

Hreinsiborun með háþrýstispúlun

**Sverrir Þórhallsson**

**Greinargerð SP-2000-01**

**ORKUSTOFNUN****Rannsóknasvið**26.01.2000

---

**HREINSIBORUN MEÐ HÁPRÝSTISPÚLUN****Inngangur**

Borholur á háhitasvæðum eiga það til að safna í sig útfellingum með þeim afleiðingum að með tíma dregur úr afköstum. Algengast er að kalk (kalsít,  $\text{CaCO}_3$ ) falli út við suðuborð í holum og þar rétt fyrir ofan, en einnig eru þekktar kísilríkar súlfíðútfellingar sem dreifast mun jafnar í holunni. Þetta vandamál kom fyrst fram í Hveragerði þar sem vinnsluholur hitaveitunnar hafa verið hreinsaðar einu sinni til tvisvar á ári í áratugi. Í Svartsengi var hreinsitíðnin tvisvar á ári í upphafi rekstrar fyrir liðlega tuttugu árum en síðan hefur verulega dregið úr henni. Tvær holur í Svartsengi hefur ekki þurft að hreinsa í 15 ár (SG-11 og 7) og eina í níu ár (SG-12). Auk framangreindra holna hefur þurft að hreinsa tvær holur í Krölfu (KG-9 og 28) og holur á Reykjanesi (RN-8 og 9). Vel tókst til að þróa borbúnað til að bora útfellinguna burt án þess að "kæfa" holurnar, þ.e. með holuna í blæstri. Venjuleg borkróna er notuð og bor með drifmótor í mastri ("top drive"). Smíðuð var sérstök "pakkdós" til að þétta að borstöngum sem þurfa að vera sléttar að utan. Þetta hefur gefist mjög vel og er íslensk uppfinning. Áhugi hefur verið hjá Alberti Albertssyni hjá Hitaveitu Suðurnesja að þróa borkrónu til að hreinsa útfellingar með háprýstispúlun með vatni, enda er í Svartsengi þegar fengin góð reynsla af slíkri hreinsun í yfirborðslögnum. Sameignarfyrirtæki hitaveitunnar og Jarðborana hf., Jarðhiti hf., hefur nú hafið undirbúning að þessu og er þessi greinargerð samin fyrir fyrirtækið til að draga saman forsendur fyrir hönnun krónunnar og breytingum sem gera þarf á borbúnaði sem notaður hefur verið til þessa. Þessi tegund hreinsiborunar er þekkt erlendis frá og var í tengslum við samantektina leitað upplýsinga hjá þeim sem til þekkja. Einnig var aflað upplýsinga hjá tækjaframleiðendum til að unnt verði að smíða viðeigandi búnað hér á landi. Í greinargerðinni verða þessar upplýsingar kynntar og tillaga gerð að smíði krónu fyrir aðstæður í Svartsengi.

**Dæmi um hreinsiboranir erlendis**

Fyrirtækið Halliburton hefur í áraradír boðið þjónustu við "Hydro Blasting" til að hreinsa varmaskipta, rör og borholur. Fyrirtækið er eitt stærsta þjónustufyrirtæki olíuöndunarins og smíðar eigin dælur sem eru mjög háprýstar. Haft var samband við það árið 1996 skömmu eftir að áhugi vaknaði á notkun þessarar tækni. Á svipuðum tíma efndi fyrirtækið Blástur sf., sem annast hefur háprýstihreinsanir á lögnum í Svartsengi, til kynningarfundar í Reykjavík þar sem fulltrúar Byron Jackson, sem starfar á svipuðum sviðum og Halliburton, kynntu "coil tube" borstreng og reynslu fyrirtækisins við hreinsiborun á olíuholum. Coil tube (CT) borstrengur er úr heilum stálrörum sem undin eru upp á stórt kefli, ekki ósvipað og garðslanga, og slakað með glussabúnaði í holuna (mynd 1). Þessi búnaður er mikið notaður við efnameðhöndlun á borholum og einnig í seinni tíð við hreinsiboranir og jafnvel borun á grönnum holum í bergi. Mikil reynsla er fengin af hreinsiborunum í olíuholum og Halliburton hefur einnig fengist við að hreinsa jarðhitaholur t.d. í Indónesíu og Japan. Lýsingu á því er að finna í grein eftir starfsmann fyrirtækisins í Indónesíu og upplýsinga var einnig aflað frá Japex í Japan sem hefur látið fyrirtækið vinna svona verk fyrir sig. Undirritaður fékk einnig tilboð frá Halliburton 1996 í hreinsiborun, miðað við aðstæður í Svartsengi. Ýmist hefur borhverfill "down hole motor" verið settur neðst á CT strenginn eða þá króna með spúlstútum sem snýst. Hreinsun var gerð í

blásandi 240°C heitri holu í Indónesíu en í Japan voru holurnar kæfðar. Fyrirtækið gerir útreikninga til að ákvarða fjölda spúlstúta og þvermál og er niðurstaðan all breytileg. Jarðboranir hf. eiga eina háþrýstidælu (Halliburton HT-400) sem fyrirtækið notar til steypinga á fóðurrörum og pökkunar til að örva holur. Þetta er sama dælan og notuð hefur verið erlendis við háþrýstihreinsanir. Á mynd 2 er afkastaferill Halliburton dælnnar sýndur og merkt við hvaða þrýsting og dæluafköst jarðhitaholur hafa verið hreinsaðar erlendis. Einnig eru sýndar tvær línur um prófun á samspili þrýstings og afkasta sem gerð var í Japan núna nýlega. Takmörkuðu vatnsmagni er dælt í holurnar og er “friction reducer” notað, efni sem lækkar seigju þess. Verið var að hreinsa leiðara jarðhitaholna, en þrátt fyrir að stíflur innan í leiðara væru fjarlægðar náðu holurnar ekki alveg fyrri afköstum, enda trúlega einhver útfelling einnig úti í jarðhitakerfinu sem ekki næst til. Við mótun þessa verks verður tekið mið af þessum niðurstöðum og notuð svipuð aðferð við nálgun á vali spúlstúta.

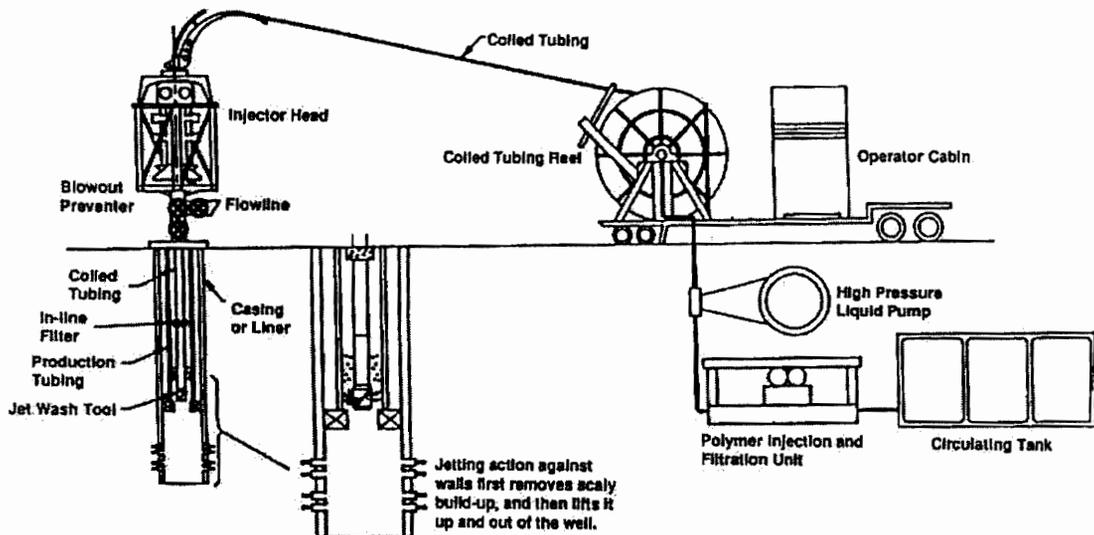
## Helstu forsendur

Hér að neðan verður lýst helstu forsendum við frumhönnun krónunnar:

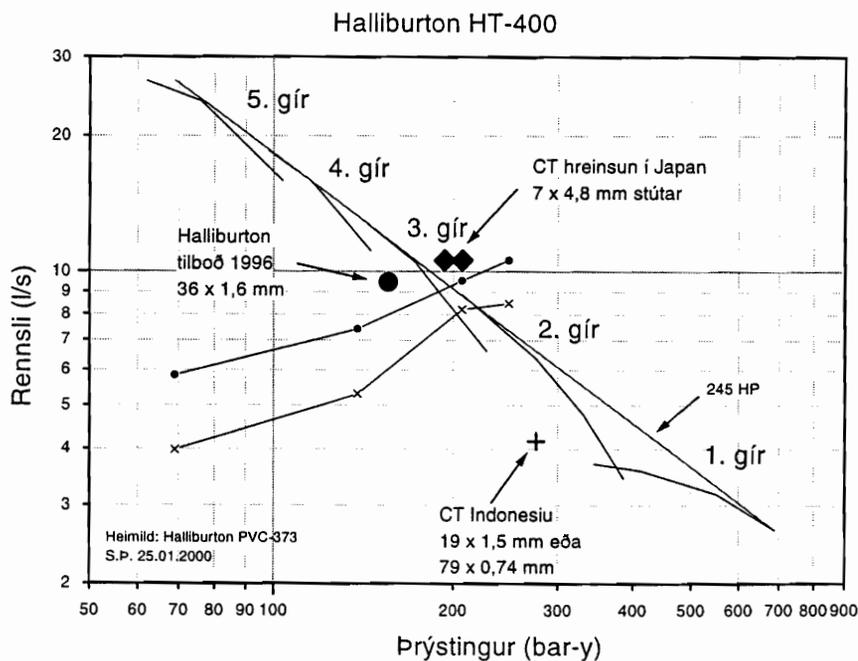
1. Bor Jarðborana með “top drive” og “pull down” verður notaður, en ekki “coil tube” búnaður eins og erlendis. Þetta er viss kostur því borinn getur snúið borstrengnum og þarf því ekki sérstakan motor niðri í holu til þess eins og við notkun CT.
2. Háþrýstidæla Jarðborana Halliburton HT-400 verður notuð og miðað við að fullnýta afkastagetu hennar, en hún gefur um 245 HHP. Afkastageta dælnnar, þ.e samspil magns og þrýstings, er sýnd á mynd 3.
3. Borstrengur sem notaður hefur verið í Svartsengi nýtist áfam. Hann er 4 ½” að utanmáli, með 3 ½” API (?) tengjum og er sléttur að utan, ásamt 4 ½” álagsstöngum. Þrýstifall í borstreng, miðað við 500 m, og í toppbúnaði (case 1 svifill) er sýndur á mynd 4.
4. Pakkdós sem smíðuð var til hreinsiborana í Svartsengi verður notuð, sjá mynd 5. Þetta takmarkar lengd krónunnar við ca. 500 mm því að krónan þarf að komast fyrir í rýminu frá stálblendu neðst í pakkdósarbúnaðinum og að tungu holulokans.
5. Miðað er við aðstæður í Svartsengi hvað fóðringarþvermál snertir og hita- og þrýsting í blásandi holu, sjá mynd 8.
6. Krónan mun verða ydduð og klædd “karbíð” kurli til að vinna svipað og mulningskróna fyrir járnarusl, “junk mill”, en þó með þremur nógu stórum sporum í til að hleypa holustreyminu og spúlvatninu upp holuna. Miðað er við að krónunni sé snúið hægt til að fá góða dreifingu á strolum frá spúlsútunum og einnig er karbíð oddunum frá “junk mill” ætlað að skeina það í burtu af útfellingunni sem eftir kann að vera á rörveggjunum.
7. Spúlsþissar verða valdir (fjöldi og gatastærð) miðað við upplýsingar frá framleiðendum um rennsli við gefinn þrýsting, sjá myndir 6 og 7. Valdar verða tvær stærðir þannig að unnt verði að samvelja stúta til að mæta mismunandi afkastapörf.
8. Talsverð hætta er á að holan kólni of mikið við ádælinguna og “kafni”. Til að draga úr hættuni verður miðað við að reka kerfið við eins háan þrýsting og lagnir borsins þola (þ.e. við tiltölulega lítið rennsli). Markmiðið er þó að fullnýta allt afl HT-400 dælnnar, því þetta er fyrst og fremst spurning um að beita “vatnsaflí” til að losa um útfellingarnar. Eftir er að skoða þau mál frekar en hér er miðað er við að ná megi 200-275 bar (3000-4000 psi) vatnsþrýstingi frá dælu. Val stúta byggir á 250 bar þrýstingi. Mjög mismunandi er hve háan þrýsting þarf og fer það eftir eðli verksins. Í töflu 1 er listi yfir helstu hreinsanir í iðnaði og þann þrýsting sem beitt er við háþrýstispúlun með vatni.
9. Gerðar verða ráðsafanir til að hindra bakrennsli upp strenginn með því að setja tvo einstefnuloka í strenginn. Annar verður í krónusöbb en hinn neðarlega í strengnum. Miðað er við að báðir einstefnulokarnir verði með málmsætum og smíðaðir úr ventlum

díselvéla, frekar en hefðbundinn “Baker” loki.

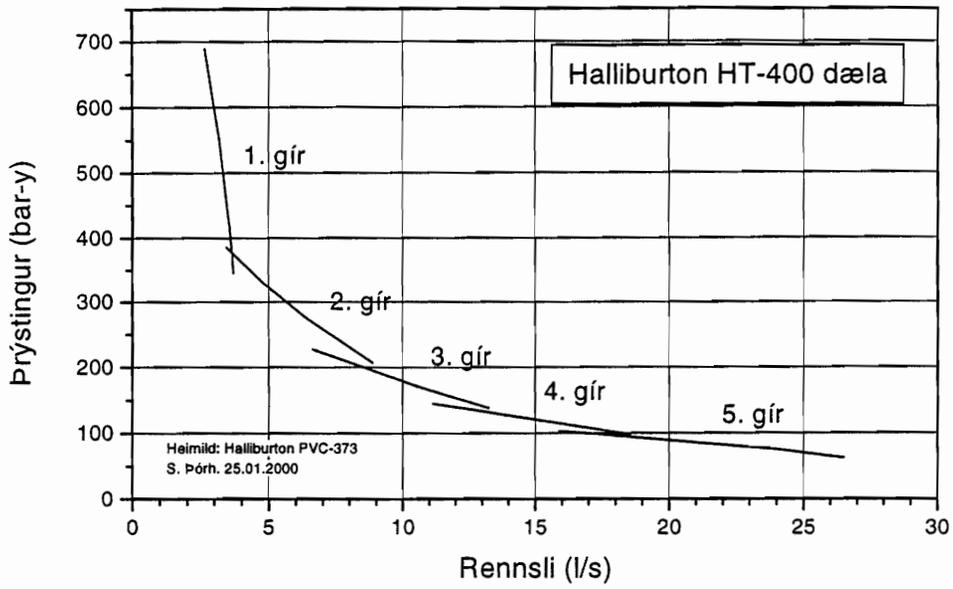
10. Við upptekt borstrengsins geta komið skvettur (gos) af sjóðandi vatni og þarf því að gera ráðstafanir til að hindra það, m.a. með ádælingu af köldu vatni af og til. Einnig þarf að setja topp á stengurnar við upptekt til að beina slíkum skvettum frá bormönnum, komi þær til.



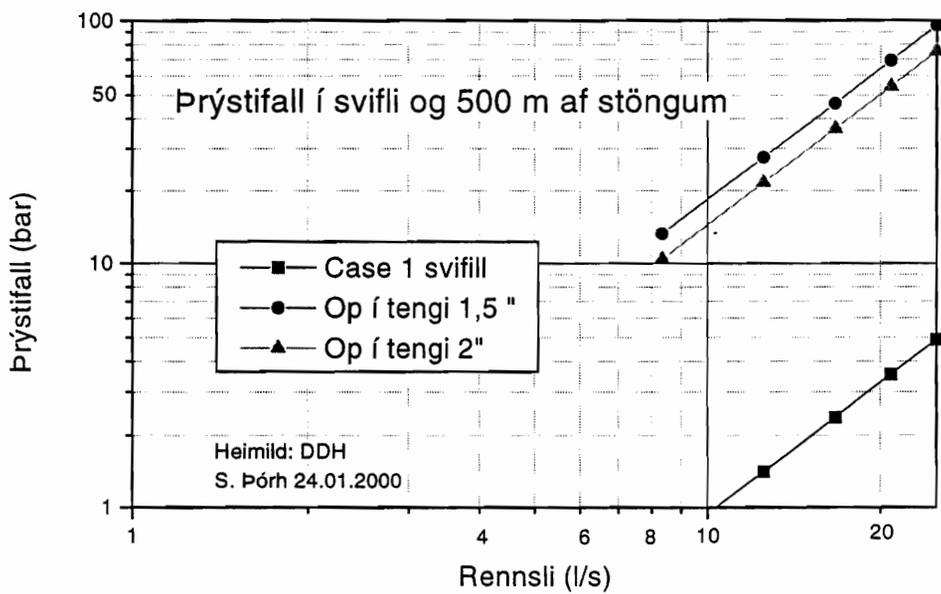
Mynd 1. Uppsetning búnaðar í Indónesíu við “coil tube” háþrýstihreinsun á háhitaholu.



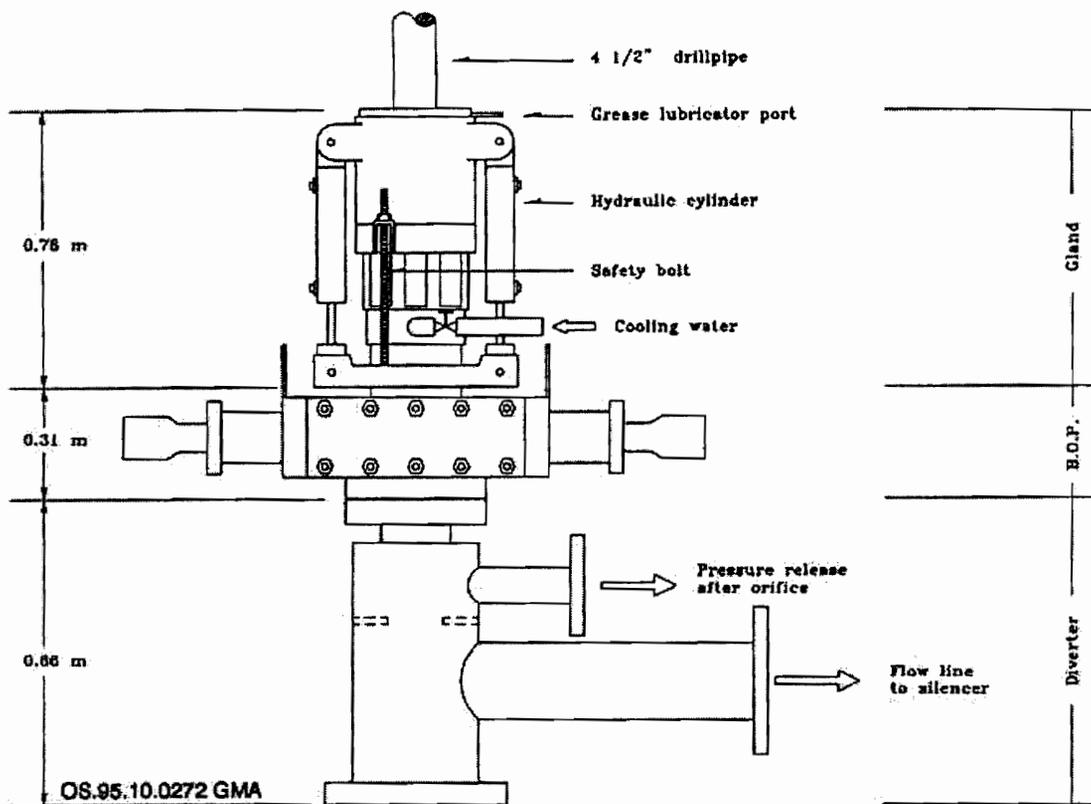
Mynd 2. Afkastaferill HT-400 stimpildælu. Einnig er merkt inn á myndina rennsli og þrýstingur við fyrri prófanir í Indónesíu og í Japan ásamt tilboði sem Halliburton gerði 1996 vegna hreinsunar í Svartsengi.



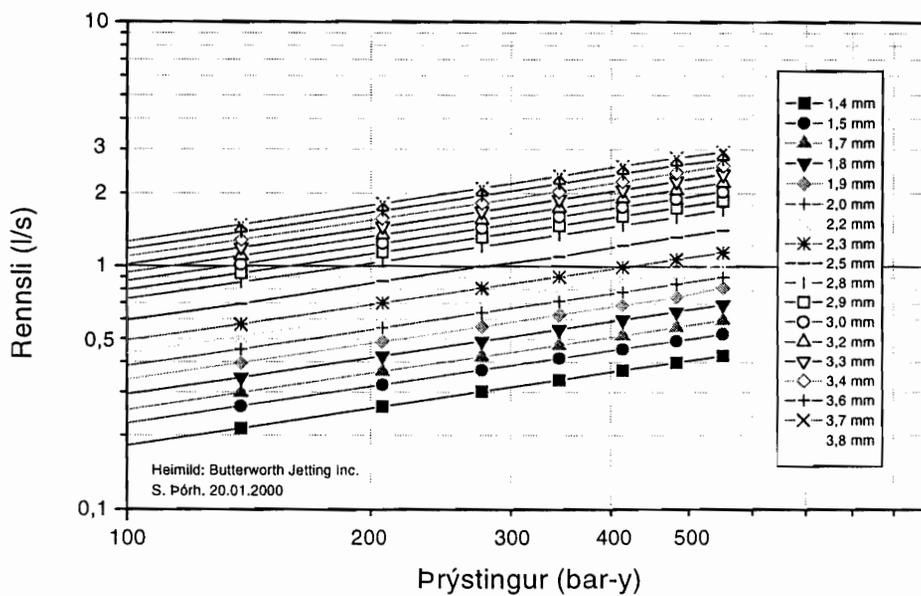
Mynd 3. Afkastaferill Halliburton HT-400 dælu.



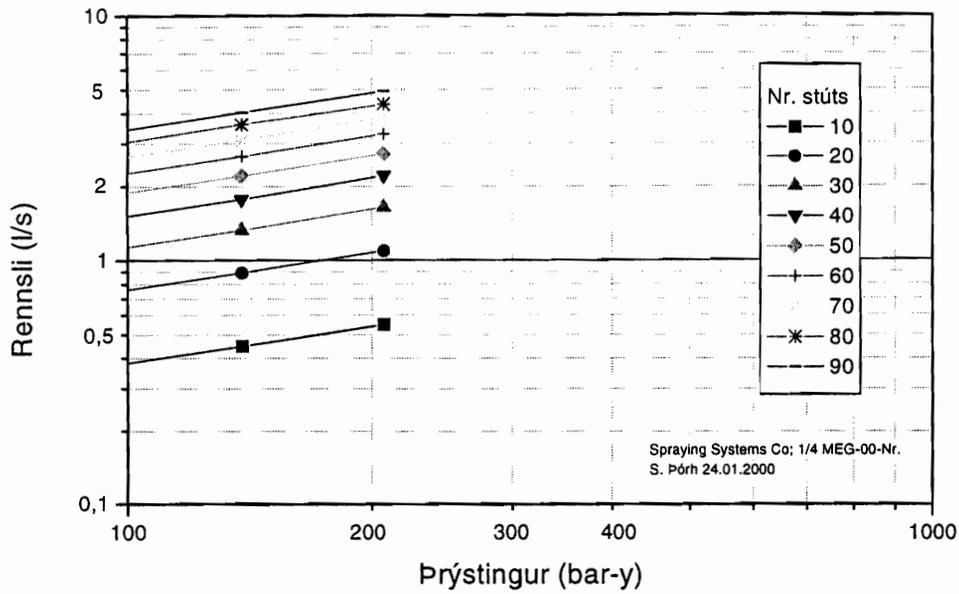
Mynd 4. Þrýstifall í borstreng og toppbúnaði (case 1) miðað við 500 m lengd á borstöngum.



Mynd 5. Pakkdós sem þéttir að sléttum borstöngum. Hreinsikrónan þarf að passa í rýmið undir blendu og að tungu í aðalloka ca. 500 mm.

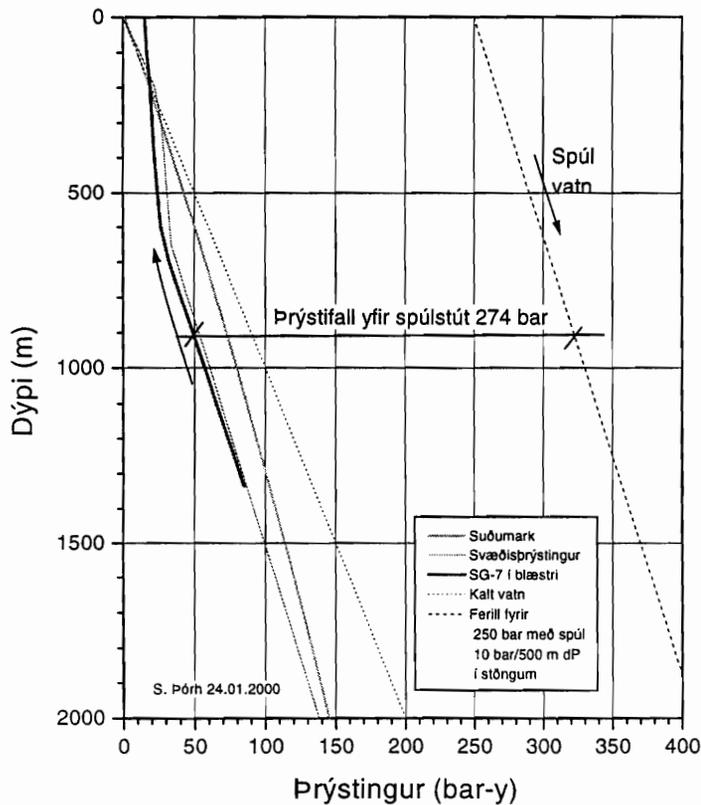


Mynd 6. Afkastaferill spúlspíssa Butterworth Jetting Systems Inc. fyrir mismunandi þvermál gats.



Mynd 7. Afkastaferill spúlspíssa Spraying Systems Co. miðað við Nr. spíss (ekki þvermál).

Spá um þrýsting við háþrýstipvott í borholum í Svartsengi



Mynd 8. Þrýstingur í holu í Svartsengi sem er í vinnslu og þrýstifall sem verður yfir spúlspíss 275 bar (4000 psi), að gefnum forsendum um 250 bar dæluþrýsting.

Tafla 1. Dæmi um notkun á háþrýstipvætti í iðnaði og þrýstingi (psi) á vatni sem tíðkast.

INDUSTRY	APPLICATIONS	PRESSURE
Airport	Grease, rubber & hydraulic fluids on runways; expansion joints.	10,000-36,000
Aluminum Plants	Hardened bauxite dust on mills, filters, floors, tanks, sumps, sewers & piping.	10,000-36,000
Automotive	Paint & solder from booth, conveyors, machinery & grating.	8,000-36,000
Cement Plants	Hopper cars, bins, conveyors, floors, walls, rotary line, cooler hearths & preheater columns. Dirt, grease & product accumulations on floors, grates walls, external piping, hopper cars, handling equipment & bins.	3,000-10,000
Concrete Demolition	Milling & rebar exposure.	18,000-36,000
Construction	Concrete, tar, asphalt, mortar, dirt grease, mastic on vehicles, mix trucks & machinery. Asphalt distributors, pavers, mixers & tar cookers. Latents for dams, lifts, canals & runways prior to pours (cleaning rebar). Exposing aggregate (retarded). Exposing aggregate (unretarded); concrete cutting.	3,000-36,000
Chemical Processing	Boiler tubes, heat exchangers, tanks, pipe, vessels, valves, evaporators, reactors.	6,000-36,000
Hwy. Maintenance	Expansion joints; paint stripes. Mud, grease, vegetation, tar, cement or asphalt on vehicles & mach. Stains, tar & mastics on concrete bridges & overpasses; graffiti. Unstop culverts on bridges & dean up over spills.	5,000-20,000
Marine	Barnacles, & marine growth, loose paint & rust on ships hulls, platforms, docks. Ballast & storage tanks & boilers, tube cleaning. Underwater cleaning of pipe & drilling platforms.	10,000-36,000
Metal Working	Mill scale, tight rust & weld slag from now vessels, pipe & mixers. Cathode & anode cleaning (molten metals)	10,000-36,000
Mining	Clogged plant machinery due to rock dust, coal, mud or oil. Premaintenance cleaning of dumpers, drag lines, underground haulage lines & shafts; aid in recovery of ore; hydraulic cutting.	7,000-10,000
Military/Aerospace	Rocket engine & projectile propellant removal.	5,000-20,000
Oilfield	Drilling mud & cement from drill pipe. Paraffin & crude residues on platforms & storage tanks.	3,000-20,000
Petrochem. Processing	PVC, PVA, iron oxide, calcium carbonate & sulphate, chlorides, hard polymers coke, hard carbon on heat exchanger & reboilers. Soft polymers carbon, algae, scum & asbestos in heat exchangers, reboilers, reactors, tanks, cooling towers & facilities.	5,000-36,000
Pharmaceutical	Chemicals (liquid or solid) from kettles, pipe, tubes, mixers, heat exchangers, reactors, filters & evaporators.	7,000-10,000
Pipeyard	Rust & varnish prior to recoal; dope & oil from pipe threads for inspection; drilling mud & debris (internal).	10,000-36,000
Power Plants	Nuclear: decontamination of fuel capsules, hand tools and equip.; scale removal from boiler tubes; Coal: fired flyash from preheater tubes, boiler or condenser tubes & turbines.	10,000-20,000

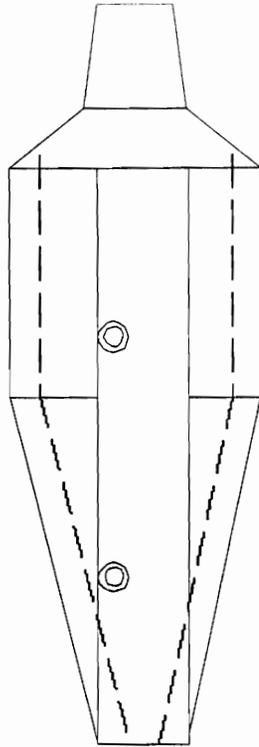
Pulp & Paper	Liquor, evaporator; drain lines. Wood pulp, oil, grease, pitch dirk from tubes, press sections of machines, suction rolls, heat exchangers, stock chests & lines.	5,000-20,000
Refineries	Coke, water scale, hard carbon & polymers in heat exchanger, pipe tanks & reactors. Paraffin, wax, grease & crude residues.	3,000-20,000
Rubber Processing	Latex, chemigum, SBR & water scale in reactors, storage tanks, conveyors, heat exchangers, pipe, tubing & facilities.	10,000-20,000
Steel Mills	Coke, water scale, ore or lime in heat exchangers, boilers, flues, open hearths, furnaces; chutes & hoppers; extrusion & billet descaling.	10,000-20,000
Surface Preparation	Salts, rust, paint, refractory buildup, concrete & marine growth to "white metal" surface.	20,000-36,000

Heimild: <http://www.waterjetting.com/main.html>,  
Gardner Denver - Butterworth Jetting Systems Inc.

### Gerð krónu til háþrýstihreinsunar á holum

Krónunni er fyrst og fremst ætlað að bera spúlspíssana og beina þeim í rétta átt, en auk þess verður hún klædd karbíð kurlu eins og "junk mill" til að fjarlægja það sem spíssarnir skilja eftir. Miðað við að hola þoli ádælingu skolvatns um 1:5 án þess að kafna, þá ættu spíssarnir að afkasta um 6 l/s. Miðað við að rennslið jafnist á 6 spíssa þarf því að fina spíssa sem afkasta um 1 l/s hver. Dælan annar 6 l/s rennsli við um 250 bar-y miðað við full afköst. Rennslið er mitt á milli þess sem notað var í Indónesíu og í Japan. Á mynd 8 sést, að teknu tilliti til þrýstifalls í borstrengnum og þrýstings í holunni í rennsli, að þrýstifallið yfir spúlspíssana getur orðið 274 bar (4000 psi). Þá er hægt að velja spíssa sem afkastar hver um 1 l/s (16 GPM) við 274 bar (4000 psi). Miðað við kaup á spíssum frá Butterworth Jetting Systems Inc. (fyrirtæki Gardner Denver) eru það spíssar með 2,5 mm gati (0,1"), en miðað við Spraying Systems Co. (stærsta framleiðenda á spíssum í heimi) yrði valið 1/4 BSP MEG 00° 15. Þessir spíssar fást á USD 14-25 stykkið og eru gerðir úr hertu ryðfríu stáli. Lengd spíssa frá Butterworth er 25,4 mm (1") en frá Spraying Systems líklega nokkuð styttri.

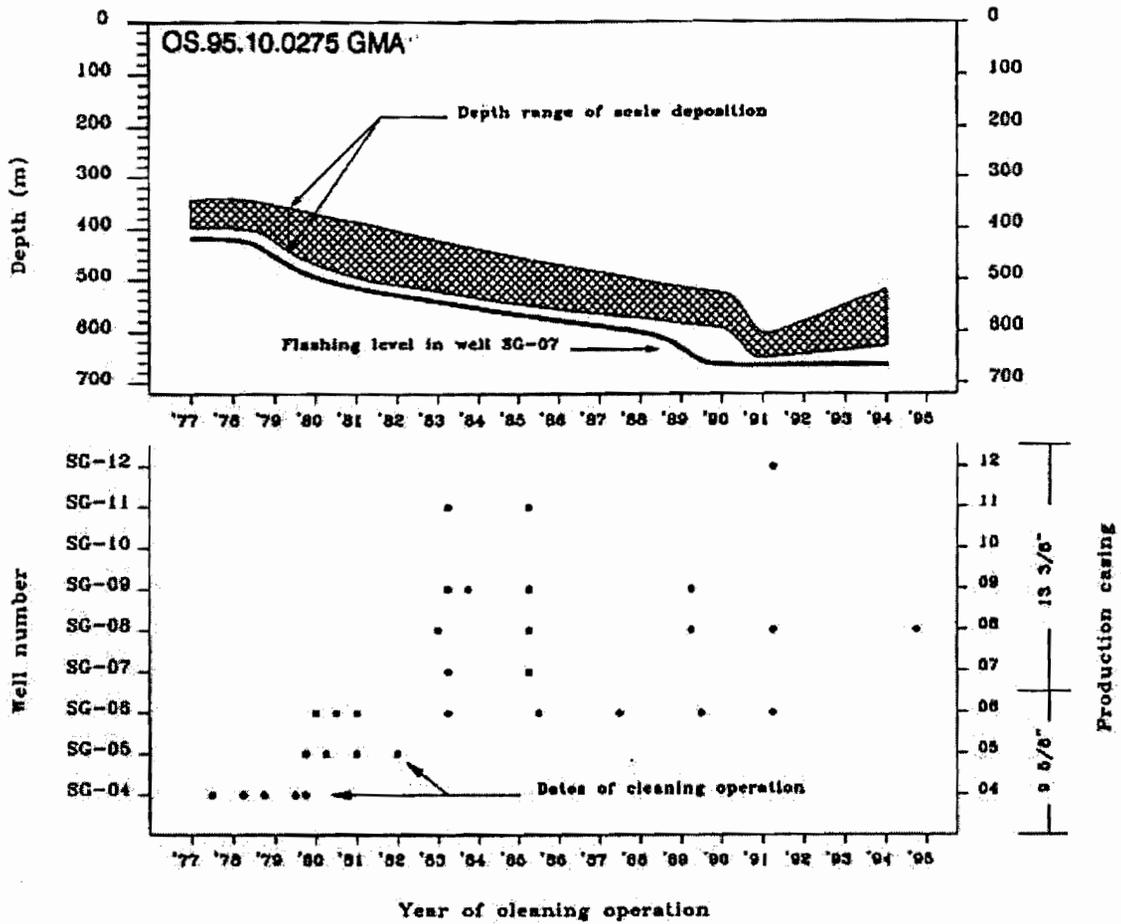
Þá er eftir að ákvarða gerð krónunnar. Lagt er til að hún verði um 450 mm að lengd þannig að hún rýmist undir pakkdósinni og að hún nái nærri fullu fóðringarþvermáli (8 1/2") á 100 mm kafla. Krónuna má smíða úr venjulegri 8 1/2" borkrónu með afskornum kjömmum og síðan yrði 200 mm öxull soðinn á. Áður þarf að hola hann til að leiða vatnið að spíssunum. Þá yrði krónan ydduð og þrjár allvíðar og um 1" djúpar raufar fræstar eftir endilangri krónunni. Þvínæst þarf að hita krónuna og bræða kabíð kurlu á þá fleti sem yst standa sem um "junk mill" væri að ræða. Á sléttu hliðunum í fulu þvermáli þarf að fylla í með koparbrasi þannig að fyllt sé upp fyrir karbíðoddana svo að þeir skaddi ekki fóðringuna þrátt fyrir nokkra hliðarpressu. Loks eru göt boruð og snittuð fyrir spúlspíssana. Dreifing spíssana sex yrði nokkuð jöfn í raufunum, tveir í hverri, og bil þeirra haft þannig að skurðurinn verði með jöfnu millibili ca. 8 cm. Nefnt hefur verið, að spíssarnir skeri frá sér um tífalt (10 x) þvermál spúlstútsins – þ.e. um 25 mm fram fyrir spíssinn. Ef krónan hreinsar um 20 m/klst og snýst um 40 sn/mín er stigningin um 8 mm. Mismunandi gengjur eru á spíssunum og þarf að gæta að því áður en götin eru tekin. Skissa af fyrirhugaðri krónu er sýnd á mynd 9. Laga má krónulögunina að hugmyndum manna og eftir því hvað hentar fyrir smíðina. Ef spíssarnir virka vel og skera frá sér, ásamt því að borkrónan hleypi holustreyminu framhjá sér, má vænta góðs árangurs.



Mynd 9. Skissa af hreinsikrónu með sex spúlpíssum.

## Hreinsun í Svartsengi

Rætt hefur verið um að gera tilraun með háþrýstipvott á holu í Svartsengi. Á mynd 10 er sýnt hvenær einstakar holur voru hreinsaðar frá upphafi og einnig á hvaða dýpi útfellingin safnaðist. Augljóst er af myndinni hve mikið hefur dregið úr tíðni hreinsiborana í seinni tíð. Þessa breytingu má rekja til afgösunar svæðisins og breytinga á vatnssamsetningunni sem hún hefur í för með sér. Núna er það hola SG-8 sem fyrst og fremst þarfnast hreinsunar, og var hún síðast hreinsuð í september 1996 og þar áður í nóvember 1994 og svo í apríl 1991. Við mælingar í holunni í september s.l. slitnaði um 300 m mælivír og féll Kuster mælirinn og vírinn niður í holuna. Hve langt hann fór er óvíst, en reikna má með að hann geti þvæst fyrir við hreinsun holunnar. Óvíst er hvenær þarf að hreinsa aðrar holur, en til að ákvarða hvort að því sé komið þyrfti að slaka körfum í þær. Í september 1996 fór 10" karfa í 578 m dýpi, 7 1/2" í 580 m og 5 1/2" í 639 m. Ljóst er af þessu yfirliti að notkunin yrði lítil á þessum nýja hreinsibúnaði í Svartsengi. Hann er engu að síður mikilvægur því nú eru útfellingar farnar að myndast í 9 5/8" raufuðum leiðara sem þolir verr skak frá borkrónu en steypa 13 3/8" fóðringin. Holur SG-4 og 6 voru með um 400 m djúpum fóðringum en holurnar sem boraðar voru um 1980 voru með víðari og um 200 m djúpri fóðringum, um 600 m djúpum, til að mæta spám um aukinn niðurdátt til ársins 2000. Holurnar sem boraðar voru í fyrra voru með steypar fóðringar sem náðu niður á 700-800 m dýpi til að mæta enn meiri niðurdrætti, þannig að útfelling yrði inni í steypu fóðringunni en ekki í leiðara. Engin hættu stafar af hreinsun með borkrónu þar sem fóðringin er steypu. Meginþörfin fyrir krónu til háþrýstipvotta á holum er á Reykjanesi þar sem leiðari í holu RN-9 skaddaðist og slitnaði við efstu rauf er holan var hreinsuð með borkrónu eftir að hún hafði verið kæfð. Sem stendur er það fyrst og fremst ein hola í Svartsengi, SG-8, sem vitað er um að þurfi hreinsun, en ekki er ólíklegt að brátt þurfi að hreinsa holu RN-9 á Reykjanesi. Mælir kemst ekki niður fyrir fóðringarslitin og hún hefur ekki verið körfumæld í áraðir.



Mynd 10. Yfirlit yfir hreinsun á holum í Svartsengi frá upphafi vinnslu 1976 til 1996. Á myndinni kemur ekki fram síðasta hreinsunin sem var gerð í holu SG-8 í september 1996.

*Sverrir Þórhallsson*  
 Sverrir Þórhallsson