



ORKUSTOFNUN

Stíflur úr þjappaðri þurrsteypu (hnoðsteypu)
(RCC-DAMS, Roller Compacted Concrete
Dams)

Birgir Jónsson

Greinargerð BJ-93-01

Janúar 1993

STÍFLUR ÚR ÞJAPPAÐRI ÞURRSTEYPU (HNOÐSTEYPU) (RCC-DAMS, Roller Compacted Concrete Dams)

1. Inngangur.

Á síðustu árum hefur rutt sér til rúms ný tækni varðandi notkun á sementsmagurri steypublöndu við mannvirkjagerð, svokallaðri þjappaðri þurrsteypu (á ensku RCC, eða Roller-Compacted-Concrete). Einnig hefur heyrst nafnið hnoðsteypa um þessa steypublöndu. Steypublöndu þessa er hægt að meðhöndla eins og önnur jarðefni sem notuð eru við jarðstíflugerð. Þannig er hún lögð út og þjöppuð á staðnum.

Til þess að RCC-mannvirki við vatnsaflsvirkjanir (t.d. stíflur, garðar og yfirföll) séu sambærileg að kostnaði við samsvarandi mannvirki úr jarðefnum, þarf að nota eins lítið sementsmagn og mögulegt er, helst innan við 100 kg í rúmmetra af RCC-steypu (lean paste).

Slík blanda þolir illa hnjask og flutning, nema helst á færibaldi, annars leitast efnin við að greinast að í blöndunni. Ef ráðist verður í að beita þessari tækni hér, þarf að flytja til landsins bæði færibandakerfi og blöndunarstöð.

Ákveðið hefur verið byggja upp stíflugarð við inntak Búrfellsvirkjunar II með þessari tækni og einnig verður athuguð hagkvæmni þessarar stíflugerðar fyrir ýmsar smástíflur í veitum til Fljótsdalsvirkjunar. Þá er mögulegt að yfirfall Eyjabakkastíflu verði af þessari gerð.

Kostnaður við RCC-stíflu er svipaður og við hefðbundna jarðstíflu, þar sem ná þarf í jarðefni nokkra vegalengd (5-10 km). Vatn má flæða yfir RCC-stíflu og sparast því mikil umsvif og rask vegna yfirfalls, auk kostnaðar við það (sjá samanburð á mynd 1). Auk þess er RCC-stífla mun efnisminni, eða um 15-30% af rúmmáli sambærilegrar jarðstíflu. Efnisnámur verða því mun minni og framkvæmdin umhverfisvænni.

Í sambandi við áður nefndan stíflugarð við Búrfell II, Eyjabakkastíflu í Fljótsdalsvirkjun og einnig vegna RCC-frávikstilboðs í Blöndustíflu 1988, hafa verið gerðar umfangsmikl- ar efnisprófanir á mögulegum RCC-fylliefnum á þessum stöðum. Var m.a. prófað efni sem ekki hefði nýst í hefðbundnar jarðstíflur, né í venjulegar steinsteyp- tar þungastíflur, en reyndist þó ágætlega í RCC-steypu.

Efnisrannsóknir þessar voru unnar af Ríkharði Kristjánssyni, Jóni Skúlasyni og Nirði Tryggvasyni. Nú eru þeir að taka saman fyrir Landsvirkjun yfirlit um rannsóknir frá Búrfelli II. Sérstakur erlendur ráðgjafi Landsvirkjunar varðandi RCC-stíflur við Búrfell og á Eyjabökkum hefur verið Ernest Schrader frá Bandaríkjunum.

2. Sögulegt yfirlit um RCC-stíflur.

Gífurlegur fjöldi af stíflum hefur verið reistur um allan heim undanfarna áratugi. Á þessum tíma hafa vinsældir steinsteypra stíflna, hærri en 15 metra, farið mjög dvínandi. Samt hefur steypnum bogastíflum fjölgað á þessum tíma, svo öll fækkunin hefur verið í þungastíflunum, m.a. vegna hærri byggingarkostnaðar en við jarðstíflur. Hér fylgja nokkrar tölur um hlutfall steyptra stíflna af heildarfjölda stíflna hærri en 15 metra.

Fram að 1950 voru 38% allra stíflna steyptrar.

1951 til 1977 voru 25% allra stíflna frá þessu árabili steyptrar.

1978 til 1982 voru 16% allra stíflna frá þessu árabili steyptrar.

Til skýringar á þessari þróun má vitna í "Engineering News Record" 1969.03.06: "The technology of mass concrete construction simply has not kept pace with the art and science of earthmoving".

RCC-stíflur fara að verða mjög algengar á 9. áratugnum, eftir rúmlega 2ja áratuga þróunartíma, en segja má að þær séu enn í örri þróun. Samanborið við hefðbundnar steyptrar þungastíflur eru RCC-stíflurnar úr mun ódýrara efni og þurfa styttri byggingartíma. Útkoman er mun ódýrari stífla með helstu kosti steinsteyprtrar þungastíflu, t.d. hvað varðar öryggi í flóðum. T.d. hefur 4-5 metra há flóðbylgja flætt yfir 6 m háa RCC-stíflu aðeins einum mánuði eftir að lokið var við að reisa hana í fulla hæð og varð ekkert rof á henni.

Mjög erfitt getur verið að vinna við jökulruðning, sem notaður er í hefðbundnar jarðstíflur, við þær veðurfarslegu aðstæður sem ríkja á hálendi Íslands. Of mikil vætutíð veldur erfiðleikum við útlögn efnisins. Eins þolir jökulruðningurinn ekki að hann sé lagður út í frosti. RCC-steypa er einnig viðkvæm fyrir þessum þáttum, en vegna mun styttri byggingartíma ætti RCC-stífla að vera hagkvæmari kostur á ýmsum stöðum á hálendinu. Útlagning asfaltkjarna í jarðstíflu þolir þó enn betur rysjótt veðurfar og frost á byggingartíma.

RCC-steypa er ekki bara nýtt byggingarefni eða ný steypublanda, sem fær svipaða efnis-eiginleika og venjuleg steinsteypa, heldur er líka um að ræða nýja byggingaraðferð. Enn eru menn ekki endilega sammála um aðferðir og blöndunarhlutföll, m.a. vegna þess að þarna koma saman tvær greinar byggingarverkfræðinnar með mismunandi sjónarhorn, þ.e. steyputækni annars vegar og jarðtækni hins vegar. Jarðfræði og jarðverkfræði tengist báðum greinunum. Hér á landi virðist "jarðtæknistefnan" ætla að verða ríkjandi yfir "steyputæknistefnunni" varðandi stíflur úr RCC-steypu, þannig að hér verður líklega notað eins lítið sementsmagn og mögulegt er.

3. Fylliefni í RCC-steypu

RCC-steypa samanstendur að mestu af sömu þáttum og venjuleg steinsteypa; sementi, kísilryki (fly-ash), fylliefni, vatni og íblöndunarefni ef með þarf. Hlutföll þessara þátta eru þó önnur en í venjulegri steinsteypu og ekki eru gerðar eins miklar kröfur til fylliefnisins.

Sementið getur verið af öllum gerðum; venjulegt portland-, hrað- eða pozzolan sement. Kísilryk má vera upp í 10-20% af sementsmagninu. Samkvæmt prófunum sem gerðar hafa verið á RCC-blöndum hér á landi, virðist best að nota hægvirkt sement (Blöndu sement, pozzolan sement), (Jón Skúlason o.fl. 1992). Eftir 90 daga verður RCC-steypan úr hægvirka sementinu sterkari en blöndurnar úr venjulegu portland- eða hraðsementi. Hér á landi er áætlað að nota aðeins 60-120 kg sements í rúmmetra RCC-steypu svo hún geti orðið samkeppnishæf í kostnaði við jarðstíflur.

Fylliefnið sem notað er í RCC-steypu, inniheldur mun meira af fínefni en fylliefni fyrir venjulega steinsteypu, þ.e. efni sem er að kornastærð fínni en 0.074 mm, eða fínni en US sigti no. 200. Sementsrýrasta RCC-steypan (jarðtækni-RCC-steypa) er einna fínefnaríkust. Fínefnið fyllir upp rúm milli stærri korna þannig að sement sparast, þjöppun verður betri og vatnspörf minnkar. Sérstaklega á þetta við ef fínefnið er nær eingöngu bergmylsna, eins og gerist hér á landi, en ekki leirsteindir, sem vilja draga í sig vatn.

Kanna ber fyrst mögulegt fylliefni sem næst væntanlegu stíflustæði, frekar en að ná í efni lengra að þó að það virðist hafa betri eiginleika. Oft dugar ágætlega að nýta efni á staðnum og veðrunareiginleikar RCC-steypu, án sérstakrar veðrunarvarmar, hafa reynst vera með ágætum jafnvel við erfiðar aðstæður í Klettafjöllum Norður Ameríku, þar sem frostveðrun er mikil.

Við blöndun RCC-steypu í Norður Ameríku er mesta kornastærð fylliefnis yfirleitt 50 mm og 30-35% af fylliefninu er sandur. Hlutur fínefnis getur farið yfir 10%. Mikilvægt er að kornadreifing fylliefnisins sé jöfn og samfelld til þess að ná sem bestri þjöppun, þ.e. minnst grop og mest rúmþyngd. RCC-steypan verður þá sterkari og hleypir síður vatni gegnum sig, eins og vænta má. Lárétt lekt verður oft meiri en lóðrétt lekt í RCC-steypu þar sem hún er völtuð í lögum eins og gert er í hefðbundnum jarðstíflum.

4. Ýmislegt um möguleika á RCC-stíflum hérlendis.

RCC-stíflur koma helst til greina hér á landi þar sem erfitt er um efni í hefðbundnar jarðstíflur. Þetta er til dæmis algengt á móbergssvæðum og raunar víða annars staðar. Gera þarf prófanir á RCC-blöndum úr þeim lausu jarðefnum sem algengust eru á móbergssvæðunum, þ.e. móbergssandi (gléri) og ösku, vikri og gjalli í ýmsum blöndunarhlutföllum.

Hvað varðar athugun á undirstöðum RCC-stíflu, þá þarf að gera þar svipaðar kröfur og gerðar eru fyrir steinsteyptar þungastíflur, þar sem þverskurður RCC-stíflu og þar af leiðandi flatarmál undirstöðu er ekki ósvipað því sem gerist með hefðbundnar þungastíflur.

Ódýrasta RCC lausn hérlendis er eflaust að byggja upp einfaldar stíflur, sem þola að vatn flæði yfir þær, þ.e. virka eins og yfirföll. Ef veðrun reynist of mikil má í fyllingu tímans sprauta steypu, e.t.v. með trefjum, á yfirborð RCC-steypunnar. Önnur leið gæti verið að strax í upphafi sé höfð t.d. 0,5 m yfirþykkt á stíflunni, til að hafa eitthvað upp á að hlaupa ef veðrun skyldi eiga sér stað á steypunni.

Á svokölluðu Hraunasvæði, sem er hásléttan milli Jökulsár í Fljótsdal og dalanna sunnan Berufjarðar, hefur verið gerð áætlun um virkjun, Hraunavirkjun, sem nýta mun vatn af nær öllu þessu svæði. Gert er ráð fyrir að reisa þurfi margar, fremur smáar, stíflur víðsvegar um svæðið. Þarna er mjög lítið um laust efni og það litla sem er, hentar hvorki í hefðbundnar jarðstíflur né steinsteypu. Hins vegar er sennilegt að það henti vel í RCC-steypu ásamt efni því sem koma mun úr jarðgöngum, sem bora þarf vegna virkjunarinnar (ca. 10-30 þús. rúmmetrar á km jarðganga). Eftir er að gera allar prófanir á RCC-blöndum úr slíku efni.

5. Kostnaður.

Upplýsingar um kostnað í þessum kafla eru fengnar hjá Birni Stefánssyni og Jóni Skúlasyni á Almennu verkfræðistofunni hf. Þeir gera ráð fyrir að leigja þurfi tæki til blöndunar á RCC-steypu ásamt færiböndum a.m.k. í fyrsta RCC-verkið hér á landi. Leiga fyrir nauðsynlegustu tæki í eitt sumar ásamt hluta áhafnar og flutningskostnaði (án VSK) er áætlað nálægt 50 Mkr (verðlag 1992).

Í Sauðárveitu, sem tengjast mun Fljótsdalsvirkjun, er áætlað að nær allar stíflu verði RCC-stíflugarðar af mjög einfaldri gerð (A2 á mynd 1). Gert er ráð fyrir RCC-blöndu með innan við 100 kg sements í rúmmetra RCC-steypu. Áætlaður verkkostnaður (án ofangreindra RCC-tækja) er 4.5-6.5 þúsund kr. á rúmmetra RCC-steypu (án VSK), miðað við verðlag 1992. Þetta verð þarf að margfalda með 1,65-1,75 til að fá út heildarkostnað. Áður þarf að bæta við kostnaði við hreinsun stíflugrunns og bergídælingu, en hvort tveggja er framkvæmt á svipaðan hátt og undir þéttikjarna úr jökulruðningi. Stíflugarðar þessir yrðu ekki þaktir hefðbundinni steinsteypu til veðrunarvarnar eins og algengt er með RCC-stíflur. Rúmmál slíkra garða (gerð A2) er innan við 30% af rúmmáli hefðbundinna jarðstíflna fyrir sama vatnsborð.

Við áætlaða stækkun Búrfellsvirkjunar (Búrfell II) er gert ráð fyrir fremur lágri RCC-stíflu við inntak virkjunarinnar úr Bjarnalóni. Sú stífla yrði af gerð A1 á mynd 1. Stíflan yrði lóðrétt vatnsmegin, klædd þéttidúk og þar utan á væri raðað steinsteiptum einingum. Verkkostnaður með þéttidúk og steiptum einingum við þessa RCC-stíflu, sem er aðeins 10.900 rúmmetrar, er áætlaður 9000 kr. á rúmmetra og er þá talinn með kostnaður við útveggun tækja til landsins (verðlag des. 1991, byggingarvísitala 187,4). Við þessa tölu þarf að bæta við kostnaði vegna hreinsunar stíflugrunns og bergídælingar og margfalda síðan með 1,65-1,75 til þess að fá út heildarkostnað.

Ofangreint áætlað einingarverð á einungis við um þetta ákveðna mannvirki við Búrfell, sem er að rúmmáli aðeins 10.900 rúmmetrar. Garðurinn er þar að auki tilraunaverk og því ekki endilega beitt ódýrustu mögulegu lausn, heldur er verið að reyna ákveðna byggingaraðferð, sem hægt væri að beita við byggingu stærri stíflu síðar.

Ef kostnaður við Búrfellsstífluna er brotinn niður frekar, þá kostar þéttidúkurinn með uppsetningu um 3000 kr á fermetra (þar af 2000 kr í efni). Dúkurinn yrði alls um 2000 fermetrar. Steinsteiptu einingarnar eru áætlaðar á 8000 kr. á fermetra (alls um 2500 fermetrar í allan garðinn).

Rúmmál RCC-stíflna af þeirri gerð sem ráðgert hefur verið að reisa við Búrfell (gerð A1), er aðeins um 15% af rúmmáli hefðbundinna jarðstíflna fyrir sama vatnsborð.

Athuga þarf að á Hraunasvæðinu þarf mikla vegagerð og verður einingarverð í vegum þar sennilega hátt. Vegna mikilla sementsflutninga inn á svæðið þarf að vera fært stórum flutningabílum að öllum RCC-mannvirkjum.

6. Samantekt.

A) Stíflur úr RCC-steypu (þjappaðri þurrsteypu) eru sennilega hagkvæmar hér á landi, sérstaklega þar sem lítið er um hentug jarðefni í nágrenni við væntanlegt mannvirki.

B) Minna jarðrask er við byggingu RCC-stíflu, en hefðbundinnar jarðstíflu, þar sem efnisnám er mun minna og ekki þarf að byggja sérstakt yfirfall til hliðar við stífluna.

C) Bráðlega er von á samantekt um þær efnisprófanir, sem fram hafa farið á hinum ýmsu RCC-blöndum sem prófaðar voru vegna væntanlegrar RCC-stíflu við stækkun Búrfells-virkjunar.

D) Áætla þarf magn og útbreiðslu mögulegra fylliefna á svæði Hraunavirkjunar sumarið 1993 og taka sýni til prófana veturinn 93/94, til þess að hægt sé að meta hvort raunhæft sé að gera ráð fyrir RCC-stíflum við hönnun Hraunavirkjunar.

Heimildir:

Hansen, K.D. and Reinhardt, W.G., 1991. Roller Compacted Dams. McGraw-Hill. 300 bls. (Aðalheimild - ekki getið sérstaklega í texta).

Jón Skúlason, Njörður Tryggvason og Ríkharður Kristjánsson, 1992. Roller Compacted Concrete in Iceland. Í: XIV Norræna steinsteypuráðstefnan og Norræna steypuiðnaðarþingið, BETON 92, Reykjavík, Iceland.

Björn Stefánsson, munnlegar upplýsingar.

Jón Skúlason, munnlegar upplýsingar.

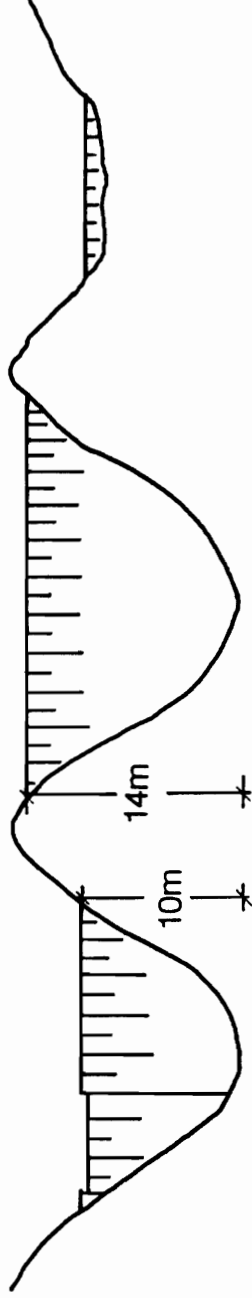
Ríkharður Kristjánsson, munnlegar upplýsingar.



VOD MJ 767 MJ
93.02.0076 Gyða

Samanburður á RCC-stíflum og hefðbundnum jarðstíflum

Langsnið stíflna

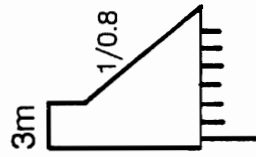


A) RCC-stífla/yfirfall

B) Jarðstífla

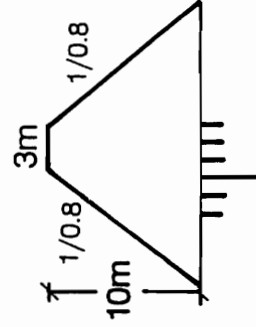
C) Yfirfall

Þverskurður stíflna

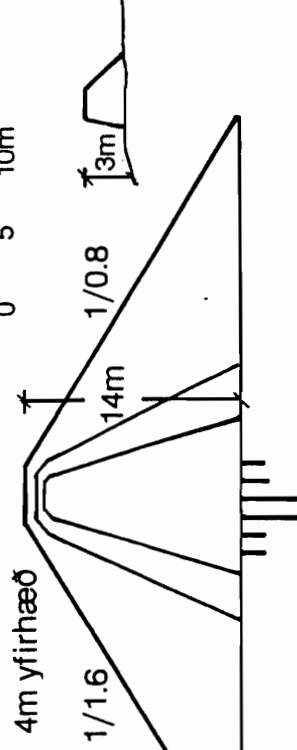


A 1) RCC-stífla/yfirfall

klædd þéttidúk
og steyptum
einingum
vatnsmegin



A 2) RCC-garður/yfirfall



B) Jarðstífla

C) Yfirfall

Fyrir 10m háa stíflu:	RCC-stífla	55	rúmmetrar á lengdarmetra
	RCC-garður	110	rúmmetrar á lengdarmetra
	Jarðstífla	390	rúmmetrar á lengdarmetra