

Haukur Tómasson

Um lekar bergtegundir og jarðlög
ráð til að þetta þau og fylgjast
með leka

Útdráttur úr nokkrum erindum frá
5. og 6. aðalþingi alþjóðarábstefn-
unnar um stórar stíflur (CIGB)
1955 og 1958.

Þýðingu og útdrátt gerði

Haukur Tómasson

Orkudeild raforkumálastjóra
Desember 1959.

Um lekar bergtegundir og jarðlög
ráð til að þetta þau og fylgjast
með leka

Útdráttur úr nokkrum erindum frá
5. og 6. aðalþingi alþjóðaráðstefn-
unnar um stórar stíflur (CIGB)
1955 og 1958.

Þýðingu og útdrátt gerði

Haukur Tómasson

Orkudeild raforkumálastjóra
Desember 1959.

5. Ráðstefnan 1955

R.1. F.C. Walker (U.S.A.)

(Experience in the evaluation and treatment of seepage from operating resevoirs). Meðferð leka í tilbúnum uppistöðum.

Áreiðanleiki hvernar áætlunar um heildar lekatap er háðari hæfileika framkvæmandans að áætla "apparent effective permability" allrar undirstöðunnar, heldur en finni reikningsaðferð. Við analysu á 12 stífluundirstöðum, þar sem unnt var að prófa útkomuna eftir á, reyndust einföldustu analysur jafn áreiðanlegar og flóknustu reikningar.

Höfundur leggur áherzlu á að fylgst sé með stíflunni í langan tíma eftir að byggingu hennar er lokið, og þá sérstaklega, að leki sé mældur og breytingar á grunnvatnsyfirborði í nágrenni stíflunnar. Mikilvægt telur hann að analysera línurit með hæð uppistöðuvatnsins og lekann á ordinat, tímarn á ábeissu. Með því fæst fram seinkun lekans og af honum getur maður fengið hugmynd um hverskonar lekinn er. Því minni, sem seinkunin er því opnari rásir.

Annað línurit til analysu á leka er að setja lekann á adcissu og hæð uppistöðuvatnsins á ordinat, og punktarnir tengdir saman í tímaröð. Venjulega fylgir hæð uppistöðuvatnsins árlegum sveiflum og ætti þá þetta línurit að endurtaka sig ár frá ári. Nokkuð af þessari sveiflu getur stafað af mismunandi hitastigi vatnsins og þar af leiðandi mismunandi viscositet, og er því nauðsynlegt að mæla hitastig vatnsins í uppistöðunni og gera leiðréttingu á viscositeti áður en línuritið er notað til analysu á leka. Þetta línurit er sérstaklega hægt að nota til að kontrolera einstakar mælingar á leka.

Til að fá fram hvort leki fari minnkandi eða vaxandi er teiknað línurit yfir lekann við vissa hæð á uppistöðuvatninu, og er þá skilið á milli við hækkandi og við lækkandi uppistöðu. Nauðsynlegt er að taka þar að minnsta kosti tvær hæðir á uppistöðuvatninu.

Fyrir hraun og fleiri undirstöður getur lekinn farið svo langt neðanjarðar, að ógjörningur sé að mæla hann beint. Þar verður að fá hann út með því að mæla aðrennsli og útrennsli uppistöðuvatnsins og finna mismuninn, sem er þá uppgufun og leki.

Reynt skal að fá af lekakurvunni í hvaða hæð lekinn byrjar og reyna svo að finna holurnar þegar lágt er í vatninu. Á þá að vera unnt að þetta uppistöðubotninn smám saman.

Loks teiknar höfundur línurit með leka sem abcissu og hæð uppistöðulónsins sem ordinat, og eru nú punktarnir ekki tengdir saman í tímaröð, heldur dregin meðalkurva. Við analysu á þessari kurvu á að vera unnt að fá fram hvort um einn uppruna lekans sé að ræða eða fleiri og greina þá í sundur.

R. 10 J.F. Patrick (U.S.A.)

Ráð til að kontrollera leka og minnka hann.
(Underseepage control methods on corps of
Engineer projects)

Greinin fjallar um ráð notuð til að minnka leka í tveimur uppistöðum í Columbia ánni í Norð-Vestur Bandaríkjunum. Uppi-
stöðurnar heita Chief Joseph Dam og Mc Nary Dam.

Við Chief Joseph Dam eru aðstæður þær, að öðru megin er granitberg, sem rís bratt upp frá ánni; hinumegin er fyrst mól og sandur ofan á berginu, mjög vatnslekt, en þar ofan á mórena hörð og vatnsþétt, mölin er ca 30 m á þykkt en morenan 54 m. Breidd þessarar malarhjalla er yfir 540 m, þar til hann hafði náð ástlaðri stífluhæð.

Kjarni málsins var hér, að malar og sandlögin láku verulega og ekki þótti tiltækilegt að grafa stíflu niður á fast berg. Var þá um að ræða að þetta sandlögin milli bergsins og mórenunnar, eða leggja vatnsheld jarölög yfir þar sem sandlagið kemur fram og leiða svo burt það jarövatn sem safnast undir vatnsheldu jarölogunum.

Gerð var rannsókn á permabiliteti sandlagsins og út frá því var gerð kostnaðaráætlun fyrir hina tvo möguleika. Fékkst þannig fram, að það væri rúmlega helmingi dýrara að gera 300 m "cut off" af sandlaginu en 600^m/mottu yfir rönd sandlagsins en þetta mundi eftir þeirra útreikningi gera nokkurnveginn sama gagn.

"Cut off" aðferðin var þannig í grófum dráttum, að göng voru grafin neðarlega í malarlaginu, frá þeim var frafin skurður niður á fast berg og skurðurinn síðan fylltur með steypu. Þá voru grafinn önnur göng neðst í morenunni og var síðan mölin á milli ganganna fjarlægð og sett steypa í staðinn og

þá um leið fyllt neðri göngin með steypu. En efri göngin voru fóðruð með steypu og haldið til að geta notað þau til grouting ef með þyrfti.

Vatnshelda mottan var gerð úr mórenu og var þykkt hennar hagað eftir vatnsþrýstingi þannig að neðst var hún 9 m síðan 6 m og síðast 3 m. Til að minnka og kontrollera vatnsþrýsting neðan stíflunnar voru gerð göng til að safnajarövatninu úr malarlaginu. Frá göngunum voru boraðar holur niður í fast berg til að sem minnst slyppi framhjá göngunum, en jarövatnið rennur í láréttum lögum og gæti því vatnsmikil æð auðveldlega sloppið fram hjá göngunum, og voru hárnar boraðar til að forðast það.

McNary Dam hefur á aðra hönd 60 metra þykkan og 600 m breiðan malar hjalla og er það hann, sem skapar erfiðleikana hér. Mögulegar lausnir voru þær sömu og við Chief Joseph Dam, og einnig hér var mottan valin, vegna þess að hún við kostnaðaráætlun var miklu ódýrari þótt ekki væri jafn mikill munur og við Chief Joseph Dam.

R.19. J. Caille (Marokko)

Le Barrage D'El Kansera Du Beth Sur L'Oued Beth

El Kansera stíflan er byggð á árunum 1928-'33 og er ein af fyrstu stíflunum byggðum á kalksteinslandslagi. Uppistöðuvatnið lá að mestu yfir gömlum vatnsbotni, sem áin hafði ræst fram en stíflan varð að liggja í gljúfri að mestu leyti grafið í mjög lekan kalkstein. Undir stíflunni og við yfirborð uppistöðunnar voru vatnsheld lög. Þar á milli voru mjög lek lög og voru þau þétt upp í uppistöðulónið með insprautun. Fjarlægðin milli borhola var 2,5-4 m. Þrýstingur við innsprautingarnar var 50 kg/cm^2 í lausasta steininum þó aðeins 25 kg/cm^2 . Flatarmál grouting tjaldsins var 55000 m^2 öll lengd borholna 15300 m og magn innsprautaðs cements 6.438 tonn. Kostnaður við vatnsþéttinguna var um 15% af heildarkostnaði verksins.

R. 32. T. Nilsson and B. Löfquist (Svíþjóð)

Jarðstífla

(An earth and rockfill dam on stratified soil.

The wet fill method)

Höfundur lýsir aðferðum notuðum við byggingu Borga stíflunnar í Svíþjóð. Undirlag stíflunnar er víxllög af mórenu

og sandi. Sandurinn lak en mórenan ekki. Var því stíflan byggð á efsta mórenulaginu. Stíflan var gerð úr láusum jarðefnum og var innst gerður kjarni úr mórenu pakkað við optimalt rakastig - var hann fullkomlega vatnsheldur - þar utan við var pakkað með grófara efni. Kosturinn við að pakka við optimalt rakastig var, að þá var unnt að vinna í hvernig veðri sem var, sem er mikill kostur í Skandinavíu. Auk þess var hægt að notast við blauta mórenu því hún er aldrei, eða að minnsta kosti sjaldan blautari í náttúrunni en optimalt - ca 12% raki -

R. 33. S. Elfman (Svíþjóð)

Stöðvun leka gegnum malarás

(Stopping seepage in the gravel esker at Namforsen)

Við Namforsen var á söra hönd stíflunnar malarás, sem jafnvel fyrir stífluna lak vatni. Var því gerður vatnspéttur bakki ofan við stífluna, þar sem ásin kom fram. Var það að mestu gert með því að sturta vatnspéttum jarðvegi niður í vatnið og klæða það síðan til varnarmeð steinalagi. Árangur var góður.

R. 41. A. Haegelen (Marocco)

Um grouting í kalksteini

(Travaux d' étanchement et de traitement des

Terrains de fondation du Barrage De Bin El Quidane)

Stíflan er gerð í kalksteinslandslagi og þurfti að þetta mikið berg fyrir stífluna. Groutings var gert með sérstakri blöndu af cementi og leir. Fylgst var með leka þegar stíflan var fyllt með því að lita vatn í plezometer holum og athuga rennsli á því. Hraði 12-45 m/kl. venjulega um 20 m/kl.

R. 43. R. Aris (Alsír) viðbót C. 15 í 6. ráðstefnu um stórar stíflur.

Um grouting í kalksteini

Les travaux d' étanchement des terrains du barrage

De Foum-El-Gherza

Hin 65 m háa Foum-El-Gherza stífla er byggð í gljúfri í mjúkum og mjög lekan kalkstein. Undir voru svo vatnsheld lög. Grouting tjaldið, sem gerð var til að gera uppistöðuna vatns-

Þetta var um 90.000 m² og 10.000 tonn af cementi og leir var notað, og 18.600 m borholur. Tilraun var gerð með litun á jarðvatni og var til þess notað kalíum bikromat. Þessi tilraun gaf góðan árangur.

R.66. C.F. Grundy (Bretland)

Yfirlitsgrein um grouting

(The treatment by grouting of permeable foundations of dams)

Greinin fjallar um aðferðir við grouting. Byrjar hún á skilgreiningu á hugtakinu permabel og impermabel jarðlög. Impermabel eru jarðlög talin vera, ef lekinn er minni en 1 l/m í prufuholu, þegar holan er prufuð í 10 mín. undir 10 kg/cm² þrýstingi. Þetta samsvarar permeability coefficient 10^{-7} cm/s.

Í homogenum jarðvegi er til "emeristisk formula" um það hversu langt þurfi að fara niður með grouting tjaldið.

$D = \frac{1}{3} H + C$; þar sem D er dýpt tjaldsins í m, H hæð stíflunnar yfir holuna, C konstant, breytilegur milli 8 og 25, hærrí talan fyrir meir permabel jarðlög.

Val innsprautingar efnis. Venjulegt cement er vanalegast en ef mikill straumur er í jarðvatninu getur verið hagkvæmara að nota hrað-storknandi cement. Ef heitar alkaliuppsprettur eru, getur verið nauðsynlegt að blanda efnum til að hindra of fljóta storknun. $Ca Cl_2$ eða $Na_4 SiO_4$ (natrium silikat) unnt að nota til að flýta fyrir storknun venjulegs portland-cements. Sandi er hægt að blanda saman við cement, þar sem stórar sprungur og holrúm fyrirfinnast.

Maximal kornastærð sands er 1/8 af vídd sprungna eða holrúma. Í ennþá stærri holrúmunum er hægt að nota mól saman við cementið. En í báðum tilfellum á að innsprauta með tómu cementi á eftir. Leir getur verið hagkvæmt að nota, þegar hann finnst á staðnum. Allt upp í 1/3 eftir þunga af cementi er bætt við leirinn. Einnig er unnt að blanda saman sandi leir og cementi. Tjara hefur verið notuð til að fylla stórar sprungur með vatnsrennsli meðan á innsprautun stendur en er dýr og er nú í staðinn til skiptis innsprautað cementi og tjöru.

Grouting efnið skal leyst upp í vatni og ber ekki að spara það, að minnsta kosti ekki, þegar groutina efnið er hreint

Þrýstingur við innsprautun: Hámarksþrýstingur er 0,45 . D þar sem D er dýpt holunnar í m. Venjulegar pumpur notaðar við innsprautun ná þrýstingi upp að 10 kg/cm².

Tvennskonar innsprautingaraðferðir eru notaðar önnur "packer injection" er notuð, þegar holan hefur öll verið boruð í einu og er þá byrjað neðst í holunni og haldið uppeftir. Þessi aðferð hefur þann galla, að erfitt getur reynst að hindra grouting efni frá að komast upp fyrir þakkinguna í holunni. Við hina aðferðina "stage injection" er borað aðeins lítinn hluta holunnar í einu og innsprautuð jafn-óðum. Kostur við aðferðina er, að innsprautingin verður betri en galli að hún er dýrari vegna fleiri flutninga á borum.

Við myndun grouting tjalds eru fyrst boraðar og meðhöndlaðar holur með 6-10 m millibili. Síðan tekur fyrir annarsstigs holur mitt á milli fyrsta stigs holanna. Áður en byrjað er á þriðja stigs holum er permabilitet prufað í einni slíkri og fundið hvort þörf sé á þéttari holum. Sé svo er þriðja stigs holurnar meðhöndlaðar og jafnvel fjórðastigs ef með þarf.

Upplýsingar um groutingtjald fyrir 45 stíflur eru settar upp í töflu, þar sem upp er gefið 1. cement innsprautað per m² af grouting tjaldinu 2. cement innsprautað per m borholu, 3. hversu langt innsprautaða efnið náði frá holunni í meðaltali fyrir hvert grouting tjald. 4. hverskonar berg er innsprautað.

Mest cementsnotkun var fyrir kalkstein og var hún breytileg frá 22 kg per m borholu upp í 3260 en venjulegast skipti það nokkrum hundruðum kílóa. Fyrir aðrar bergtegundir fór það sjaldan yfir hundrað kg og aldrei yfir 1000 kg. cementsnotkun per m² groutingstjaldsins var frá 1,5 kg upp í 1080 venjulegast nærri 100 kg. Innsprautaða efnið náði frá 1:1 m frá holunni og upp að 11.5 m venjulegast ca. 3 m.

"Blanket grouting" er eingöngu notuð til að auka burðarþol jarðlaga undir stíflu, en ekki til að þétta uppistöðulón.

Borholur ættu ekki að vera of víðar. Passandi vídd er 3-5 cm. Borinn þarf að vera auðveldur í flutningum. Demantsborar eru þægilegustu verkfærin. Þeir geta borað frá 30-300 cm á klukkustund allt eftir hörku bergsins.

| Nafn stíflu | Cement innsprautað í kg/m ² af tjaldi | Cement innsprautað per m borholu í kg. | Fjarlægð milli hola | Bergtegund |
|-------------------|---|---|------------------------|------------------------|
| Aqua Fria | 54 | 162 | 3.0 | Flöguberg |
| Aigle | 53 | 65 | 3.5 | |
| Ayalon | 320 | 800 | 2.5 | Kalksteinn |
| Bakhada | 140 | 350 | 2.5 | " |
| Bear Creek | 4 | 24 | 6.0 | Kvartsandsteinn |
| Bort. | 94 | 356 | 3.75 | Forngrýti |
| Camarassa | 640 | 3260 | 5.1 | Kalksteinn |
| Casteinau | 127 | 381 | 3.0 | |
| Castillon | 135 | 450 | 3.4 | " |
| Castillon | 165 | 825 | 5.0 | " |
| Chastang | 92 | 328 | 3.6 | " |
| Chickamauga | 21 | 63 | 3.0 | " |
| Cheurfas | 200 | 500 | 2.5 | " |
| Cheurfas | 14 | 49 | 3.6 | |
| Chew Stoke | 46 | 209 | 4.5 | Kalksteinsblandi |
| Cod Beck | 18 | 50 | 2.8 | Leir og Flögu- berg |
| Couesque | 103 | 244 | 2.3 | |
| Douglas & Chambon | 40 | 320 | 8.0 | Kalksteinn |
| Douglas | 80 | 192 | 2.4 | " |
| Douglas | 280 | 420 | 1.5 | " |
| Douglas | 1080 | 1190 | 1.1 | " |
| Ein Karem | 35 | 88 | 2.5 | |
| Errachty | 12 | 54 | 4.5 | Flöguberg |
| Fort Laudon | 720 | 1440 | 2.0 | Kalksteinn |
| Gour. | 20 | 60 | 3.0 | Grano-diorite |
| Genissiat | 27 | 95 | 3.5 | Kalksteinn |
| Genissiat | 220 | 462 | 2.1 | " |
| Gien Shira | 44 | 13 | 3.0 | Flöguberg |
| Great Falls | 430 | 860 | 2.0 | Kalksteinn |
| Guntersville | 3.7 | 22 | 6.0 | " |
| Hiwassee. | 10 | 45 | 4.5 | " |
| Jotty | 84 | 966 | 11.5 | " |
| Kentucky & Bakh. | 34 | 119 | 3.5 | " |
| La Selve | 123 | 307 | 2.5 | |
| Louros. | 220 | 1100 | 5.0 | " |
| Mareges. | 78 | 273 | 3.5 | |
| Meig | 1.5 | 7 | 4.5 | Flöguberg |
| North Craudach | 6.6 | 20 | 3.0 | " |
| Pont-en-Royans | 58 | 290 | 5.0 | Kalksteinn |
| Salto. | 62 | 298 | 4.8 | " |
| Soutet. | 15 | 90 | 6.0 | " |
| Soutet | 150 | 525 | 3.5 | " |
| Sioy. | 49 | 113 | 2.3 | Flöguberg |
| Sutton Bingham | 71 | 171 | 2.4 | Kalksteinn |
| Wheeler | 37 | 56 | 1.5 | " |

6. Ráðstefnan 1958

C. 15 D.M. Uguet (Alsír)

Bætt um grouting tjald

(Les travaux d'étanchement des ferrains au barrage de Foum-El-Gherza)

Eftir að grouting tjaldið, sem talað er um í R 43 í 5. ráðstefnunni, var frágengið, þótti nauðsynlegt að gera viðbótar tjald. Þetta tjald var gert 20 m ofan við eldra tjaldið en ekki látið ná undir stífluna. Í þetta tjald var fyrst sprautað leir teknum frá uppistöðulóninu, síðan steinsteypa og að lokum sérstök cementsblanda. Í þetta skipti var innsprautað 4588 t. fyrir utan vatn, sem þá ætti að hafa lokað 23.863 m^3 af holrúmi. Leki minnkaði við þessa meðhöndlun um 65%.

C.10. H. Moser and F. Neumaier (Þýzkaland)

Mæling á leka með radioaktivum isotop

(Determination of seepage flow under Rosshaupten dam by means of radioactive isotopes)

Höfundar ræða um mælingu jarðvatnsrennslis með hjálp radioaktívs isotóps (Jóð 131), sem blandað er í vatnið í borholum og síðan mælt hversu radioaktivitetin minnkar með tímanum. En það sem veldur minnkuðu aktiviteti er eingöngu útbýnning á hinu upphaflega vatni holunnar vegna aðstreymis og útstreymis vatns úr holunni og fæst því á þennan hátt beint samband á milli hraða jarðvatnsrennslis og minnkunar radioaktivitetsins. Er þá unnt að reikna jarðvatnsrennslíð eftir formúlunni $Q = V_f F$; þar sem Q er jarðvatnsrennslíð, V_f jarðvatns-hraðann eins og hann fæst við mælingar og F þverskurðarflatarmál hins leka svæðis.

R.21.C:A. Giavi and M. Sallés (Uruguay)

Um Rincon Del Bonete stífluna

Rincon Del Bonete stíflan er byggð í Rio Negro í Uruguay. Hún var byggð á arunum 1937-'45. Undirstaðan er blágrýtis-hraunlög með millilögum úr sandsteini frá lokum trias og byrjun Jura-tímabilsins. Sem sagt, eitthvað meir en 100 miljónir ára gömul. Erfiðleikarnir hér voru að millilögin voru meira eða minna lek og blágrýtislögin einnig vegna sprungna, sem í

þeim eru. Millilögin voru að nokkru leyti groutet til að styrkja undirstöðuna. En undir alla stífluna var grouting tjald gert niður á þykkt blábrýtislag 25-30 m neðan við árfarveginn. Gerð voru þrjú grouting tjöld. Í tvö með 180 cm millibili var innsprautað cement en í það þriðja, sem lá á milli hinna var sprautað cementi og kemikalium. Cementið þrengdi sér mjög stutt inn í sandsteininn í millilögunum og var því gripið til kemikalía til að þétta þau. Fyrst var þá sprautað inn $\text{Na}_4 \text{SiO}_4$, sem er leysanlegt í vatni síðan strax á eftir Ca Cl_2 og gerðist þá eftirfarandi efnabreyting:
 $\text{Na}_4 \text{SiO}_4 + 2 \text{Ca Cl}_2 = \text{Ca}_2 \text{SiO}_4 + 4 \text{Na Cl}$. $\text{Ca}_2 \text{SiO}_4$ er torleyst og féll út og þétti lögin. Hagkvæmast þótti að sprauta einungis litlu í einu ca 200-300 lítrum, því þá nýttust kemikaliarnir betur. Eftirfarandi konstantar eru gefnir upp um grouting tjaldið

| | |
|------------------------------|-------------------------------------|
| Holur | 8.950 m |
| Cement | 1.686 tonn |
| Natrium silikat við 42 Baumé | 198 tonn $\text{Na}_4 \text{SiO}_4$ |
| Óuppleyst kalsium kloríð | 73 tonn Ca Cl_2 |