



ORKUSTOFNUN  
Jarðboranadeild

# TANNHJÓLAKRÓNUR

Marz 1970



# TANNHJÓLAKRÓNUR

Rotary Drilling Bits

( Huges Tool Company )

Arnar Finnbogason

og

Rögnvaldur Finnbogason

sneru á íslenzku

# T A N N H J Ó L A K R Ó N U R

## E F N I S Y F I R L I T

---

I. H L U T I :	Tegundir borkróna og hönnun þeirra .....	Bls.	1
1. kafli :	Almenn atriði við hönnun .....	"	1
	Hönnun tannhjólakróna .....	"	1
	Önnur atriði við hönnun keilukróna .....	"	2
	Málmeiginleikar .....	"	5
2. kafli :	Hönnun borkróna fyrir ýmiss konar berglög .....	"	6
	Lin berglög .....	"	6
	Meðal-lin berglög .....	"	7
	Meðal-hörð berglög .....	"	8
	Hörð berglög .....	"	8
3. kafli :	Úrval borkróna .....	"	10
	Borkrónugerðir .....	"	10
	Vatnsrásir .....	"	10
	Venjulegar vatnsrásir .....	"	10
	Háprýstivatnsrásir .....	"	11
	Loftprýstikrónur .....	"	11
	Borkrónur með lokaðar legur .....	"	11
II. H L U T I :	Notkun tannhjólakróna .....	"	12
1. kafli :	Krónuval og notkun .....	"	12
	Borkrónugerðir og notkun .....	"	13
	Álag og snúningshraði .....	"	16
	Notkun háprýstikróna .....	"	18
2. kafli :	Eiginleikar bergtegunda .....	"	20
3. kafli :	Borvökvi .....	"	22
	Loft eða gas .....	"	22
	Vökvar .....	"	22
4. kafli :	Slitnar borkrónur .....	"	25
5. kafli :	Mikilvægi skýrslugerðar .....	"	28

## I. HLUTI

### 1. kafli - Almenn

#### TEGUNDIR BORKRONA OG HÖNNUN ÞEIRRA

Tannhjólakrónur. Áður en tannhjólakrónan var fundin upp 1909 stóð það snúningsborun allmikið fyrir þrifum hve erfitt var að bora gegnum hörð berglög með plógkrónum. Tilkoma keiluhjólkróna gerði borun harðra jarðlaga mun hagkvæmari og leiddi til almennrar og víðtækrar notkunar snúningsborunar við olíuboranir. Framfarir í hönnun og málmvinnslu eiga jafn drjúgan þátt í framleiðslu þeirra borkróna, sem nú eru notaðar. Auk þess hafa notendur stöðugt unnið að því að nota þær borkrónur, sem fyrir hendi eru, á sem hagkvæmasta hátt, þannig að afköst þeirra verði sem mest.

Plógkrónur. Þetta er elzta gerð borkróna, sem nú eru notaðar við borun. Þessar borkrónur eru enn framleiddar í ýmsum gerðum, með mismunandi lögum og fjölda skurðblaða. Skurðblöðin eru sambyggð krónunni eða fest á hana og snúast því með sama hraða og stangalengjan. Þessi borkrónutegund er aðallega notuð í mjög mjúkum jarðlögum. Bestur árangur næst með því að vatnsmagn og vatnsþrýstingur sé sem mestur við krónu. Framfarir í málmvinnslu hafa gert mögulegar miklar endurbætur á upprunalegu tveggja blaða krónunni. Mikilvægast í þessu sambandi er blaðlögurinn, rétt snerting við botn, notkun harðmálma á blöðum, betri staðsetning vatnsrásar og notkun þolnari málma í stútum. Demantskrónur hafa einnig verið notaðar lengi við snúningsborun. Á síðari árum hafa orðið nokkrar framfarir í framleiðslu demantskróna, sem ekki eru ætlaðar til kjarnatöku.

#### HÖNNUN TANNHJÓLAKRÓNA

Keilukrónur. Þær keilukrónur, sem nú eru framleiddar, hafa tvær eða þrjár keilur. Þríkeilukrónan er hentugri til almennrar notkunar (sjá mynd 1). Bygging hennar gerir hana einkar hæfa til skurðar, til jafnrar dreifingar álags og högga og gerir einnig kleift að hafa hina einstöku hluta nægilega stóra til þess að fullnægja kröfum um styrkleik og endingu, án þess þó að fyrirferðin verði of mikil.

Þó að hægt sé að hafa hina einstöku hluta sterkbyggðari í tvíkeilukrónunni, er hún yfirleitt endingarminni, þar eð færri legur og keilur bera það álag og högg, sem eru samfara bergborun. Einnig er erfiðara að halda fullri holuvídd með tvíkeilukrónu, því að hún hefur minni jaðarflöt, en það eru hryggir jaðartannanna og jaðarfletir keilnanna (sjá mynd 1 og 2). Samt sem áður er tvíkeilukrónan talin gagnleg, þar sem mjög er erfitt að halda holu í lóðlínu eða þar sem nauðsynlegt er vegna aðstæðna í holu að hafa bilið sem mest milli krónu og holuveggjar.

Á mynd 2, sem er langskurður af venjulegri tvíkeilukrónu, má sjá hina einstöku hluta hennar og innbyrðis afstöðu þeirra. Tvíkeilukrónan er notuð hér til þess að unnt sé að fá glögga hugmynd um innbyrðis afstöðu hinna einstöku hluta í einum langskurði. Það sem hér verður sagt á einnig við um þríkeilukrónur. Eins og sjá má á 2. mynd leika eggstálin eða keilurnar á leguási, sem er sambyggður krónuhúsinu. Þetta er nauðsynlegt til þess að krónan þoli það álag, sem haft er í nútíma borun. Hliðarálag mæðir á rúllulegu við botn keilu og stýrilegu nálægt keilutoppi. Kúlulegan heldur keilunni uppi á leguásnum og verkar einnig sem hliðarálags- og þrýstilega. Ennfremur er stýrilega á innri enda leguáss, sem tekur við þrýstingi. Þannig eru fjórar legur í flestum gerðum þríkeilukróna af stærðum 4-3/4" - 12-1/4". Í stærri krónum er mögulegt að auka styrkleika krónu með því að hafa tvær eða jafnvel fleiri rúllulegur. Í flestum krónum, sem eru minni en 4-3/4" er yfirleitt ekki hægt að koma fyrir fleiri legum en kúlulegum og innri og ytri stýrilegu.

Krossrúllukrónur. Á þessum krónum er eggstálanum komið fyrir í kross. Á þeim eru tvö gagnstæð eggstál, sem skera utanmál holu og rétt inn fyrir það. Innri hluta holunnar skera tvö innri eggstál, sem eru hornrétt á ytri eggstálin. Öll eggstálin leika yfirleitt á rúllulegum og kúlulegum.

## ÖNNUR ATRIÐI Í HÖNNUN KEILUKRÓNA

Samræmi í stærð krónuhluta. Við hönnun tannhjólakróna er mikilvægt að heildarrúmtak allra hinna nauðsynlegu hluta sé sem minnst, því að stærð þeirra takmarkast af vídd þeirrar holu, sem bora skal. Meginvandinn í þessu sambandi er að finna rétt stærðarhlutföll hinna ýmsu hluta krónu, svo sem hæð tanna, þykkt keilu og legustærðir. Þetta verður að samræma, svo að sem bestur árangur náist. Borkrónur verða fyrir meira álagi miðað við

styrkleik en flest önnur verkfæri. Við hönnun borkróna verður því fyrst og fremst að styðjast við fengna reynslu.

Eggstál. Áður en lögun keilu er ákveðin, verður að finna réttan halla ássins, sem keilan leikur á, þ.e. hornið sem miðlína leguássins myndar við lárétta línu (sjá 3. mynd). Þetta áshorn er ráðandi um útlínur allra þriggja keilnanna, því að hver keila um sig fyllir alveg það rúm, sem henni er ætlað. Áshornið er ákveðið með tilliti til þess, hve tennur eiga að ganga mikið á misvíxl, tannahæðar, lengdar og horns ytri hluta keilu, lengdar og stærðar jaðarflatar, þvermáls keilu, þykktar keilu, styrkleika krónufótar og hversu mikið rúm er fyrir hendi fyrir legur. Samræmi í hönnun þessara hluta verður að nást, svo að beztur mögulegur árangur náist í borun þess jarðlags, sem krónan er ætluð fyrir.

Eitt þessara atriða er víxlbit tanna, þ.e. hve langt tannaraðir einnar keilu ganga inn á milli tannaraða annarrar keilu. Fernt vinnst með þessu víxlbiti:

1. Keilu má hafa stærri, tennur stærri, keilu þykkari, legur stærri.
2. Þetta hjálpar til að hreinsa lögðir milli tannaraða, er keilurnar snúast og auðveldar borvökvanum að hreinsa krónu.
3. Það veldur nokkru um þá vinnu, sem fram fer á holubotni, því að keilurnar geta ekki snúizt um botninn án þess að skrika. Ef ein keilan hefði einfalt keiluyfirborð með toppinn í snúningsmiðju borkrónu, þá gripi hún ekki inn í næstu keilu, en mundi velta um holubotn án þess að skrika eða skrapa. Því meira sem víxlbitið er, því meiri skrikun og þeim mun meiri vinna fer fram á holubotni.
4. Þetta gerir það mögulegt, að toppur einnar keilunnar nái inn fyrir miðju borkrónu til að hindra kjarnamyndun.

Lengd og snið ytri hluta keilu eru einnig mikilvæg atriði. Jaðartennur sitja á keilustubb, sem hefur hugsaðan topp nokkru innra en aðrir hlutar borkeilu. Jaðartennurnar grípa því ekki hver inn í aðra, en þetta gerir kleift að hafa lögun jaðartanna þannig, að þær séu betur fallnar til skurðar við holuvegg. Þessi munur á sniði keilu undir jaðartönnum og undir innri tannaröðum veldur einnig nokkru um skrikun, þ.e. vinnu á holubotni. Ytri hluti keilu leitast við að snúast um miðju, sem er í hugsuðum toppi hennar, en innri hluti keilunnar leitast einnig við að snúast um sína miðju, sem er í hugsuðum toppi hennar, en hann er nær. Að sjálfsögðu getur ekki hvort tveggja gerzt

samtímis, svo að skrikun hlýtur að eiga sér stað (sjá 3. mynd). Hæð jaðarflatar verður að vera nægilega mikil til þess að hindra það, að ummál keilna verði undir máli. Lengd jaðarflatar takmarkast ekki aðeins af þvermáli keilu, heldur einnig af þvermáli legunnar í keilunni.

Sé þörf metri vinnu á holubotni, má koma því til leiðar með því að láta keilutoppa ekki mætast í sama punkti í krónumiðju (sjá 4. mynd). Þetta frávik eykur borhraða í flestum jarðlögum, því að við þetta eykst skrikun tanna. Hve mikið frávik þarf að vera fer eftir því bergi, sem bora á, því að aukin skrikun hefur í för með sér aukið borkrónuslit í harðara bergi.

Lægðir í keilu mynda innri og ytri hlið keilutanna og marka breidd tannaraðar. Gerðar eru skorur í hryggina milli lægðanna og mynduð röð af hvössum tönnum allan hringinn. Æskilegt er að hafa tennur sem þynnstar, svo að þær gangi sem bezt í bergið, sem bora skal, en þó nægilega þykkar, svo að síður sé hætta á tannabrotum. Keilutennur verða að vera nægilega þykkar, svo að síður kvarnist úr þeim, en þó ekki þykkari en nauðsyn krefur. Séu þær hafðar mjög þykkar, verða þær fljótlega of sljóar til þess að eðli-legur borhraði haldist.

Þar eð hönnun eggstála miðast við það berg, sem bora skal, verða þessi mál rædd nokkru nánar í 2. kafla, I. hluta.

Legur. Krónulegur verða að þola fremur erfiðar aðstæður. Hér verður einnig að finna samræmi í stærð hinna ýmsu hluta, svo að sem bezt heildar- ending náist. Fjöldi og stærð rúllna verður að vera nægilega mikil, til þess að hindra ótímabæra málmþreytu. Æskilegt er, að rúllur séu sem flestar, svo að álag á hverja einingu sé sem minnst, en það hindrar ótímabæra kvörnum og slit. Auk þess verður þvermál rúllnanna að vera nægilega mikið, svo að þær brotni ekki. Í kúlulegum er æskilegt, að kúlur séu sem flestar og stærstar, en þó verða legusæti að vera nógu þykk, svo að ekki bresti. Legan í keilutoppi í flestum algengum krónustærðum er af einfaldari gerð stýrilega, þar eð ekki er rúm fyrir rúllur þar: stýring og fóðring, þ.e. laus núningspolin fóðring um ásenda. Þar eð þessi lega er núningslega, er nauðsynlegt að þvermál hennar og breidd sé sem mest, svo að sem minnst álag komi á hverja flatareiningu. Komið hefur í ljós, að hagkvæmt er að nota sérstaklega slitpolin efni á þessa snertifleti. Sérstakir þrýstitappar eru hafðir í keilutoppi í þeim gerðum borkróna, þar sem áslægur útþrýstingur er mestur, til þess að minnka álag á legu.

## MÁLMEIGINLEIKAR

Málmur í eggstálum. Vegna þess mikla álags, sem mæðir á borkrónu, verða allir hlutar hennar að vera slit- og höggþolnir. Við borun í hörðu bergi verka á tennur og keilur kraftar, sem leitast við að brjóta þær. Hart berg, svo sem kvarz, veldur sliti á tönnum og jaðarflötum. Borvökvi getur innihaldið meira eða minna af rífandi efnum, sem orsaka nokkurt slit á öllum skurðflötum. Því verða eggstál að vera gerð úr stálblöndu með hertri húð um seigsterkan kjarna. Nauðsynlegt er að nota slitþolið efni, svo sem tungstenkarbíðstál, sem slitlag á jaðarfleti. Í sumum tilvikum verður að hafa sams konar slitlag á tönnum, en það fer eftir berglögum og öðrum aðstæðum.

Við mælingar á hörku steintegunda er notaður svonefndur Moh-mælikvarði. Hörkukvarðinn er þannig valinn, að steintegund í efri flokki rispi greinilega þær, sem eru í næsta flokki fyrir neðan. Til dæmis hefur demantur hörkuna 10, kórund (ál-oxíð) 9, tópas 8, kvarz 7, feldspat 6, apatít 5, flússpat 4, kalkspat (silfurberg) 3, gífs 2, grafit 1.

Harðasta berg, sem fyrir kemur í venjulegri jarðborun, hefur hörku 7. Kvarz-sandur, eldtinna, sandsteinn (chat), kvarz og brennisteinskís (harka 6-6,5) eru þær bergtegundir, sem aðallega valda sliti á bortækjum. Harka skurðflata borkróna er um 7, þannig að greinilega er þörf harðara slitlags, t.d. tungsten-karbíðs (harka 9,4). Einkum er þessa þörf á jaðarflötum, þar eð talsverður núningur á sér stað milli þessara flata og holuveggjar.

Málmeiginleikar lega. Leguásam hættir til að kvarnast og slitna þrýstimegin á rúllu- og kúlusætum. Því er þörf fyrir stálblöndu, sem gefur harða húð á legufleti og seigsterkan kjarna í leguhúsi. Talsvert mæðir á kúlum og rúllum, og verða þær því að vera brotþolnar, einkum þegar legusæti fara að slitna og kvarnast. Sérstakar stálblöndur og málmvinnsluaðferðir þarf til þess að fá fram þessa eiginleika. Eins og áður var getið, er nauðsynlegt að nota sérstaka málma í stýrilegur. Legumálmur, sem hæfa við venjulegar aðstæður, eru ekki nothæfir í borkrónum, því að álag á hverja flatareiningu er miklu meira, og alltaf er hætt við því, að rífandi efni komist að legunni.



## 2. kafli - Hönnun borkróna fyrir ýmiss konar berglög

Flestar gerðir borkróna má nota til borunar í flestum tegundum bergs. Þó er rétt að nota hverju sinni þá gerð borkrónu, sem hæfir þeim berglögum, sem bora skal, svo að sem mestur borhraði náist og hagkvæmni í rekstri verði sem mest. Til glöggvunar um meginatriði í hönnun hinna ýmsu gerða borkróna, verða nú teknar til athugunar nokkrar megingundir berglaga og þær borkrónur, sem bezt hæfa til borunar þeirra.

### LIN BERGLÖG

Til þess að sýna, hvers konar eggstál hæfa bezt til borunar í linum berglögum, er notaður mjúkur mótunarleir (athuga ber þó, að hann er miklu sveigjanlegri en lin berglög eru yfirleitt). Hnífsblað gengur auðveldlega í leirinn, en ekkert efni fjarlægist, nema því aðeins að hnífsblaðinu sé snúið og skafið með því um leið og það er dregið úr leirnum.

Venjuleg föst blaðkróna hentar mjög vel til borunar slíks efnis. Einnig má nota tannhjólakrónu með góðum árangri, sé krónan stórtennt og gleiðtennt, og sé krónan nægilega virk á holubotni. Vafasamt er þó, hvort tannhjólakróna henti betur í slíku efni. Nú eru tannhjólakrónur hins vegar notaðar til borunar í nokkuð þéttari linum berglögum, sem áður var talið heppilegast að bora með föstum krónum.

Til borunar í slíkum berglögum er mikilvægt, að borkrónan sé gleiðtennt, svo að krónan fyllist ekki, þ.e. borað efni sezt svo þétt milli tanna, að borvökvi nær ekki að fjarlægja það. Tennur verður að hafa sem stærstar, svo að þær sökkvi djúpt í efnið og skeri fremur stórar flygsur. Á slíkar krónur er yfirleitt haft meðalálág, en þá verða högginn á keilur og legur ekki eins þung og ella. Tennur má því hafa hærri, en keilu þynnri og þvermállega minna. Hins vegar snúast þessar krónur yfirleitt tiltölulega hratt í lengri tíma (oft röskar 30 klst.) og legurnar verða að vera nægilega sterkar til þess að þola þessar aðstæður. Tennur verða að vera eins grannar og málmblandan leyfir, svo að þær gangi vel í bergið, jafnvel eftir að þær hafa slitnað í hálfu fyrri hæð sína. Annað mikilvægt atriði er víxlsetning hærtanna, sem skera við holuvegg. Vegna þessarar víxlsetningar skera hæltennur skurð á holubotni, sem er aðeins helmingur af bili milli tanna. Þetta er gert til þess að svarfflygsurnar, sem eru þá aðeins minni en bilið

milli tanna, festist ekki á milli þeirra, heldur skolist burt með borvökva. Innri tannaraðir skera svipaðan skurð með sama árangri.

Innri tannaraðir grípa inn á milli tannaraða næstu keilu, en það gerir krónuna meira rífandi. Til þess að auka skröpun og snúning á holubotni, vita leguásar - og þar með keilutoppar - til hægri við krónumiðju, þ.e. nær snúningsstefnu borkrónu.

Nauðsynlegt er að hafa allþykkt slitlag á tönnum, svo sem tungstenkarbíð ( $\text{Fe}_4\text{W}_2\text{C}$ ), þar eð oft er sandur í linum berglögum. Þó þarf ekki að hafa nærri eins mikið slitlag á jaðarflötum.

### MEÐAL-LIN BERGLÖG

Þau hafa nokkuð meiri styrkleika en lin berglög. Til þess að sýna, hvers konar eggstál henta bezt til borunar í slíkum berglögum, er notað gifs. Enda þótt það sé miklu linara en meðal-lin berglög, þá dugar það til þess að sýna muninn á borunareiginleikum linra og meðal-linra berglaga. Mögulegt er að láta hnífsblað ganga í gifsið til að líkja eftir vinnu krónutanna. Sé blaðið nú dregið úr gifsinu, án þess að því sé snúið um leið, fjarlægist lítið af efni, nema það sem loðir við hnífsblaðið. Sé blaðinu aftur á móti snúið, losnar tiltölulega stór flygja úr efninu. Þannig eru mörg berglög tiltölulega lin, en ekki þjál. Algengt er, að þau innihaldi rífandi efni, svo sem hvassbrýndan sand. Við hönnun borkróna fyrir meðal-lint berg gilda sumar hinna sömu meginreglna og um borkrónur, sem ætlaðar eru til borunar í linu bergi. Þeim þáttum, sem valda snúningi og skröpun, er haldið, en í öllu minna mæli. Þar eð borhraði verður aldrei eins mikill og í linara bergi, má hafa tennurnar lægri, en við það fæst aukið rými fyrir legur. Þörf er fleiri og öllu sterkari tanna vegna endingar krónu, en þeim þáttum, sem auðvelda brottflutning svarfs, er haldið. Þar eð þessi berglög geta innihaldið rífandi efni, er þörf sérstaks slitlags á tönnum og jaðarflötum. Alag á jaðarfleti krónu er yfirleitt meira en á krónum fyrir lint berg, og verða því jaðarfletir hér að hafa stærra flatarmál og meira slitlag.

## MEÐAL-HÖRÐ BERGLÖG

Meðal-hörð berglög, svo sem harður kalksteinn, dólómít og harður lagskiptur leirsteinn (flöguberg), eru of hörð og e.t.v. of rífandi fyrir áður nefndar borkrónur. Krónutennur ganga ekki eins vel í slíkt efni. Hins vegar molnar þetta berg og kvarnast við meðal-vindingsverkun.

Tennur eru hafðar þéttari, því að króna getur ekki fjarlægt stórar flygsur úr holuvotni í slíku bergi. Af sömu ástæðu er ekki lengur þörf fyrir víxlsettar jaðartennur. Þar með verður jaðarflötur krónu stærri og hæfari til skurðar við holuvegg. Tennur eru örlítið efnismeiri (ekki eins hvassar), til þess að þær þoli það álag, sem nauðsynlegt er að hafa til að yfirstíga hörku bergsins og mola það.

Á krónum, sem notaðar eru til borunar í bergi, sem inniheldur rífandi efni, en hefur ekki mikinn styrkleika, er sett sérstakt slitlag á hliðar tanna. En í mjög þéttu bergi, þar sem mikið álag þarf til að mylja og kvarna bergið, næst beztur árangur með því að hafa ekki þetta harða slitlag á tönnum. Ástæðan er þessi: Tönn, sem hefur ekki hart sliglag er höggþolnari en sú með hörðu slitlagi. Akvörðunin um það, hvort nota á krónu með hörðu slitlagi eða án, verður því að byggjast á eðli bergs og öðrum aðstæðum við borun.

## HÖRÐ BERGLÖG

Venjulegar tannhjólakrónur (fræstar tennur). Hörðustu og mest rífandi berglög, sem fyrir koma í borun, eru t.d. kalksteinn með smákristölluðu kvarzi, dólómít, kvarzsandsteinn og granít. Það kemur sér vel, að öll jarðborun fer ekki fram í slíku bergi. Í slíku bergi dugar ekkert til skröpunar nema demantur, án þess að eyðast meira en bergið. Sé hvössu stálhjól, svo sem glerskera, rennt yfir mola úr kvarzsandsteini undir miklu álagi, þá markar það í bergið. Einnig má kvarna úr því með því að gefa því þungt og snögg högg með oddhvössum hamri. Í báðum tilvikum nægir álagið til að yfirstíga styrkleika eða hörku bergsins. En sé glerskerinn skekkur lítilliga um leið og honum er rennt yfir bergmolann, hættir hann brátt að marka í hann. Þannig sést, að stál getur molað bergið, en ef um skröpun er að ræða, þá eyðist stálið en ekki bergið. Því miðast hönnun borkróna fyrir þessi berglög við það, að skröpun verði sem minnst. Hér skiptir hæð

tanna miklu máli; aðeins þarf að gera ráð fyrir sliti. Tennur mega vera tiltölulega stuttar. Við það vinnst rými, sem nota má til að styrkja keilu og legur, svo að þær þoli betur það mikla álag, sem þarf til að mylja bergið.

Fjöldi tanna verður að vera nægilega mikill, til þess að álagið á hverja tönn verði ekki of mikið. Þær mega þó ekki vera of margar, því að þá er einingarálag ekki nóg til að mylja bergið, þegar tennurnar taka að slitna. Yzta tannaröðin á hverri keilu ræður ferðinni, þ.e. þessi tannaröð markar á holubotn röð hryggja, sem torvelt er að mylja, einkum ef berghryggir þessir eru tengdir holuvegg. Því eru jaðartennur venjulega hafðar samtengdar við jaðarflöt, til þess að brjóta þessa hryggi. Jaðarflötur hefur sterkt slitlag til varnar gegn rífandi efnum. Akvörðunin um það, hvort hafa á sérstakt sterkt slitlag á tönnum, verður einnig hér að byggjast á eðli bergs og öðrum aðstæðum við borun, en oftast er það ekki haft, vegna þess að tennur lagðar tungsten-karbíð eru stökkari en stáltennur án sérstaks slitlags. Tungsten-karbíðhúð á tönnum mundi vissulega gera þær þolnari gegn rífandi efnum, en um leið yrðu þær svo miklu stökkari, að þetta yrði fremur til ógagns.

Tannhjólakrónur með tungsten-karbíðoddum. Þær eru ætlaðar til borunar í afar hörðu bergi, svo sem kvarzsandsteini og smákristölluðu kvarzi, þar sem venjulegar hvasstenntar krónur hafa litla endingu. Afstaða keiluása (hjólöxla) er svipuð og á tannakrónum fyrir hart berg, en í stað tanna eru ávalir tungsten-karbíðoddar greptir inn í keilurnar. Á 5. mynd má sjá þrjár gerðir slíkra króna, sem nú eru notaðar. Um þær verður rætt nánar í II. hluta, 1. kafla.

### 3. kafli - Úrval borkróna

#### BORKRONUGERÐIR

A 7., 8. og 9. mynd má sjá í töfluformi nokkrar algengar borkrónugerðir. Tilgreind eru þau berglög, sem hver gerð er einkum ætluð fyrir. Borin eru saman meginatriði í byggingu hinna ýmsu borkróna. A 7. mynd er níu gerðum af borkrónum með fræstar tennur skipt í fjóra flokka - miðað við þau berglög, sem þær eru einkum ætlaðar fyrir. Þessar borkrónur má fá með háþrýsti-vatnsrásum eða loftrásum fyrir loft-, gas- eða úðaborun. Nokkrar þessara króna má einnig fá með venjulegum vatnsrásum.

A 8. mynd er sjö gerðum af X-krónum skipt í fjóra flokka á sama hátt. Þessar krónur eru styrktar með ýmsu móti (sjá 6. mynd). Legur eru lokaðar og sjálfsmurðar, en það eykur endingu þeirra við þær aðstæður, þar sem borkrónuending takmarkast af leguendingu. Jaðarflötur er styrktur til að halda holu í fullu máli. Krónufætur eru hafðir lengri - til varnar legulokum. Krónutunga er sérstaklega slitvarin á krónum fyrir lint og meðal-lint berg. A 9. mynd eru þrjár gerðir tungsten-karbíðkróna og tilgreind þau berglög, sem þær eru einkum ætlaðar fyrir. Þær eru fáanlegar í öllum algengum stærðum, með lokuðum eða opnum legum, og með háþrýstivatnsrásum. Einnig fáanlegar fyrir borun með lofti, gasi eða úða.

#### VATNSRÁSIR

Vatnsrásir eru mikilvægur þáttur í borkrónum og reyndar ómissandi. Þetta eru leiðir fyrir borvökva, en meginhlutverk hans er að flytja svarf upp á yfirborðið. Um tvær gerðir vatnsrása og stúta er að ræða:

1. Venjulegar vatnsrásir beina vatnsstraumnum að keilutönnum. A 2. mynd má sjá þannig vatnsrás.
2. Háþrýstivatnsrásir beina vatnsstraumi að holubotni. A 10. mynd sést vatni dælt um þríkeilukrónu um háþrýstirásir.

Venjulegar vatnsrásir. Staðsetning vatnrása þannig að borvökva sé beint að eggstálum (keilutönnum) hefur lengi verið notuð. Meginhluti vatnsstraumsins skellur á tönnunum og fjarlægir svarf, sem við þær loðir. Nokkur hluti vatnskraftsins nær til botns og megnar að sópa svarfinu af holubotni og í upp-

streymið. Prófanir hafa leitt í ljós, að nauðsynlegt er að hlutfallslega stór hluti vatnsstraumsins skelli á yztu tannaröð, en þeim hættir helzt til að fyllast.

Of mikill vatnsþrýstingur getur valdið óhóflegu sliti á keilu og tönnum. Því verður að miða þvermál stúta við það, að vatnsþrýstingur verði hvorki of mikill né of lítill. Algengastir eru stútar fyrir þrýsting 30-40 m/sek. Notkun borkróna með venjulegum vatnsrásum minnkar nú óðum.

Háþrýstivatnsrásir. Lengi hefur verið vitað, að hagkvæmt er að beina vatnsstraumi beint að holubotni til að fjarlægja án tafar svarf af holubotni. En það er ekki fyrr en á síðari árum, að farið er að nota nógu stórar og afkastamiklar dælur, sem gera mögulega notkun háþrýstikróna. Þegar notaðar eru afkastalitlar dælur, verður að beina vökvastraumnum að eggstálum til þess að halda þeim hreinum. En sé dæluþrýstingur nægilega mikill og vatnsstraumi beint að botni, þá nægir það ekki aðeins til þess að lyfta svarfinu, heldur hreinsast jafnframt tennurnar í ólgunni, sem myndast um krónuna.

Vatnsrásir um krónu verða að vera sem beinastar, því að annars er hætt á því, að straumur borvökva valdi óeðlilegu sliti. Háþrýstistraumur borvökva, sem inniheldur tiltekið magn af sandi, etur sig fljótlega gegnum stál, ef hringiða myndast, eða ef straumstefnubreytingar eru skarpar. Vatnsrásir verða að vera sléttar og felldar. Vatnsrásin þrengist smám saman. Efni í stútum er tungsten-karbíð, en í þeim er straumur borvökva mestur.

Loftþrýstikrónur eru af tveimur megingerðum eins og vatnsþrýstikrónur. Loftstraumi er beint að eggstálum eða holubotni. Að byggingu svipar þeim mjög til vatnskróna, en þó eru sérstakar loftrásir að legum. Á 11. mynd er langskurður af einni slíkri krónu. Loftstraumi er beint að kúluspori og í keilutopp. Loftstraumurinn hindrar það, að svarf komist inn í legur og kælir þær. Súur á loftopum lega verja þær gegn svarfi og öðrum aðskotahlutum, sem geta borizt með loftstraumnum.

## KRÖNUR MEÐ LOKAÐAR LEGUR

Í öllum borkrónum, nema loftþrýstikrónum, er hafður seigur og þolinn smurningur. En borvökvinn þrýstir honum fljótlega úr legunum, nema sérstaklega sé um búíð. Prófanir á rannsóknastofu hafa leitt í ljós, að ending smurðra lega er mun meiri en þeirra, sem borvökvi leikur um (sjá 24. mynd).

Til þess að halda smurningi í legum, má nota einfalt málmlok til þéttingar milli krónuhúss og keilu. Nú er þetta haft á öllum venjulegum borkrónum með fræstum tönnum. Vandaðri þéttingar voru fyrst notaðar í borkrónum með tungsten-karbíðoddum. Nú er einnig farið að nota þær í krónum af X-gerð (sjá 6. og 12. mynd). Í þessum borkrónum er hólf fyrir varaforða af smurningi. Samgangur milli smurningshólfs, lega og loks aftan við keilu jafnar smurþrýsting, en við það endist smurningur lengur. Legur endast miklu lengur, þar eð smurningurinn endist oft jafnlengi og krónan.

## II. HLUTI

### NOTKUN TANNHJÓLAKRÓNA

#### 1. kafli - Krónuval og notkun

Urval borkróna er mikið og því gæti virzt fremur auðvelt að athuga, hvers konar berglög á að bora og velja síðan krónur í samræmi við það. Málið er ekki svo einfalt. Mismunandi tækjakostur, mismunandi aðstæður í holu og margbreytileiki jarðlaga valda því, að oft er nauðsynlegt að þreifa sig áfram.

Ekki valda öll borsvæði miklum vandkvæðum í þessu efni, en komið hefur í ljós, að yfirleitt næst jafnbeztur árangur með því að nota nokkrar gerðir borkróna. Fylgjast verður með skilum og styðjast við fengna reynslu. Ekki þarf margar borkrónugerðir í allar holur, en oftast næst beztur árangur með því að nota fleiri en eina gerð. Í vinnsluborun hafa myndast nokkuð fastar venjur um borkrónuval, en þó má alltaf búast við óvenjulegum aðstæðum, þegar nota þarf óvenjulega krónu. Til dæmis: Ef minnka þarf álag verulega vegna sérstakra aðstæðna (svo sem þegar verið er að reyna að rétta holu, sem hefur vikið úr lóðlínu), gæti verið ráðlegra að nota heldur borkrónu, sem hefur færri tennur samtímis á botni holu. Þegar breyting verður á borvökva, þ.e. hætt að bora með vatni og farið að bora með leðju (einkum vatnsheldinni leðju, þá minnkar borhraði ávallt. Stundum er þetta talið stafa af breyttu berglagi, og er þá sett niður króna fyrir harðara berg. Hið gagnstæða hefur hins vegar alloft reynzt heppilegt, þ.e. að nota krónu fyrir linara berg. Þó að ekki náist jafn mikill borhraði og með vatni, þá er borkróna fyrir lint efni oft rétta lausnin.

Sé um borun að ræða á svæði, þar sem ekki hefur verið borað áður, þá er nauðsynlegt að þreifa sig áfram. Jafnvel þótt fyrir liggi lýsing á væntanlegum berglögum og aldri þeirra, þá er ekki þar með sagt, að borunareiginleikar bergsins séu þeir sömu og á öðru svæði. Útlit slitinnar borkrónu getur gefið til kynna, hvaða krónugerð henti betur í næstu krónuferð. Að sjálfsögðu verður þá að gera ráð fyrir svo til óbreyttu bergi. Séu engar upplýsingar fyrir hendi um væntanleg jarðlög, er þetta það eina, sem styðjast má við. Hafi borkróna einkum slitnað á jaðarflötum, þá má reyna krónu með stærri jaðarflötum. Sé borkróna jafnslitin á eggstálum og legum,

en borhraði þó ekki nægur, má reyna að hafa meira álag á sams konar krónu í næstu krónuferð. Ef það gefst ekki vel, þá gæti betri árangur náðst með krónu fyrir linara berg. Frekar mun rætt um athuganir á slitnum bor-krónum í 4. kafla, II. hluta.

Í I. hluta var rætt um meginatriði í hönnun hinna ýmsu gerða keilukróna og þeim skipað í nokkra flokka. Nú verður rætt um meginatriði í vali og notkun borkróna í sömu röð.

## BORKRÓNUGERÐIR OG NOTKUN

Borkrónur fyrir lint berg. Krónur OSC-3 og OSC-3A (venjuleg gerð, sbr. 7. mynd) og krónur X3 og X3A (sjá 8. mynd) eru hentugastar til borunar í lausum jarðlögum, svo sem í leir, túffi og mikið myndbreyttu bergi á háhitasvæðum.

Ákvörðunin, hvenær á að skipta um krónugerð og nota krónur fyrir harðara efni, hlýtur að miðast við tækjakost og aðstæður í holu. Sams konar krónur henta því ekki endilega öllum borum, þó á sama svæði séu.

Borkrónur fyrir lint berg eru gleiðtenntar og hafa háar og tiltölulega grannar tennur, sem bíta djúpt í bergið við tiltölulega lítið álag. Þær gera hvort tveggja í senn, rífa upp bergið með tönnum, sem dragast að nokkru leyti eftir holubotni, og mola það þunganum, sem á þær er lagður.

Borun ætti að ganga fremur greitt með þessum krónum, þar sem þær eiga við. Ekki er mögulegt að segja til um það með neinni nákvæmni, hve lengi hver króna á að endast eða hvenær á að hætta að nota hana. Því veldur mismunandi álag, snúningshraði og berglög. Tíð tannabrot gefa annað tveggja til kynna, að álag X snúningshraði (viðmiðunartala, sem fæst með því að margfalda álag í tonnum með snúningshraða á sekúndu) sé of mikið, eða þá að bergið sé of hart fyrir þessa krónugerð.

Snúningshraði, áður en krónuskipti fara fram, er mikilvægt atriði. Mikill snúningshraði getur valdið of miklu höggálagi á þessar krónur og leitt til tannabrota, jafnvel í linu bergi. Ráðleggra getur verið að minnka snúningshraða, fremur en að skipta um krónugerð. Ef borkróna þolir það álag og snúningshraða, sem notað er, er ráðlegt að halda áfram notkun krónu fyrir lint berg, vegna djúps bits þeirra.



Yfirleitt er haft tiltölulega lítið álag á þessum borkrónum, 1,4 - 2,7 tn (3000 - 6000 pund) á hverja þvermálstommu krónu. Algengur snúningshraði er 100 - 250 sn/mín.

Borkrónur fyrir meðal-hart berg. Borkrónur OWV og OWC (venjuleg gerð, sjá 7. mynd) og XV og XC (X-gerð, sjá 8. mynd) eru ætlaðar fyrir rífandi og ekki-rífandi meðal-hart berg. Meginmunur á þeim og áður nefndum gerðum er þessi: Styrktar tennur, breytt byggingarlag krónu, sem veldur meiri kvarnandi-molandi verkun, en minni rífandi-skrapandi verkun. Tennur sitja þéttar og eru ekki eins hvasshyrndar. Jaðarfletir eru stærri. Þessar krónur þola vel álag, sökum meiri styrkleika eggstála og lega. Hins vegar ber að varast of mikinn snúningshraða, svo að höggaálag, sem ávallt er samfara borun í hörðu bergi, verði ekki of mikið. Einkum er þetta mikilvægt, þegar berg er það sprungið, að valdi erfiðleikum í borun. Varast ber þá samstillingu álags og snúningshraða, sem veldur skrikkjóttum gangi, ella er hætt við óeðlilega miklu sliti eggstála og lega.

Borkrónur OWV og XV, sem ætlaðar eru fyrir linasta meðal-hart berg, eru venjulega skarðtenntar í jaðartannaröð (tennur víxlsettar), til þess að bit verði dýpra og borhraði meiri í meðalhörðu bergi með linum millilögum. Algengt álag á krónur OWV og XV er 1,8-3,6 tn (4000 - 8000 pund) á hverja þvermálstommu við snúningshraða 40 - 90 sn/mín.

Borkrónur fyrir hart berg (fræstar tennur). Krónur W7, W7R-2 og W7R (venjuleg gerð, sjá 7. mynd) og X7 og XWR (X-gerð, sjá 8. mynd) eru ætlaðar til borunar í hörðu bergi, sem inniheldur rífandi efni. Þær eru ætlaðar fyrir berglög, sem hafa:

1. mikið þrýstipól, en lítið af rífandi efnum, t.d. dólómít og granít.
2. mikið þrýstipól og mikið af rífandi efnum, t.d. kvarzsandsteinn, granít, þétt dólómít og kalk, sem inniheldur kvarzsandstein.
3. meðal þrýstipól og mikið af rífandi efnum, svo sem kvarzsandstein.

Samanborið við borkrónur fyrir lint og meðal-berg, þá hafa þessar krónur þolnari legur, þéttsettari tennur og gleiðhyrndari, sem þola aukið álag, en það er nauðsynlegt í borun í þessu bergi. Þessar krónur kvarna og mola, en rífa lítið eða skrapa. Á jaðarflötum er meiri slitvörn gegn rífandi efnum. Jaðarbrúnir eru ýmist skörðóttar eða ekki og með ýmsu lagi.

Borkrónur W7 og X7 með skörðóttum jaðarbrúnum koma oft að góðum notum við borun berglaga, sem nefndar voru í 1. tölulið hér að framan, þegar jaðarslit er ekki mikið. Dýpra bit fæst hér, þar eð færri tennur eru samtímis á botni við þessar aðstæður, miðað við sama álag.

Sé jaðarslit mikið, ber að nota XWR, W7R-2, W7R krónur, en á þeim er jaðartannaröð samtengd á jaðri og slitnar því ekki eins ört. Meiri borhraði næst með þessu við þessar aðstæður. Borkrónur með skörðótta jaðarbrún fá fljótlega of mikla snertingu við holubotn, við þessar aðstæður, vegna þess að jaðarbrún rúnnast og jaðartannaröð slitnar fyrr.

Algengt álag er 2,3-4,5 tn (5000 - 10000 pund) á hverja þvermálstommu krónu við snúningshraða 35 - 70 snún/mín.

Borkrónur með tungsten-karbíðoddum. Krónurnar á 5. og 9. mynd hafa ávala tungsten-karbíðodda í stað venjulegra, oddhvasstra stáltanna. Þær eru ætlaðar fyrir harðasta berg og eru fánlegar í þremur gerðum: RG-7J (fyrir hart berg), RG-1J (fyrir harðara berg) og RG-2BJ (fyrir harðast berg). Sömu krónur með lokaðar legur eru nefndar RG-7XJ, RG-1XJ og RG-2BXJ. Sömu meginreglur gilda um hönnun þessara króna og um hönnun króna með fræstar tennur. Lengri og gisnari oddar fyrir minna hart berg. Stytttri og þéttsettari oddar, fleiri oddaraðir og minna víxlbit fyrir harðara berg.

Notkun tungsten-karbíðkróna jókst samfara framförum í leðjutækni og notkun háþrýstikróna. Borvökvi er ávallt mjög mikilvægt atriði í afköstum hvekkar borkrónu, en þó sérstaklega tungsten-karbíðkróna. Létt leðja er betri en þung leðja fyrir þessar krónur; vatn er betra en leðja, loft eða gas er betra en vatn. Háþrýstistútarauðvelda hreinsun holubotns og auka borhraða. Þessar krónur eru mun dýrari en aðrar krónur, u.þ.b. fimm sinnum dýrari. Nokkur atriði við ákvörðun um notkun þeirra :

1. Metrafjöldi á krónu. Með þessum krónum má ósjaldan bora 4 - 10 sinnum meira en með venjulegum krónum fyrir hart efni, og í sumum tilvikum allt að 15 - 20 sinnum meira.
2. Borhraði. Borhraði er yfirleitt hinn sami eða meiri en þegar borað er með venjulegum krónum fyrir hart efni. Séu berglög óbreytt, er borhraði yfirleitt jafn, meðan krónan endist.
3. Krónuskipti. Vegna lengri endingar, þarf sjaldnar að skipta um krónu, en það sparar bæði tíma og tækjaslit.

4. Rýmarar. Oft má komast hjá að nota rýmara, vegna styrkleika jaðarflata þessara króna.
5. Borleðja. Í hörðu rífandi bergi er borkrónuending oft svo lítil, að króna er orðin fullslitin, þegar leðjan er orðin fullblönduð. Tungsten-karbíðkróna endist lengur og þá er borað lengur með fullblandaðri leðju. Þetta getur auðveldað borun í efri hluta holu, en einnig minnkað leðju-kostnað.

Samanburður á notkun tungsten-karbíðkróna og venjulegra borkróna fyrir hart efni í sams konar bergi og á sama dýpi hefur leitt í ljós, að meðalkostnaður á hvern boraðan metra er 38-62% minni með tungsten-karbíðkrónum.

Algengt álag er 1,8-3,6 tn (4000 - 8000 pund) á hverja þvermálstommu krónu við snúningshraða 25 - 70 snún/mín. Álagsstengur hafi sem mest þvermál.

Ekki hentar þessi krónugerð alls staðar, þar sem borhraði er lítill með venjulegum krónum fyrir hart berg. Sé þrýstipól bergsins lítið, henta þær ekki.

Þess eru dæmi, að tungsten-karbíðkrónur hafi verið notaðar með litlu álagi með mjög góðum árangri í dólómíti með smákristölluðu kvarzi við álag 0,2 - 0,4 tn (500 - 1000 pund) á hverja þvermálstommu krónu.

#### ALAG OG SNÚNINGSHRAÐI

Borkrónur með fræstar tennur. Prófanir hafa leitt í ljós, að borhraði í stökku bergi eykst meira en hlutfallslega við aukið álag. Til dæmis: 30-40% aukning álags getur tvöfaldað borhraða. Nauðsynlegt er að þyngdin sé í álagsstöngum en ekki í borstöngunum.

Í linu og þjálu bergi er hætt við að borkróna fyllist, ef álag er of mikið. Meiri snúningshraði vegur upp á móti minna álagi, því að síður er hætt við tannabrotum, þegar álag er lítið. Ef rífandi efni eru í berginu, takmarkar það snúningshraða.

Í harðara bergi þarf aukið álag til að yfirstíga styrkleika bergsins. Hins vegar mundi of mikill snúningshraði valda óhóflega miklu sliti á eggstálum og legum, séu rífandi efni fyrir hendi. Einnig verður höggálag of mikið á egg-

stálum. Því harðara sem bergið er, þeim mun meiri nákvæmni þarf við ákvörðun snúningshraða.

Sé um skekkju að ræða í holu, þ.e. holan vīkur úr lóðlínu, þarf að minnka álag. Nokkuð má bæta úr þessu með sverum álagsstöngum og miðjustillum.

Athuganir hafa verið gerðar á síðustu árum af sérfræðingum í olíuiðnaðinum á heppilegustu samræmingu álags og snúningshraða til lækkunar borkostnaðar. Í þessu sambandi eru notaðar jöfnur og þá miðað við:

1. mismunandi álag og snúningshraða,
2. jafnt álag og jafnan snúningshraða,
3. mismunandi álag og jafnan snúningshraða.

Athuganir þessar hafa leitt í ljós, að meðalálag og mikill snúningshraði hentar best í fljótboruðu linu bergi, sem ekki inniheldur rífandi efni. Meira álag og minni snúningshraði hentar betur í seinboruðu rífandi bergi.

Niðurstöður þessara athugana benda til þess, að æskilegust sé eftirfarandi samræming álags og snúningshraða í linu bergi, meðalbergi, og hörðu bergi:

ÆSKILEGUST SAMRÆMING ALAGS OG SNÚNINGSHRAÐA		
Berg	Æskilegt álag tn/þvermálstommu	Æskilegur snún.hr. sn/mín.
Lint	2,0	250
Meðal	2,7	60
Hart	3,6	40

14. mynd

Ennfremur þetta: Eftir því sem eggstálin slævast (á fræstum krónum), ætti að auka álag á krónu smám saman.

Ymis frávík verða að sjálfsögðu frá svo grófri flokkun sem þessari, sem hafa áhrif á það, hvert er heppilegast álag og snúningshraði, þannig að kostnaður á hvern boraðan metra verði sem minnstur. Þessar tölur eru því aðeins til viðmiðunar.

Tungsten-karbíðkrónur. Sama aðferð er viðhöfð til þess að finna heppilegast álag og snúningshraða og fyrir fræstar krónur. Meginmunurinn er sá, að

við venjulegar aðstæður slitna skurðfletir mjög lítið á tungsten-karbíðkrónum, og má því nota sama álag og snúningshraða, meðan krónan endist.

### NOTKUN HÁPRÝSTIKRONA

Til þess að sem bezt nýting fái á borkrónu, verður að fjarlægja svarf af holubotni viðstöðulaust og halda skurðflötum (eggstálum) hreinum, þannig að borað efni loði ekki við þá.

Stútar á venjulegri borkrónu beina borvökva að eggstálum, þannig að meginhluti vatnsstraumsins nýtist til hreinsunar eggstála, en nokkur hluti hans nær til botns og lyftir svarfinu upp í uppstreymið. Við notkun venjulegra borkróna er stútum og dælingu hagað þannig, að vatnshraði í stút er 30 m/sek. Aukning að ráði á vatnshraða í stút gæti orsakað mikla svörfun keilu og tanna.

Í háprýstikrónu beina stútar vatnsstraumi beint að holubotni, og lendir hann því ekki á eggstálum. Ólgan um krónuna á þá að hreinsa eggstálin. Meiri vatnshraði í stút er mögulegur en í venjulegum borkrónum.

Ef meiri borhraði fæst með háprýstikrónu en með sams konar borkrónu með venjulegum vatnsrásum, þá er það, að öðru jöfnu, einungis því að þakka, að svarf hreinsast fljótar af holubotni. Má því oft auka borhraða með auknu álagi á háprýstikrónu.

Algennt er að nota þær dælufóðringar og stúta, sem gefa mestan vatnskraft við krónu. Það sem helzt gæti orðið til þess að takmarka vatnskraft er þetta :

1. Hámarks hestaflafjöldi til að knýja dælur. Taka verður tillit til þessa, burtséð frá afkastagetu annarra tækja.
2. Leyfður hámarksþrýstingur við dælu ( þetta er háð þrýstihæfni dælu og annarra tækja, og viðhaldskostnaði dælu og tækja ).
3. Lágmarksuppstreymishraði ( reynslan sker bezt úr um þetta atriði). Oft nægja 40 m/sek. Í fljótboruðu linu bergi getur þurft 60 m/sek. eða meira.
4. Lágmarksstærð stúta (því minni sem stútar eru, þeim mun hættara er við því, að þeir stíflist ).

5. Hagkvæm hámarkstíðni fóðringaskipta í dælum (þetta er kostnaðaratriði, sem meta verður hverju sinni).

Mælt er með gerð áætlunar um dælingu á ýmsu dýpi frá 300 m til ráðgerðs heildardýpis.

Torvelt er að ákveða lágmarks vatnshraða í stút í tilteknu bergi, því að háþrýstikrónur reynast oft betur en venjulegar krónur við tiltölulega lágan þrýsting. Ekki er hægt að segja að vatnshraði í stút sé algerlega ófullnægjandi, ef afköst fara vaxandi (borhraði eykst). Þó hefur í sumum tilvikum mátt auka afköst með meiri vatnshraða. Reynslan sýnir, að samband er á milli svarfmagns þess, sem borkróna losar pr. tímaeiningu (borhraða) og nýttts vatnskrafts við krónu. Á 15. mynd má sjá samband þetta í nokkrum mismunandi berglögum í sextán holum á olíusvæði við strönd Mexíkóflóa í Texas. Hver kúrfa táknar tiltekið leirlag. Notaðar voru sams konar borkrónur og nokkuð jafnt álag og snúningshraði. Helzta breytilega stærðin var vatnskraftur við krónu. Heilu línurnar sýna árangur við borun. Brotnu línurnar tákna framlengingu, sem sennileg er talin (extra-polation). Athugið að þessar kúrfur mynda "S". Því harðara sem bergið er, þeim mun flatari er S-kúrfan. Fræðilega sýnist þetta sennilegt.

Sé vatnskraftur ófullnægjandi til að fullhreinsa holubotn, geta afköst ekki aukizt að ráði. Þessi hluti afkastakúrfunnar er neðri endinn á S-inu. Eftir að vatnskrafturinn er farinn að nægja til að hreinsa vel holubotn, þá aukast afköst mun hraðar við aukinn vatnskraft við krónu; kúrfan rís. Þegar vatnskraftur er orðinn nægilega mikill til að fullhreinsa holubotn, verður kúrfan láréttari aftur og myndar efri hluta S-ins. Og þar eð vatnsstraumurinn orkar ekki að vinna nema á mjög línu bergi, þá verður kúrfan lárétt hér.

Meiri vatnskraft þarf til að ná neðri enda kúrfu í línu bergi en í hörðu. Afkastaaukning verður einnig mun meiri við aukinn vatnskraft í línu bergi, þ.e. ris S-kúrfunnar verður meira. Á 15. mynd er einnig kúrfa, sem sýnir hámarks vatnskraftsþörf, sem líkleg er við krónu. Kúrfan liggur um þá punkta ofantil á S-kúrfunum, þar sem þær verða láréttar. Hver S-kúrfa táknar tiltekið berglag. Við breyttar aðstæður kæmu fram aðrar S-kúrfur, en þær mundu verða svipaðar.

Aðra aðferð til að sýna áhrif vatnskrafts við krónu á borhraða má sjá á 16. mynd. Þar er sýndur árangur borunar í jöfnum kvarzsandsteini á strönd

Mexíkóflóa. Þar kemur greinilega í ljós, að til þess að sem bestur árangur náist við notkun háþrýstikróna, þarf að hafa hámarksálag á krónu, þ.e. nærri því það mikið álag, að svarfið fari að setjast í krónutennur. Til dæmis: Ef álag krónu er hér 5,4 tn og vatnshraði við krónu er aukinn úr 62 m/sek í 100 m/sek, þá eykst borhraði mjög lítið. Sá álagið á krónu hins vegar haft 9,1 tn og vatnshraði aukinn að sama marki, þá eykst borhraði um 17-27 m/klst. - u.þ.b. 60% aukning. Kúrfan sýnir minnkandi borhraða við 62 m/sek vatnshraða, þegar álag á krónu var aukið úr 6,8 í 9,1 tn. Talið er, að orsök þessa sé sú, að svarf sé farið að setjast í krónu. Aftur á móti jókst borhraði nokkuð, þegar álagið var aukið í 11,3 tn, án þess að vatnshraði væri aukinn. Talið er, að orsök þessa sé sú, að bergið sé það lint, að það þrýstist út undan krónunni við þetta álag. Kúrfurnar sýna stöðuga aukningu borhraða við 78 m/sek og 101 m/sek vatnshraða með auknu álagi. Þetta bendir til þess, að vatnskraftur við krónu hafi nægt til að fullhreinsa holubotn við þessar aðstæður.

## 2. kafli - Eiginleikar bergtegunda

Ymsar bergtegundir hafa verið þrýstipólprófaðar. Á 17. mynd má sjá þrýstipól ýmissa bergtegunda í Texas.

Dólómít er hart berg, sem finnst víða í lögum frá fornlífsöld (paleozoikum). Á myndinni sést, að þrýstipól þess er nær því það sama og graníts. Hreint dólómít hefur hörku 3,5-4,0 (harka sem nægir til að rispa koparpening), en harðasti kalksteinn, marmari, með hörku 3,0 gerir það ekki. Sendið dólómít eða sandsteinn með dólómítbindingi er oft eins erfitt til borunar og granít. Ef dólómítið er blandað kvarzsandsteini eða eldtinnu, er enn erfiðara að bora það. Athugið, að þrýstipól kvarzsandsteins,  $4860 \text{ kg/cm}^2$ , er mesta þrýstipól setbergs, sem vitað er um. Kvarzsandsteinn finnst í jarðlögum frá miðlífsöld (mesozoikum) og fornlífsöld (paleozoikum). Eðlis-eiginleikar bergs breytast við mjög mikinn þrýsting. Bergmoli getur haft aðra eiginleika á 3000 m dýpi undir þrýstingi efri jarðlaga, en þegar hann er kominn upp á yfirborðið. Nú hugsum við okkur, að við borum holu ofan að þessum bergmola, sem er á 3000 m dýpi. Þá minnkar þrýstingurinn á bergmolann, sem nemur þyngd bergsúlunnar, sem fjarlægð hefur verið við borunina. Í staðinn kemur þrýstingur frá vatnssúlunni í holunni, þ.e. þrýstingur - þyngd vatnssúlunnar. Vatnssúlan er aldrei eins þung og bergsúlan, sem búið er að fjarlægja, en þó verður að taka tillit til hennar (þ.e. vatns-

súlunnar) við athugun bergsýna á yfirborðinu við venjulegan loftþrýsting, 1 ata.

Athuganir hafa verið gerðar á rannsóknastofu á eiginleikum tiltekinna bergtegunda við 1 ata. þrýsting og við mikinn þrýsting. Notuð var 5 mm  $\phi$  tungsten-karbíð kúla. Athugað var hve mikla þyngd þyrfti til þess að hún þrengdi sér inn í bergið. Til þess að fá upplýsingar um eiginleika bergsins við sem líkastan þrýsting og er á holubotni, var gerð sams konar athugun á sama bergi við  $357 \text{ kg/cm}^2$  þrýsting í olfubaði. Bergmolarnir voru fyrst plasthúðaðir til að hindra að olían kæmist inn í holur bergsins. Bergmolunum var síðan komið fyrir í þartilgerðum þrýstikassa og þyngd sett á kúluna á sama hátt og áður. Athugun var gerð á þessum bergtegundum: Bleikur kvarzsandsteinn, granít, ýmiss konar sandsteinn og dólómít.

Þegar þyngd er sett á við 1 ata. loftþrýsting, þá heyrir í sumu bergi röð smáhvella, og greina má örffínar sprungur í því. Við aukna þyngd gefur bergið undir kúlunni snögglega eftir, mylst í steinryk og smáflísar og hola myndast. Þessi molun bergsins er svipuð því, er borkróna mylur það. Hins vegar varð svörun bergsins allt önnur við  $357 \text{ kg/cm}^2$  þrýsting. Þá komu í ljós greinilegar Brinell-hrannir, eins og myndast á linu stáli. Hola myndaðist, sem hafði sömu lögun og myljarinn (kúlan), en fjarlægða efnið hrannaðist upp við holubrúnirnar.

Á 19. mynd má sjá árangur athugana á sandsteinskjarna (frá Rush Springs í Bandaríkjunum). Sporin tvö, vinstra megin, voru mörkuð í bergið við 1 ata. þrýsting, en tölurnar "1600" og "2200" tákna þyngdina í pundum, sem þurfti til að marka sporin, sem sýnd eru. Svarfið var þarna enn til staðar, en auðvelt var að fjarlægja það. Sporin tvö hægra megin voru mörkuð í bergið við þrýsting  $357 \text{ kg/cm}^2$  í olíu, en tölurnar "3500" og "4000" tákna þyngdina í pundum, sem þurfti til að marka sporin, sem sýnd eru. Efnið virtist fljóta að nokkru marki og mynda Brinell-hrannir. Ekki var auðvelt að fjarlægja þetta efni, sem hafði hrannast upp um holuna. Dökku hringirnir um sporin er bergmylsna, sem hefur færzt úr stað, en er þó enn föst í berginu. Fjarlægja mátti hana með beittu áhaldi, en þó nokkuð mikið afl þurfti til.

Ekki kom þessi munur fram í öllum bergtegundum, sem athugaðar voru. Á sumum bergtegundum, svo sem kvarzsandsteini, graníti og dólómíti, voru ummerkin hin sömu við 1 ata. þrýsting og mikinn þrýsting. Hins vegar kom það greinilega í ljós við allar þessar athuganir, að þyngdin, sem þarf til að marka spor í bergið, er 50 - 100% meiri undir miklum þrýstingi en við 1 ata. þrýsting.



### 3. kafli - Borvökvi

#### LOFT EÐA GAS

Prófanir á rannsóknastofum fyrir allmörgum árum leiddu í ljós, að borhraði og borkrónuending er allmiklu meiri, sé gas eða loft notað í stað vatns eða leðju við borun. Borunartilraunir í grunnum skotholum í kalksteins- og dólómítínámum leiddu í ljós yfirburði lofts. Borkrónuending var tvöfalt meiri og borhraði nær tvöfaldaðist. Notkun lofts við snúningsborun skothola hefur síðan orðið ríkjandi. Á árinu 1950 var loft notað við borun vegna jarðskjálfta-mælinga með góðum árangri. Á árinu 1951 var gas notað við borun gashola í Nýju-Mexíkó í Bandaríkjunum. Borhraði var fimmfalt meiri en með leðju, og borkrónuending varð fjórfalt meiri. Tilraunir með loft- eða gasborun hafa verið gerðar á nær öllum olíusvæðum Bandaríkjanna og Kanada. Sums staðar er þessi aðferð nær einráð. Þar sem mögulegt er að koma við loft-eða gasborun, hafa afköst aukizt um nokkur hundruð prósent, bæði hvað viðkemur borhraða og krónuendingu. Yfirleitt eru notaðar í gasborun borkrónur fyrir harðara berg en við sömu aðstæður með vökva. Einnig er möguleg víðtækari notkun tungstenkarbíðkróna í fleiri tegundum berglaga.

Eitt meginvandamálið í loft- og gasborun er jarðvatn í holu. Vatnið veldur því, að svarfið hleypur í kekki og loðir við holuveggina og stangalengjuna, svo að bilið milli holuveggja og stangalengju minnkar eða hverfur alveg og orsakar festu. Í sumum tilvikum hefur notkun freyðiefna gefið góða raun í vatnslögum. Önnur aðferð er sú að dæla smá vatnsskömmtum ofan í holu við og við, eða vatnsúða, og hefur þetta sums staðar reynzt vel. Helzt þarf að útiloka jarðvatnsrennsli í holu. Almennt er talið, að loft- eða gasmagn það, sem þarf í snúningsborun, sé það magn, sem veldur lofthraða 670-1000 m/sek., þar sem hann er minnstur í uppstreymisbilinu.

#### VÖKVAR

Þrátt fyrir þann góða árangur, sem hefur fengizt í loft- og gasborun, þá virðist svo sem vatn og leðja muni enn um sinn verða ráðandi í olíuborun. Borvökvar þurfa að gera meira en að fjarlægja svarf. Þeir eiga að þetta berglögin, sem borað er í gegnum; gefa staðvatnsþrýsting, sem vegur upp á móti berglagaprýstingi; smyrja holuna, svo að borstangalengja geti snúizt hindrunarlaust; og fleira, sem loft eða gas dugar ekki eins vel til.

Stofuprófanir hafa verið gerðar til að athuga áhrifin á borhraða í hörðum berglögum, þegar notuð er leðja í stað vatns. Þyngd leðju var 1,1 kg/l (9 pund/gallon) og seigja 53-63 sek/l (50-60 sek/quart; quart = 0,9463 l). Á 20. mynd eru sýndar niðurstöður þessara prófana. Borhraði minnkar að mun, þegar leðja er notuð í stað vatns. Aukið álag á krónu vó lítillaga upp á móti borhraðaminnkun. Þessar prófanir staðfestu niðurstöður fyrri stofuprófana á tilteknum tegundum sandsteins og fjölda staðarprófana, að borleðja dregur úr afköstum borkróna.

Stofuprófanir voru einnig gerðar til að athuga áhrif leðjuseigju á borhraða. Vatn var notað til viðmiðunar. Prófanirnar voru gerðar á basalti, sem er mjög hart berg. Niðurstöður má sjá á 21. mynd.

Þó að ekki sé fullkomið samræmi í tölunum, þá er augljóst, að seigja hefur mikil áhrif á borhraða. Staðarathuganir benda til enn meiri minnkunar borhraða, þegar vatnsheldin meðalseiguleðja er notuð í stað vatnsgæfrar lágseigjuleðju. Ekki er óalgengt, að borhraði minnki um 50%, og borprófanir hafa leitt í ljós 200-300% meiri borhraða með vatni en leðju.

Röð stofuprófana var gerð til að athuga áhrif vökvaprýstings á borunareiginleika bergs. Reynt var að halda borhraða eins jöfnum og kostur var, og álagið á krónu var mælt með álagsmælum, sem festir voru við botnplötu, sem bergsýnið var látið sitja á. Taflan á 22. mynd sýnir árangurinn með 0,4 kg/cm<sup>2</sup> (6 p.s.i.) þrýstingi á bergið. Prófunin var endurtekin með 7,0 kg/cm<sup>2</sup> (100 p.s.i.) þrýstingi á bergið. Niðurstöður eru sýndar á 23. mynd. Í stuttu máli voru niðurstöðurnar þessar :

1. Meira álag þarf á krónu til að halda tilteknum borhraða með leðju en með vatni.
2. Áhrif leðjudælingar eru mjög mismunandi eftir berglögum.
3. Með því að auka dælingarhraða má minnka þau áhrif, sem leðja hefur til minnkunar borhraða.
4. Álagsaukning í prósentum, sem þarf til að halda jöfnum borhraða með leðju, er meiri við 7 kg/cm<sup>2</sup> bakþrýsting á berg.

Frekari stofuprófanir voru gerðar með lítilli (1 1/4", 32 mm) tvíkeilukrónu við ýmis þrýstihlutföll. Við borun bæði gropsins og tiltölulega þétts bergs minnkaði borhraði að mun, þegar þrýstimunur milli vökva í borholu og bergs var aukinn. Í gropnu bergi settist svarflag á holubotn og olli minnkun

borhraða. Með því að nota háþrýstistúta á borkrónu, mátti auka borhraða. Í tiltölulega þéttu bergi minnkaði borhraði við aukinn þrýstimun. Ástæðan var talin sú, að staðvatnsþrýstingur yki styrkleika bergsins.

Til framfara í leðjutækni má telja notkun olíu í kolloíðupplausn í öllum tegundum vatnsleðju. Fyrst var olíuupplausnarleðja notuð við borun erfiðra flögubergslaga og til að auka gæfni þétttra lágþrýstisandlaga. Aukning borhraða við notkun þessarar leðju leiddi til frekari tilrauna með olíuupplausn í leðju við alls konar borun. Árangurinn hefur víða orðið mjög góður. Borhraði hefur tvöfaldast í sumum berglögum og ending lega og skurðflata hefur aukizt. Samanburður á borgögnum um ýmsar holur, sem boraðar voru með vatnsleðju og olíuleðju bendir til þess, að borkrónunýting aukist verulega, þegar notuð er olíuleðja. Þetta er þó mismikið. Aukningin verður mest við borun í lausu og fremur línu eða þjálu flögubergi. Aukningin verður ekki eins mikil við borun harðra, seigra og styrkra berglaga, svo sem kalks eða dólómíts, og við borun í stökku bergi, svo sem kvarzsandsteins.

Ástæðan til þess, að olíuleðja eykur borhraða og borkrónuendingu er ekki vituð, en eftirtalin atriði virðast ráða hér nokkru um :

1. Minnkað vægi og holuviðnám. Álagsmælir sýnir nákvæmar það álag, sem er á borkrónu.
2. Svarf sezt síður á skurðfleti.
3. Smureiginleikar olíunnar valda aukinni endingu lega.
4. Betri hreinsun holubotns, þar eð svarf myndar síður eðju á holubotni.

Fjölmarginar stofuprófanir hafa verið gerðar til að fá samanburð á áhrifum mismunandi borvökva á endingu opinna lega. Við þær aðstæður reyndist olíuleðja bezt. A. m. k. í tvö skipti var leguending minnst, þegar notuð var leðja, sem fengin var frá borun í Vestur-Texas, Arkansas og Louisiana. Þessi leðja hafði verið notuð við borun á þessum svæðum, svo að hætt er við, að hún hafi tekið í sig skaðleg efni í borun. Prófanir voru því endurteknar með sams konar leðju, sem fengin var beint frá framleiðanda og þau blöndunarhlutföll höfð, sem hann mælti með. Niðurstöður voru jákvæðar, miðað við niðurstöður prófana með venjulegri bentonít-leðju. Eitt leðjusýnið frá borsvæði minnkaði borkrónuendingu á rannsóknastofu um u.þ.b. 50% miðað við venjulega bentonít-leðju. Á 24. mynd má sjá niðurstöður stofuprófana á legum í 7 7/8" (200 mm) borkrónu með opnum legum. Notuð var hydrogen-súlfíðleðja, bentonít - barít-leðja og olíuleðja. Hydrogen-súlfíð styttir mjög

endingu lega. Sömu áhrif hefur brennisteinsmengað vatn, sem kemur í holu við borun.

Staðarprófanir hafa hvað eftir annað leitt í ljós, að olíuleðja eykur leguendingu umfram aðrar leðjur. Í sumum prófunum hefur hún reynzt tvöföld miðað við vatnsleðju. Hins vegar hefur olíuleðja í sumum tilvikum dregið úr borhraða og krónuendingu. Áhrifin á krónunýtingu eru mest áberandi í sumum tegundum sandsteins. Borgögn hafa sýnt allt að 50% minnkun.

#### 4. kafli - Slitnar borkrónur

Athuganir á slitnum borkrónum geta oft gefið upplýsingar, sem gagnlegar eru við val borkrónugerða og einnig ef breytinga er þörf við framkvæmd borunar.

A 25. til 37. mynd má sjá ýmiss konar ástand slitinna borkróna. A 25. mynd er borkróna, sem hefur slitnað mikið og rúnnast á jaðarflötum. Krónan er fyrir meðalhart berg, með víxlsettum jaðartönnum. Með þessari víxlsetningu eru slitfletir minni að flatarmáli og slitvörn þar með minni á jaðarflötum. Þetta slit gefur til kynna, að bergið hafi verið of rífandi fyrir þessa krónugerð eða að krónan hafi verið notuð of lengi. Lausnin er því sú, að minnka notkunartíma þessarar krónugerðar eða að nota aðra gerð með stærri jaðarflötum.

Þegar sams konar slit verður á borkrónum fyrir lint eða meðal-ling berg, þá er ekki ráðlegt að ákveða strax notkun krónu fyrir hart berg með hámarks slitvörn á jaðarflötum, þar eð þetta kann að auka borkostnað að mun.

Jaðarslit, ástand innri tannaraða og notkunartími krónu geta gefið til kynna, að aðeins sé þörf örlítið meiri slitvarnar á jaðarflötum. Króna fyrir meðalhart berg gæti henta.

A 26. mynd má sjá krónu, sem hefur slitnað mjög mikið á jaðarflötum. Hún hefur slitnað það mikið, að kúlur eru horfnar úr kúlulegum. Þessi króna var notuð lengi í hörðu, rífandi bergi. Þetta mikið slitin króna bendir til þess, að borun í nokkrum hluta holu hafi ekki verið sem hagkvæmust, því að króna getur ekki borað með góðum árangri eftir að slit er orðið þetta mikið. Nokkur hluti þeirrar holu, sem boruð var með þessari krónu, nær ekki máli, og þá verður að rýma hana með næstu krónu, sem við það endist styttra til borunar á holubotni.

Á 27. mynd er króna með mikið brotnar tennur. Tannabrot geta stafað af of miklu álagi og/eða af miklum snúningshraða, en hvort tveggja veldur miklu höggaálagi á tennur. Tannabrot geta einnig stafað af því, að bergið er of hart fyrir krónugerð.

Brot eða kvörnun tanna í hófi er ekki endilega svo skaðleg. Sé ekki um slíkt að ræða, getur það bent til þess, að nota ætti krónu fyrir linara berg eða þá, að starfshættir leyfa ekki fulla krónunýtingu. Ef tannabrot virðast draga úr krónunýtingu, gæti verið ráðlegt að nota krónu fyrir harðara berg eða breyta starfsháttum (minna álag og/eða minni snúningshraði). Slitvörn tanna gerir þær þórnari í rífandi efni, en um leið er þeim hættara við kvörnun og brotum. Sé engin sérstök slitvörn á tönnum, hættir þeim síður við brotum, einkum í hörðu bergi.

Á 28. mynd er króna með mjög kvarnaðar tennur. Þannig slit er algengt við borun með miklu álagi í bergi svo sem hörðu kalki eða dólómíti. Þegar krónan slitnar, eyðist yzta harðlag tanna og hinn seigi kjarni þeirra kemur í ljós. Sé nú sett meira álag á krónu, til að halda borhraða, þá hnoðast tennurnar á þennan hátt. Þannig slit er oft talið stafa af rangri herzlu tanna. Sú ályktun er röng. Oft má ná betri árangri í borun með krónu fyrir harðara berg. Krónur fyrir hart berg eru oftast fánlegar án sérstakrar slitvarnar á tönnum.

Á 29. mynd er sýnd króna, sem borað hafði verið með, eftir að hún stíflaðist. Eins og sjá má, hafa keilur dregizt eftir holubotni, enda þótt legur séu í góðu lagi. Þannig slit er algengast í linu og límkennu bergi. Stíflunin getur stafað af of miklu álagi, en þá bíta tennur of djúpt í bergið, eða þá að borvökvinn megna ekki að flytja svarfið burt. Svarfið hleðst upp utan um keilurnar og veldur því, að þær dragast eftir holubotni, en þá slitna aðeins þær tennur, sem snúa að botni. Koma má í veg fyrir þannig slit, með því að minnka álag á krónu og/eða með því að auka hraða borvökva (magn dælds borvökva).

Á 30. mynd er sýnt fyrirbæri, sem ekki er mjög algengt, en getur dregið úr afköstum krónu í mjög linu og auðboruðu bergi. Takið eftir eyðingu hússins utan um festihring stúts. Þess konar slit er samfara miklum borhraða og of litlum vatnshraða í stútum, sem veldur stíflun krónu. Leðjustraumurinn hefur lent á svarfköknum um keilu og kastast til baka að stút með fyrrgreindum afleiðingum.

Á 31. mynd hafa keilurnar eyðst mjög af leðjustraumi úr venjulegum vatnsrásum. Á krónum með venjulegar vatnsrásir eru stútar þannig staðsettir, að þeir beina borvökva að keilum til þess að halda þeim hreinum; borvökva-hraði er 30 m/sek eða minni. Á háþrýstikrónum eru stútar þannig staðsettir, að borvökva er beint að holubotni, en ólgan, sem myndast um krónu, hreinsar krónu. Vatnshraði er hér miklu meiri, yfirleitt 60 m/sek eða meira.

Slit eins og á krónunni á 31. mynd verður aðeins á krónum með venuulegar vatnsrásir. Orsökina er of mikill hraði borvökva, einkum ef notuð er leðja, sem inniheldur rífandi efni. Þessum vanda má afstýra með notkun háþrýstikróna, en þá lendir vökvastraumurinn á holubotni, en ekki á keilum. Annað úrræði er að minnka magn dælds borvökva eða að víkka vatnsrásir. Ef borvökva-hraði er minna en 30 m/sek um venjulegar vatnsrásir, er þannig svörfun sjaldgæf.

Á 32. mynd er borkróna, sem hefur ekki slitnað jafnt (hjámiðjuslit). Þessi króna hefur ekki snúizt um sína eigin miðju. Þetta er oft samfara borun í flögubergi, þegar borhraði er 1,7 m/klst eða minni. Þegar þetta gerist, ná skurðfletir ekki til allra hluta holubotns, og hryggir myndast á holubotni, sem nuddast við keilu. Þessu má afstýra með því að auka borhraða með einhverju móti. Til dæmis með því að nota í staðinn krónu fyrir linara berg eða með aukningu vatnshraða og álags á krónu.

Á 33. mynd er sýnd mjög slitin króna. Þessi króna er fyrir hart berg, en þannig slit er algengt við borun í mjög hörðu, rífandi bergi, svo sem kvarzsandsteini. Sé borhraði mjög lítil, er líklegt, að tungsten-karbíðkróna henti vel.

Borkrónan á 34. mynd er fyrir lint berg og er talin sýna eðlilegt slit, en gæti þó enn enzt nokkuð. Takið eftir, að tannabrot eru ekki fyrir hendi og kvörnun er lítil. Slitlagið hefur varið vel tannafláa gegn sliti. Einnig hefur dreifing slitlags verið góð, svo að tennur hafa haldizt tiltölulega hvassar, enda þótt þær hafi slitnað talsvert á hæðina. Þetta bendir til þess, að krónuval hafi hér heppnast vel. Svo virðist sem nota hefði mátt þessa krónu lengur til hagkvæmrar borunar.

Á tungsten-karbíðkrónunni á 35. mynd má sjá mikla svörfun (eyðingu) keilna, sem varð við borun með gasi í mjög rífandi bergi. Mjög mikill loftstraumur eða gasstraumur getur valdið þannig sliti, ef rífandi svarf er til staðar, því

að þá verkar þetta sem sandblástur. Takið eftir því, að keila hefur slitnað utan af tungsten-karbíðoddum, þannig að þeir standa nú talsvert lengra út úr keilu. Á myndinni sést, að nokkrir tungsten-karbíðoddar hafa hrokkið úr keilu, vegna þess að stuðningur við þá hefur minnkað um of. Nauðsynlegt er því að minnka loftstreymi.

Tungsten-karbíðkrónan á 36. mynd sýnir svörfun málms í keilu utan af tungsten-karbíðoddum. Oddarnir losna og hrökkva úr keilu. Þannig slit verður helzt á krónum með venjulegar vatnsrásir, þegar vatnskraftur nægir ekki til að hreinsa holubotn.

Á 37. mynd eru sýndar keilur af tungsten-karbíðkrónu, en þar hafa jaðar-tennur brotnað. Þessi króna var ætluð til borunar í linari millilögum í hörðu bergi. Þannig skemmdir á krónu geta orðið, ef berg er of hart fyrir hana og ætti þá að nota í staðinn krónu fyrir harðara berg.

#### 5. kafli - Mikilvægi skýrslugerðar

Tæplega verður lögð of mikil áherzla á gerð ítarlegra og nákvæmra skýrslna um alla þætti borunar. Skýrslur þessar eru oft gagnlegar við síðari boranir og við kaup og viðhald á dýrum bortækjum. Nákvæmni skýrslna og úrvinnsla þeirra getur haft úrslitaáhrif um hagkvæmni í rekstri.

Enda þótt nauðsynlegt sé að gera ýmiss konar skýrslur, verða hér aðeins ræddar þær skýrslur, sem beint snerta borkrónunotkun. Með nákvæmri athugun borkrónuskýrslna má fá gagnlegar upplýsingar varðandi val borkróna og starfshætti. Algengustu mælikvarðar fyrir borkrónur eru þessir: Metrafjöldi á krónu og borhraði á krónu. Nauðsynlegt er að draga þessi tvö atriði saman í eitt, en það verður bezt gert með því að miða við borkrónukostnað á hvern boraðan metra. Borkrónuskrá, eins og sú, sem sýnd er á 38. mynd, er oft notuð til samanburðar á borunarhæfni tveggja borkrónugerða. Sjá má, að þrjár krónur af gerð A og tvær krónur af gerð B voru notaðar til skiptis. Borskýrsla sýndi, að berglög voru svo til óbreytt. Meðaltími A-gerðar var 5 m á 3,1 klst. Meðaltími B-gerðar var 6,7 m á 5,9 klst. Hvor krónugerðin reyndist betri? Sú sem boraði nothæfa holu með minni kostnaði á metra. Af samanburði á meðalmetrafjölda krónu og meðal-borhraða má oft sjá þetta, en þar eð B-gerð hafði minni borhraða, sést ekki í fljótu bragði, hvor krónugerðin boraði hvern metra með minni kostnaði.

Stundum er margfeldi metrafjölda og borhraða notað sem mælikvarði um bor-krónuendingu. Þessi mælikvarði getur reynzt sæmilega nákvæmur í sumri borun, en er nær gagnslaus við borun í línu og ekki rífandi bergi, þar sem bortími á krónu getur orðið mjög lítill. Við nákvæman útreikning á nýtingu borkróna verður að taka tillit til rekstrarkostnaðar bortækja, verð borkrónu og tímann, sem fer í krónuskipti. Beinast liggur við að reikna út kostnað á hvern boraðan metra fyrir hverja borkrónu. Til þess má nota eftirfarandi líkingu:

$$K = \frac{B + R (T - t)}{M}$$

Þar sem  $K$  = borkostnaður í krónum/metra,  
 $B$  = verð borkrónu í krónum,  
 $R$  = rekstrarkostnaður bors í krónum/klst.,  
 $T$  = bortími í klst.,  
 $t$  = krónuskiptatími í klst.,  
 $M$  = metrafjöldi boraður með borkrónu.

Æskilegt er að telja sem bortíma aðeins þann tíma, sem borkróna snýst á holubotni. Krónuskiptatími reiknist sem meðaltími frá því að borkróna fer frá botni, þangað til borun hefst með næstu krónu, þ.e. tekið er meðaltal af þeim töfum, sem verða í sambandi við krónuskipti, svo sem venjulegum tíma til dælingar til að hreinsa svarf úr holu (skolun), tíma til leðjublöndunar, töfum vegna minni háttar viðgerða, hæfilegum hluta þess tíma, sem fer í að færa upp á vír, og meðaltíma til rýmingar. Oft má ákvarða skiptatímann sem meðaltíma á hverja 300 m, þegar tillit hefur verið tekið til allra þátta. Upphæð rekstrarkostnaðar, sem notuð er í líkingunni, er rétt að hafa nokkru hærri en raunverulegur rekstrarkostnaður er, til þess að vega upp á móti ýmsum smátöfum í borun og lengri töfum vegna meiri háttar viðgerða. Rekstrarkostnaður bortækja, borkrónukostn. og krónuskiptatími er mjög mismunandi eftir borstærð, holudýpt og vídd og öðrum aðstæðum. Tökum dæmi: Rekstur bortækja : kr. 3.500,- klst. Verð borkrónu kr. 14.000,- og 10 klst. til krónuskipta. Kostnað á metra miðað við meðaltíma fyrir bor-krónugerðir A og B á 38. mynd má þá reikna :

Gerð A, kostnaður/metra = kr. 4.000,00

Gerð B, kostnaður/metra = kr. 3.500,00

Nú er fenginn samanburður á gerðum A og B. Gerð B reyndist heppilegri í þessu tilviki vegna lægri kostnaðar á metra. Þegar fundin hefur verið meðal-tala rekstrarkostnaðar bortækja á klst. og skiptatími fyrir hverja 300 m, þá



er mögulegt að útbúa töflu, sem flýttir fyrir útreikningi kostnaðar á metra. Við mat á borkrónunýtingu verður að sjálfsgöðu að taka tillit til allra þátta, sem geta haft áhrif á hana, svo sem álags á krónu, snúningshraða, berglaga, tegundar borvökva o.s.frv.

Á 39. mynd er sýnt dæmi um áhrif álags á krónu. Borað var með tveimur krónum af mismunandi gerð við borun í sama berglagi við sama álag.

Þegar borin eru saman áhrif álags, þá kom í ljós, að króna A reyndist ekki eins vel með 22,5 tn álagi og 13,5 tn álagi. Ástæðan er líklega sú, að skurðfletir eða legur þöndu ekki þyngra álagið, og þá varð kostnaður hærri á metra, enda þótt borhraði væri meiri. Hins vegar reyndist króna B mun betur betur með 22,5 tn álagi en 13,5 tn álagi. Nota varð 70% meira álag á krónu B, til þess að afköst hennar jöfnuðust við krónu A. Hér virðist því henta best að nota krónu A með 13,5 tn álagi.

MEÐAL AFKÖST MEÐ MISMUNANDI ÁLAGI						
Gerð krónu	Álag	Dýpt í m	Metrafjöldi boraður	klst.	m/klst	Kostn. á m í kr.
A	13,5	2440	39,6	10,0	3,96	2110
A	22,5	2440	33,5	8,0	4,20	2230
B	13,5	2440	42,7	14,0	3,05	2370
B	22,5	2440	44,2	12	3,68	2090

39. mynd

Augljóst er, að athuganir á skýrslum um borkrónunýtingu geta leitt til lækk- aðs rekstrarkostnaðar með vali hentugustu borkrónugerða og starfshátta. Þetta ætti einnig að geta leitt til þess, að minni rekstrarvörulager þurfi að vera til staðar á borstað.

## ORÐALISTI

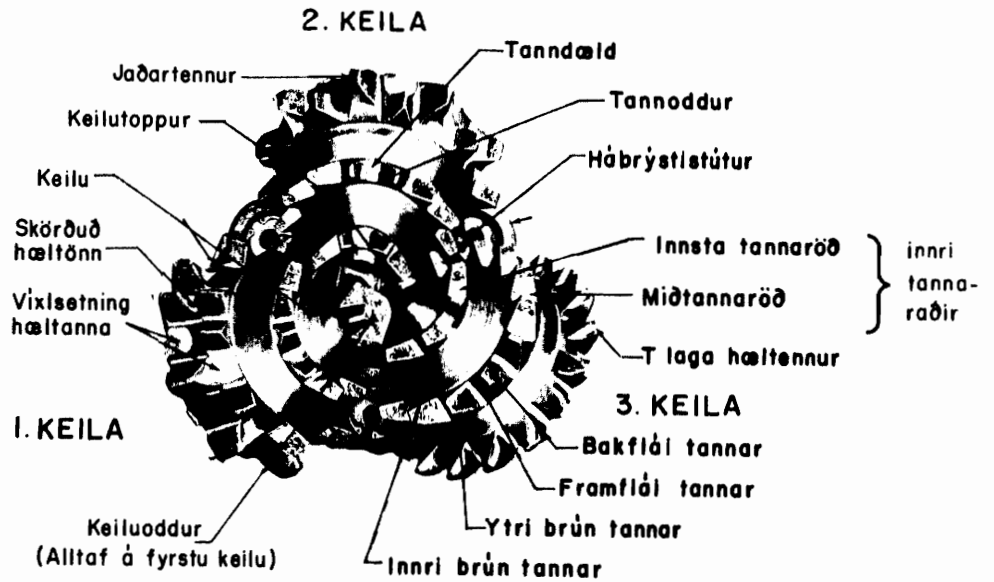
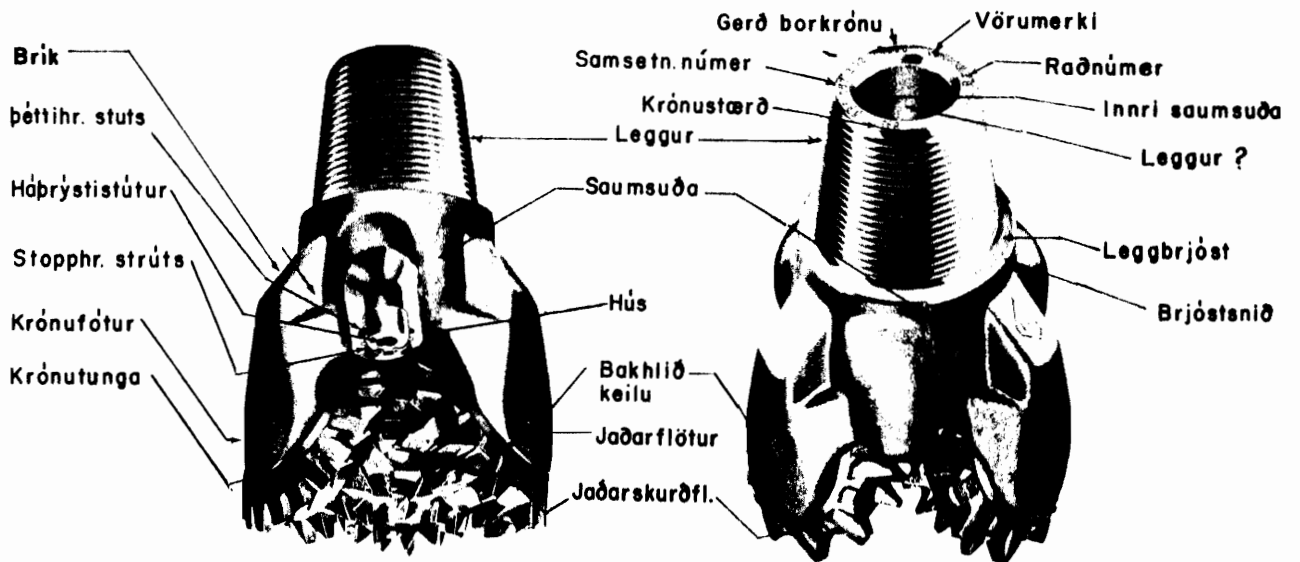
### Nokkur bortækni- og jarðfræðiorð

anhýdrít	- anhydrite
áshorn	- pin angle
áslægur útþrýstingur	- outward axial thrust
barít (þyngdarefni)	- barium sulphate
basalt (basískt gosberg)	- basalt
blágrýti	- dulkornótt og dökkt basalt
bentonít (gel)	- bentonite
berglag	- formation
bergæð	- vein
borgögn	- field data
breksía (brotaberg)	- breccia, agglomerate
Brinell-hrannir	- Brinell mark
dæmigerður	- typical
eggstál	- cutter
eldtinna	- flint
flöguberg	- schist
fræst borkróna	- milled teeth bit
gasborun	- gas drilling
gerð bergs, jarðmyndana	- structure
gips	- gypsum
gleypinn	- permeable
gosberg	- volcanic rock
gösbreksía	- volcanic breccia
gosmöl	- tephra
grágrýti	- smákornótt og grátt basalt
gæfni	- productivity
háþrýstikróna	- jet bit
hliðarálag	- radial load
innskotslag	- sill
jaðarflötur	- gage area
jaðartönn	- heel tooth
jarðhita-	- geothermal
jarðlagahalli	- dip
jarðskjálfta-, jarðsveiflu-	- seismic
jökulberg	- harðnaður jökulruðningur

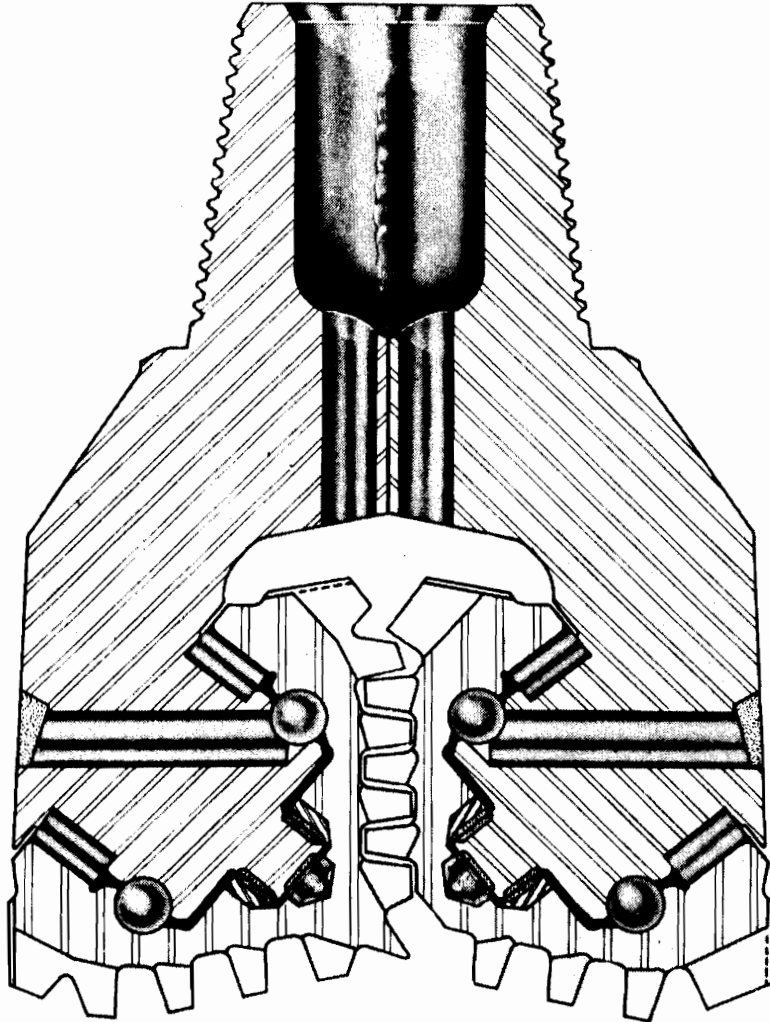
jökulruðningur	- miskorna set
jökulruðningur	- moraine, boulder clay
kalkspat	- calcit
kalksteinn	- limestone
kalksteinn með smákristölluðu kvarzi-	chert-bearing limestone
keiluás	- bearing pin
keiluhjólakróna	- rolling conical cutter bit
krossrúllukróna	- cross roller bit
krónuferð	- bit run (trip)
krónufótur	- bit leg
krónuhús	- bit body
krónutunga	- shirrtail
kvarnandi-molandi verkun	- chipping-crushing action
kvarzít	- quartzite
lagskipting	- stratification
lagskiptur leirsteinn	- shale
leguás	- bearing pin
leir	- clay, soft shales
límkenndur	- sticky
líparít	- rhyolite
loftborun	- air drilling
méla (fínkornað set)	- silt
miðjustillir	- stabilizer
misgengi	- fault, dislocation
mislægi	- unconformity
molaberg	- setberg úr bergmylsnu
móberg	- samlímd basaltgosaska
óbreyttur	- uniform
plógkróna	- drag bit
rífandi efni	- abrasives
rífandi efni, inniheldur ekki	- non-abrasive
rífandi-skrapandi verkun	- gouging-scraping action
sandur með lítið þrýstipól	- low pressure sand
setbreksía	- sediment breccia
setlag	- sediment
skrikun	- slippage
skröpun	- scraping
slitvörn	- hardfacing
smáskjálfta-	- micro-seismic

snið slitlags	- pattern of hardfacing
staðarprófanir	- field test
staðvatnsþrýstingur	- hydrostatic pressure
starfshættir	- operationg condition
steintegund	- mineral
stofuprófanir	- laboratory experiments
storkuberg	- igneous rock
stýriás	- pilot pin
stýrilega	- plain bearing
stýring	- pilot pin
svörfun	- erosion
tannarflái	- tooth flank
túff	- móberg úr gosösku
tvíkeilukróna	- two-cone bit
úðaborun	- mist drilling
útþrýstingur, áslægur	- outward axial thrust
vatnsgæf leðja	- high water-loss mud
vatnsheldin leðja	- low water-loss mud
vatnshestöfl við krónu	- hydroulic horsepower at bit
vatnshraði í stút	- jet velocity
vatnshraði í stút	- nozzle velocity
vindingsverkun	- twisting action
vinnsluborun	- development drilling
víxlbit	- interfit
víxlsetning jaðartanna	- heel teeth interruptions
vægi	- torque
völuberg (setberg úr samlímdum hnullungum eða mól)	- conglonerate
wolfram-karbíðoddur	- tungsten-carbide compact
ytri hluti keilu	- heel surface
þéttur	- impereable
þjáll	- plastic
þríkeilukróna	- tri-cone bit
þrýstipól, mikið	- high compressive strength

# NÖFN HINNA ÝMSU HLUTA BORKRÓNU

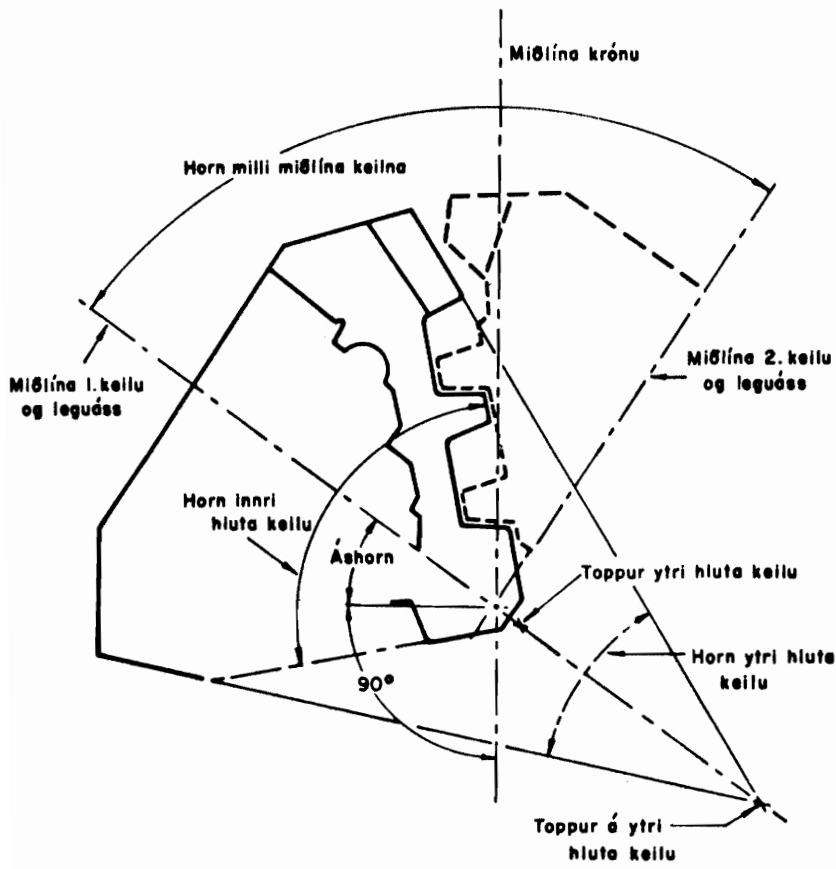


# LANGSKURÐUR TVÍKEILUKRÓNU



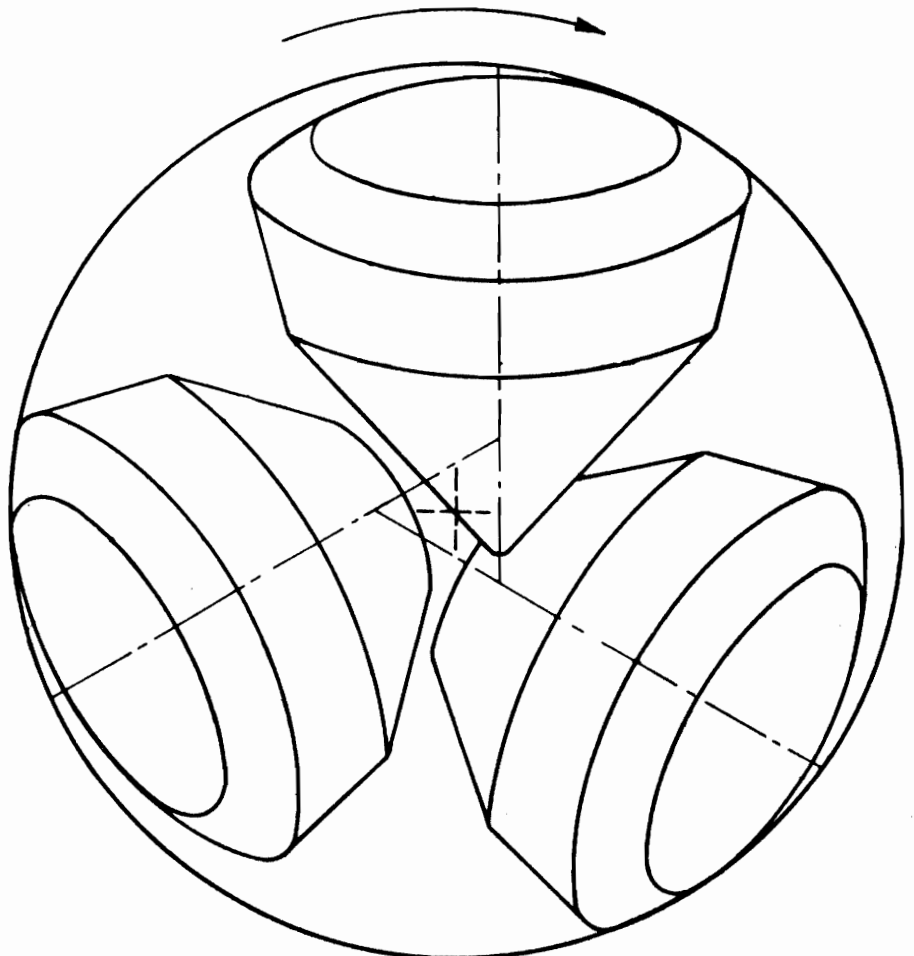
2. Mynd

# ÞRÍKEILUKRÓNA



3. Mynd

SNÚNINGSAÐT



4. Mynd

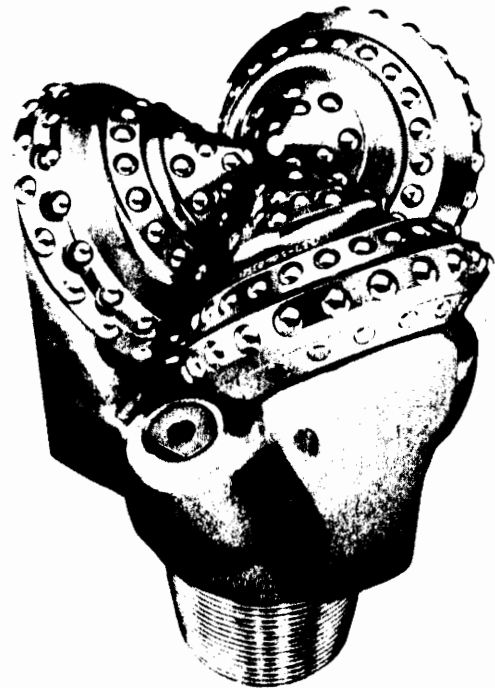
BORKRÓNUR SETTAR WOLFRAM ODDUM



RG-7XJ



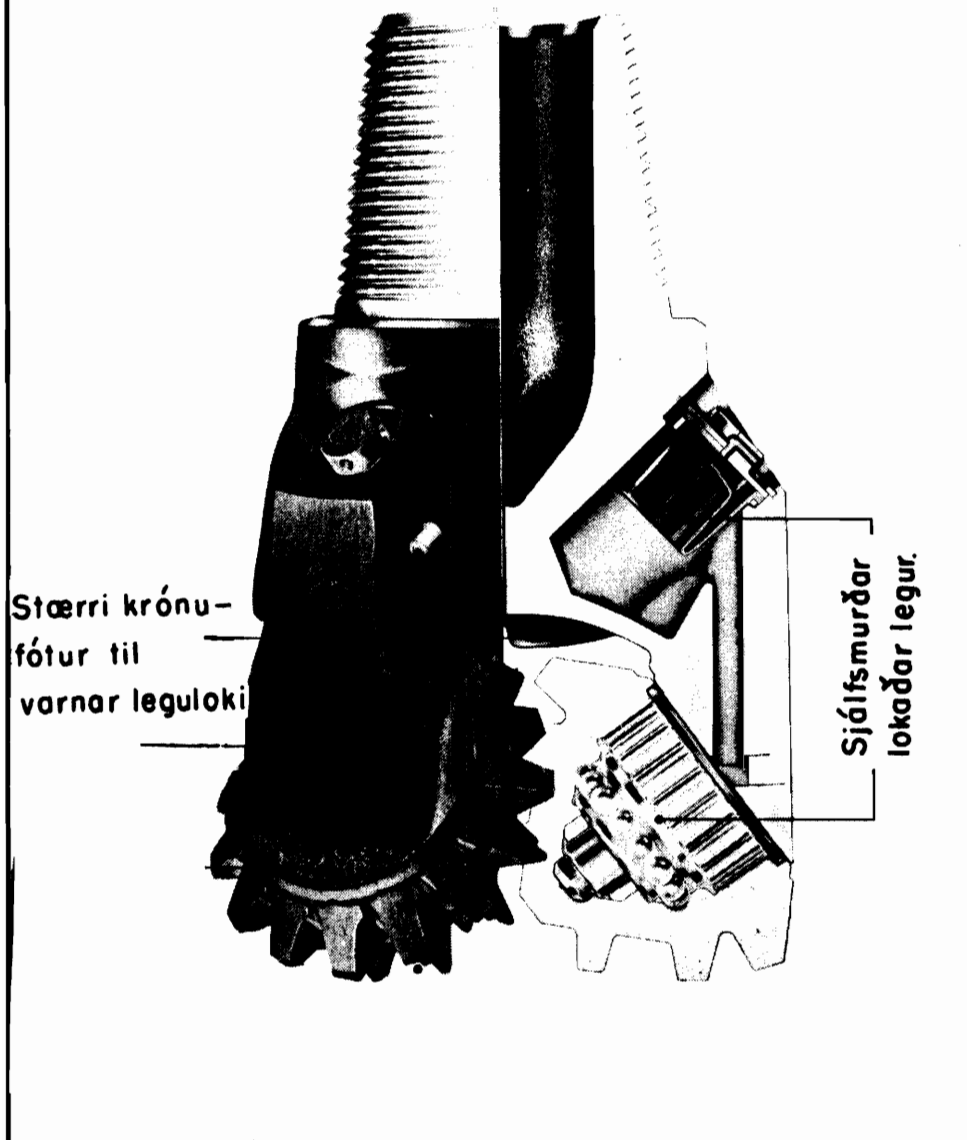
RG-1XJ



RG-2BXJ



# BORKRÓNA MEÐ LOKAÐAR LEGUR



6. Mynd

VENJULEGAR TANNHJÓLAKRÖNUR MÆÐ HLIJSJÓN  
AF JAREBORUN OG HELZTU HÖNNUNARATRIEUM

BOR- KRÖNU- FLOKKUN	BOR- KRÖNU- GERÐ	BERGLÖG	HÖNNUNARATRIE I		SKUREARVERKUN		
			Tanna- bíl	Tanna- hæð	Jæðar- slitlag	Kvarrandi Molandi	Rífandi Skrapandi
LIN BERGLÖG	OSC-3A	Auðboruð lin berglög með lítið þrý- stípol, t.d. leir, linur lagskiptur leirst. linur kalkst. laus berglög.	///	///	///	///	///
	OSC-3	Lin til meðal berglög með hörðum millilögum, t.d. þéttur, óharðnaður eða sendinn leir, gifs, linur kalk- steinn.	///	///	///	///	///
MEÐAL LIN	OSC-1G	Lin til meðal berglög með hörðum millilögum, t.d. meðalharður og óharð naður leirsteinn, gifs, meðalharður leirsteinn, óbundinn sandur	///	///	///	///	///
	OSC	Meðal til meðalhörð berglög, t.d. harðari leirsteinn, sendinn leirst. leirst. m. sand-og kalkst. millilögum	///	///	///	///	///
MEÐAL- HÖRÐ BERGLÖG	OWV	Meðalhörð rifandi til hörð berglög, mjög þrýstípolið berg, t.d. dólómít, harður kalksteinn, hart flöguberg	///	///	///	///	///
	OWC	Hörð minna rifandi berglög, t.d. harð- ur sendinn kalkst. m. smákristölluðu kvarzi, dólómít, granít, kvarzsandur	///	///	///	///	///
HÖRÐ BERGLÖG	W 7	Hörð rifandi berglög, t.d. kvarz- sandur, kvarzsandsteinn, þýrit. gran- ít, harður sandsteinn.	///	///	///	///	///
	W7R-2 W7		///	///	///	///	///

SJÁLFSMURAR TANNHJÓLAKRÖNUR MED LOKUÐUM LEGUM (X-LINE) MED HLISSJÓN AF JARÐBORUN OG HELZTU HÖNNUNARTRÍUM						
BOR- KRÖNU- FLOKKUN	BOR- KRÖNU- GERE	BERGLÖG	HÖNNUNARTRÍI		SKURLARVERKUN	
			Tanna- bil	Tanna- hæð		
LIN- BERLÖG	X 3A	Auðboruð lin berglög með lítið þrýstihól, t.d. leir. Linur lagskipturleirsteinn, linur kalkst., laus berglög				
	X 3					
MEDAL LIN BERGLÖG	X 1G	Lin til meðal berglög eða lin með hörðum millilögum, t.d. þéttur, óharðnabur eða sendinn leir, gífs linur kalksteinn.				
MEDAL HÖRÐ BERGLÖG	X V	Meðal til meðalhörð berglög, t.d. harðari leirsteinn, sendinn leirsteinn leirst. m.sandst.eða kalks.m.l.				
	X C	Meðalhörð rifandi til hörð berglög, mjög þrýstipolið berg, t.d.,dólómit, harður kalksteinn, hart flöguberg				
HÖRÐ	X 7	Hörð minna rifandi berglög, t.d.harður sendinn kalkst, m. smákrístölluðu kvartzi, dólómit, granit, kvarzsandur				
	X W R	Hörð rifandi berglög, t.d. kvarzsandsteinn, kvarzsandur, pírit, granit, harður sandsteinn.				

KEILUKRÖNUR MEÐ TUNGSTEN-KARBÍÐODDUM

MEÐ HLIÐSJÓN AF JARÐBORUN OG HELZTU HÖNNUNARTRIEUM

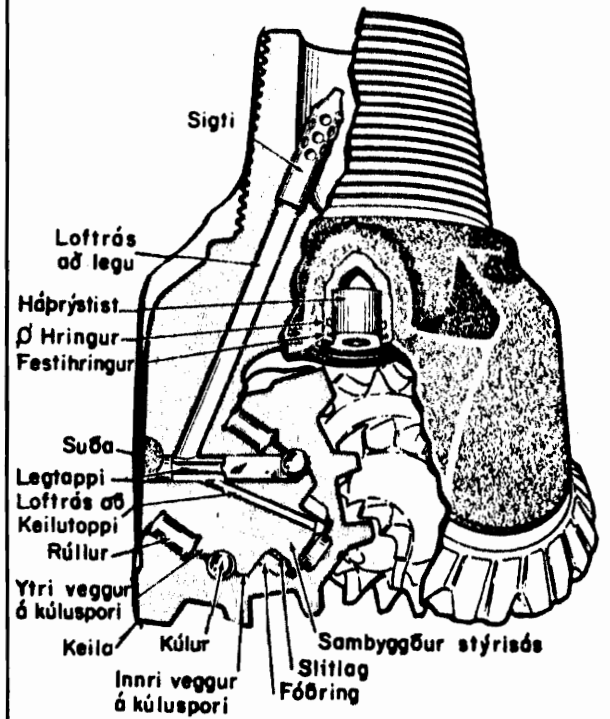
BOR- KRÖNU FLOKKUN	BOR- KRÖNU GERÐ	BERGLÖG	HÖNNUNARTRIEI		SKUREARVERKUN
			Odda- bil	Odda- hæð	
RC-7		Linari gerðir harðra berglaga, t.d. kalkst. dólómít, harður sendirn leirst.	///	///	Kvanandi Rifandi Molandi Skarp. ///
RC-1		Meðal gerð harðra berglaga, t.d. kvarzs. granít, basalt, kvarzsandst.	///	///	///
RC-23		Harðasta gerð harðra rifandi berglaga kvarzsandst. og kvarzsandur	///	///	///

### HÁÞRÝSTIKRÓNA



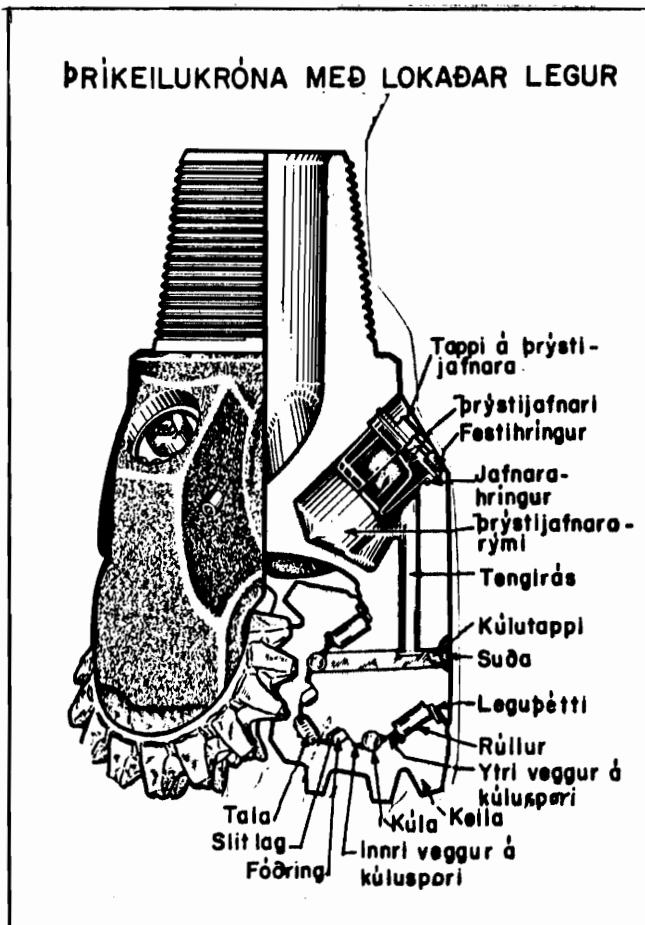
10. Mynd

### DÆMIGERÐ ÞRÍKEILUKRÓNULEGA FYRIR LOFT, OG LOFTRÁSIR .



11. Mynd.

### ÞRÍKEILUKRÓNA MEÐ LOKAÐAR LEGUR



12. Mynd

ATM

HYDRO

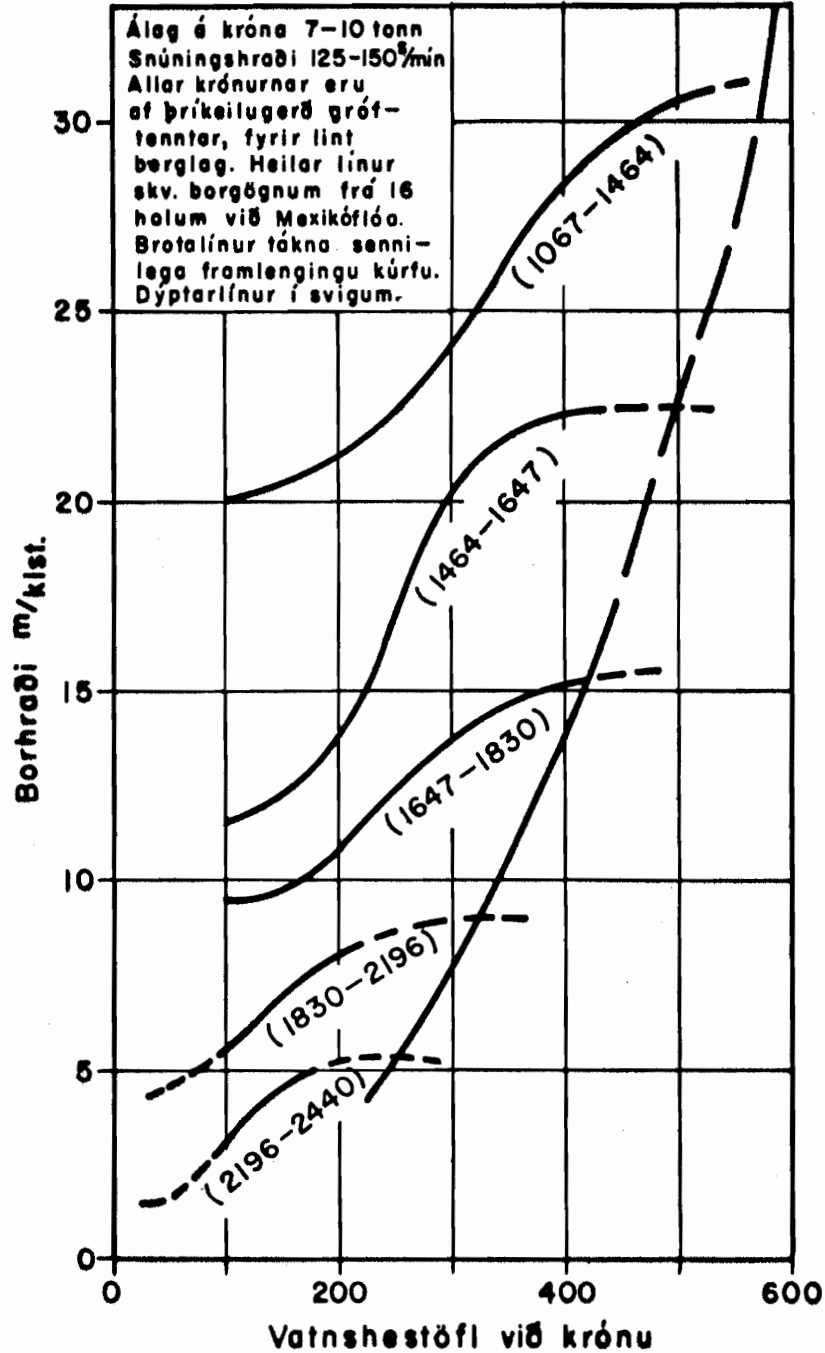
2200

4100

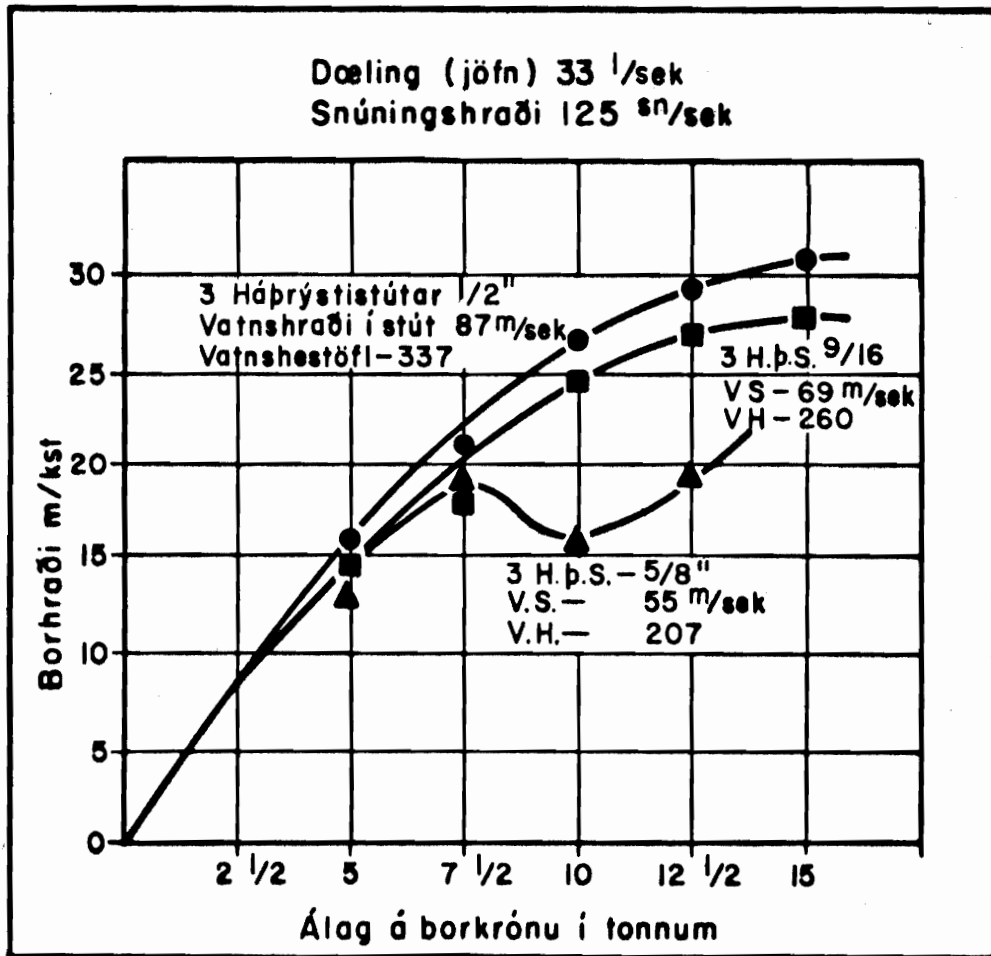
YFIRBORÐ BERGS MEÐ SPORUM, SEM MYNDUÐUST v. 2200 OG 4100 Pd.ALAG

# Borhraði og vatnshestöfl

## 8 3/4 borkróna

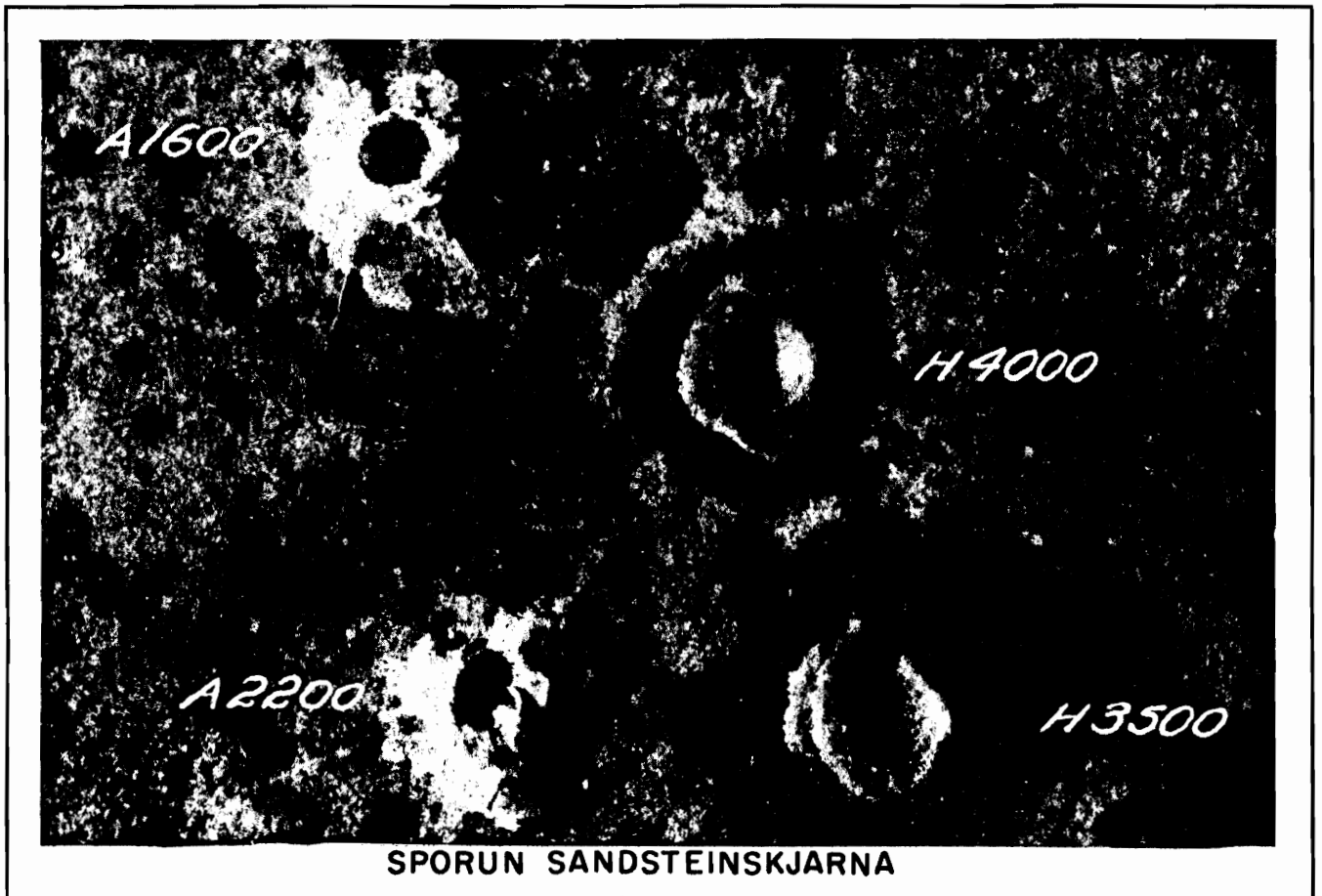


15. Mynd



16. Mynd





17. Mynd

JADARFLETIR MIKIÐ RÚNNAÐIR



18. Mynd

MIKIÐ JADARSLIT



19. Mynd

Áhrif leðjuseigju á borhraða	
Leðjuseigju sek/litr.	Hægari borun með leðju en vatni %
30 – 35	3,0
35 – 40	13,6
40 – 45	10,7
45 – 50	10,2
50 – 55	15,5
55 – 60	19,8
60 – 65	19,5
65 – 70	26,1

21. Mynd

Áhrif vatns og leðju á borhraða				
Álag á krónu, tonn	Borhraði m/klst.		Mismunur %	Berglög
	Vatn	Leðja		
5	1,17	0,91	21,9	Dólómít
10	3,14	2,65	15,6	Dólómít
5	0,51	0,36	29,5	Basalt
10	1,82	1,33	27,2	Basalt
10	1,85	0,94	48,5	Grátt granít
20	1,31	0,96	26,6	Kvarzsandsteinn

20. Mynd

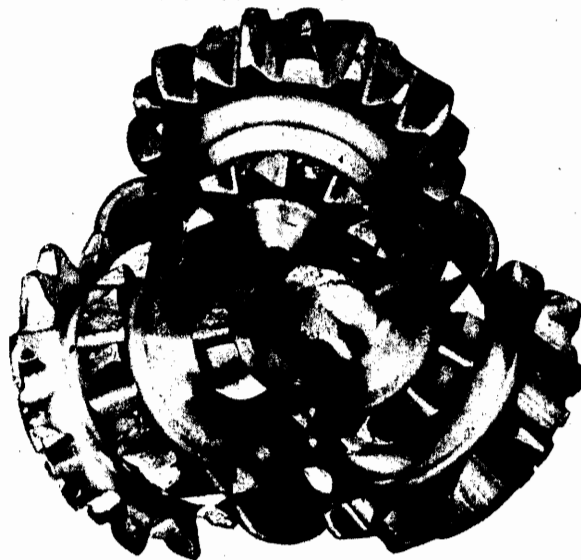
**SVÖRFUN STÚTHRINGS**

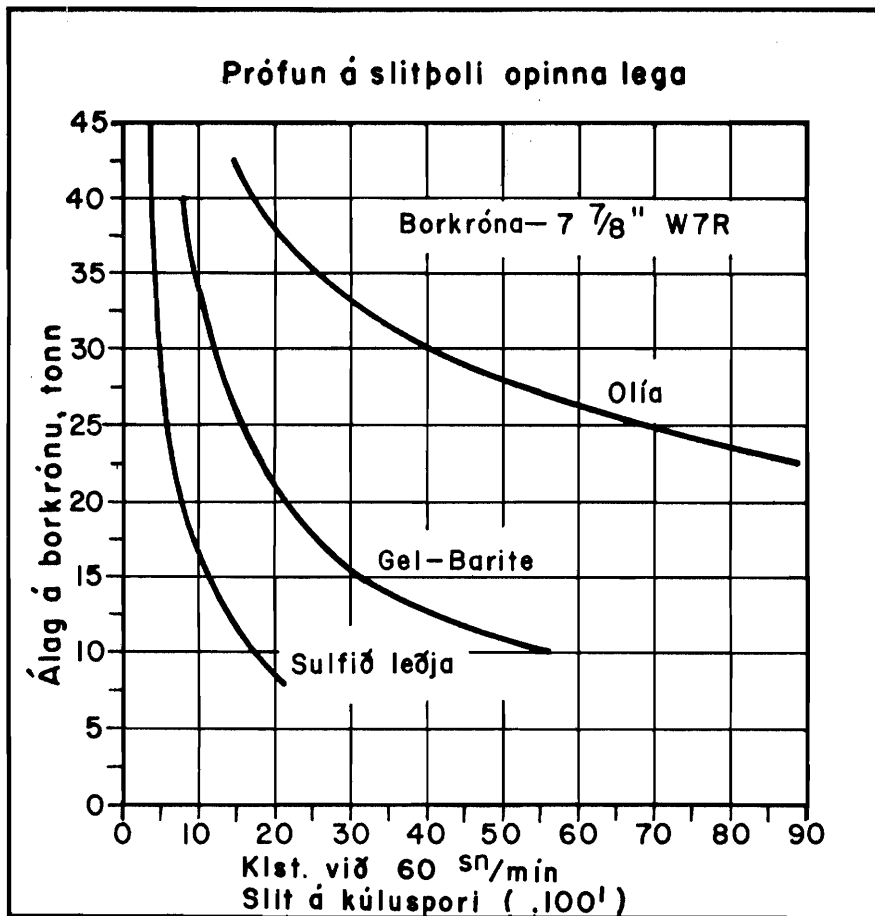


**MIKIL SVÖRFUN KEILNA Á  
TUNGSTEN-KARBÍÐKRÓNU**



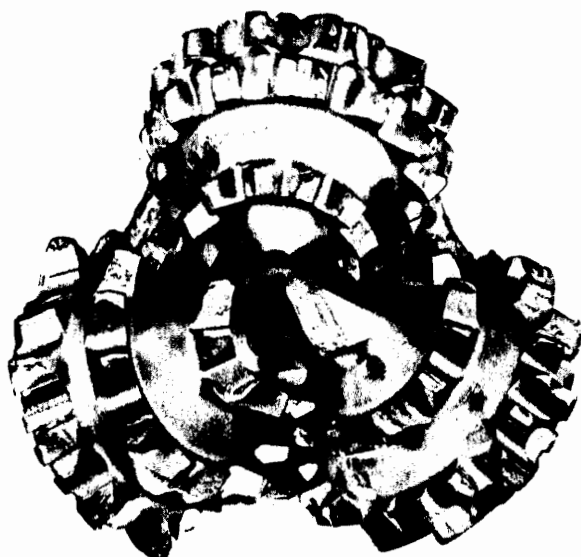
**HJÁMIÐJUSLIT**





24. Mynd

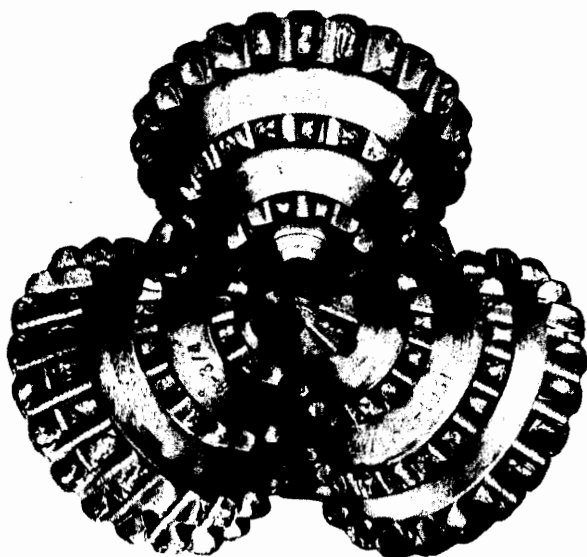
MIKIL TANNABROT



SLIT VEGNA ÓNÓGRAR SKOLUNAR



KVARNAÐAR OG AFLAGAÐAR TENNUR.

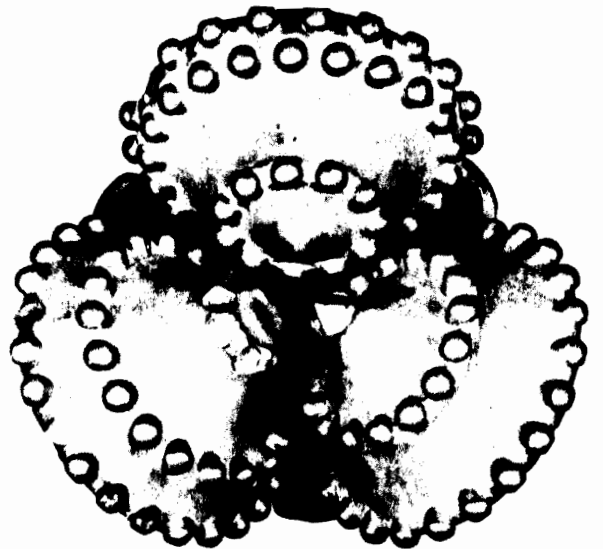


**MJÖG SLITIN KRÓNA**



26. Mynd

**MIKIL SVÖRFUN KEILNA Á TUNGSTEN-  
KARBÍÐKRÓNU**



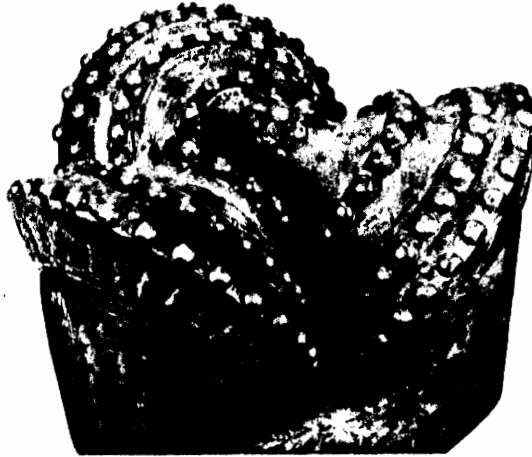
28. Mynd

**ÆSKILEGT SLIT Á KRÓNU**



27. Mynd

SVÖRFUN KEILNA UTAN AF  
TUNGSTEN-KARBIDODDUM



29. Mynd

BROTNIR JAÐARODDAR



30. Mynd



Lesmálssiður:

- Bls. 4 í 8. línu að neðan: einfaldari les einfaldri.  
" 6 á miðri síðu: föstum krónum les plógkrónum.  
" 6 í 3. línu að neðan: hærtanna les jaðartanna.  
" 6 í 3. línu að neðan: hærtennur les jaðartennur.  
" 8 í 6. línu að ofan: holuvotni les holubotni.  
" 8 á miðri síðu: sliglag les slitlag.  
" 13 í 14. línu að neðan: mola það þunganum les mola  
það með þunganum.  
" 14 milli 3. og 4. línu bætist við kafli: Borkrónur fyrir  
meðal-lint berg, sjá sérpr. bls. 13a.  
" 20 á miðri síðu: Eftirfarandi málsgrein falli niður:  
Á 17. mynd má sjá þrýstipól ýmissa berg-  
tegunda í Texas.  
" 23 í 3. línu að neðan: gropsins les gropins.  
" 29 K  $\frac{B+R(T-t)}{M}$  les K  $\frac{B+R(T+t)}{M}$

Myndasíður:

Tölusetning mynda hefur brenglazt nokkuð aftan við 16. mynd.  
Þar eð sumar myndanna eru rangt tölusettar, en aðrar ekki tölu-  
settar, og ekki er blaðsíðutal á myndasíðum, skal hér birt skrá  
yfir allar myndir aftan við 16. mynd ásamt með myndatextum:

17. mynd les 19. mynd: Sporn sandsteinskjarna  
18. " " 25. " : Jaðarfletir mikið rúnnaðir  
19. " " 26. " : Mikið jaðarslit  
21. " rétt tölusett : Áhrif leðjuseigju á borhraða  
20. " " " : Áhrif vatns og leðju á borhraða  
ótölusett les 30. mynd: Svörfun stúthringa  
" " 31. " : Mikil svörfun keilna af völdum leðjustreymis  
" " 32. " : Hjámiðjuslit  
24. mynd rétt tölusett : Prófun á slitpóli opinna lega  
ótölusett les 27. mynd: Mikil tannabrot  
" " 28. " : Kvarnaðar og aflagaðar tennur  
" " 29. " : Slit vegna ónógrar skolunar  
26. mynd " 33. " : Mjög slitin króna  
27. " " 34. " : Æskilegt slit á krónu  
28. " " 35. " : Mikil svörfun keilna á tungstenkarbíðkrónu  
29. " " 36. " : Svörfun keilna utan af t-k-oddum  
30. " " 37. " : Brotnir jaðaroddar

Athygli skal vakin á leiðréttingu texta við 31. mynd.

Á 1. mynd: víxlsetning hærtanna les víxlsetning jaðartanna  
skörðuð hærtönn les skörðuð jaðartönn  
T-laga hærtennur les T-laga jaðartennur

Á miðri 3. mynd: Toppur ytri hluta keilu les Toppur innri hluta keilu

VIÐBÓT:

Arangur af stofuprófunum með 0,4 kg/cm <sup>2</sup> bakprýstingi á berg					
Dæling l/sek	Meðal borhraði m/klst	Álag á krónu í tonnum		Meira álag til borunar með leðju í%	Berg
		Leðja	Vatn		
3,2	2,45	0,92	0,66	28,2	Sandsteinn
3,2 <sup>x</sup> )	2,42	0,86	0,84	2,16	Sandsteinn
3,8	2,36	0,92	0,87	5,57	Sandsteinn
3,8	2,31	1,12	0,98	12,0	Linur kalksteinn
6,3	2,41	0,80	0,70	12,3	Linur kalksteinn
x) Náttúrulegur leir af borsvæði					

22. mynd

Arangur af stofuprófunum með 7,0 kg/cm <sup>2</sup> bakprýstingi á berg					
Dæling l/sek	Meðal borhraði m/klst	Álag á krónu í tonnum		Meira álag til borunar með leðju í%	Berg
		Leðja	Vatn		
3,2	2,45	1,59	0,79	50,0	Sandsteinn
3,2 <sup>x</sup> )	2,42	1,12	0,84	25,2	Sandsteinn
3,8	2,36	1,29	0,8	33,6	Sandsteinn
6,3	2,43	0,83	0,71	13,9	Sandsteinn
3,8	2,31	1,64	1,03	30,0	Linur kalksteinn
6,3	2,41	0,87	0,81	6,6	Linur kalksteinn
x) Náttúrulegur leir af borsvæði					

23. mynd

Dæmigerð borkrónuskra				
Krónu- gerð	Holu- dýpt m	Boraðir metrar	Klst.	Borhraði m/klst
A	3753	3,66	2,7	1,36
B	3759	5,49	5,4	1,02
A	3764	5,19	3,2	1,62
B	3770	6,71	6,4	1,05
A	3775	4,88	3,4	1,43
Meðaltal f. kr. A		4,58	3,1	1,48
Meðaltal f. kr. B		6,10	5,9	1,03

38. mynd

Borkrónur fyrir meðal-lint berg. Þegar borkrónur fyrir lint berg duga ekki lengur, er yfirleitt ráðlegt að reyna næst krónur fyrir meðal-lint berg. Þeim svipar mjög til fyrrnefndra króna, en innri tannaraðir eru öllu sterkari. Aukin slitvörn er á jaðarflötum. Þessar krónur eru OSC-1G og OSC (venjuleg gerð, sjá 7. mynd) og X1G (X-gerð, sjá 8. mynd). Þær hafa bezt í jarðlögum svo sem mjúkum kalksteini, gífsi, leirsteini og anhydríti og í öðru stinnu en fremur ístöðulausu bergi. Í þess konar bergi er oft rífandi efni, svo sem hvassbrýndur sandur og millilög úr fremur hörðu bergi. Alag er yfirleitt haft nokkru meira á þessar krónur, því að tennur þeirra sitja þéttar og styrkleiki bergsins er meiri. Fleiri tennur eru á botni samtímis, en þá þarf meira einingaralag, svo að tennur bítu nægilega. Borhraða ætti að minnka, til þess að forðast óeðlileg tannabrot. Algengt álag á þessar krónur er 1,4 - 3,2 tn (3000 - 7000 pund) á hverja þvermálstommu krónu. Snúningshraði 60 - 180 sn/mín. Of mikið jaðarslit á þessum krónum ásamt með áberandi minnkuðum borhraða og krónubiti bendir til þess, að nota beri krónur fyrir harðara berg.

ATHS.: Þessu blaði skal skotið inn á milli blaðsíðna 13 og 14.