning som hvad dristighet angår.

I omstående sammenstilling (jfr. tabell I og II) er til orientering anført en del tekniske data vedkommende en rekke utførte amerikanske tunnelanlegg. For    gi en best mulig oversikt også over de mest benyttede amerikanske tunnelutf  ringsmetoder er samtidig medtatt en del konstruksjoner, som kanskje ikke strengt tatt kan henregnes til almindelige trykktunneler, men som allikevel har sin interesse, forsåvidt som de til sine tider utsettes for ganske betydelige utvendige vanntrykk fra grunnvannet (under tømning). Av enkelte av de korte bemerkninger som er tilf  riet i anmerkningsrubrikken vil tydelig fremgå, at heller ikke amerikanerne har vært helt fors  net for uhell og skuffelser, når det gjaldt bygning av trykktunneler.

Der er også en annen ting man vil feste sig ved, når man ser litt n  iere på den ovenfor nevnte sammenstilling, og det er, hvor forbausende få uutfored   — eller, hvad vi herhjemme kaller råsprengte — tunneler, man støter på. Dette er imidlertid ingen tilfeldighet, men grunnen er rett og slett den, at de amerikanske ingeniører har en avgjort mistillid til råsprengte trykktunneler og tillater derfor sjeldent denslags konstruksjoner anvendt, hvor det er tale om forholdsvis større vanntrykk. (I almindelighet ikke for høiere trykk enn 30—40 m. selv om bergarten er tett og god). Som en undtagelse skal dog i denne forbindelse nevnes et mindre kraftanlegg på Vestkysten, som nylig blev ferdig (Skagit River Wash., ferdig 1921) og hvor trykktunnel ($D = \sim 1,8$ m.) uten

nogensomhelst utforing var tenkt benyttet for ca. 75 m.s vanntrykk. Fjellet bestod her av god, tett gneis, og der var overalt mere enn tilstrekkelig fjellvekt over tunnelen. Råsprenge tunneler, utsatt for høiere innvendig vanntrykk enn her nevnt for Skagit River er — såvidt vites — ikke blitt anvendt derover.

Da byen New-York for vel 15 år siden besluttet å føre vann fra Catskill Montains frem til New-York blev der på forhånd opstillet sammenlignende beregninger for de forskjellige slags konstruksjoner som kunde tenkes å komme til anvendelse bl. a. også for jernrørledninger, betongrør og trykktunneler utsprengt i fjell. Det vil bli for vidtløftig her å komme inn på de forskjellige overslag. Det må være nok å opplyse, at det viste sig økonomisk berettiget å utføre en ikke ubetydelig del av den \sim 190 km. lange strekning fra Catskill-Montains frem til New-York som trykktunnel-anlegg.

I den offisielle rapport, som blev fremlagt ved arbeidets avslutning (1917) henledes opmerksomheten uttrykkelig på de ikke ubetydelige summer som er innspart ved at trykktunneler blev valgt i så stor utstrekning (tilsammen 56,5 km. trykktunnel). Også det rent tekniske blev ved denne leilighet på forhånd meget grundig overveiet. Der blev bl. a. innhentet spesielle utførlige rapporter fra de fleste allerede utførte trykktunnelanlegg rundt omkring i Statene. Under ledelse av Amerikas mest fremtredende ingeniører på området blev så utarbeidet de endelige planer under fornøden hensyntagen til de allerede innhøstede erfaringer.

Omhandlede vannbygningsanlegg blev etter \sim 10 års intenst arbeide ferdig i 1917 og har siden vært i uavbrutt drift. Arbeidets heldige gjennemførelse må visstnok i første rekke tilskrives de konstruksjonsprinsipper, som blev lagt til grunn for utførelsen. Men også den store nøiaktighet og grunndighet som blev utvist under forberedelsene samt de hensiktsmessige arbeidsmetoder som blev valgt under utførelsen — ikke minst hvor det gjaldt konstruksjonenes avtettning — har utvilsomt vært av avgjørende betydning for opnåelsen av et godt resultat. Disse anlegg — som er meget inngående behandlet i den amerikanske tekniske literatur — er — etter den almindelige opfatning innen fagkredse derover — samtlige gode eksempler på, hvorledes trykktunneler, utsatt for stort trykk, passende kan utføres.

En ikke uvesentlig del av, hvad der i de etterfølgende avsnitt er anført angående moderne amerikanske trykktunneler, er i overensstemmelse hermed hentet fra Catskill-trykktunnelene ved New-York.

Oversikt.

1. Geologiske undersøkelser.
2. Trykktunnelens beliggenhet i forhold til terrenget.
3. Trykktunnelens konstruksjon.
4. Utforingens art.
5. Betong-utforingens utførelse og avtettning. (Cementinnsprøitningsprosessen).
6. Maskineri vedkommende cementinnsprøitningsprosessen.
7. Igjenstøping av tverslag og anslutning til jernrørledninger.
8. Målingsresultater før og etter cementinnsprøitningen ved en del utførte anlegg.
9. Omkostninger vedkommende avtettningsprosessen.
10. Metoder for utbedring av sprekker o. l. i betongutforingen.

1. Geologiske undersøkelser.

De amerikanske ingeniører er fullt klar over at det ikke er nok ved trykktunnelanlegg kun å bestemme fjellets beliggenhet (profil), men at det er av avgjørende betydning for opnåelse av et godt resultat å ha full rede på før man begynner tunneldriften, hvad slags bergart man vil påtrefфе, samt hvilke egenskaper den måtte ha. De fysiske egenskaper — særlig fasthet og tetthet — er det selvsagt av den største interesse å ha på det rene på forhånd.

For tilveiebringelse av det nødvendige materiale for en uttømmende geologisk undersøkelse blir så — innenfor det område, hvor tunnelen er tenkt lagt — å igangsette forskjellige slags grunnboringer. Fortrinsvis anvendes *diamantboringer*, da de utborede fjellkjerner på en sikker og bekvem måte skaffer de forønskede

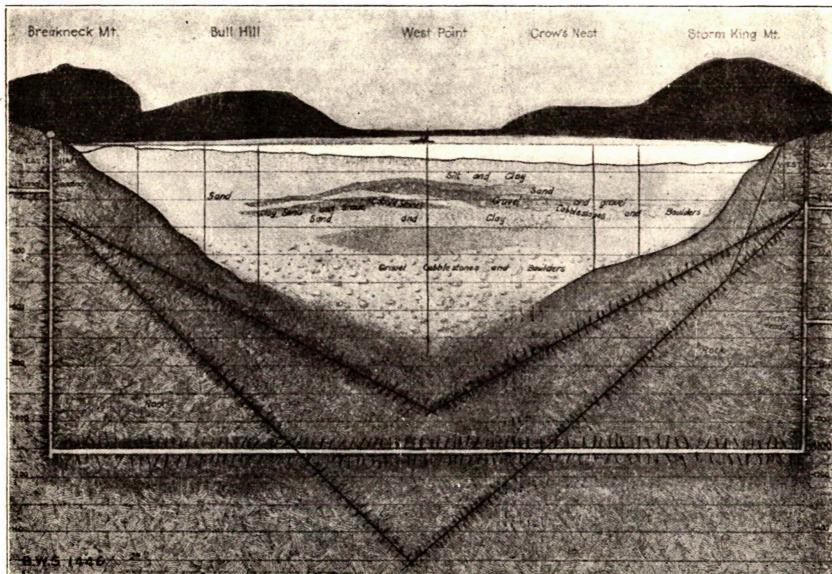


Fig. 1.
Diamantboringer for Hudson River trykktunnel.

prøver av bergarten. Ofte kan disse borer være ganske omfattende. Som et eksempel kan nevnes at der ved de foran nevnte Catskill-trykktunneler blev foretatt diamantboringer, som sammenlagt oversteg trykktunnelens totale lengde (56.500 m.) eller med andre ord mere enn 1 m. diamantboring pr. l. m. trykktunnel. Omkostningene dreiet sig her om kr. 45—50 pr. l. m. borhul. (1 \$ = 4.00.) Foranstående tegning — (jfr. fig. 1) grunnboringer fra Hudson-trykktunnelen (jfr. tabell I) — er medtatt for å gi et begrep om, hvorledes denne slags grunnundersøkelser passende kan utføres.

2. Trykktunnelens beliggenhet i forhold til terrenget.

Under fastsettelsen av tunnelens beliggenhet i forhold til terrenget har amerikanerne til sine tider regnet med en viss sammenheng i fjellmassen over konstruksjonen. Efter at der ved et par trykktunnelanlegg i Vesten (jfr. Sand Canyon og Kern River. Tabell II) var inntruffet alvorligere uhell, som antokes å skrive sig fra tunneltraseens uheldige beliggenhet i forhold til terrenget, blev denne side av trykktunnelspørsmålet optatt til grundig overveielse, og man kom da i Amerika til følgende hovedregel, som ennu er gjeldende: *Trykktunnelens beliggenhet i forhold til terrengholinjen må altid være sådan, at der på ethvert sted av tunnelen er så stor jord- og fjellvekt at disse tilsammen minst motsvarer det fulle opadvirkende vanntrykk.*

Det kan være av interesse å opplyse at denne regel er befulgt overalt ved de foran nevnte Catskill-trykktunneler. Av hensyn til det betydelige vanntrykk, som her optrer, blev desuten forlangt, at *fjelloverdekningens min. tykkelse ikke nogetsteds måtte være mindre enn ~ 45 m. (150').* Av denne grunn ligger — som det også vil fremgå av tabell II — samtlige disse tunneler næsten overalt adskillig dypere enn strengt tatt nødvendig av hensyn til det opadvirkende vanntrykk.

(NB. Jeg vil i denne forbindelse ikke undlate å sette fingeren på at ovennevnte hovedregel er i full overensstemmelse med de erfaringer, som i de senere år er gjort her hjemme. Antas *fjellets sp. v. = 2,5* forlanges $h_{min} = 2/5 H$, hvor h_{min} er fjelloverdekningens tykkelse, målt vertikalt og H innvendig vanntrykk på det tilsvarende sted.)

3. Trykktunnelens konstruksjon.

Av foranstående sammenstilling fremgår videre at den overveiende del av de amerikanske trykktunneler er utført med cirkulært tversnitt. Dette skriver sig selvfølgelig i første rekke fra, at det cirkulære tversnitt er det heldigste for optagelse av de optredende spenninger, konstruksjonen vil være utsatt for — ikke minst når tunnelen er ute av funksjon (altså kun utvendig vanntrykk fra grunnvannet).

Da man som omtalt i det foregående avsnitt, altid søker å anbringe tunnelen så dypt, at der er vekt nok til å utbalansere det opadvirkende innvendige vanntrykk, forutsettes der ikke å ville opdre strekkspenninger, som skulde nødvendiggjøre armeringer. Det optredende trykk fra grunnvannet avhenger av den relative porøsitet i fjell og betong. Man bør således gå ut fra at en tett utforing i porøst fjell vil utsettes for det fulle grunnvannstrykk, mens en mindre tett utforing i tett, godt fjell kun vil få et redusert trykk. Størsteparten av vanntrykket antas nemlig å ville gå tapt i det forholdsvis tettere fjell og den porøse utforing vil således neppe utsettes for noget nevneverdig vanntrykk. Ved beregning av utforingens tykkelse går man dog i almindelighet ut fra, at det fulle grunnvannstrykk vil kunne opdre.

I henhold til den amerikanske beregningsmåte opfattes betongutforingen helst som en hulcyylinder og beregnes passende som sådan. I almindelighet benytter man da *Lamès formel* for *tykk hulcyylinder* (jfr. Merrimans „Mechanics and Materials“).

Lamès formel.

R_1 = cylinderens indre radius.

R_2 = — „ — ytre — „ —

X = radiell avstand til det punkt, hvor påkjenningen ønskes bestemt.

T = cylinderveggens tykkelse.

P_1 = Innvendig vanntrykk.

P_2 = Utvendig — „ —

S_x = Tangential påkjenning i avstand X fra aksen.

S_1 = Tangential påkjenning ved indre cylinderkant.

S_2 = — „ — — „ — ved ytre cylinderkant.

$$S_x = \frac{R_1^2 \cdot P_1 - R_2^2 \cdot P_2}{R_2^2 - R_1^2} + \frac{R_1^2 + R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} \cdot \frac{P_1 - P_2}{X^2} \quad \dots \quad (1)$$

Kun utv. trykk ($P_1 = 0$)

Påkjenning ved indre kant ($X = R_1$).

$$S_1 = -\frac{2 \cdot R_2^2 + P_2}{R_2^2 - R_1^2} \text{ (trykk)} \quad \dots \quad (2)$$

Påkjenning ved ytre kant ($X = R_2$)

$$S_2 = -\frac{R_2^2 + R_1^2}{R_2^2 - R_1^2} \cdot P_2 \text{ (trykk)} \quad \dots \quad (3)$$

Kun innvendig trykk. ($P_2 = 0$)

(Ikke så ofte benyttet ved trykktunneler)

Påkjenning ved indre kant ($X = R_1$)

$$S_1 = \frac{R_2^2 + R_1^2}{R_2^2 - R_1^2} \cdot P_1 \text{ (strekk)} \quad \dots \quad (4)$$

Påkjenning ved ytre kant ($X = R_2$)

$$S_2 = \frac{2 R_1^2 + P_1}{R_2^2 - R_1^2} \text{ (strekk)} \quad \dots \quad (5)$$

Subtraheres nu ligning (3) fra (2) fåes endelig

$$S_1 - S_2 = \frac{2 R_2^2 - R_1^2 - R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} \cdot P_2 = P_2 \quad \dots \quad (6)$$

De største trykkipåkjenninger optrer, når tunnelen er tømt, (altså kun utvendig trykk), og da ved utforingens indre kant.

Hvor fjellvekten ikke er tilstrekkelig blir utforingen også å beregne for innvendig vanntrykk. Den største strekkspenning vil da opdre ved indre kant av utforingen, hvilket man bør være opmerksom på under armeringens plasering.

Tunnelutforingen sees undertiden også beregnet etter den vanlige formel for tynn hulcyylinder. (Også opført i Hütte.)

$$(S - \frac{P_2}{2}) \cdot T = (R_1 + T) \cdot P_2,$$

hvor S = den till. påkjenning.

Man bør være opmerksom på at denne formel kun tilnærmedsvis gir den riktige tykkelse. I almindelighet dimensjoneres etter denne formel litt for snaut.

Da den utsprengte tunnelflate selvfølgelig er meget ujevn, gjelder det å finne den mest passende gjennemsnittscirkel som utgangs-

punkt for dimensjoneringen. Erfaring har vist at denne cirkel ved tunneler med fra 2—3 m. diameter finnes 10—15 cm. utenfor den innskrevne cirkel (en cirkel innenfor hvilken intet fjell må forefinnes). Av rent praktiske hensyn bør ingen utforing utføres med mindre eff. tykkelse enn 25 cm. Der er videre ved de store tunneler den regel i Amerika, at utforingen bør dimensjoneres noget rikeligere enn beregningen tilsier.

4. *Tunnelutforingens art.*

Som foran antydet (jfr. tabell I og II) er en alt overveiende del av de amerikanske trykktunneler utføret. Den første tid blev som utforsmateriale meget hyppig anvendt hårbrent teglsten lagt i cement og med murverk eller betong bak teglstensutforingen mot fjellveggen. Som et eksempel på teglstensutforingens holdbarhet anfører Mr. Thomas H. Wiggin i et foredrag angående trykktunneler, holdt i New-York 1909, at da man efter 25 års drift lot undersøke teglstensutforingen ved New Croton Aqueduct (jfr. tabell I) viste det sig at denne hadde holdt sig meget godt og at tunnelkonstruksjonen fremdeles praktisk talt var tett. (Maks. utvendig vanntrykk ca. 95 m.)

Også glassert sten av forskjellig slags har til sine tider med fordel vært benyttet. I den senere tid er det imidlertid så godt som *utelukkende betong, der anvendes som utforsmateriale i trykktunnelene derover.* Betongutforing og jernrør kombinert støter man forholdsvis sjeldent på i den moderne amerikanske trykktunnelbygning.

Kun når vanntilsiget er så overhendig, at det ikke kan opsamles på ordinær vis, kan det bli nødvendig å anordne *jernskjold av tynne plater* for å beskytte den indre støping. Mellemrummet mellom jernskjoldet og fjellet fylles da med kult og tilføres den nødvendige flytende cement under passende trykk etter at den indre betongring er helt avbundet. (Jfr. avsnitt 5. Betongutforingens utførelse og avtettning.)

For å styrke den ferdige betongkonstruksjon kan det være hensiktsmessig å anordne en jernutforing *utenpå* den ferdige betongutforing (jfr. avsnitt 10. Metoder for utbedring av sprekker o. l. i betongutforingen.)

5. Betongutføringens utførelse og avtettning. (Cementinnsprøtningsprosessen.)

a. Beskyttelse av betongen mot lekkasjenvann fra fjellet (inn trengeende grunnvann).

Amerikanerne går her i almindelighet frem på følgende måte:
For å opnå en god og tett betongutføring må man selvfølgelig beskytte betongen mot rinnende vann under avbindingen. Dette

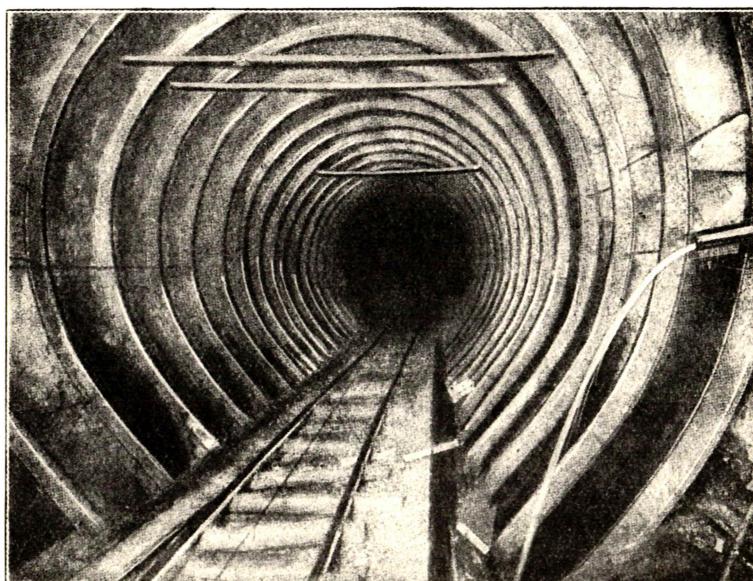


Fig. 2.
Jernskjold (Rondout trykktunnel).

opnåes best ved at man anbringer en galvanisert jernplate — en såkalt *dryppanne* — mot fjellet for å samle vannet og holde det borte fra støpningen. Dryppannen blir i almindelighet holdt på plass mot fjellet ved å fastnagle platekantene ved hjelp av trenagler, som slåes inn i et par tommer dype huller i fjellet. Åpningen mellom pannekanten og fjellet pakkes omhyggelig med asfalt, kalk, gibs, hurtigbindende cement eller lignende. Vannet blir avledet fra dryppannene gjennem 2' Ø jernrør, som føres helt frem gjennom forskallingen. Hvor lekkasjen er særlig koncentrerert kan vann-

åren opbores og rør drives direkte inn i fjellet uten anvendelse av dryppanne.

Dryppannenes størrelser kan variere sterkt (fra 0,1 til over 10 m²). Anvendelsen av dryppanner ansees i Amerika nu for den sikreste og billigste metode, hvor det gjelder å beskytte betongen mot rinnende vann. Metoden har også — som man senere vil få se — sin avgjørende fordel ved at man under den etterfølgende cementinnsprøtningsprosess kommer direkte til de vannførende slepper og åpninger i fjellet.

På særlig våte partier må man imidlertid helst gå frem på en noget annen måte. Tunellen avstrosses, så profilet blir litt rikeligere. Såsnart bunnen i tunnelen er opstøpt (vannet samles under støpningen i rikelig dimensjonerte, godt overdekkede drenasjekanaler i bunnen og holdes nede ved pumper anbragt i særskilt utsprængte gruber) reises *jernskjold* eller *jerndekke* (bestående av 3/16" — 1/8" jernplater avstivet med L-jern eller U-jernsribber (jfr. fig. 2) i passende avstand fra fjellet. Innenfor jerndekket (altså mellom dette og forskallingen) kommer så den ordinære betongutforing i den fornødne tykkelse. Rummet mellom jerndekket og fjellet pakkes tørt med pukk og kult og fylles med cementmørtel under lavt trykk (2—4 atm.) gjennem særskilte åpninger i jerndekket. Før skjoldet reises blir der boret direkte inn til de vannførende slepper og innsatt 2" Ø rør for å lede lekkasjefannet inn i selve tunnelen. Gjennem disse vannførende rør blir der så tilslutt innsprøitet cementopløsning under passende trykk (jfr. senere i samme avsnitt). Hvor denne metoden med *jernskjold* er blit anvendt synes resultatet å ha vært tilfredsstillende. (Jfr. American Society of civil Engineers. Transactions. Paper no. 1447.)

b. Betongstøpningens utførelse.

Selve støpningen utføres helst kontinuerlig fra underkant tunnel til top og i passende seksjoner f. eks. 35—40 m. Hvis transporten i tunnelen må oprettholdes under betongstøpningen er det mest praktisk å utføre utforingen i følgende tre trinn. (Jfr. fig. 3.)

1. Bunn.
2. Sidene (helst godt og vel ovenfor den horizontale diameter).
3. Toppen eller hvelvet.

Utettheter i sammenføiningene mellom to støpninger samt eventuelle sprekker blir avtettet ved cementinnsprøting. (Jfr. avsnitt

10. Metoder for utbedring av sprekker o. l. i betongutforming.) I erkjennelse av vanskeligheten med å få god og tett betong i toppen har man funnet det regningssvarende å øke tykkelsen her noget ($12\frac{1}{2}$ — 25%). Det har også vist sig hensiktsmessig å tørpakke med kult en viss del av toppen, som så senere tilføres den nødvendige cementmørtel under passende trykk. (Jfr. lavtrykksoperasjonen senere i samme avsnitt.)

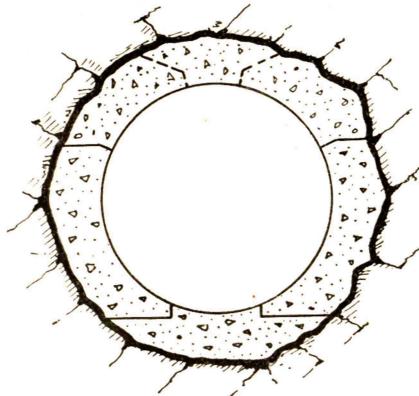


Fig. 3.
Trinnvis utstøping av trykktunnel.

krever lang tid. Hvad forskallingen angår, kan opplyses, at den i Amerika ved større tunnelarbeider ofte utføres av jern og helst transportabel.

c. Konstruksjonens avtettning ved cement-insprøyting.

Problemet innsprøyting av cement er ved denne slags konstruksjoner uadskillelig fra problemet med å ta vare på innstrømmende vann under støpningen. Som beskrevet foran må alt sådant vann holdes borte fra den ferske betong og ledes gjennem forskallingen inn i tunnelen i rør gjennem hvilke cementen så senere blir presset inn med tilstrekkelig stort trykk til å overvinne grunnvannstrykket og fordrive grunnvannet fra et visst område i trykktunnelens nærhet.

Foruten å fylle alle hulrum (f. eks. mot fjellet i toppen og rundt avstivninger og lignende) er det denne metodenes viktigste opgave gjennem cementopløsningen å gjøre konstruksjonen mere *solid* og *nest mulig uggjennemtrengelig for vann*. I tørt, tett fjell vil muligens en sådan *cementinnsprøyting* kunne sløifes uten stor risiko, men den er av *avgjørende betydning for opnåelse av et godt resultat*.

overalt hvor man har større eller mindre åpninger eller slepper i fjellet, samt hvor fjellet i sig selv ikke har den fornødne styrke og elastisitet. Videre må man være fullt klar over at vann vil undslippe gjennem alle åpninger hvor det kan trenge inn og i så meget større mengder fordi trykkforskjellen under drift i alminnelighet er så meget større. På nedenstående skisse (jfr. fig. 4) er

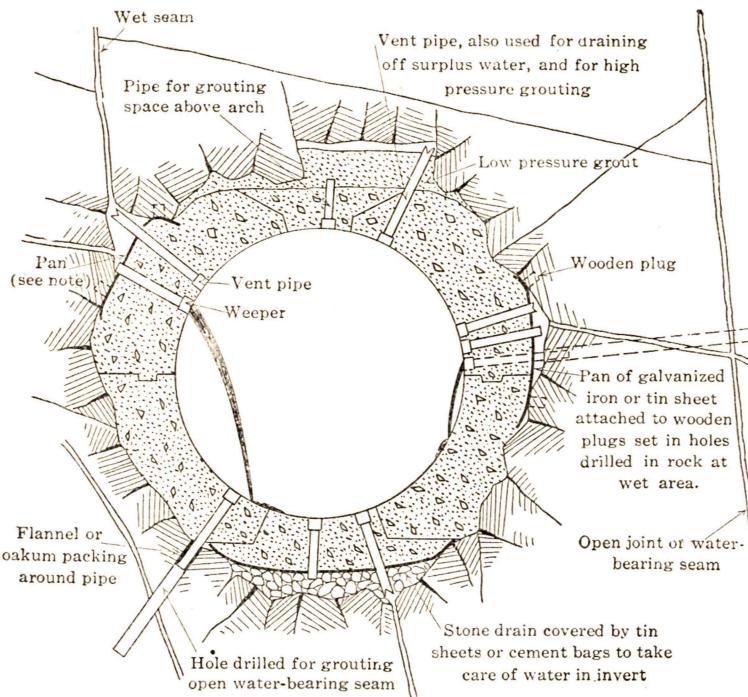


Fig. 4.

Vanlig arrangement, hvor innsprøytning av cement anvendes ved trykktunnel, (betongutført trykktunnel.)

vist det almindelige arrangement for innsprøytning av cement, som det anvendes ved de amerikanske trykktunneler og hvor det gjelder å samle og avtette lekkasjen fra fjellet.

Det må bemerkes at rummet over toppen av buen kan fylles med betong eller tør pakning (kult og pukk) alt etter omstendighetene, men i begge tilfelle må den endelige utfylling foretas gjennem innsprøytning av cement. Videre må man legge merke til (jfr. fig. 5) de antydede sperringer (cut. off walls) som passende anbringes for hver 15—20 m. i den hensikt å begrense operasjonen og

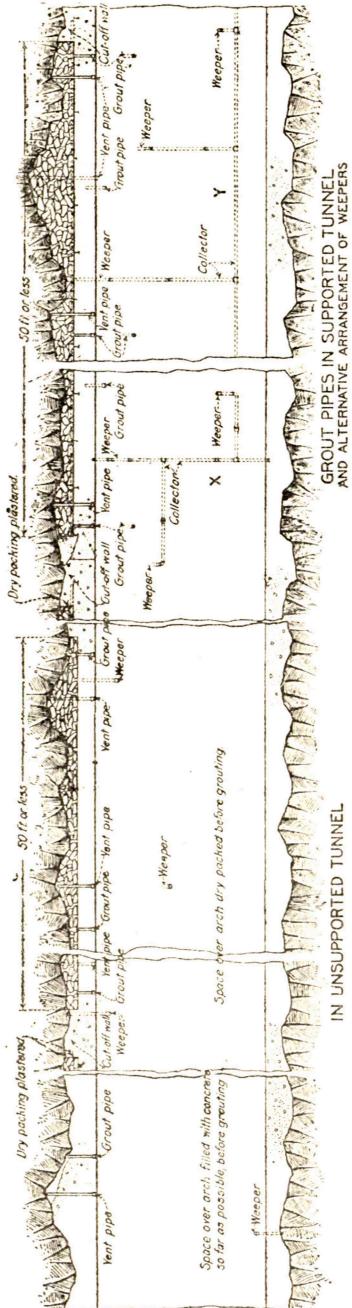


Fig. 5.
Lengdesnitt. Arrangement vedkommende cementinnsprøytningss prosessen (betongutført trykk tunnel.)

hindre cementopløsningen fra å løpe ukontrollert og for langt bort. Hvor jernforskallinger anvendes må helst oplegges særskilte 2" Ø samlerør på baksiden av forskallingen. Disse kan så føres gjennom jernplatene og inn i tunnelen på bestemte steder. Til samlerørene er knyttet et passende antall kortere rørstykker (2" Ø), som fører direkte hen til de forskjellige drenasjer (dryppanner m. v.). Man må hvor samlerør anvendes, altid være opmerksom på at det kan være forbunnet med vanskeligheter med cementinnsprøytningen, hvis ledningene blir for lange og med for mange bølgjer. Det uundgåelige tidsspilde som medfølger, når man skal plassere et helt rørsystem med kompliserte forbindelser bør man heller ikke glemme.

Da det kan være ønskelig å innsprøte cementen mest mulig direkte til hver enkelt lekkasje i fjellet blir dessuten hyppig anordnet korte (2" Ø) rør fra innsiden av forskallingen og like bort til lekkasjestedet. Hver lekkasje får da som man ser to forbindelser — en direkte og en gjennom samlerøret.

På skissen er videre avmerket blind-drenasjen og dryppannene som skal tjene til å samle og koncentrere lekkasjen, så denne bekjemt kan optas i rørsystemet. Endelig har man ventilasjonsrøret

i toppen. Cementinnsprøitningen gjennem dette rør bør helst henvæsst tilslutt.

Når man støper toppen av hvelvet er det praktisk talt umulig å pakke betongen tett mot fjellet i taket. Dessuten vet man jo at betongen trekker sig en smule sammen under setningen og avbindingen så der altid vil danne sig et lite mellomrum mellom fjell og betong. For å fylle denne åpning blir der med engang under støpningen anbragt rør for cementinnsprøitning. På strekninger hvor taket er særlig ujevnt og fjellet dårlig blir rummet over hvelvet (bestemt etter utforingens normaltykkelse) fyldt med tør pakning (pukk og kult) og derefter gjennem rør (2" Ø) tilført den nødvendige cement i flytende form. Hvor der anvendes takavstivninger blir på samme vis anbragt tørpakning mellom dekket og fjellet og cement innsprøitet etterat betonghvelvet er ferdig støpt.

Rørenes placering blir i første rekke avgjort under hensyntagen til fjellets beskaffenhet. Under normale forhold bør der visstnok anordnes rør i hvelvtoppen for hver 7,5—15 m. Hvor fjellet er særlig dårlig blir hyppig anbragt flere rør på samme sted, av hvilke minst det ene da må tjene som ventilasjonsrør for å hindre at der danner sig luftsekker og ellers for å lette fyllingen av alle hulrum. (Jfr. Høitrykksoperasjonen.) Alle rør — såvel avløps- og cementinnsprøtningsrør som ventilasjonsrørene er vanligvis 2" Ø jernrør utstyrt med avstengningskran og kupling for tilknytning til trykkslangen. De blir samtlige bragt på plass og omhyggelig kilet fast til forskallingen og sikret med ekstra hold i fjellet.

Angående cementinnsprøtningsprosessen skal opplyses at den altid utføres i to trinn, en *lavtrykks-* og en *høitrykksoperasjon*. De to operasjoner utføres helt uavhengig av hinanden.

Hensikten med *lavtrykksoperasjonen* er følgende:

1. å fylle alle åpninger mellom utforingen og fjellet, særlig over hvelvet i toppen samt å avtette konstruksjonen i skjøtene (hvor ny og gammel betong støter sammen).
2. å fylle alle hulrum i tørpakningen (kult og pukk), hvor sådan er anvendt.
3. å fylle alle porøse partier i betongutforingen.

Hvad man ved *høitrykksoperasjonen* tilskir er:

1. å komplettere fyllingen av alle hulrum mellom utforingen og fjellet, særlig på de høierliggende steder i taket samt mellom dryppannene og fjellveggen.

2. å stoppe alle lekkasjer — såvel innvendige som utvendige under drift — ved å fylle med cement alle sprekker og åpninger i fjellet omkring tunnelen — altså med andre ord en *vannett impregnering av fjellet*.

Lavtrykksoperasjonen.

Såsnart trykktunnelen er ferdig utstøpt blir lavtrykksoperasjonen satt igang. Som foran anført begynner man med rørene i toppen. Hvor forholdene er normale er det herunder tilstrekkelig å tilknytte for hver 40—60 m. Før cementopløsningen blir tilført blir rørene utblåst med luft. Det trykk som under lavtrykksoperasjonen vanligvis benyttes, dreier sig om 5—7 atm.

Prosessen må gjentas for hvert enkelt rør, og må man holde på sålenge til røret nekter å ta mot mere cement eller til man har visshet for at cementopløsningen i et hvert fall er presset et par hundre meter bortover. Man forutsetter da horizontal tunnel og at ingen sperringer er anbragt. Operasjonen langs taket blir på denne måte fortsatt fra rør til rør og altid den samme vei.

Under lavtrykksinnsprøitningen må ventilasjonsrørene i toppen holdes åpne for å gi avløp for det vann som fortrengetes samt for å gi luften adgang til å slippe ut og endelig for å hindre ethvert mottrykk fra grunnvannet. Det må også påses at samlerør, drenasjer og dryppanner samt alle de lavereliggende rør samtlige holdes åpne.

Det er, som det vil forståes, av den største betydning for opnåelse av et godt resultat, at ventilasjonsrørene er iorden, og at grunnvannet dreneres bort, så den tilførte cement får tid til å avbinde før den utsettes for nogen nevneverdig påkjenning. Ved lavtrykksoperasjonen anvendes helst cement og sand i blanding 1 C : 1 S med tilsetning av 35—40 vektsprocent vann.

Høitrykksoperasjonen.

Som foran oplyst er det hensikten med denne innsprøitning av cement under høit trykk først og fremst fullstendig å fylle alle mellemrum (også de igjenværende i toppen) mellom utforingen og fjellet og dernæst stoppe vanntilsiget fra fjellet ved å presse cementopløsningen inn i alle vannførende sprekker og slepper og i det hele lukke alle åpninger i selve fjellmassen omkring tunnelen for

derved å hindre eller mest mulig redusere lekkasjer fra tunnelen under driften.

I almindelighet begynner man denne gang med ventilasjonsrørene i toppen for å være helt sikker på at endog de minste mellomrum mellom utforingen og fjellet er fylt fullstendig. Det er da gjerne en regel først å gjøre sig helt ferdig i toppen. Dernæst kommer så turen til avløpsrørene fra dryppannene og de lavereliggende rør, som fører til slepper eller lignende. Herunder behandles alle vannførende rør først.

Til en begynnelse blir luft alene under vel 7 atm. blåst inn for å drive vannet bort fra dryppannene og de vannførende slepper og åpninger. Er grunnvannstrykket særlig stort (f. eks. over 100 m.) begynner man gjerne med noget større trykk.

Den almindelige regel under høitrykksoperasjonen er at der anvendes ren cementopløsning — altså uten sand. Efterat cementopløsningen er tilført økes trykket jevnt til f. eks. 21 atm. Hyppig anvendt ved Catskill-trykktunnelene. Trykket må under alle omstendigheter være betydelig større enn det optredende grunnvannstrykk — helst 100—200 % større av hensyn til friksjonen, som gjør sig sterkt gjeldende. Dette trykk holdes så konstant inntil 5—10 min. etter at cementopløsningen har holdt op å „flyte“. Hensikten hermed er å presse vannet ut av cementen og å opnå en god sammenpakning i selve røret. Hvor denne metode ikke tetter helt blir røret tömt for vann og isteden plugget med en tykk grøt av cement. Midlertidig tettning av vannårer under arbeidet kan ofte opnås ved å blese inn luft alene under høit trykk.

Det er hyppig blitt konstatert at det er meget vanskelig å stoppe små-lekkasjer, som kommer gjennem rør anbragt i de lavere partier av sideveggene, hvor ventilasjonsrør ikke altid lar sig anordne. I sådanne tilfelle lar lekkasjen sig best stoppe ved å drive en treplugg inn mot fjellet og derefter presse tør cement under høit trykk inn i røret. Det lufttrykk som under høitrykksoperasjonen i almindelighet anvendes varierer som regel mellom 18—25 atm. (målt på cementbeholderen). Det må naturligvis først og fremst være stort nok til å overvinne grunnvannstrykket og desuten tilstrekkelig til å overvinne friksjonen under cementopløsningens bevegelse ut i alle sprekker og åpninger i det omsluttende fjell. I riktig fine sprekker blir friksjonen meget betydelig og det har hyppig vist sig at ikke engang høit trykk har maktet å føre opløsningen noget særlig langt inn i fjellmassen.

Målinger av grunnvannstrykket bør foretas før man begynner cementinnsprøtningen. Trykk-resultatene gir dog ingen absolutt sikker anvisning på hvor meget man kan vente at fjellet vil ta. Ved disse målinger blir det næsten altid konstatert at vanntrykket i fjellet omkring trykktunnelen er falt betydelig under det oprindelige grunnvannstrykk.

Ved Catskill trykktunnelene, hvor grunnvannstrykket altid blev målt før høitrykksprosessen, viste det sig, at man opnådde gode resultater ved å forcere cementen inn med et trykk, som lå 100—200 % over det målte vanntrykk i fjellet. For å opnå at opløsningen trenger godt inn i alle åpninger og sprekker benyttes her kun ren cement. Opløsningens konsistens er avhengig av fjellets beskaffenhet. Store åpninger betinger en tykk blanding; fine åpninger derimot krever en tynn opløsning. Det er således som det vil forstås av den største viktighet for opnåelse av et godt resultat, at man til stadighet kontrollerer blandingens konsistens.

Til en begynnelse prøver man gjerne med en opløsning som ikke er for tynn f. eks. 1 del cement opløst i 1 del vann. Men for at opløsningen skal kunne trenge godt inn i de finere fjellsprekker, må den i almindelighet være meget tynnere f. eks. helt ned til 1 del cement til 15 dele vann. En så tynn opløsning alene vil selvsagt ikke være til stor nytte, men blandingen blir under sådanne forhold litt etter hvert gjort tykkere inntill røret nekter, hvorefter opløsningen så atter fortynnes passende. Tilslutt fylles røret med tykk grøt under det fulle trykk (f. eks. 25 atm.).

Til en begynnelse søkte man til høitrykksoperasjonen å bruke så finmalt cement som mulig for at den kunde bli ført inn i de minste åpninger. Da det imidlertid viste sig, at denne ekstra finmalte cement hadde forholdsvis liten styrke og at en stor procent blev utslemmet, forlot man denne og gikk over til almindelig Portlandcement av ordinær finhetsgrad. Da cementen meget lett påvirkes av fuktigheten i tunnelen, bør den altid — før den anvendes — finharpes, så eventuelle klumper eller lignende kan utskilless forinnen den kommer i blanderen.

Cementinnsprøtningen (behandlingen av et hul) må fortsettes uten avbrytelse til alle åpninger er fylt og helst til avbindingsprosessen er begynt.

Spørsmålet om når cementinnsprøtningsprosessen kan påbegynnes bør noe overveies under hensyntagen til:

1. Utforingens styrke.
2. Når betongens sammentrekkning ophører.

Ved Catskill-trykktunnelene var det i almindelighet ikke tillatt å foreta innsprøytning under høit trykk (20—25 atm.) før etter 3 måneder. Denne regel blir som oftest fulgt, men der haes også eksempler på, at man allerede etter 1 måned har foretatt cementinnsprøytning under høit trykk uten å skade utforingen. Hvad betongens sammentrekkning under avbindingen angår, så er der i Amerika ved prøver godtgjort, at den almindelighet er fullt ut tilendebragt etter 3 måneder, men at den også etter 3—4 uker er såvidt fremskredet, at man av denne grunn godt kan påbegynne cementinnsprøytningen til denne tid. Som regel kan sies at innsprøytningen av cement i en tunnel under ordinære forhold uten risiko kan iverksettes 1 måned etter at betongutforingen er foretatt.

6. Maskineri vedkommende cementinnsprøytningsprosessen.

Til blanding og utblåsning av cementopløsningen anvendes en såkalt „*tank grouting machine*“. Nedenstående skisse (jfr. fig. 6) viser en av de mest benyttede typer — den såkalte *Caniff-type*, opkalt etter konstruktøren Mr. W. L. Caniff og benyttet for første gang i 1904 ved en av de forannevnte trykktunneler i Cincinnati (jfr. tabell I).

Denne maskin som er særlig skikket for tunnelarbeidet er meget enkel i konstruksjon, idet den kun består av en cylinder utstyrt med passende rørforbindelser for tilførsel av trykkluft og tilkobling av trykkslangen. Blandingen foregår ved at trykkluft tilføres nedenfra. Utblåsningen av den ferdige blanding ved at trykkluft istedenfor nedenfra innføres i toppen av tanken. Som det vil sees er der heller ingen bevegelige dele, som på grunn av slitasje under blandingen, må utskiftes. Canniff-maskinen er konstruert for et maks. trykk på 42 atm., men benyttes sjeldent for høiere arbeidstrykk enn 20—25 atm. Både tykk og tynn blanding kan benyttes og den arbeider like godt for lavt som for høit trykk. Maskinen veier tom 250 kg.

Under den beskrevne lavtrykksoperasjon er som regel to tanker for hånden, ofte montert på en og samme tralle eller platform-

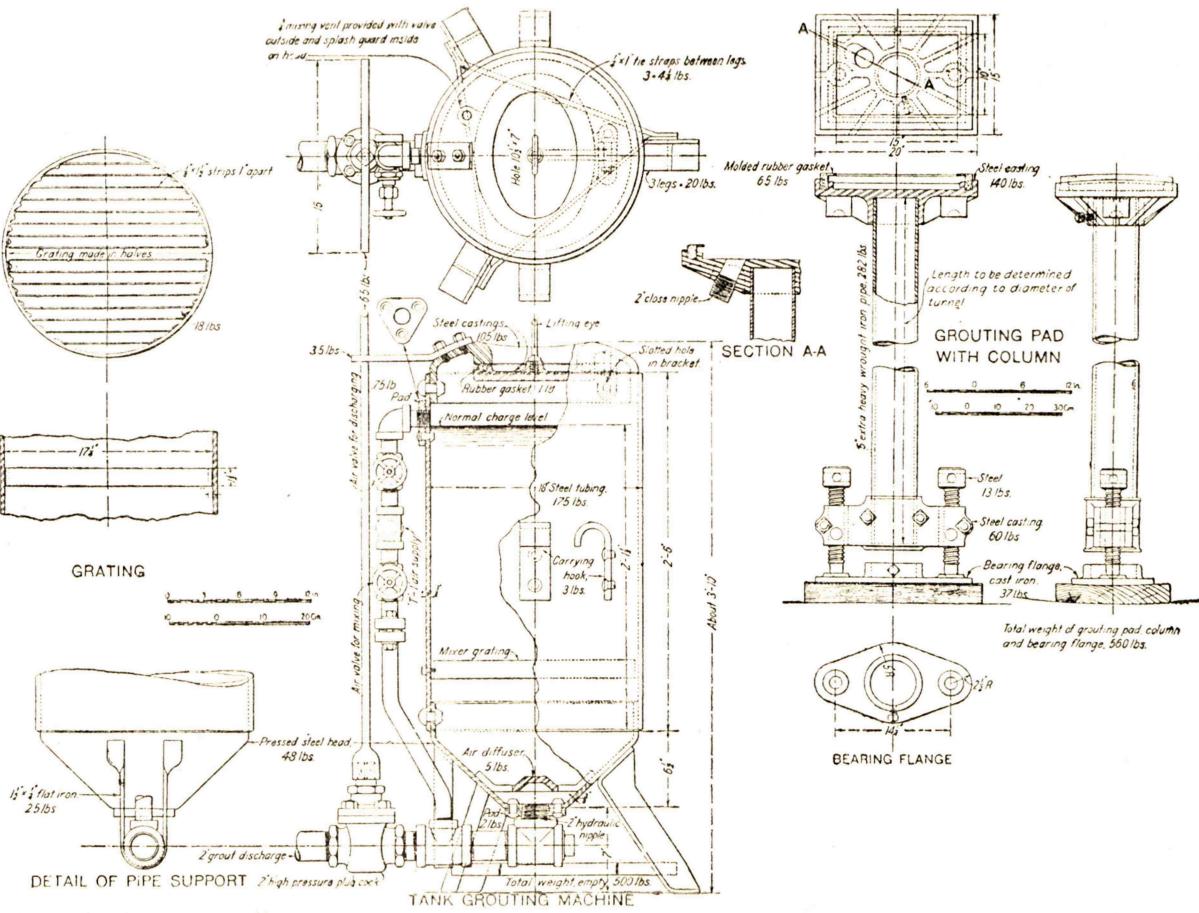


Fig. 6.
Maskiner for cementinnsprøytning.

vogn. Den ene tank fylles og blandes, mens den annen tømmes. Ved høitrykksoperasjonen er det dog like almindelig å bruke en som to maskiner. Vann til opløsningen tilføres helst automatisk fra særskilte beholdere, anbragt på siden eller over selve blandings-tanken. Trykkslangen som fører cementopløsningen fra tanken frem til innsprøtningsrørene i utforingen er i almindelighet 6—8 m. lang.

Den vanlige fremgangsmåte ved maskinens betjening er den, at man først påfyller det nødvendige vannkvantum og dernæst leder luften inn i tanken gjennem bunnen, hvorved der opstår en voldsom bevegelse i vannet og herunder tilføres så sand og cement i det rette forhold. Hvis ikke luften alene klarer blandingen røres dessuten rundt med en tre-spake. Når så blandingen er ferdig blir åpningen i toppen lukket og trykkluft tilført ovenfra. Samtidig åpnes nedre ventil og opløsningen presses så ut igjennem slangene og frem til det rør som slangen er tilknyttet og videre inn i fjellet. I det øieblikk den siste rest av opløsningen forlater tanken stenges den nedre ventil hurtig for å hindre at „efterblest“ optrer, da denne lett kan bevirke en uheldig separasjon av blandingen, samt at der dannes „luftlommer“ i de nettop utfylte åpninger.

Efter nogen tids øvelse kan en sådan Caniff-tank betjenes meget sikkert og hurtig. Som et eksempel herpå kan nevnes at der under lavtrykksoperasjonen ved en av Catskill-trykktunnelene ved hjelp av to Caniff-maskiner i løpet av 24 timer oppgis å være anbragt hele 1500 satser motsvarende $\sim 90 \text{ m}^3$ cementmørtel (blanding 1 C : 1 S.). Nedenstående skisser (jfr. fig. 7, 8, 9) viser hvorledes cementinsprøtningsarbeidet drives i en av de forannevnte Catskill-trykktunneler. Der utkreves i almindelighet 8 mann til maskinens betjening i tunnelen alene.

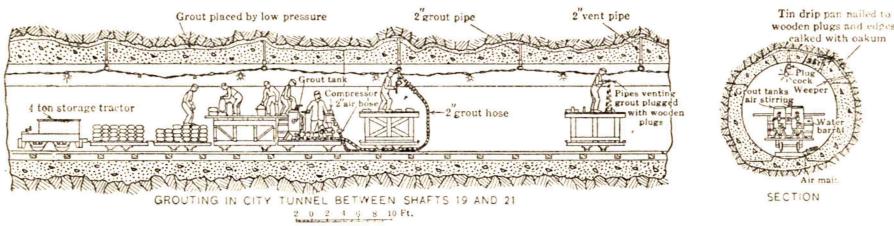


Fig. 7.
Uttstyr og fremgangsmåte anvendt i City trykktunnel, New York.

Trykkluft til tunneldriften, ventilasjonen og den omhandlede cementinnsprøtning leveres ved enkelte tunnelanlegg under ét fra et

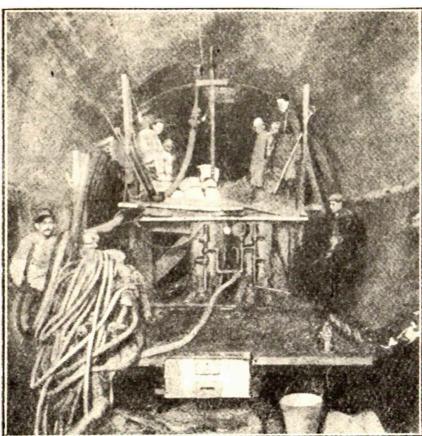


Fig. 8.
Fra cementinnsprøitningsarbeidet i City trykktunnel.
(New York).

Denne type, som er konstruert for et arbeidstrykk for 20—25 atm. blir gjerne anvendt både til lavtrykks- og høitrykksoperasjonen. Hvor der utkreves et særlig høit trykk, kombineres i alminnelighet luftkompressorer og pumpeanlegg. Ved Hudson-trykktunnelen (jfr. tabel II) blev trykket på denne måte hevet til over 50 atm.

På foranstående skisse (jfr. fig. 6) er medtatt en annen spesialmaskin — den såkalte „*Pad grouting machine*“, som også anvendes i forbindelse med cement-innsprøitning — særlig for innsprøitning av cementvelling i porøs betong-utforing. Konstruksjon og virkemåte fremgår best av skissen. Maskinen er omtvistet og sees ikke lenger så ofte anvendt ved tunnelarbeider.

større kompressoranlegg anbragt i det fri i nærheten av tverslagene. Det vanlige arbeidstrykk ved disse større kompressoranlegg er ~ 7 atm. Istedenfor disse store og kostbare anlegg sees i den senere tid til cementinnsprøitningsarbeidet hyppig anvendt små, transportable føde-kompressorer av Westinghouse-typen, som enten drives elektrisk eller ved gasolinmotor, og som da passende blir montert på samme tralle som blandingstanken eller på egne vogner, som kjøres omkring som det øvrige utstyr.

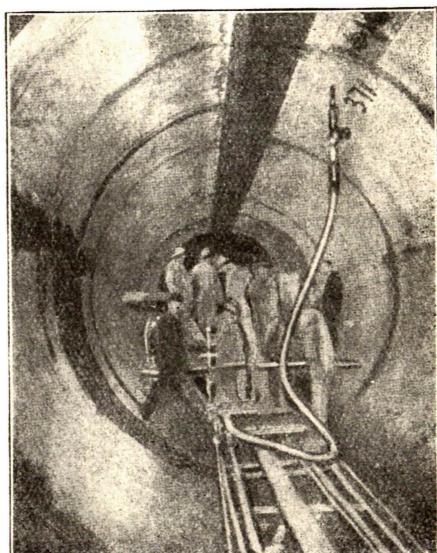


Fig. 9.
Fra cementinnsprøitningsarbeidet i en av Catskill-trykktunnelene.

7. Igjenstøpning av tverslag og anslutning til jernrørledninger.

Igjenstøpning av tverslagene ved trykktunneler utføres i alminde-
lighet i forbindelse med tunnelutforingen. Ved betongproppens
dimensjonering tas først og fremst hensyn til at avskjæringspå-
kjenningen i betongen ikke overskrides. Videre er proppens lengde
avhengig av fjellets karakter og vanntilstrømningen fra samme. I

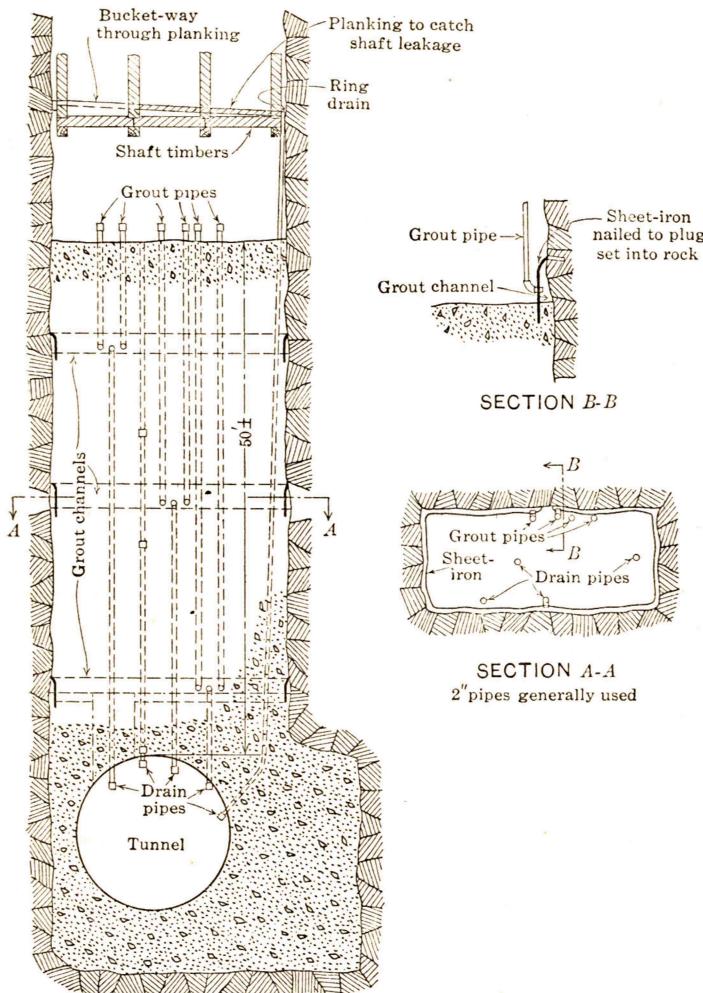


Fig. 10.

Igjenstøpning og avtetting av tverslag ved trykktunnel.

Amerika gjøres betongproppens lengde ved almindelig godt fjell fra 1/10 til 1/20 av den innvendige hydrostatiske trykkhøide. Det er blitt en ufravikelig regel derover at der mellom fjell og betong foretas en ekstra avtettning ved innsprøytning av cementopløsning.

På foranstående skisse (fr. fig. 10) er antydet hvorledes man ved en av Catskill-trykktunnelene hadde arrangert sig under igjenstøpning og avtettning av et av tverslagene, i dette tilfelle en rektangulær, vertikal skjakt. Opmerksomheten henledes særlig på de utsparede kanaler langs fjellveggen som tilslutt fylles med cementmørte under høit trykk. Ved sammenknytning av trykktunnel og jernrør synes erfaringen å peke henimot, at innstøpningen av jernrøret helst bør gjøres noget lenger enn ovenfor angitt for hel betongpropp. Prinsippet for avtettningen er her det samme som angitt på foranstående skisse.

8. Måling av lekkasjer før og etter cementinnsprøytningen.

Allerede i Thomas A. Wiggins foredrag — holdt i New York i 1909 — angående Catskill-trykktunnelene sees henvist til en rekke trykktunnelanlegg, hvor man ved anvendelse av cementinnsprøytning har opnådd tilfredsstillende resultater.

Reduksjon av innvendige lekkasjer etter cementinnsprøytningen:

Trykktunnel	Lengde i m.	Lekkasje i l. pr. sek.	
		før cement- innsprøyt- ningen	etter cement- innsprøyt- ningen
Rondout, særlig våt strekning ...	107	65	0,2
Rondout (eksklusive ovennevnte våte parti)	7 100	22	3,7
Wallkill	7 080	38	5,7
Moodna	7 180	37	6,4
City Tunnel, særlig våt strekning	28	23	0,46
City Tunnel (ekskl. ovennevnte våte parti)	28 500	74	9,6

Foranstående tabell, som er hentet fra American Society of Civil Engineers, Transactions (Paper nr. 1447, Grouting Operations Catskill Water Supply) vil gi en idé om effektiviteten av omhandlede prosess, hvor det gjelder å stoppe lekkasjer i trykktunneler.

Det skal i denne forbindelse fremholdes at de sjeldent gode resultater, som her er opnådd, ikke minst må tilskrives, at arbeidet den hele tid ble ledet av dyktige spesialister med årelang erfaring og at arbeidsstokken bestod av øvede folk, som var vel inne i cement-innsprøtningsprosessens mange finesser.

9. Omkostninger i forbindelse med cement-innsprøtningsprosessen.

På forhånd å angi nogen bestemt pris for denne del av arbeidet er — som det vil forståes — meget vanskelig, idet prisen foruten av fjellets beskaffenhet og grunnvannstrykkets størrelse også er avhengig av, hvorledes betongutforingen er utført. Videre er den sterkt avhengig av ledelsens innsikt og erfaring og arbeidernes dyktighet.

Avtettningsarbeidets omfang vil lettere forståes, når det opplyses, at man — hvor betingelsene er ugunstige — har måttet gå over

	Lavtrykks-operasjonen (1 maskine)	Høitrykks-operasjonen (1 maskine)
Seksjonens lengde i m.	3 100	3 100
Antall rørtilknytninger	170	1 683
Antall skift (8 timers)	72	116
Antall innsprøitede cementsatser (totalt)....	23 298	2 888
Antall m ³ plasert (totalt)	1 360	118
Antall m ³ pr. l. m. tunnel	0,44	0,038
Utført arbeide (progress) pr. uke angitt i l. m. tunnel	822	450
Antall arbeidere pr. skift (iberegnet betjeningen i dagen til transport o. l.)	21	17

tunnelseksjonen hele 10 gange før konstruksjonen var tilstrekkelig solid og tett. Det er heller ikke sjeldent ved vannførende fjell, at man har måttet foreta flere innsprøytninger pr. l. m. tunnel.

I foranstående tabell er opført en del data, hentet fra en av de utførte seksjoner ved City Tunnel i New York, som nærmere vil belyse disse forhold. Det skal oplyses at omhandlede seksjon var forholdsvis tør uten store koncentrerte lekkasjer. Trykktunnelens endelige diameter varierte fra 3,35 m. til 3,65 m.

Den nødvendige elektriske kraft som utkrevdes til kompressor, transport, pumper og lys, dreiet sig her om 18—20 kw.time pr. l. m. tunnel.

De totale omkostningene vedkommende cementinnsprøytningen (såvel lavtrykk- som høitrykkoperasjonen) beløp sig i det foreliggende tilfelle til $\sim kr. 60.$ — pr. l. m. tunnel. (Kurs ved omregningen 1 \$ = kr. 4.00.) Det må dog bemerkes, at arbeidet ble utført som kontraktørarbeide og i de første krigsår (1914—1916) altså før den store prisstigning var begynt. Det må heller ikke glemmes, at omhandlede arbeide var stort anlagt og ble utført av spesialister, som arbeidet hurtig og sikkert.

10. Metoder for utbedring av sprekker o. l. i betongutforingen.

På grunn av temperaturforandringer i betongen — særlig under avbindingen — er en del sprekke dannelser i betongutforingen ikke til å undgå. Foruten de vanlige, regelmessige tversgående sprekker i buen og sideveggene, hvor to seksjoner støter sammen, optrer undertiden også en del uregelmessige tversgående sprekker i 10—15 m. avstand. Disse som antas utelukkende å skrive sig fra temperaturforandringene viser sig hyppigst i taket, men også i veggene.

Alle sprekker, som skriver seg fra kontraksjonen i betongen etter avbindingen er erfaringsmessig forholdsvis lett å tette ved cementinnsprøytning. Det samme gjelder også de langsgående konstruksjonsskjøter mellom bunn og sider.

Vanskligere kan det derimot stille seg med de langsgående skjøter i buetoppen samt alle tverskjøtene. Den sikreste avtettningsmåte ved denslags skjøter og åpne sprekker er forøvrig å meisle

ut et 30—40 mm. dypt spor langs sprekken og rett og slett hamre blypakning enten i form av blytaug (f. eks. 1/4" Ø) eller som almindelig blyuld inn i sprekken. Denne metoden har overalt vist sig ganske effektiv, hvor det gjaldt å gjøre skjøter eller sprekker tilstrekkelig tette for cementinnsprøytning.

Man har ved flere amerikanske trykktunneler også eksempler på at betongutforingen under prøvningen har sprukket tiltross for at

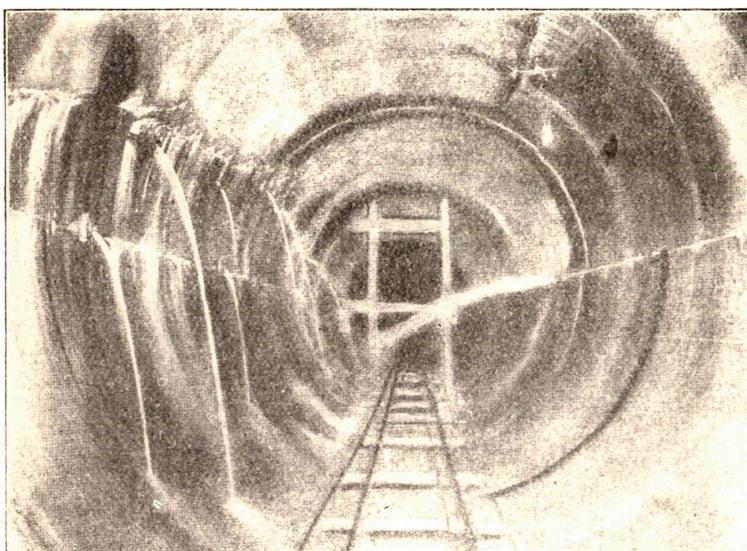


Fig. 11.
Sprukken tunnelutføring i Rondout trykktunnel.

fjelloverdekningen har vært tilstrekkelig og utføringen tett. Det har i sådanne tilfelle vist seg, at den omkringværende fjellmasse ikke har hatt den fornødne fasthet, men gitt etter for det optredende innvendige vantrykk, hvorved der er opstått strekk i betongutforingen.

Utbedringen av sådanne partier har med hell vært utført på følgende to måter:

- a. Forsterkning av den omsluttende fjellmasse ved fornyet innsprøytning av cementopløsning.
- b. Armering av betongutforingen ved anordning av sammenklin kede eller sammensveisede U-jernslinger.

Ad a. Der foretas i dette tilfelle en hel del opboringer gjennem utforingen og inn i fjellmassen. Boringene gjøres nu dypere enn under den ordinære cementinnsprøitningsprosess. Som et eksempel kan nevnes at man ved et lignende utbedringsarbeide i City Tunnel i New York ($D = \sim 3,5$ m. Ø) fant å måtte gå inntil 3 m. inn i fjellmassen med boringene for å være helt sikker. Før cementinnsprøitningen påbegynnes blir alle sprekker og åpninger i utfor-

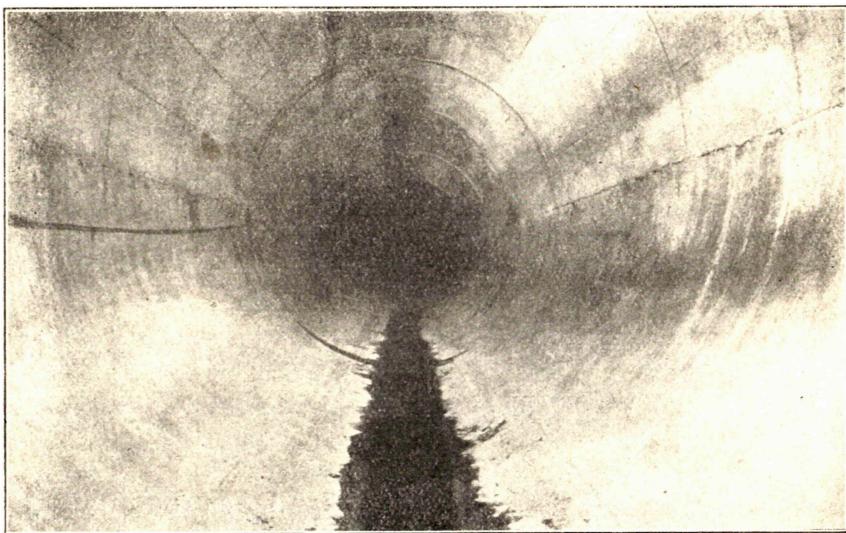


Fig. 12.
Ferdig trykktunnel.

ringen tettet med blypakkninger. Fremgangsmåten under selve innsprøitningsprosessen er forøvrig den samme som foran beskrevet, kun med den forskjell, at man nu går frem med større forsiktighet og at hvert hull gjøres helt ferdig før man tar fatt på det næste. Trykket under operasjonen økes langsomt fra 7 atm. til f. eks. 20 atm. Under alle omstendigheter anvendes tilslutt så høit trykk, at man er sikker på overalt å overvinne grundvannstrykket. Dette trykk holdes så konstant til fjellet nekter å ta imot nogen mere cementopløsning. Før man endelig avslutter reparasjonsarbeidet bør opbores prøvehuller på forskjellige steder. Ifall disse prøvehuller skulde føre vann, fortsettes cementinnsprøitningen til all lekkasje er ophørt.

Ad b. Denne utbedringsmåte med sammenklinkede eller sammenveisede U-jernslinger blev første gang anvendt ved Rondout trykktunnelen (jfr. tabell II), hvor betongutforingen efter prøvningen var særlig medtatt. Under valget av U-jernenes dimensjoner må man særlig ha for øie at ringene blir stive nok til ikke alene å opta det fulle grunnvannstrykk, men også til å motstå arbeidstrykket under cementinnsprøitningen. Før U-jernsringene settes på plass blir alle større åpninger og sprekker plombert med bly og samlerør (2" Ø) anbragt på passende steder rundt omkring for å samle og lede lekkasjenvann inn i tunnelen (jfr. fig. 11). I almindelighet anbringes jernarmeringen (U-jernene) slik, at der minst er 2" klarering imellem den gamle betongutforing og U-jernsringene. Mellomrummet fylles ved å sprøite inn cementmørtel (1 C : 1 S) gjennem særskilte opboringer langs periferien. (Ved ovennevnte anlegg blev hver 12. ring opboret, hvilket muliggjorde innsprøitning av mørtel for hver 4 meter langs utforingen). Når så denne mørtel var godt avbundet blev cementinnsprøitning i fjellmassen foretatt gjennem de vannførende samlerør. Trykk og fremgangsmåte er her den samme som foran beskrevet under den ordinære innsprøitningsprosess. Ved Rondout trykktunnelen blev dessuten anordnet et 15 cm. tykt betongdekke på innsiden av jernarmeringen for å beskytte denne best mulig mot rust samt for å gi tunnelen en glatt og jevn flate. (jfr. fig. 12).

II

TETTNING AV LEKKASJER UNDER
HØIT TRYKK

Ovenstående problem — tettning av lekkasjer under høit trykk — hører, som vi har sett, noe sammen med trykktunnelbygning. De metoder, som for tiden anvendes for avtettning av trykktuneler er i prinsippet presis de samme, som benyttes ved andre lignende vannbygningstekniske konstruksjoner, utsatt for høit trykk.

Da hovedprinsippet — *innsprøitung av cement under trykk* — allerede er inngående behandlet under trykktuneller (jfr. avsnitt nr. 5. Betongutforingens utførelse og avtettning. Cementinnsprøtingsprosessen) skal jeg ved denne leilighet kun innskrenke mig til å fremkomme med enkelte supplerende bemerkninger angående metodens mere almindelige anvendelse.

Innsprøitung av cementopløsning under trykk er for tiden almindelig anvendt i Amerika overalt, hvor det gjelder å stoppe vanntilsig fra fjell. Betingelsene for en sådan fremgangsmåte er særlig tilstede i porøst og opdelt fjell med åpne og utpregede slepper, der tillater en fri cirkulasjon for cementopløsningen. Det er en almindelig regel, at „dype“ huller (i almindelighet fra 3—5 m.) foretrekkes for grunne, idet de førstnevnte lettere kan motta cementopløsningen og derved bedre stenge for de vannførende slepper.

Erfaring har videre vist, at man ved behandling av denslags dype huller med dyspittende rør helst bør anvende tynn opløsning. Det er selvfølgelig av viktighet ikke å avbryte prosessen så tidlig, at vanntrykket i fjellet får anledning til å presse opløsningen tilbake. Hvor dype huller anvendes bør avstanden mellom hullene i almindelighet helst ikke overstige 5 m.

Optrer store og små slepper sammen utkreves en særlig forsiktighet ved bestemmelsen av cementopløsningens konsistens. Man må altid huske på, at de store åpninger og slepper krever en tykk

blanding, mens de fine slepper betinger en ganske tynn opløsning, hvis ikke de fine åpninger straks skal stoppes til uten å fylles. Videre må man merke sig at der, hvor det gjelder å gjøre porøst og sprukket fjell tett — så godt som altid anvendes ren cementopløsning — altså uten å sette til sand. Det kan i denne forbindelse

være av interesse å oplyse at det i enkelte tilfelle har vist sig fordelaktig å tilsette en smule klid, grovt havremel, fin sagflis eller lignende til den rene cementopløsning for å stoppe fine åpninger og slepper i fjell.

Under trykktunneler blev gjentagende presisert at trykket for cementopløsningens innpresning i fjellmassen måtte være stort nok til å overvinne grunnvannstrykket samt friksjonen i fjellet. Dette tillegg for friksjonen er i almindelighet ganske betydelig. Det er ikke sjeldent at det andrar til et par ganger det teoretiske grunnvannstrykk på vedkommende sted. Når det blir tale om å behandle særlig stort vanntrykk, kan man ikke altid regne

med tilstrekkelig styrke i fjellet alene til å motstå det nødvendige operasjonstrykk fra cementopløsningen. Man har således, selv hvor dype huller ble benyttet, en rekke eksempler på at fjellmassen omkring operasjonsområdet er blitt løsnet og trykket ut som følge av cementinnsprøitningen. Det kan i sådanne tilfelle bli nødvendig å styrke fjellet f. eks. ved påstøpning av betong — gjerne armert betong, før man begynner cementinnsprøitningen. Når så cementopløsningen er avbundet og lekkasjen stoppet, kan man uten risiko fjerne forsterkningen — f. eks. skyte den bort — hvorefter arbeidet kan fortsettes. Denne fremgangsmåte har hyppig med fordel vært anvendt under tunneldrift og senkning av skjakter for dyptliggende tunneler i og omkring New York. (Jfr. fig 13).

Hvor det gjelder bare for en kortere stund å stanse en koncentrert lekkasje i fjell, har det undertiden vist sig tilstrekkelig å blese inn: *luft alene under høit trykk.* —

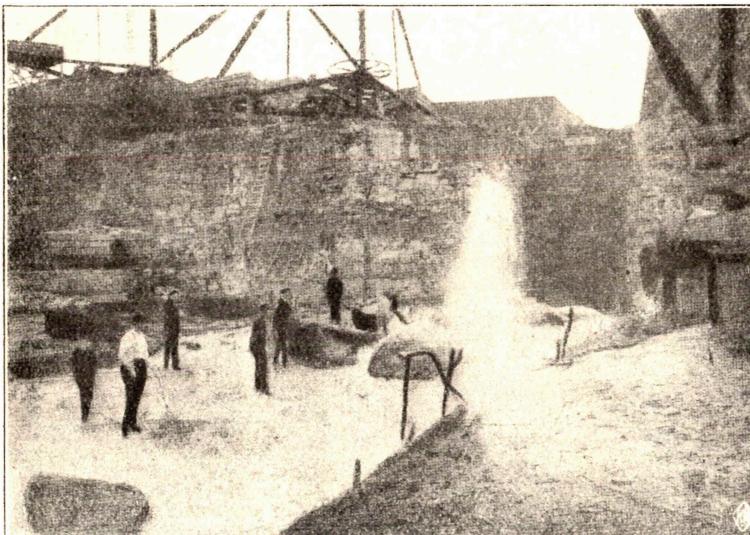


Fig. 14.
Innsprøyting av cement i damfoten for Olive Bridge dam.

Også til avletning av fjell under dammer har cementinnsprøytningsmetoden med stort hell vært praktisert på forskjellige steder over i Amerika. Man går i sådanne tilfelle gjerne frem på følgende måte:

Forinnen støpningen eller muringen påbegynnes, skaffer man sig f. eks. ved diamantboringer best mulig rede på eventuelle svake partier og åpne slepper i fjellet. Fjellmassens ugjennemtrengelighet for vann bestemmes så nøiaktig ved spesielle trykkprøver av forskjellige prøvehuller. Herunder anvendes gjerne en sterk farvet væske, som presses ned i prøvehullet under trykk. Samtidig som et hull trykkprøves observeres de øvrige. Ifall der er forbindelse gjennem fjellet (mellem prøvehull og observasjonshull) konstateres dette lett ved at vannet i observasjonshullet blir mørre eller mindre farvet av trykksvæsken.

Den systematiske styrkning og avtettning foretas så — på grunnlag av prøvningsresultatene — ved innsprøyting av cementopløsning

under passende trykk. Avtettningen kan utføres enten før man begynner med selve opførelsen av dammen eller man går først igang med cementinnsprøytingen, etterat man er kommet passende op med dammuren. Man må i siste tilfelle passe på å forlenge

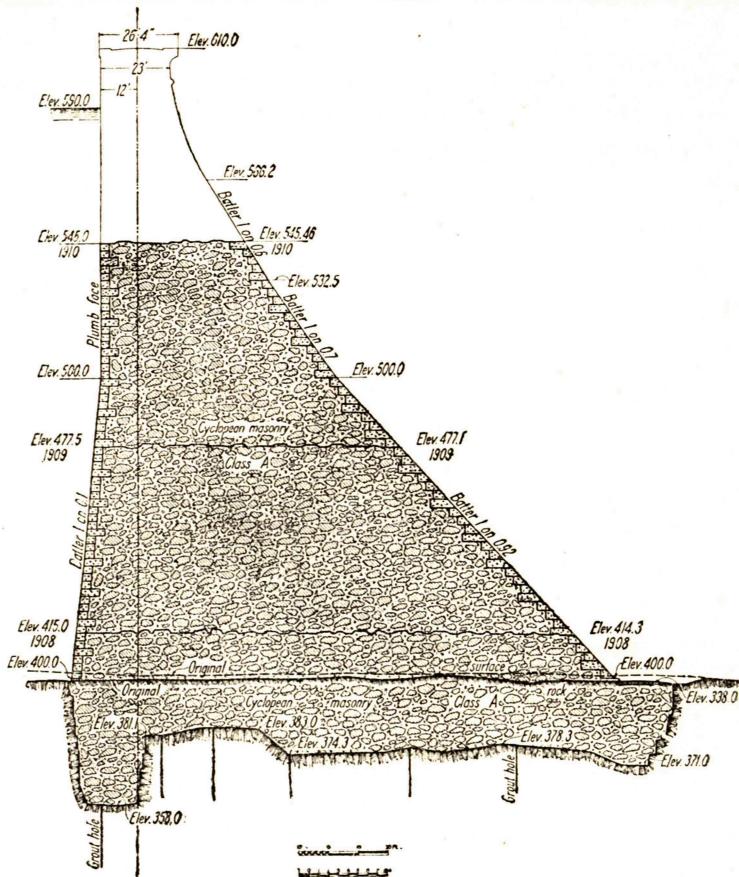


Fig. 15.
Snitt gjennom Olive Bridge dam.

cementinnsprøytingsrørene etterhvert som man går op. Hvor dypt ned man bør gå med boringene avhenger selvsagt i første rekke av hvor stort vanntrykk man faar og regne med. Ved Olive Bridge dam (jfr. fig. 15) i Staten New York fandt man å måtte bore ialt 15 huller fra 15—30 m, dype for å skaffe sig fornødent kjennskap til fjellgrunnens beskaffenhet på damstedet (gammelt elveleie).

Efterat cementinnsprøitningen er foretatt blir så på forskjellige steder ved nye prøvehuller undersøkt, om der er opnådd et tilfredsstillende resultat eller ei. Løs grunn — f. eks. grusgrunn — er også forsøkt avtettet på lignende måte ved cementinnsprøitning gjennem rør, men hittil med mindre godt resultat.

Også andre slags konstruksjoner av betong som f. eks. rør, kanaler m. v. kan hensiktsmessig avtettes ved innsprøitning av ren cementopløsning under passende trykk. De mest benyttede maskiner er her de samme, som allerede er beskrevet under trykktunneler.

Kristiania i juli 1922.

A. S. Gjølme.