



ORKUSTOFNUN
raforkudeild

**UM ATHUGANIR Á
NÝJUM AÐFERÐUM VIÐ
JARÐGANGAGERÐ**

Eftir
Hauk Tómasson
jarðfræðing OS

Ágúst, 1972



ORKUSTOFNUN
raforkudeild

**UM ATHUGANIR Á
NÝJUM AÐFERÐUM VIÐ
JARÐGANGAGERÐ**

Eftir
Hauk Tómasson
jarðfræðing OS

Ágúst, 1972

| Efnisyfirlit | Bls. |
|---|------|
| 1. Inngangur | 1. |
| 2. Borun jarðganga með hjólakrónum | 2. |
| 2.1 Lýsing véla | 2. |
| 2.2 Þungi og verð vélanna | 5. |
| 2.3 Borkrónur | 7. |
| 2.4 Orkunotkun og mannaflí | 9. |
| 3. Rekstraráætlun fyrir jarðgangaborvél | 10. |
| 3.1 Forsendur | 10. |
| 3.2 Kostnaðarliðir | 11. |
| 3.3 Niðurstöður | 12. |
| 4. Bakskurðaraðferðir | 15. |
| 4.1 Lýsing á aðferð og vélum | 15. |
| 4.2 Rippunar- og bakskurðarvél | 17. |
| 5. Rippunaraðferðir | 18. |
| 5.1 Rippun með skjaldarvélum | 18. |
| 5.2 Aðrar rippunarvélar | 19. |
| 6. Aðrar aðferðir til að brjóta bergið | 21. |
| 7. Flutningsaðferðir | 22. |
| 8. Fóðrun jarðganga og styrking | 23. |
| 9. Ýmis atriði frá O.E.C.D. | 25. |
| 9.1 Talnalegar upplýsingar | 25. |
| 9.2 Framtíðarþörf og stefnumið | 27. |
| 9.3 Íslensk jarðganganefnd | 28. |
| 10. Lokaorð | 31. |

Ritskrá frá O.E.C.D. Advisory Conference on Tunneling.

Skýrslur og smárit frá ýmsum fyrirtækjum um framleiðslu sína.

Aðrar upplýsingar um jarðgangagerð.

Myndir

- 1A. mynd: Venjuleg jarðgangaborvél. Wirth vél frá Þýzkalandi.
- 1B. mynd: Borhaus á Wirth jarðgangaborvél.
2. mynd: Jarðgangaborvél með staut fram úr, frá Lawrence Manuf. Co.,
Bandaríkjunum.
3. mynd: Útvíkkun á göngum. Vél frá Wirth í Þýzkalandi.
4. mynd: Þyngd nokkurra jarðgangaborvéla.
5. mynd: Kornastærðarkúrfa fyrir bormylsnu frá jarðgangaborvél.
6. mynd: Afl nokkurra jarðgangaborvéla.
7. mynd: Atlas Copco borvélar. Bakskurðarvél frá Atlas Copco.
8. mynd: Greenside Mac Alpine jarðgangaborvélin.
9. mynd: Plan myndir af Alpine Miner borvél.
10. mynd: Bernodls-Bleche í göngum og skýringarmynd.
11. mynd: Verð á jarðgöngum í O.E.C.D. löndum á áratugnum 1960-1970.

Töflur

- Tafla 1: Rekstrarkostnaður jarðgangavéla.
- Tafla 2: Áætluð jarðgangagerð á áratugnum 1960-1970.
- Tafla 3: " " " " " "

1. Inngangur

Á síðasta áratug hafa orðið miklar breytingar á tækni við jarðgangagerð. Hin venjulega borunar- og sprengitækni hefur nokkuð orðið að víkja fyrir jarðgangagerð með ýmis konar borvélum, sem vinna án sprenginga. Sem slík er þessi tækni þó ekki ný. Hún var notuð á síðustu öld til þess að gera jarðgöng í leirjarðlög, en þróun jarðgangaborvéla fyrir hart berg eru ný af nálinni og er í dag mjög ör.

Raforkudeild Orkustofnunar hefur reynt að fylgjast með þessari þróun af fremsta megni síðan 1968 og safnað nokkru efni þar um. Haukur Tómasson jarðfræðingur hefur farið í tvær kynnisferðir í þessu sambandi, aðra til Evrópu 1969, þar sem hann fór á ráðstefnu um byggingatækni í München og skoðaði jarðgangaborvélar í Suður-Þýzkalandi og Sviss. Hin ferðin var farin til Bandaríkjanna 1970 á ráðstefnu, sem OECD hélt, um jarðgangagerð. Á eftir þeirri ráðstefnu var farið í ferðalag, þar sem skoðuð voru jarðgangamannvirki og mikið ræddar nýjungar í jarðgangagerð.

Rétt þótti að setja saman skýrslu á grundvelli þeirra athugana og upplýsinga, sem þegar hafa fengist, þó engan veginn sé ætlunin að hætta að fylgjast með þessum málum hér með. Æskilegt væri að koma þessum athugunum á nokkuð annan grundvöll í framtíðinni, í samræmi við ályktanir, sem gerðar voru á ráðstefnu OECD í Washington um jarðgangagerð. Umsjón þessara mála yrði þá falin nefnd á vegum íslenska ríkisins.

Þessari skýrslu er ekki ætlað að vera samdráttur úr öllum þeim skýrslum og greinum, sem safnað hefur verið um þetta efni. Listi yfir þær eru aftast í skýrslunni, og er hægt að nálgast þær flestar hverjar á Orkustofnun. Reynt mun þó verða að gefa yfirlit yfir þróun þá, sem átt hefur sér stað á undanförunum árum,

en í stuttu máli má segja að komið hafi upp eftirfarandi greinar
bortækni:

1. Borun jarðganga með jarðgangaborvélum, sem skera bergið með
hjólakrónum á sama hátt og bergið er skorið í venjulegri
jarðborun.
2. Jarðgangaborvélar, sem skera og brjóta bergið, en mylja það
ekki allt í smátt.
3. Ýmis konar rippunarvélar, sem rippa bergið. Þróun þeirra
hefur verið minni heldur en búast mætti við.
4. Nýjar aðferðir til að skera og brjóta bergið. Þar eru nokkrar
mismunandi aðferðir í athugun, en sú sem virðist vera komin
lengst og mestar líkur eru á að gefi einhvern árangur er
notkun vatnsgeisla. Við það minnkar efniseyðslan, en hún er
sérstaklega mikil við aðferðirnar, sem byggjast á 1. og 2.
grein. Yfirleitt byggjast þessar nýju aðferðir á þeirri hug-
mynd að minnka efniskostnað.

2. Borun jarðganga með hjólakrónum

2.1 Lýsing véla

Jarðgangaborvélar með hjólakrónum geta borað berg af mjög mismunandi hörku. Framleiðsla á þeim hófst í Bandaríkjunum og er fyrirtækið Robbins reyndast í notkun þeirra, en í Bandaríkjunum framleiða auk þess tvö önnur stór fyrirtæki svona vélar, þ.e. Lawrence Manufacturing Company og Jarva. Í Evrópu eru tvö fyrirtæki, sem mér er kunnugt um, farin að framleiða slíkar vélar, bæði í Þýskalandi, það eru fyrirtækin Wirth og Demac. Þessi fimm fyrirtæki hafa mesta útbreiðslu á markaðnum í dag. Vélarnar frá þeim eru svipaðar að gerð og er ein slík á 1. mynd. Þær hafa það allar sameiginlegt að hafa skildi, sem þær tjakka út í jarðgangaveggina og snúa borhausnum, sem á eru festar hjólakrónur, sem mylja bergið. Vélarnar geta þrýst mjög fast og gefa mikið meiri þrýsting heldur en venjulegur jarðbor. Auk þessara 5 fyrirtækja, sem nefnd hafa verið, er framleiða hinar venjulegu jarðgangaborvélar, mun í Bandaríkjunum vera eitt stórt fyrirtæki, Murphy fyrirtækið, sem ég hef engar upplýsingar um. En í allt munu um 20 fyrirtæki í heiminum hafa verið í Sovétríkjunum, og ef til vill í Kína.

Helztu kostir jarðgangaborvélaanna eru þeir, að þær skemma ekki bergið í kringum jarðgöngin. Eru veggir alveg sléttir og engar yfirsprengingar eiga sér stað. Venjulega er borhraði einnig miklu meiri, og munar það því meiru, sem bergið er mýkra. Það má segja að jarðgangaborvélaðnar séu nú þegar örugglega samkeppnisfærar í meðalstórum og þaðan af minni göngum í meðalhörðu bergi, og fyrir lítil göng, jafnvel í hörðu bergi. Fyrir stór göng eru þær ekki samkeppnisfærar ennþá vegna mikils efniskostnaðar, sérstaklega borkrónukostnaðar.

Gallarnir við þessar borvélar eru, að þær fylla nær alveg innstu 15 - 20 m af göngum og þar er hvergi hægt að komast að með góðu móti. Erfitt er að stýra þeim í mishörðu bergi, og vilja þær leita inn í mýkra bergið. Í hvers konar borerfiðleikum vegna

lélegs bergs standa þær mjög fyrir, því það er svo erfitt að komast inn fyrir þær. Þær geta alls ekki borað, ef skyldirnir sem halda þeim uppi og ýta þeim áfram ná ekki festu vegna lélegrar stæðni bergsins.

Vélarnar eru nokkurn veginn eins og mynd 1 sýnir, en það er vél frá Wirth fyrirtækinu. Færibandið frá borhausnum er þó ýmist ofan á eða undir vélinni. Í þessu tilfalli er það ofan á og virðist það vera algengari lausn. Mér er aðeins kunnugt um tvær meiri háttar undantekningar á þessari gerð. Önnur er Lawrence vélin, en hún hefur fram úr sér staut sem borar granna holu á undan eins og sýnt er á 2. mynd. Inn í þessa holu er pakkað og borvélin dregur sig að nokkru leyti áfram. Hugsunin með þessu er að fá betri stýringu. Heyrt hefi ég, að þessi endi hafi haft nokkra tilhneigingu til þess að festast og hafi ekki reynzt eins vel og menn gerðu sér vonir um. Í jöfnu, þéttu bergi reynist þetta ágætlega, en þar er engin þörf á þessari sérstöku stýringu, þar eð hún er þar hvort sem er auðveld.

Hin undantekningin er Wirth vélin. Sumar gerðir hennar eru byggðar þannig, að hægt er að nota þær til þess að víkka út göng. Mynd 3 sýnir uppsetningu þessa og er hún í notkun í Sviss. Fyrst eru boruð 3ja metra göng og síðan víkkað út í tveimur stigum. Í því tilfalli, sem myndin sýnir, í 6 metra og síðan 10 metra. Bæði stigin ganga þá strax á eftir að borvélinni,

2.2 Þungi og verð vélanna

Jarðgangaborvélar eru mjög dýr tæki og kostnaður við að fá þær til verks er því mjög mikill. Þær borga sig því bezt í til-
tölulega löngum göngum. Léttustu og minnstu jarðgangaborvélar
eru á við stærstu jarðýtur að þyngd og sjálfsagt er pundið í
þeim dýrara. Samkvæmt upplýsingum frá heildverzluninni Heklu
er verð á kg í þungum jarðvinnslutækjum nálægt þrjú hundruð
krónum hingað komið með tollum. Það breyttist lítið með stærð
tækjanna, en hefur þó tilhneigingu að fara aðeins niður á við,
þegar þau verða þyngri. Sem kunnugt er, eru stærstu jarðýtur
nálægt 45 tonnum að þyngd.

Þær upplýsingar um verð, sem ég hef frá Evrópu og Bandaríkjunum,
benda til 300 - 400 kr. á kílóíð í þessum jarðgangaborvélum og
virtist verðið fara þó nokkuð niður á við á hvert kg við það
að vélarnar urðu stærri. Amerískar borvélar voru á svipuðu
verði, eftir því sem næst verður komið, en upplýsingar þaðan
eru mjög ónákvæmar. Hingað komnar mundu því jarðgangaborvélar
kosta 30-50% meira á kg en þungavinnuvélar, eða 400 - 500 kr.
eða jafnvel meira.

Á línuritinu, mynd 4, er sýndur þungi nokkurra jarðgangabor-
véla. Þess ber að gæta að þessar upplýsingar eru ekki sam-
ræmdar. Vélarnar skiptast í tvennt, í sjálfa borvélina og
dráttarvagn fyrir aftan. Á dráttarvagninum er spennubreytir
og stundum eitthvað af dælum og öðrum útbúnaði. Upplýsingar
um þyngdina eiga stundum við um alla samstæðuna en stundum
aðeins um sjálfa borvélina. Varðandi Demac vélarnar eru
upplýsingar um hvoru tveggja, en um aðrar vélar er yfirleitt
ekki tekið fram, hvort þyngdin eigi við um allt, sem tilheyrir
borvélinni, eða bara borvélina sjálfa. Línuritið gefur þrátt
fyrir takmarkanir þær sem áður er getið, greinilega hugmynd um
þyngd þessara véla. Það er ekki mjög mikill breytileiki á
þunga þeirra miðað við þvermál. Vélarnar þyngjast eitthvað

meira við aukið þvermál en sem svarar línulegu sambandi milli þvermáls og þunga.

Léttasta borvélín, sem upplýsingar hafa fengist um, er frá Atlas Copco Mini-tunneller, um 20 tonn. Þessi vél er ekki með hjólakrönum svo hún tilheyrir ekki þeim flokki véla, sem við erum hér að ræða um. Amerísku vélarnar virðast vera léttar, en þar vantar þó upplýsingar um þyngdina á dráttarvagni svo þar má einhverju bæta við. Verð á ódýrustu vélum, sem grafa göng, 2 m í þvermál, er varla undir 10 millj. kr. og flestar gerðir ná 20 millj. kr. með öllu sem til þarf. Borvél, sem borar göng, 3 m í þvermál, kostar nærri 50 millj., borvél sem borar göng, 4 m í þvermál, kostar nærri 100 millj. og þannig áfram.

Sum fyrirtækin í Evrópu leigja borvélar út og er leigan 5% af kaupverði á mánuði. Einnig er hægt að fá amerískar borvélar leigðar og virðast þar vera breytilegri leiguskilmálar, oft einskonar ákvæðisvinnuverð með föstu verði fyrir að flytja vélina. Nærri mun láta að afskrifa vél um 5% á mánuði og er þá hægt að kaupa vél ef 20 mánaða verk er fyrir höndum. Þegar tekið er tillit til þess að afköst þessara véla er 10 - 20 m á dag eftir bergi þá sést að 20 mánaða verk er 2 - 4 km, sem lágmarksverkhæfni til þess að nota svona vél.

2.3 Borkrónur

Vegna hins háa kostnaðar við borkrónur athuguðum við á árinu 1969 endingu á tannhjólakrónum í borum hér á landi og hefur birzt um það skýrsla: "Nokkrar athuganir á borkrónuendingu og borkrónukostnaði", eftir Pál Ingólfsson. Þessar borkrónur, tannhjólakrónur, sem eru notaðar aðallega við heitavatnsboranir, eru mjög sambærilegar við tannhjólakrónurnar á jarðgangaborvélunum. Tannhjólin á jarðgangaborvélunum eru miklu fleiri og hvert um sig mun stærra. Vafalaust eru þessar krónur miklu sterkari heldur en venjulegar borkrónur.

Athuganirnar sýndu að endingin fór eftir bergi, sem borað var í. Borkrónurnar afköstuðu mestu í mjúku bergi, sem væntanlega er leir og annað mikið ummyndað berg með brotþol ágizkað 100 kg/cm^2 . Næst mestur er borhraðinn í meðalhörðu bergi, móbergi, túffi og seti með brotstyrkleika frá 300 upp í 600 kg/cm^2 . Er það sambærilegt við það, sem erlendis er kallað meðalhart berg. Í þriðja lagi kom svo hart berg með brotstyrkleika yfir 1000 og jafnvel yfir 2000 kg/cm^2 . Það er okkar venjulega basalt eða annað storkuberg og er það yfirleitt flokkað sem hart berg.

Samkvæmt þessari flokkun var borkrónukostnaður fyrir lint berg í stærstu borkrónunum með mesta álag um 2000 kr. á rúmmetra, fyrir meðalhart berg 3000 kr. og fyrir hart berg um 6000 kr. á rúmmetra. Þetta er miðað við sama gengi á dollara og er í dag en að sjálfsögðu hefur einhver erlend verðbólga hafi orðið á þessu síðan. Kostnaðurinn fór lækkandi með auknum þrýstingi og einnig með auknu þvermáli hola.

Jarðgangaborvélar geta þrýst meira heldur en jarðborar. Einnig eru tannhjólin á þessum krónum stærri, en á stærstu jarðborsborkrónum. Af þessu má vænta að borkrónukostnaður verður mun minni á jarðgangaborvél heldur en við boranir. Þær reynslutölur, sem ég hef fengið, benda eindregið til þess. Hlutföllin milli bergtegunda ættu þó að halda sér.

Eftir því sem ég hef komist næst er endingartími krónanna hjá Wirth og Demac í Þýzkalandi 5 - 8 sinnum meiri en borkróna hér á Íslandi, en á þeim tíma þarf þó venjulega að skipta einu sinni um legur í þeim. Eru þær þá teknar úr til þess að skipta um legur en í borkrónum hér er ekki skipt um lengur. Einnig má vænta þess að svona stórar krónur séu tiltölulega ódýrari heldur en hinar minni borkrónur. Þegar allra þessa atriða er gætt þykir mér líklegt að borkrónukostnaður í jarðgangaborun sé um 1/10 hluti borkrónukostnaðar við venjulegar jarðboranir. Borkrónukostnaðurinn einn er því í hörðu bergi svipaður og heildarkostnaður á rúmmetra er fyrir stór jarðgöng. Að sjálf-sögðu hækkar heildarkostnaðurinn mjög mikið með minna þvermál en borkrónukostnaðurinn helzt sá sami. Þess vegna er líklegt að jarðgangaborvélar geti keppt við sprengingaraðferðina í hörðu bergi í grönnum göngum hér á landi.

Á 5. mynd eru kornastærðarkúrfur fyrir bormylnsnu frá jarðgangaborvélum. Önnur er úr kalksteini í Þýzkalandi og var notuð Demac borvél, hin úr graníti frá Sviss en þar var notuð Wirth borvél. Eins og sést á kornakúrfunum er kornastærðin mest 20 - 40 mm og fer niður í mélu. Meðalkornastærð er um 4 - 8 mm. Í borsvarf frá íslenskum borum, þá sérstaklega stóra gufubornum, eru brotkornin mest um 1 og upp í 2 mm í þvermál. Þetta er samkvæmt upplýsingum frá Jens Tómasyni. Jarðgangaborkrónurnar virðast því brjóta bergið nokkuð grófara en tannhjólakrónurnar gera hér í borunum, en þó er ekki mjög mikill munur á. Þessar kornakúrfur sýna einnig að mýkra bergið, kalksteinninn, brotnar grófar heldur en harða bergið, granítið. Sama reynsla hefur fengizt hér við boranir að því harðara sem bergið er því minni eru brotkornin.

Borkrónur eru þrenns konar á jarðgangaborvélum. Fyrir lint berg eru diskakrónur. Samsvarandi krónur fyrir bora hér á landi hafa ekki verið notaðar. Þær eru ódýrastar af þessum krónum. Í öðru lagi eru venjulegar tannhjólakrónur sem samsvara krónum þeim, sem mest hafa verið notaðar hér á landi. Væntanlega er hægt að nota þær á flest íslenskt berg. Að minnsta kosti er það reynslan frá borunum. Í þriðja lagi eru svo krónurnar, sem eru fyrir mjög hart berg. Þær eru með karbit oddum og mikið dýrari en hinar krónurnar. Ef til vill þarf að nota slíkar krónur í íslensku bergi, ef það er óummyndað þétt basalt.

2.4 Orkunotkun og mannaflí

Annað atriði mikilvægt í sambandi við jarðgangaborvélar er orkunotkun þeirra. Ef orkan er mjög dýr verður hún verulegur liður í rekstrarkostnaði vélanna. Afl vélanna er eins og sýnt er á línuritinu á 6. mynd. Venjuleg orkunotkun er að sjálfsögðu nokkuð lægri. Á línuritinu sést að afl vélar, sem er léttbyggð eftir mynd 4 að dæma, er einnig með frekar lítið afl. Staðfestir það að vélin sé séttbyggð. Afl Demac vélanna vex alveg línulega með þvermáli jarðgangavélanna og þannig virðist það vera um flestar hinar einnig.

Mannaflí á þessum vélum er yfirleitt um 7 menn á vakt. Eru þá 1 - 2 á sjálfri vélinni og stjórnar þeir henni, og venjulega þrír, sem sjá um framlengingu á sporum og leiðslum á eftir vélinni. Einn vinnur á verkstæði og sjöundi maður verkstjóri. Þetta virðist vera nokkuð fast á öllum vélunum og lítið breytilegt eftir löndum, gerðum eða stærðum.

3. Rekstraráætlun fyrir jarðgangaborvél

3.1 Forsendur

Tafla 1 sýnir áætlun um rekstur jarðgangavélar hér á landi miðað við 20 mánaða afskriftartíma og flutning á vélum til og frá landinu. Áætlunin styðst aðallega við tölur fengnar frá Wirth í Þýzkalandi en til hliðsjónar hafa einnig verið hafðar upplýsingar, sem fengizt hafa frá öðrum framleiðendum, svo og upplýsingar, sem fegizt hafa við heimsóknir á vinnustaði.

Reiknað er út sérstaklega fyrir göng, 3 m í þvermál, og út frá því einnig útvíkkun á göngum frá 3 m í 6 m eins og Wirth býður upp á. Síðan er reiknað út hvernig kostnaður ganga, 2 m í þvermál, verður í hlutfalli við fyrri útreikninga.

Kostnaðarliðirnir eru hugsaðir fyrir 2ja km löng göng í bergi, sem er annars vegar storkuberg, þ.e.a.s. basalt hraun, andesit-hraun eða hart líparít, en hins vegar er móberg og set. Hið fyrra kalla ég hart berg, en hið seinna meðalhart. Basalt og andesit hafa hörku og vinnslueiginleika svipaða og granít, en eru þó kannski nokkru mýkra og sérstaklega ekki eins hart berg á borkrónur. Í reikningnum er miðað við að þa sé sambærileg við granít og gangur í láréttum göngum áætlaður um 9 m á dag. Meðalhart berg hef ég nánast reiknað eins og kalkstein. Að vísu er brotstyrkleiki túffs og móbergs nokkru minni en kalksteins en mjög víða eru upplýsingar um vinnslu kalksteins að fá og hef ég því notað þær í þessum reikningi. Meðal borkhraði er þar reiknaður 16 m á dag og í báðum tilfellum er reiknað með að unnið sé 24 tíma á sólarhring.

Þessar tvær berggerðir er yfirleitt um að ræða að vinna í jarðgöngum á Íslandi. Í því áttu ekki að vera borerfiðleikar vegna lélegrar stæðni bergsins. Lint berg á Íslandi er yfirleitt leir

og mjög ummyndað berg og einnig illa samlímt móberg. Þar eru sjálfsagt oft borerfiðleikar og ekki ráðlegt að bora með jarðgangnaborvélum af þessari gerð. Þar þurfa að þrýsta svo á veggina að þeir verða að vera nokkuð sterkir.

3.2 Kostnaðarliðir

Kostnaðarliður 1 er fastur kostnaður, sem er fragt á borvélinni og tilheyrandi frá Evrópu til Íslands og innan Íslands á vinnustað. Einnig leiga þennan tíma svo og meðan verið er að setja vélina saman og taka hana sundur aftur. Fasti kostnaðurinn fer að sjálfsögðu eftir þyngd vélar og stærð verksins. Ef verkið er minna en 2 km verður fasti kostnaðurinn meiri en hér er reiknað, en í göngum lengri en 2 km verður hann minni. Ef borvél er keypt til landsins má reikna fastan kostnað inn í borleigu eftir afskriftatíma hennar.

Borleigan á mánuði er 5% af verði vélarinnar á mánuði og er miðað við núverandi gengi á markinu og verðbólgu á jarðvegstækjum á tímabilinu 1969 til 1972. Inni í borleigunni eru afnot af borvélinni sjálfri svo og spennubreyti og öðrum fylgitækjum, sem tilheyra borvélinni beint.

Aukataki eru fyrst og fremst: Taki til að koma frá sér bor-svarfinu, en það er venjulega járnbraut með vögnum svo og lítil jarðýta, sem þarf að vera á tipp; háspennukapall inn eftir göngunum og dælur og lofthreinsitaki. Flest eru þetta hin sömu taki og notuð eru við venjulega jarðgangagerð nema rafmagnskapallinn. Þessi aukataki kosta um 14 þúsund krónur á dag og eru óháð þvermáli gangnanna að mestu leyti, því sömu aukataki eru notuð hvert sem þvermál gangnanna er. Þó kynnu tækin að stækka eitthvað, ef göngin yrðu mjög mikil í þvermál.

Mannakostnaður er miðað við að 14 menn starfi við vélina í einu og svo einn yfirmaður. Þegar gangur er hægur er hugsanlegt að hafa þá 3 menn sem vinna á eftir vélinni eingöngu á dagvöktum. Fækkar þá um 3 menn, þ.e.a.s. niður í 11 menn. Kostnaður er reiknaður 250 kr. á manntímum og auk þess er inni í þessu 1000 kr. upphaldskostnaður á manndag. Mannafli og kostnaður við mannskap er sá sami á dag fyrir hvaða stærð á göngum sem er, eins og er um aukatakin.

Kostnaður við borkrónur er 730 kr. á m^3 í hörðu bergi og 430 kr. á m^3 í meðalhörðu bergi. Kostnaður við borkrónur er sá sami á rúmmetra hver sem þvermál gangnanna eru.

Orkunotkun, sem í þessu tilfelli er í formi rafmagns, er reiknuð 120 kr. m^3 í hörðu bergi og 80 kr. á m^3 í meðalhörðu. Hluti þessarar orku fer í að brjóta bergið, en einnig í flutning á bergmylsnunni, í dælur og fleira. Orkunotkunin er meiri fyrir hart berg en mjúkt og þar munar fyrst og fremst um þann hluta orkunotkunar, sem fer til að brjóta bergið. Orkuverðið er reiknað 2 kr. á Kwst og er það eðlilegt verð keypt frá rafmagnsveitum. Ef orkuna á að framleiða með dísilvélum verður það töluvert herra. En orkuframleiðandi getur selt sjálfum sér orkuna á mun lægra verði.

3.3 Niðurstöður

Fyrir göng, 3 m í þvermál, kostar rúmmetrinn 3.200 kr. í hörðu bergi, en tæplega 2.000 kr. í meðalhörðu. Þessi verð eru væntanlega lægri en fást með venjulegri borunar- og sprengitækni. Aðal munurinn á sprengitækninni og þessari er sá, að borgangur er fyrir hart berg aðeins 1/3 með sprengitækni af því, sem hér er hugsað. Mannakostnaður verður þrefaldur á m^3 , því mannaflí er svipaður og við vélvædda jarðgangagerð. Borleigu- og borkrónukostnaður er að sjálf-sögðu miklu meiri heldur en í sambandi við sprengitækna.

Aukataki eru aftur á móti flest hin sömu og við venjulega bortækni og því kostnaður þrefaldur á m^3 vegna minni borhraða. Í heild mun borkostnaður með venjulegum aðferðum, mun hærri en vélvæddur fyrir göng, 3 m í þvermál. Ennþá meiri er munurinn við jarðgangagerð í meðalhörðu bergi.

Göng, 6 m í þvermál, er hægt að gera á tvo vegu. Annars vegar með því að fá strax vél, sem getur gert 6 m göng. Sú vél er mjög þung, væntanlega upp undir 300 tonn. Leiga á henni er því mjög há og kostnaður mikill vegna hins mikla byrjunarkostnaðar. Hinn valkosturinn er að víkka 3ja metra göng út í 6 m. Gera göngin í tvennu lagi og er sá valkostur útreiknaður í töflu 1. Fyrir 2 km löng göng er ekki nokkuð vafamál að slíkt er ódýrara. Við víkkunina eru sumir liðir hinir sömu og við upphaflegu borunina. Sjálft bortækið er það sama, en til viðbótar þarf útvíkkunar bortækið, sem tengt er upprunalegu borvélinni og vegur um 57 tonn. Fastur kostnaður er að sjálfsögðu miklu lægri fyrir þetta því við erum þegar búnir að setja fastakostnaðinn á borvélina sjálfri á upphaflegu gangagerðina.

Allir aðrir liðir eru líka miklu lægri við útvíkkunina heldur en við upphaflegu borunina nema krónukostnaður og aflkostnaður, sem verða sennilega svipaðir. Í allt verður kostnaðurinn við útvíkkun úr 3 í 6 m um 1800 kr. á m^3 , fyrir hart berg og 1100 kr. á m^3 , fyrir meðalhart berg.

Á lengdarmetra er kostnaðurinn 38.000 kr. fyrir útvíkkunina í hörðu bergi en 23.500 kr. fyrir útvíkkunina í meðalhörðu bergi. Heildarkostnaður á lengdarmetra í 6 metra göngum í þvermál verður þá 60 þús. kr. í hörðu bergi og 37 þús. kr. í meðalhörðu bergi. Verð þessi eru sennilega yfir því sem venjuleg sprengitækni gefur í hörðu bergi, en í meðalhörðu bergi er ekki fjarri að vélvædd jarðgangagerð borgi sig.

Minnstu göng með svona borvélum eru um 2 m í þvermál og jafnvel aðeins minni. Í venjulegri jarðgangagerð eru göng 2 m í þvermál, a.m.k. eins dýr á hvern lengdarmetra og göng 3 - 4 m í þvermál. Í vélvæddri jarðgangagerð hækka að vísu einingarverðin með minnkandi þvermáli en heildarkostnaður á lengdarmeter verður þó því minni sem þvermál ganganna er minna. Í þessum minnstu göngum er því örugglega hægt að gera göng með vélum á mikið lægra verði en með hinni gömlu bor- og sprengingaraðferð. Niðurstaðan um 2ja m göng í töflu 1 er að rúmmeterinn fyrir hart berg er á 5.600 kr. en fyrir meðalhart berg á 3.200 kr. Verð á lengdarmeter í hörðu bergi er á 14.100 kr. en í meðalhörðu bergi 8.000 kr.

4. Bakskurðaraðferðin

4.1 Lýsing á aðferðinni

Bakskurðaraðferðin byggir á því megin sjónarmiði að hjólakrónurnar brjóti bergið of smátt og of mikilli orku og efni sé eytt í að brjóta bergið og það brotni niður fyrir þá kornastærð, sem hægast sé að flytja frá sér með færriböndum og vögnum.

Með bakskurðaraðferðinni eru tennurnar einungis í snertingu við 1/3 af berginu, en 2/3 brotna í stærri flísar.

Á 7. mynd er sýnd þessi gerð af borvélum. Hún er venjulega með 4 tromlur framan á borhausnum og snúast tromlurnar sjálfstætt hver um sig, þannig að tvær og tvær snúast hvor gegn annarri, síðan snýst allur borhausinn einnig. Sker þá hver tromla spírallagað far úr berginu. Til eru fleiri gerðir af þessum vélum og er fjöldi tromlana breytilegur. Jarðgangaveggir eru eitthvað hrjúfari með þessari aðferð en með tannhjólakrónum.

Þessi aðferð til jarðgangagerðar var fundin upp af austurrískum verkfræðingi Wohlmeyer árið 1951. Einkaleyfið var síðar keypt af svissnesku fyrirtæki, Habegger, en Krupp í Þýzkalandi framleiddi fyrst vélar af þessari gerð. Þær voru fyrst notaðar í mjúku bergi. Nú hefur Atlas Copco í Svíþjóð fengið einkaleyfi til framleiðslu á þessum vélum, en einnig eru þær framleiddar í Japan með leyfi frá Atlas Copco.

Atlas Copco býður nú upp á margar mismunandi gerðir af þessum vélum, m.a. minnstu jarðgangaborvélina, sem er á markaðnum. Hún grefur göng, sem eru ekki nema 2,6 m² í þverskurðarflatarmál, 2 m á hæð og 1,30 á breidd. Eins og þessar tölur bera með sér þá er ekki nauðsynlegt að grafa kringlótt göng með þessari vél.

Enn er þessi gerð af vélum ekki mikið útbreidd. Einhverjir erfiðleikar hafa verið með gerð skerstála fyrir tromlurnar, þessar vélar hafa því ekki fengið aðra eins reynslu og hinar vélar. Reynslutölur um rekstur þeirra benda til þess, að þær séu sambærilegar við tannhjólakrónuvélar, að afkasta- getu og hvað snerti verð á göngum. Þær reyna mikið minna á bergið en hinar vélar og eru því nothæfar í mun lélegra bergi. Reynslan sýnir að það er hægt að nota þær, þó að vatnsagi sé tölu- verður.

Þótt þessar vélar hafi ekki enn sýnt yfirburði yfir hinar vélar þá virðist það grundvallarsjónarmið, sem þær vinna eftir, vera líklegt til þess að sigra í samkeppni við hinar vélar, og búast má við að þær eigi fyrir höndum hraða þróun, og er ekki líklegt, að þær geti unnið göng ódýrar en hinar vélar, í náninni framtíð. Þar sem gera þarf mjög lítil göng eru þær nú þegar ódýrari, þar sem að minnsta jarðgangaborvél, sem á markaðnum er í dag, er einmitt af þessari gerð, og er um þriðjungum léttari heldur en nokkur önnur jarðgangaborvél.

Nú sem stendur er svona vél í notkun, eftir því sem ég hef fregnað, við að gera prufugöng undir sundið milli Honsu og Hokkaido í Japan. Þarna á að gera um 40 km löng járnbrautargöng undir sundið og er nú verið að vinna að prufugöngum og vel á veg komið með þau. Göngunum hefur alla leið hallað niður á við og einstaka sinnum orðið vart nokkurs leka en tekist að ráða við þá erfiðleika. Göngin eru að miklu leyti í ýmsum gosbergtegundum.

4.2 Rippunar- og bakskurðarvél

Alveg nýlega er komin á markaðinn jarðgangaborvél, sem vinnur með eins konar bakskurðaraðferð, sem þó er frábrugðin Habagger aðferðinni. Þessi vél er framleidd í Bretlandi og heitir Greenside MacAlpine Rock Tunneller (sjá mynd 8). Á henni eru tvær tromlur sem snúast og skera sig inn í bergið og síðan til hliðar yfir jarðgangaendann og brjóta þá og mala bergið með hliðarátaki. Þessi vél er létt og gerir auðvelt að komast að framendanum á göngum því að tromlurnar eru á slá, sem gengur í hring og tekur ekki nema lítinn hluta af framenda ganganna.

Framleiðendur telja að hún eigi að ráða við berg allt upp í það, sem við mundum kalla hart berg, og mjög auðveldlega við meðalhart berg. Með þessari vél er einnig hægt að gera göng af þó nokkuð breytilegu þvermáli með sömu vélinni. Vélin er alveg ný og engin reynsla fengin af henni ennþá.

5. Rippunaraðferðir

5.1 Rippun með skjaldvélum

Jarðgangagerð, sem byggir á því meginatriði að rífa bergið svipað og stórar jarðýtur gera, hefur ekki þróast mikið. Slík aðferð hafir ekki nema til gerðar jarðganga í mjúku og lausu bergi. Jarðgangaborvélar, sem byggjast á þessu, hafa því verið settar á skildi, sem um leið eru til hlífðar og verndar verkamönnum. Skjöldunum er svo ýtt áfram af tjökkum, sem ýta á fóðringuna, sem verður að gera jafnóðum. Í sambandi við þessa skildi eru stundum rippunarvélar og hefur Gunnar Sigurðsson verkfræðingur lýst einni slíkri rippunar- og graftrarvél, nefndri Big-John. Er það geysi afkastamikið tæki, sem bæði grefur og rípar mjúkt berg. Með þessu tæki hafa verið grafin göng með hraðanum 20-30 m á dag í lausum sandi eða sandsteini.

Sumar gerðir jarðgangavéla með skildi hafa framan á eins konar tåtara, sem raðað er nokkuð svipað og borkrónum snúningsvélanna. Þar eru nánast eingöngu notaðar í leir, og er hægt að hafa yfirþrýsting inn í göngunum í sambandi við notkun þeirra. Þar er líka oft haft tæki til þess að raða fóðruninni jafnóðum en í svona mjúku bergi eða jarðvegi er nauðsynlegt að hún gangi alveg samhliða greftri ganganna.

Öll svona tæki eru mjög dýr. Þau hafa þann kost fram yfir snúningsborvélarnar að auðveldara er að komast að jarðgangandanum vegna þess að þær loka miklu minna af þvermáli ganganna. En þær eru eingöngu notaðar í mjög linu bergi, eða því sem við sjaldnast köllum berg, heldur lausan og hálflausan jarðveg. Fyrir íslenzkar aðstæður tel ég ekki miklar líkur á að hægt sé að nota þær, nema til að grafa jarðgöng í móbergssmyndanir, en þær eru að mestu leyti túff og losaraleg breksía. Þess konar bergi er töluvert algengt inn á hinum ungu móbergssvæðum og þar væntanlega í heild vandasöm must jarðgangagerð á Íslandi. En sá

galli er á þessum myndunum, fyrir svona vélar, að innan um eru basaltæðar og bólstraberg, sem er væntanlega alltof hart fyrir þær. Þó kann að vera að þær séu nothæfar því auðvelt er að nota sprengingartækni samtímis þessum borvélum.

Verð á jarðgangaborvélum með skildi er hátt og eru þær fullt eins dýrar og jafnvel dýrari en borvélar þær, sem að á undan hafa verið ræddar. Notkun þeirra kemur ekki til greina nema að fóðra eigi göngin og það helzt jafnóðum. Flutningskostnaður er mjög mikill á þeim, því þær eru mjög þungar. Er það fyrst og fremst skjöldurinn, sem skapar þennan þunga en ekki vélarinn sjálfur. Þessar vélar virðast því þurfa nokkuð löng göng til þess að standa undir byrjunarkostnaði.

5.2 Aðrar rippunarvélar

Rippunarvélar, sem ekki eru í sambandi við skildi, eru framleiddar í Austurríki og kallaðar Alpine Miner (sjá mynd 9). Því miður er þessi vél ennþá eingöngu fyrir tiltölulega lintberg, sem þó stendur uppi án hjálpar skjaldar og sem ekki þarf að fóðra jafnóðum. Berg það, sem þessar vélar vinna, er mest kol og frekar mjúkar setbergstegundir. Hægt er að vinna með þeim hvaða lögun af göngum sem er. Vélarinnar eru léttar og auðveldar í flutningi og mikið ódýrari en þær vélar, sem við hingað til höfum rætt. Afkastageta þessara véla í mjúkum setlögum er mjög mikil.

Enn sem komið er eru riftennur Alpine Miner ekki nógu sterkar til þess að vinna á meðalhörðu íslenzku bergi og hvað þá harðara. Þær eru því útilokaðar til jarðgangagerðar í öllum eldri myndunum Íslands. Einna helzt virðist hægt að nota þær í móbergsmýnduninni ungu og þá aðallega, ef hún er túff og

breksíurík, en í basaltæðum og hreinu bólstrabergi yrði að nota sprengingar, þegar komið er í harða eitla. Ekki er hægt að sjá að vélin sé viðkvæm fyrir vatni og gerir það hana ennþá fýsilegri til notkunar í ungu móbergi.

AlpineMiner vélin er ekki stærri en svo að hægt er að kaupa hana fyrir tiltölulega stutt göng. Rekstrarkostnaður hennar í bergi, sem hún ræður við, er væntanlega mjög lágur og áreiðanlega lang lægstur af öllum þessum jarðgangaborvélum, sem hingað til hafa verið ræddar.

6. Aðrar aðferðir til að brjóta bergið

Á undanförunum árum hafa verið gerðar ýmsar tilraunir til þess að nota aðrar aðferðir til þess að brjóta bergið heldur en þær, sem hingað til hafa tíðkast, þ.e.a.s. sprengingar og að brjóta það með þrýstingi málmödda. Segja má að þessar tilraunir hafi beinzt að þremur aðal línum:

1. Að brjóta bergið með hita.
2. Að brjóta bergið með rafmagnsgeisla.
3. Að brjóta bergið með vatnsgeisla.

Tilraunir með notkun snöggra hitabreytinga til þess að brjóta bergið virðast ekki lofa góðu, er þó töluvert unnið að tilraunum með slíkt, meðal annars með laser geislum. Rafmagn til þess að brjóta bergið virðist ekki heldur lofa góðu.

Notkun vatnsgeisla til þess að brjóta berg virðist aftur á móti vera álitleg. Í Minneapolis sá ég tilraunir með þetta, svo og þær aðrar aðferðir, sem ég hef minnst á hér, og var auðséð að vatnsgeislinn var langlíklegastur til þess að bera árangur. Á Vesturlöndum hefur vatnsgeislinn ekki verið notaður enn í stórum stíl til þess að brjóta berg í jarðgangagerð. Samferðamenn mínir frá Noregi og Svíþjóð á ferðinni um Bandaríkin sögðu mér þó að þeir vissu til þess að í Rússlandi væri vatnsgeislinn notaður við að grafa jarðgöng. Síðastliðið haust kom hér verkfræðilegur jarðfræðingur, prófessor frá Leningrad, og spurði ég hann eftir þessu og tjáði hann mér að vatnsgeisli væri notaður í þó nokkrum mæli við að bora göng í meðalhörðu og mjúku bergi. Sá þrýstingur, sem þarf að hafa á vatnsgeislanum, var samkvæmt tilraunum sem ég sá í Minneapolis 50 kg/cm^2 . Það virðist því varla um að ræða neitt stórkostleg tæknileg vandamál að koma þessari aðferð í gagnið.

Við íslenzkar aðstæður gæti vatnsgeisli hentað mjög vel við að brjóta móberg eða meðalhart og lauslega bundið íslenzkt berg. Hér virðist þróunin erlendis vera komin furðanlega skammt að minnsta kosti á Vesturlöndum.

7. Flutningsaðferðir

Flutningur eftir jarðgöngum er enn að mestu með vögnum á járnbrautarteinum. Hleðslan á vagnana fer eftir færibandí, sem tengt er borvélinni. Þessi aðferð við flutninga á efni út úr jarðgöngum er mjög gömul og hefur ekkert breyzt nú í nærri tvær aldir. Fyrir meðalvið jarðgöng eru þó notaðir vagnar, sem ekki ganga á teinum.

Þróun í átt til annars og sjálfvirkara flutningskerfis hefur verið furðanlega lítil. Þetta flutningskerfi er mjög afkasta- mikið og hefur afkastað flutningi úr jarðgöngum, sem grafin hafa verið með 50-100 m hraða á dag. Þar eð jarðgangabor- vélarnar brjóta efnið mjög smátt vaknar sú spurning, hvort ekki sé hægt að dæla borsvarfinu út úr göngunum. Eftir því sem ég hef komist næst er þetta þó mjög lítið gert ennþá, og er ásæðan fyrst og fremst mikið slit á leiðslum. Í Denver var mér tjáð að borsvarfinu væri dælt langar leiðir eftir göngunum upp á yfirborðið og göngin væru í kolum og öðrum mjúkum setum. Þróun þessarar tækni býður þróunar í gerð leiðsla, sem standast núning borsvarfsins.

8. Fóðrun jarðganga og styrking

Upp á síðkastið hefur átt sér stað nokkur þróun í gerð fóðrunar á jarðgöngum. Sérstaklega hefur þetta verið í þá átt að fóðrunin sé gerð úr forspenntri steinsteypu utan ganganna og komið fyrir á staðnum. Með þessari aðferð er hægt að láta fóðrun ganga hraðar en með venjulegum aðferðum, þar sem að steyppt er í mótum inn í göngunum. Í sambandi við sumar af þessum jarðgangnaborvélum fyrir lint berg er fóðrunin mjög mikilvæg, því hún er yfirleitt flöskuhálsinn í jarðgangagerðinni en ekki útgröfturinn sjálfur. Fyrir aðstæður hér á Íslandi eru ekki miklar líkur á að við höfum áhuga á þessari aðferð. Allt sámilegt íslenskt berg stendur á meðan verið er að gera göngin og fóðrun jafnóðum því ekki nauðsynleg.

Önnur ný aðferð við fóðrun er svokölluð Bernolds Bleche aðferð (sjá mynd 10). Eru það eins konar bárujárn notuð bæði sem mót inn í göngin og sem steypustyrktarjárn fyrir steypuna. Forráðamenn Bernolds Bleche halda því fram að kostnaður við göng, sem fóðruð eru með Bernolds Bleche, sé allt að þriðjunglægr en með venjulegri fóðrun.

Þessi aðferð virðist hafa ýmsa kosti fram yfir venjulega fóðrun, t.d. er hægt að halda áfram greftri jarðganga þótt verið sé að fóðra utar. Fóðrunin fylgir líka betur yfirborði bergsins og verður því minni efnisfylling vegna yfirsprenginga eða yfirgraftar en ella verður. Bernolds Bleche ætti því að vera þægileg til notkunar í göngum á Íslandi þar sem um styrkleikaerfiðleika er að ræða. Fóðrun er síðan látin fljótlega á eftir greftrinum. Þetta á við veikt móberg, bólstraberg og brekksía inn á hinum ungu móbergssvæðum.

Oft er talað um, að notkun ásprautunarsteypu, sé hin nýja aðferð við fœðrun jarðganga. Þessi aðferð er í sjálfu sér anzi gömul, en er víða lítið notuð. Sérstaklega hafa Bandaríkjamenn notað hana lítið til þessa. Þessi aðferð er nú yfirleitt kölluð nýja austurríska aðferðin og hefur verið notuð með mjög góðum árangri í Alpalöndum Evrópu. Sérstaklega hefur hún verið votuð sem bráðabirgðastyrking í stað stálboga og bergbolta en einnig er hún notuð sem endanleg fœðrun og oft þá með bergboltum. Hér á Íslandi er þessi aðferð þekkt, var notuð við Búrfell og er ætlunin að nota hana við Laxá. Í bergi, sem er mjög leirkennt og vill síga inn plastískt, gefur ásprautun enga vörn.

9. Ýmis atriði frá O.E.C.D.

9.1 Talnalegar upplýsingar

Í sambandi við ráðstefnuna var safnað upplýsingum frá O.E.C.D.-löndum um jarðgangagerð í hverju þeirra og út frá því gerð áætlun um jarðgangagerð í heiminum á síðasta áratug. Ég birti hér til gamans tvær af þessum upplýsingatöflum. Tafla 2 sýnir lengd, rúmmál og kostnað jarðganga í mismunandi umhverfi. Með umhverfi er átt við það efni, sem jarðgöngin liggja í eða eru gerð í. Göng skiptast í 1) göng í bergi, 2) göng í linum jarðlögum, 3) göng gerð í skurði, 4) göng sökkt í vatni. Í öllum tölum um kostnað ganga er átt við gröft þeirra, fóðrun og frágang, en ekki önnur mannvirki inni í þeim.

Mestur hluti jarðgangagerðar er tengdur námugreftri og námugöng eru mikið ódýrari heldur en nokkur önnur. Þó eru námugöngin yfirleitt mjög grönn. Í jarðgangagerð verða göngin yfirleitt ódýrari á m³ því stærri sem þau eru í þvermál. Lágst verð á námugöngum liggur að nokkru leyti í því, að þau eru sjaldan eða aldrei fóðruð, en flest önnur göng eru það.

Þegar litið er á í hvers konar umhverfi göng eru gerð kemur í ljós að mest er gert af göngum í linum jarðlögum, en næstmest í bergi. Námugröfturinn er stærsti liðurinn í hvoru tveggja.

U.þ.b. helmings munur er á verði á göngum í linum jarðlögum og göngum í bergi. Þessi verðmunur er sjálfsagt miklu meiri fyrir göng gerð í öðrum tilgangi en námugreftri, því stór hluti af göngum í linum jarðlögum eru námugraftargöng, en meðalverð þeirra er lágst eins og sést í töflu 2.

Á línuritinu, mynd 11, er sýnt verð á jarðgöngum á sl. áratug í O.E.C.D. löndum með mismunandi þversnið og í mismunandi umhverfi. Hér er eingöngu átt við jarðgöng, sem notuð eru til

annars en námugraftar. Grennri göngin eru í bergi, gerð með jarðgangaborvéllum. Alls staðar eru hér tvö pör af línunum, eitt fyrir það sem talið er ódýrt og annað fyrir það, sem talið er dýrt. Greinilegt er að ódýrast er að gera göng í bergi, hvort sem það er hart eða meðalhart, en jafnvel þar er það mjög breytilegt eftir aðstæðum og eftir fæðrunarþörf. Verð á nokkuð stórum göngum í bergi fer niður í 10 \$ á m³, en dýrustu göngin eru þau, sem sökkt er í vatn eða gerð eru í línunum jarðlögum, sem valda mjög miklum erfiðleikum. Þar getur verðið farið upp í 500 \$ á m³.

Á þessu bili, milli 10 og 500 \$ á m³, lá sem sagt verð á jarðgöngum í O.E.C.D. löndum á síðasta áratug. Ekki er talið líklegt að verðið fari almennt niður á við, en hugsanlegt er, að með aukinni tækni og þróun fari þau ekki jafn mikið upp á við og nemur verðbólgu. Hingað til hefur kostnaðaraukning við jarðgangagerð verið nálægt því að vera sú sama og verðbólga og jafnvel eitthvað meiri.

Mjög er misjafnt eftir löndum hversu óragir menn eru að leggja í jarðgangagerð. Þar sem menn eru tregir til jarðgangagerðar, eins og hefur verið í Bandaríkjunum, eru jarðgöng yfirleitt dýr. En annars staðar, t.d. á Norðurlöndum, eru þau ódýr, enda er þar mikið gert af jarðgöngum.

9.2 Framtíðarþörf og stefnumið

Áætlað er að jarðgangagerð á núverandi áratug verði a.m.k. 50% meiri en á þeim síðasta, en sennileg er þó 100% aukning. Töluverður hluti þessarar aukningar verður í sambandi við skipulagningu borga. Það var eitt af aðal stefnumiðum þessarar ráðstefnu O.E.C.D. að hvetja yfirvöld til þess að nota meira en hingað til hefur verið gert jörðina undir borgunum til ýmiss konar þjónustu við borgirnar. Það er því líklegt að verulegur hluti þessarar aukningar verði í sambandi við gangagerð undir borgum fyrir vatnslagnir, skolpleiðslur og aðrar gerðir af leiðslum. Þróunin í jarðgangaborvélum hefur verið sérstaklega hröð í sambandi við þessi atriði. Einnig er líklegt að neðanjarðarlestarerfi eigi eftir að þróast í mörgum fleiri borgum.

Á ráðstefnunni var mikil áherzla lögð á rannsóknarstarfsemi í sambandi við jarðgöng. Mörg ríki og fyrirtæki eru með verulega rannsóknarstarfsemi í gangi. Á næsta áratug verður því varið miklum fjárhæðum í rannsóknarstarfsemi í sambandi við jarðgangagerð. Er ætlan manna, að þessi rannsóknarstarfsemi muni skila verulegum arði, þótt ekki séu neinar stökkbreytingar líklegar í jarðgangagerð sem afleiðingar þeirra. Erfiðleikar virðast vera á að koma niðurstöðum rannsókna í notkun í iðnaðinum.

Ráðstefna O.E.C.D. í Washington 22.-26. júní 1970 mælti með eftirfarandi við ríkisstjórnir meðlimalandanna, "Með það að bakgrunni, sem rætt var á ráðstefnunni, mælir ráðstefnan með, að tekin verði til athugunar og gerðar viðeigandi ráðstafanir ríkisstjórna varðandi eftirtalin atriði"

1. Þörf á einhverjum einum aðila í hverju landi, sem hafi með þessi mál að gera.
2. Áætlanagerð um notkun undirgrunnsins.
3. Notkun heildarkostnaðar hagkvæmnishugtaksins í fjármögnunar- og hagkvæmnisákvörðunum.

4. Hvatning tæknilegra framfara,
5. Alþjóðleg samvinna.

Atriði 2 og 3 eru sérstaklega hugsuð í sambandi við stórborga-
skipulagningu og eiga ekki mikið við um íslenskar aðstæður.
Það sem á við íslenskar aðstæður eru þá sérstaklega atriði 1,
4 og 5.

Það er ekkert vafamál að þörf er á einhverjum aðila innan
Íslands, sem hefði það hlutverk að fylgjast með jarðgangagerð,
tæknilega og fjárhagslega. Sem stendur er enginn samræmingar-
aðili til í landinu. Í nokkrum O.E.C.D. löndum hafa þess konar
aðilar verið stofnaðir, oft í formi eins konar félags aðila,
samband við sams konar félög í öðrum O.E.C.D. löndum.

9.3 Íslensk jarðganganefnd

Hér á landi eru félög og nefndir sambærilegar til á öðrum
sviðum. eru það helzt landsnefndir Íslands í orkumálum og um
stórar stíflur. Einnig eru til innan Verkfræðingafélags
Íslands nefndir, sem fylgjast með tækniþróun á vissum sviðum.

Eðlilegt þykir mér að íslensk nefnd, sem fylgjast ætti með
jarðgangagerð væri skipuð eftirfarandi aðilum:

1. Fulltrúum rannsóknarstofnana, sem standa fyrir rannsóknum
vegna jarðgangagerðar og á jarðgöngum.
2. Ráðgjafaverkfræðingum,
sem hannað hafa jarðgöng.
3. Fulltrúum verktaka, sem byggt hafa
jarðgöng og
4. Kaupendum jarðganga.

Rannsóknir vegna jarðgangagerðar hafa aðallega farið fram á
Orkustofnun og á Raunvísindastofnun Háskólans. Einnig væri
eðlilegt að Rannsóknarstofnun byggingariðnaðarins tæki þátt í
svona nefndarstörfum.

Nokkrar ráðgjafaverkfræðistofur hafa hannað jarðgöng hér á landi eða unnið með erlendum aðilum við hönnun þeirra. Þessar ráðgjafaverkfræðistofur eru Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen s.f., sem hannað hefur göngin við Laxá og einnig við Grímsá, en bæði hafa verið grafin. Einnig hefur sú verkfræðistofa gert áætlun um mörg fleiri jarðgöng í sambandi við virkjunarmannvirki, sem ekki hafa komið til framkvæmda ennþá. Virkir h.f., ráðgjafaverkfræðingar, hefur tekið þátt í hönnun jarðganga við Sigöldu. Þau jarðgöng verða væntanlega gerð á næstu árum. Rögnvaldur Þorláksson, verkfræðingur, umboðsmaður Harza Engineering Company, sem hannaði jarðgöngin við Búrfell, þau voru gerð á árunum 66-69. Almenna Verkfræðistofan, arftaki Almenna Byggingarfélagssins, hefur gert áætlunir um jarðgöng í sambandi við virkjanaáætlanir. Almenna Byggingarfélagið og dótturfyrirtæki þess voru í nánu sambandi við þau fyrirtæki, sem byggt hafa flest jarðgöng á Íslandi. Verkfræðipjónusta dr. Gunnars Sigurðssonar hefur einnig gert áætlunir um jarðgöng í sambandi við hönnun á virkjunarmannvirkjum.

Íslenskir verktakar, sem byggt hafa jarðgöng, eru að því er ég bezt veit eftirfarandi: Efrafall, sem byggði jarðgöngin við Efrafall í Sogi og Strákagöngin, Fosskraft, sem byggði jarðgöngin við Búrfell, bæði þessi fyrirtæki starfa annað hvort ekki lengur eða mjög lítið, en einna næst því að taka við af þeim er Ístak, sem mun framkvæma jarðgangagerð í Oddskarði á þessu og næsta ári, ^{auk þess} Norðurverk h.f., sem gert hefur göngin við Laxá.

Kaupendur jarðganga eru tvenns konar á Íslandi, það er virkjanaaðilar og Vegagerðin. Sem fulltrúar kaupanda jarðganga eru Landsvirkjun svo og Laxárvirkjun og Vegagerðin helztu aðilar.

Félagsskapur eða nefnd áhugaaðila um jarðgangagerð ætti eðli-
lega að hafa sem flesta þessara aðila, sem hér á undan eru
greindir, sem meðlimi svo og aðra sem seinna kunna að koma inn í málið.
Þessi aðili ætti að framkvæma liði 4 og 5 að því sem
O.E.C.D. mælti með, það er að hvetja til tæknilegra framfara
í jarðgangagerð og hafa alþjóðlegt samband fyrir Íslands
hönd.

10. Lokaorð

Eins og þessi skýrsla ber með sér hefur á undanförunum árum orðið veruleg þróun í jarðgangagerð með tilkomu jarðgangaborvéla. Þessar borvélar eru nú þegar samkeppnisfærar við venjulega sprengingaaðferð á göngum upp í meðal stór göng, og lítil göng verða örugglega mun ódýrari. Hröðust hefur þróunin orðið í tannhjólaborunum jarðganga en einnig hefur átt sér stað þróun, sem lofar mjög góðu, á sviði jarðgangaborvéla, sem ekki mylja allt í smátt. Slíkar borvélar eru ódýrari og léttari en aðrar.

Til þess að hægt sé að gera ábyggilegar áætlanir um kostnað við jarðgangagerð með þessum borvélum á landi vantar reynslutölur fyrir bergið hér. Að fá svona borvél til landsins er of mikil áhætta fyrir venjulegan verktaka svo að ríkisfyrirtæki þau, sem láta gera jarðgöng, verða að taka um það ákvörðun að prófa slíkt tæki við eitthvað verk, sem hentar þeim, jafnvel þó að um það væri að ræða, að göngin yrðu eitthvað dýrari. Á þennan hátt hefur jarðgangagerðin með borvélum fyrir hart berg víðast hvar komist á.

Það verður sjálfsagt alltaf vandamál hér á landi að halda jarðgangaborvél í landinu, því að hver vél er svo sérhæfð að hún passar eingöngu einni stærð af göngum og venjulega þá bara einu verki. Þetta eina verk þarf því að vera nógu stórt til þess að bera uppi kostnaðinn af flutningi borvélar til og frá landinu.

Ritskrá frá O.E.C.D. Advisory Conference on Tunneling

1. Proceedings August 1970 1-203.
2. Report on tunneling demand 1960-1980 1-26, A-1 - 6, B-1, C-1 - 131.
3. Report on research and development related to tunneling A-1 - 18 og B-1 - 67.
4. Report on Hard Rock Tunneling 1-32, A-1 - 22, B-1 - 19.
5. Report on Soft - Ground Tunneling 1-125,
6. Report on Cut and Cover Constuction 1-61,
7. Report on Immersed Tunnel Construction 1-42.
8. Conclusions 1-15, 2 eintök,einnig í Proceedings.
9. Summary of Proceedings 4.
10. Development of Tunneling Methods and Controls for Water Resource Projects. 33 bls.
11. Lausblöð um ferðalög og fundarreglur; auk þessa er megnið af því sem er í proceedings til í lausblöðum og smáheftum.

Frá sendinefndum

1. Frá Japan
Undersea Tunnel and its Influence on Economy, 10 bls.
2. Frá Spáni
General Information Spain. 26 bls.

Frá ferðalaginu

1. New York
 1. Major New York City Subaqueous Veticular, Rapid Transit and Railroad Tunnels. 21 bls,
 2. Some facts and figures. 11 bls.
 3. Threshold to the Seventies. 9 bls. Auk þess smá pésar Ósamst.

2. Chicago
 1. Flood and Pollution Control, A deep tunnel plan for the Chicagoland area. 8 bls.
 2. Upplýsingar um verktaka og fleira, 11 síður ósamstætt.
3. Twin Cities
Ýmsir smá pésar um starfsemi U.S. Bureau of Mines í Chicago.
4. Frá Denver svæðinu
 1. Straight Creek Tunnel Colorado, Ýmsir smá pésar í möppu með teikningum myndum og fleiru af ferðalaginu þangað. 30 bls.
 2. Norad Cheyenne Mountain complex. 26 bls.
 3. Smá pésar frá U.S. Bureau of Mines Denver Colorado.

Skýrslur og smárit frá ýmsum fyrirtækjum um framleiðslu sína

1. Frá Lawrence Manufacturing Company (Ingesoll Rand).
 1. Alkirk Hardrock Tunnelers, 10 bls. + 10 myndir.
 2. " " Raise - Driver; 10 bls. + 5 myndir.
 3. Brochures, Articles and Photos, Lawrence Manufacturing Company. 25 bls. Ósamstætt.
 4. Mine excavation with Hardrock Tunneling Machines, by Wilbur A. Uski. 6 bls.
 5. Equipment Reliability, the Key to Successful Tunneling by Machine, by William H. Hamilton.

2. Frá Jarva (G.W. Murphy Industries).
 1. Jarva Tunneling Machines, Reed Tunneling Cutters. 16 bls.

3. Hughes Tool Company.

The Betty I. 2 bls.

4. Wirthco.
 1. Bohrung eines Druckstolles für eine Französisch - Schweizerische Wasserkraftanlage in Chatelard / Schweiz. 18 bls.
 2. Ýmsir smá pésar í möppu. Technische Informationen. 25 bls.
 3. Tunnelbohrmaschinen zur vollmechanischen Auffahrung von Tunneln, Stollen, Strecken und Schachten. 15 bls.
 4. Stollen- und Streckenvortrieb mit Wirth-Tunnelbohrmaschinen in allen formationen bis zu extrem harten Gestein. 23 bls.
 5. Experiences gathered with the tunnel drilling machine TBI - 214 in an approximately 400 metre- long horizontal gallery for the power station Barberine. 5 bls.
 6. Driving an inclined shaft with a 65% gradient in granite with a Tunnel Drilling Machine. 15 bls.

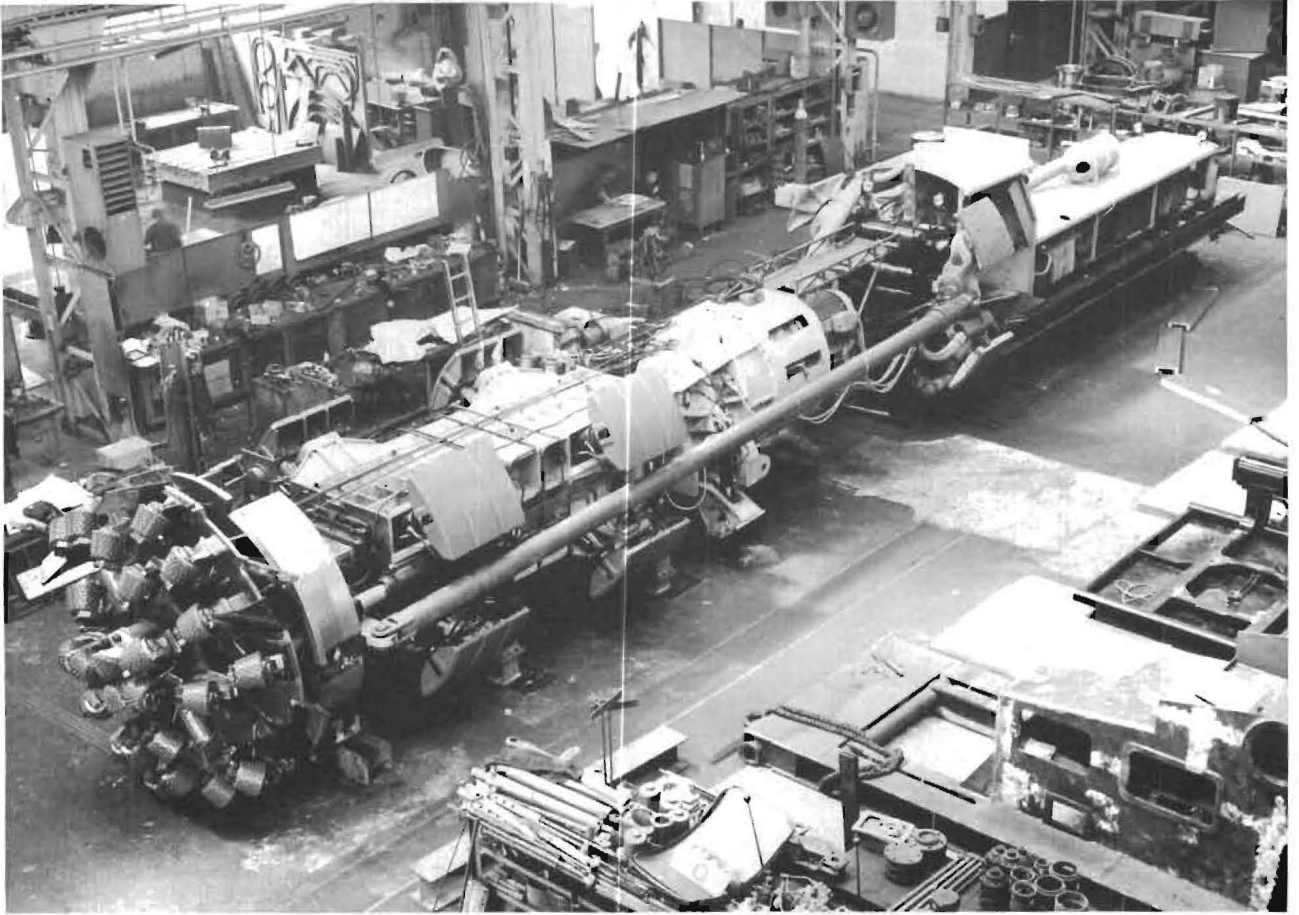
5. Demag.
 1. Demag Information, Stationen des vollmechanischen Tunnelvortriebs. 5 bls.
 2. Tveir aðrir smá pésar.

6. Atlas Copco.
 1. Compressed air power for Industry. 11 bls.
 2. " " " " Contractors, 11 bls.
 3. Boomer 131 jumbo for drifting and tunneling. 15 bls.
 4. Fullface Tunneling Machines. 8 bls.
 5. Mini fullface. 5 bls.
 6. The Atlas Copco Tunneling Machines - the undercutting Method. 4 bls.
 7. Promising performance of the Habagger Tunneling Machine in hard rock. 11 bls.
 8. Mechanized Drifting by the Full Face Method. 15 bls.

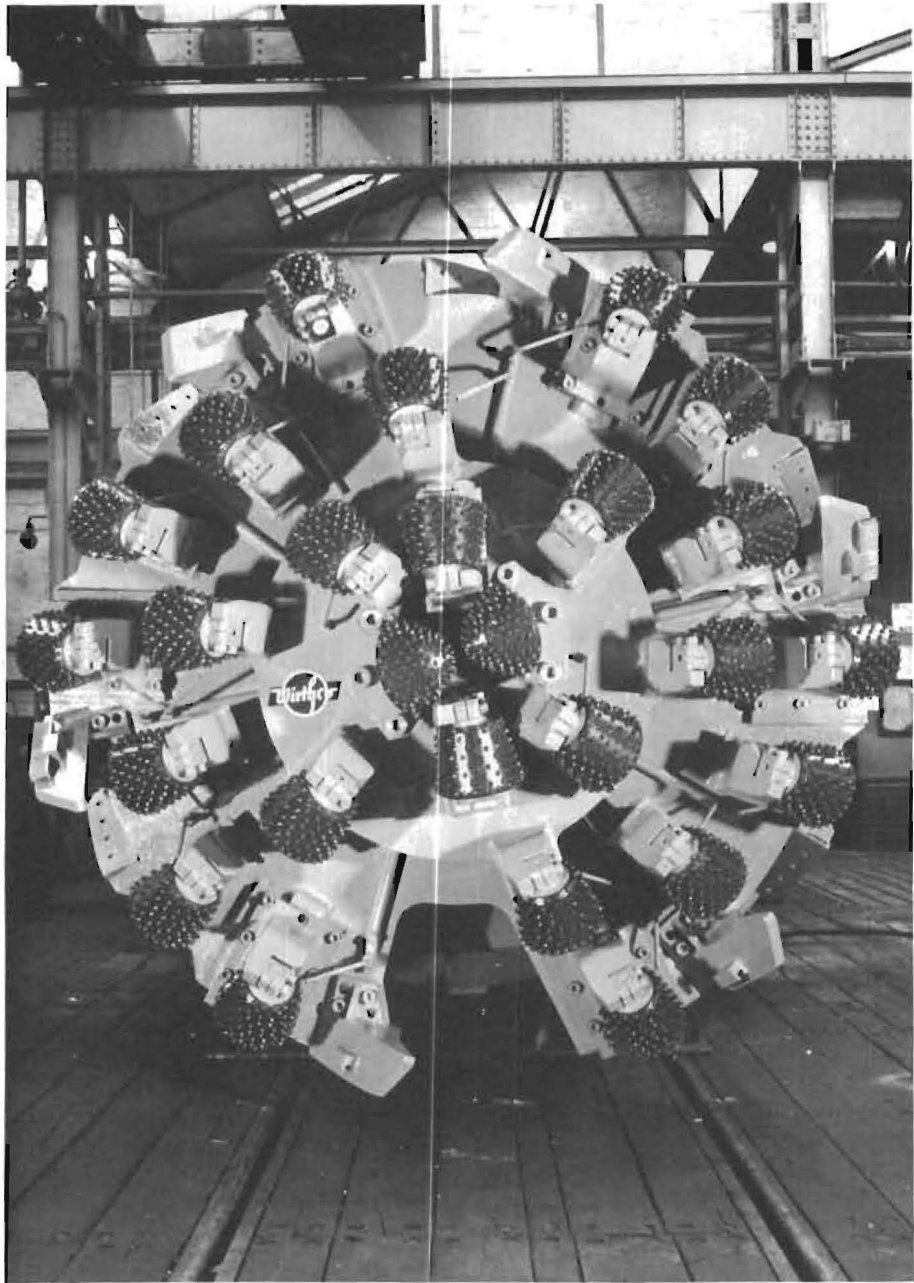
7. Oesterreichisch - Alpine Montangesellschaft.
 1. Alpine multi - head Tunneler. 10 bls.
 2. Alpine Miner Type F 6-A Cutter - Loader and Tunneling machine. 19 bls.

Aðrar upplýsingar um jarðgangagerð

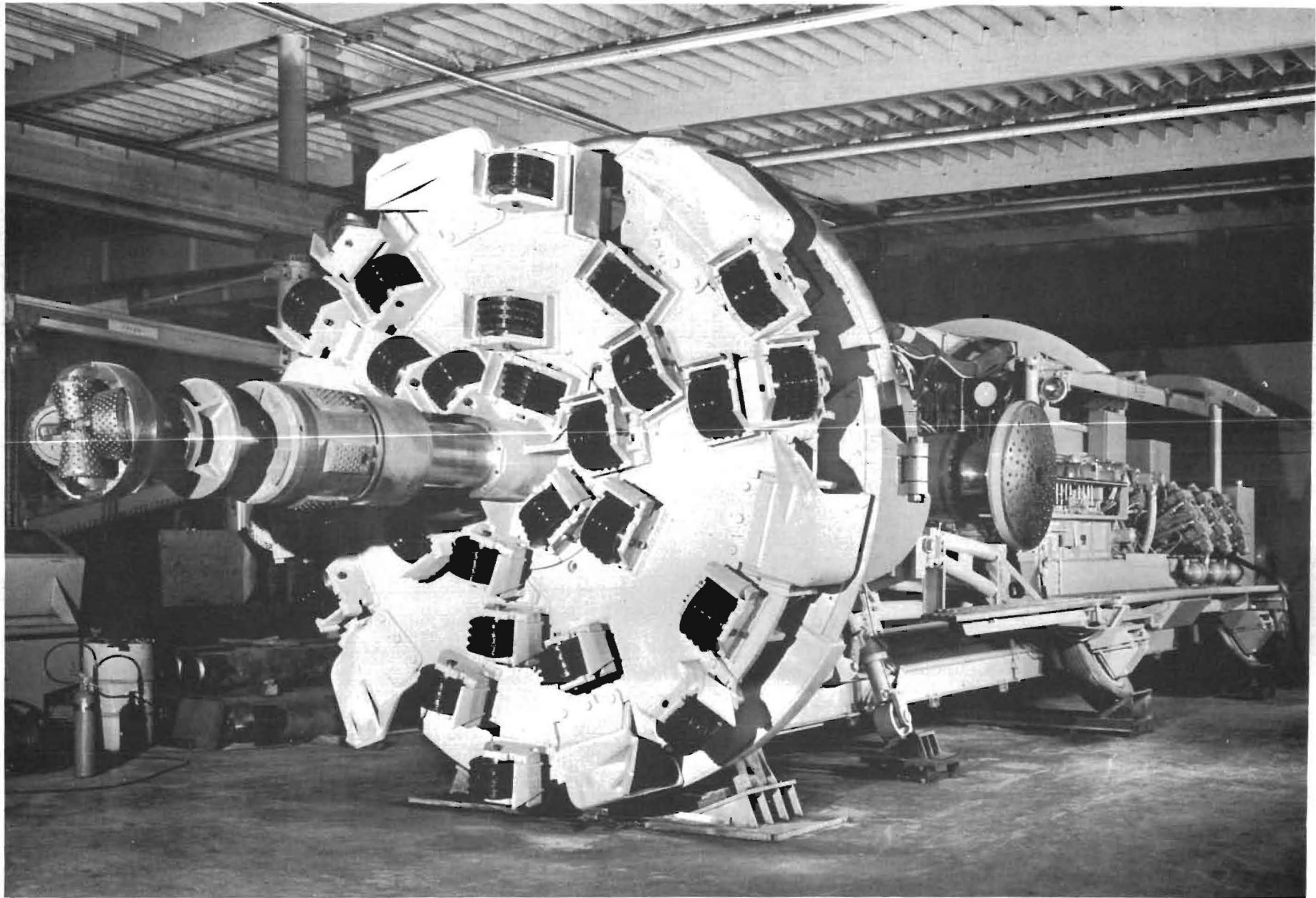
1. Europe goes underground, by W.M. Braun. 6 bls.
2. Minnisblað frá Gunnari Sigurðssyni úr Ameríkuför. 4 bls.
3. Eigin minnisblöð úr Evrópuför. 15 bls.
4. Tunnel - Tunneling, System Bernold. 31 bls.
5. Ýmsar aðrar smáúrklippur.
6. Tímaritið Tunnels and Tunneling, árg. 1971. 472 bls.
7. Nokkrar athuganir á borkrónuendingu og borkrónukostnaði, eftir Pál Ingólfsson.
8. Tunneling Lessons from Lyon Conference úr International Construction, april 1972. 8 bls.



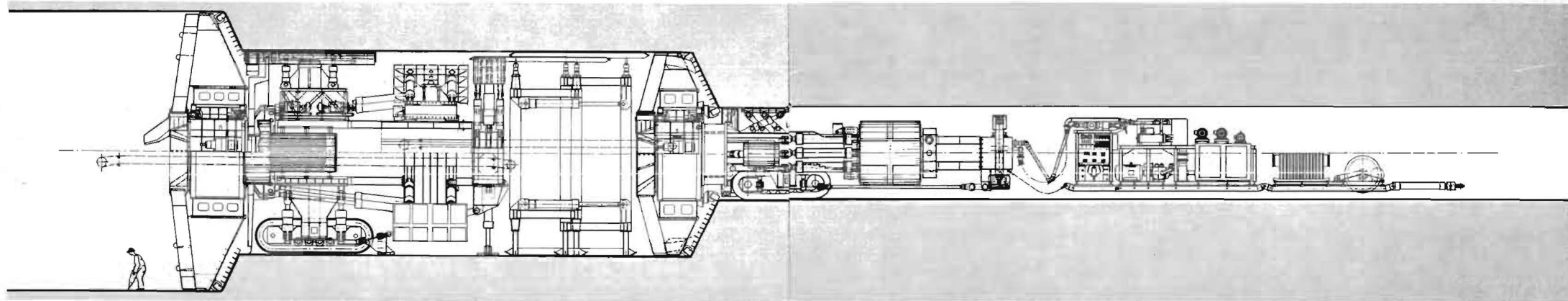
Mynd 1A. Venjuleg jarðgangaborvél. Wirth vél frá Þýzkalandi.



Mynd 1B. Borhaus á Wirth jarðgangaborvél.

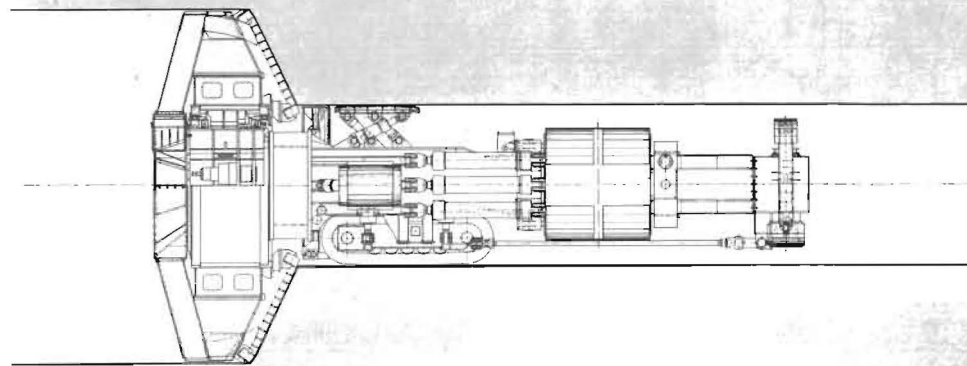


Mynd 2. Jarðgangaborvél með staut fram úr, frá Lawrence Manufacturing Company. Bandaríkjunum.



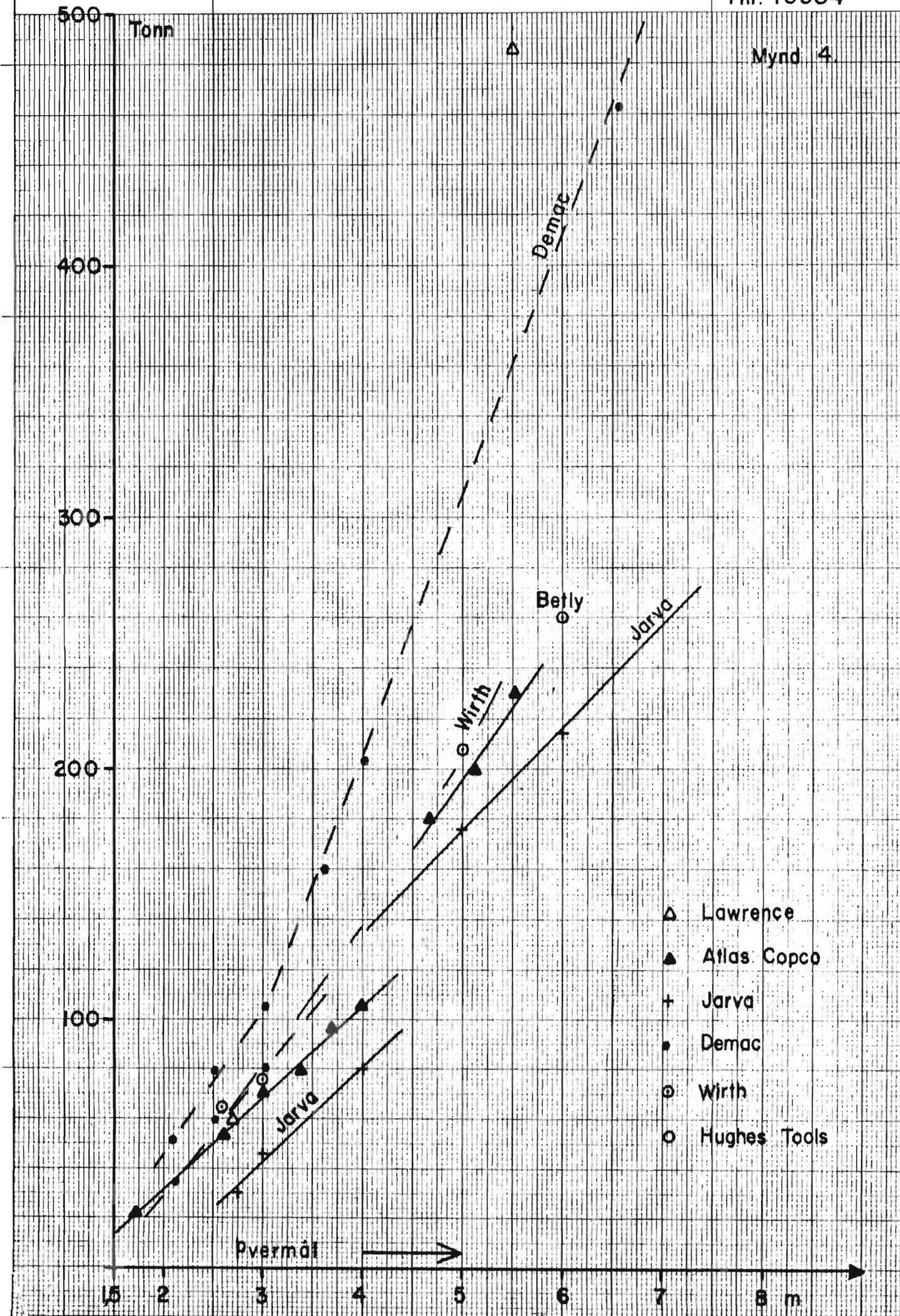
TUNNELBOHR-ERWEITERUNGSMASCHINEN

Mynd 3. Útvíkkun á göngum. Vél frá Wirth í Þýzkalandi.

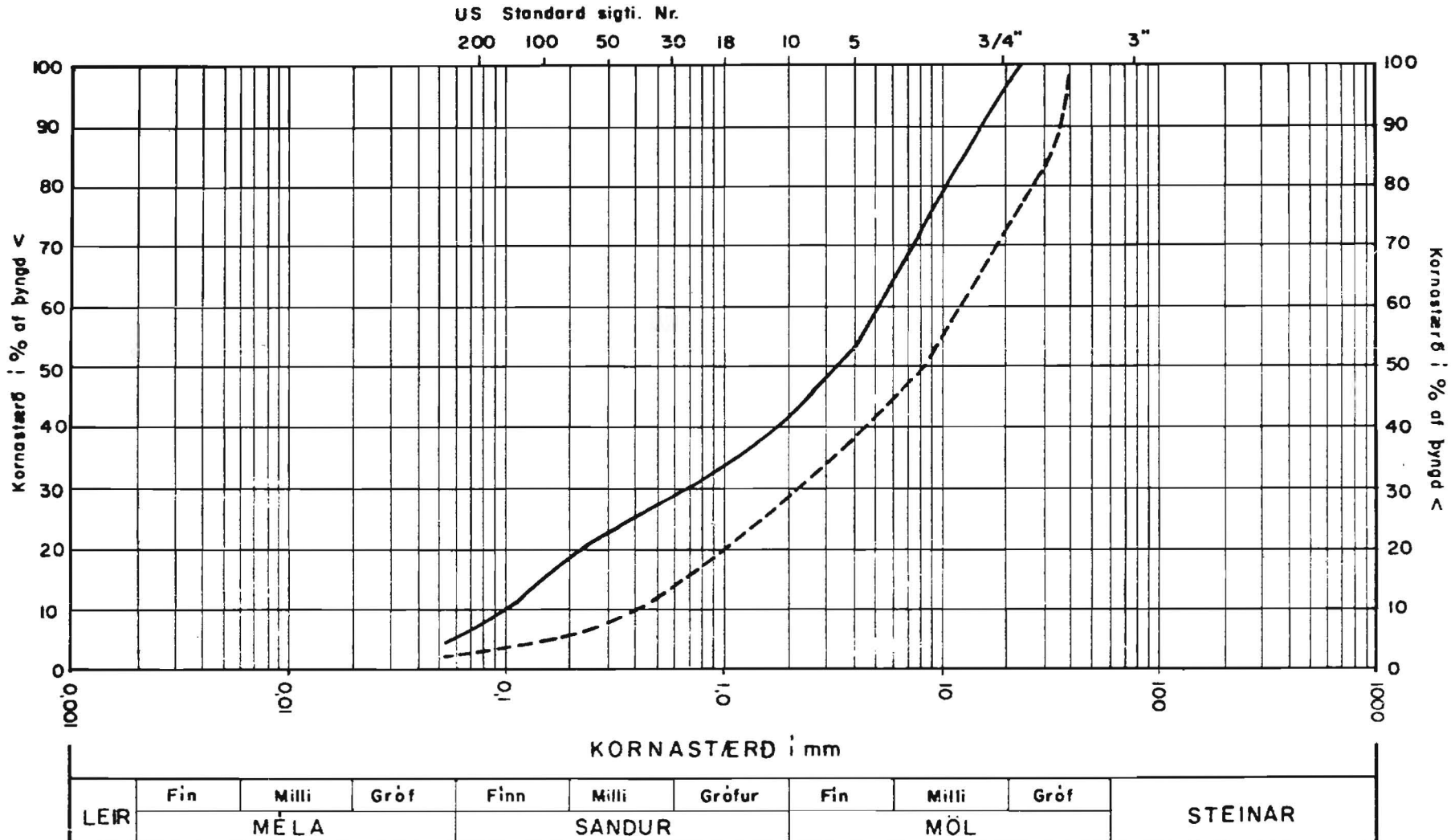


Þyngd nokkurra jarðgangaborvéla.

Mynd 4.



Mynd 5.



K-327 frá Sviss K-328 frá Þýskalandi Sv.P.1969

Kornastærðakúrfur fyrir bormylsnu frá jarðgangaborvélum.

ORKUSTOFNUN

Afl nokkurra Jarðgangaborvéla.

1000

Kw

Mynd 6

900

800

700

600

500

400

300

200

100

Demac

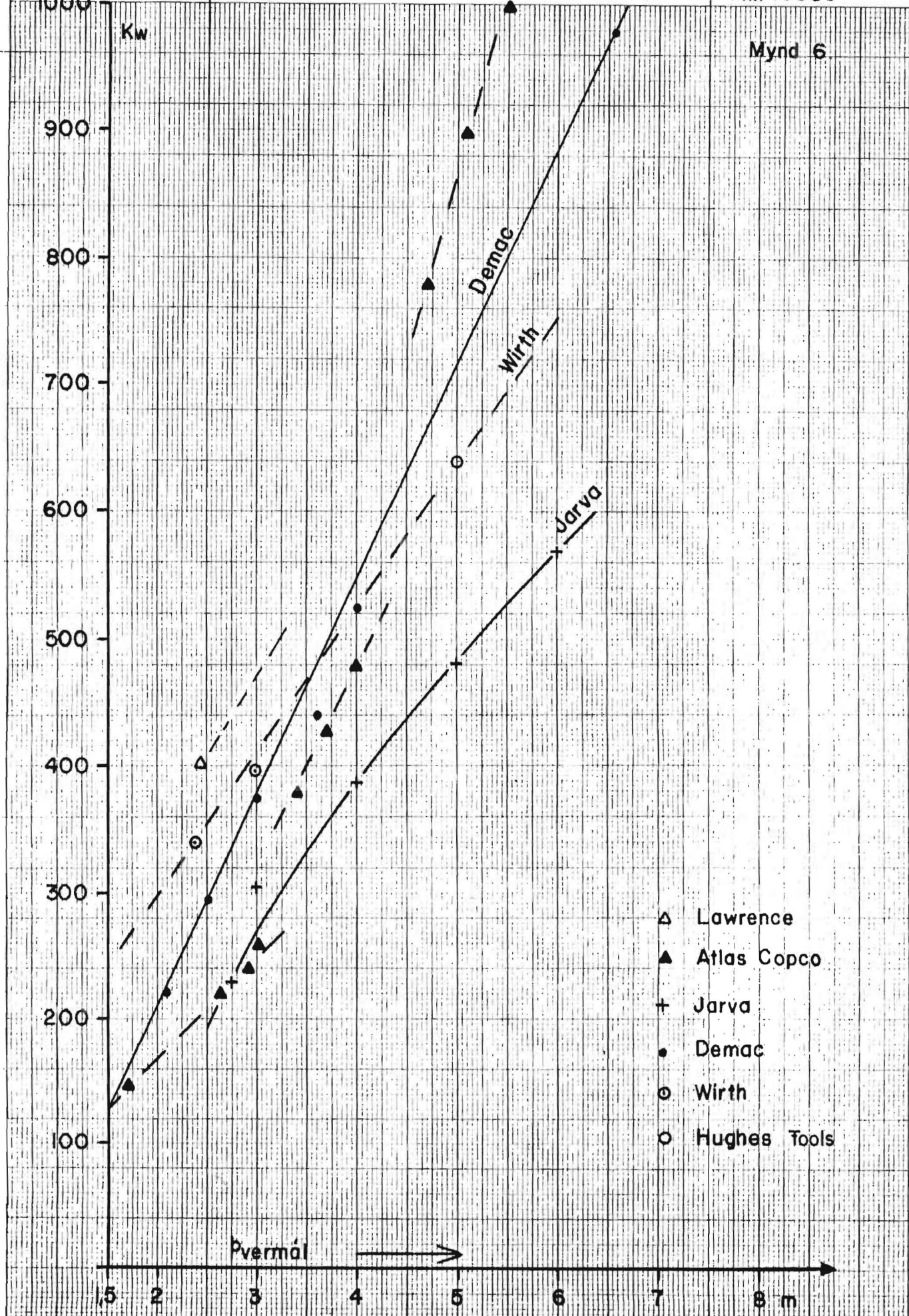
Wirth

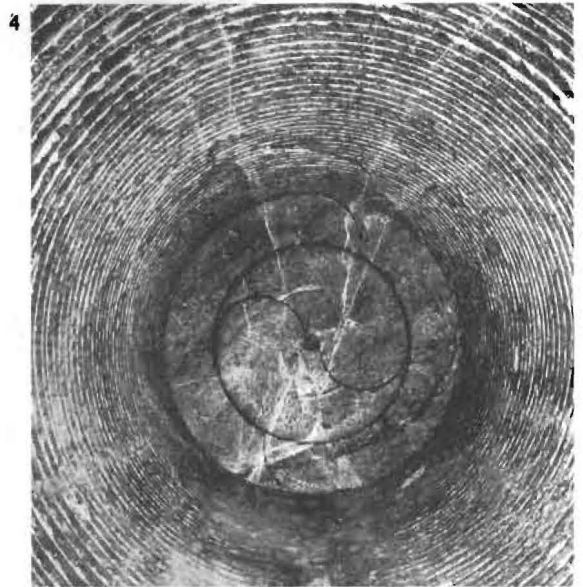
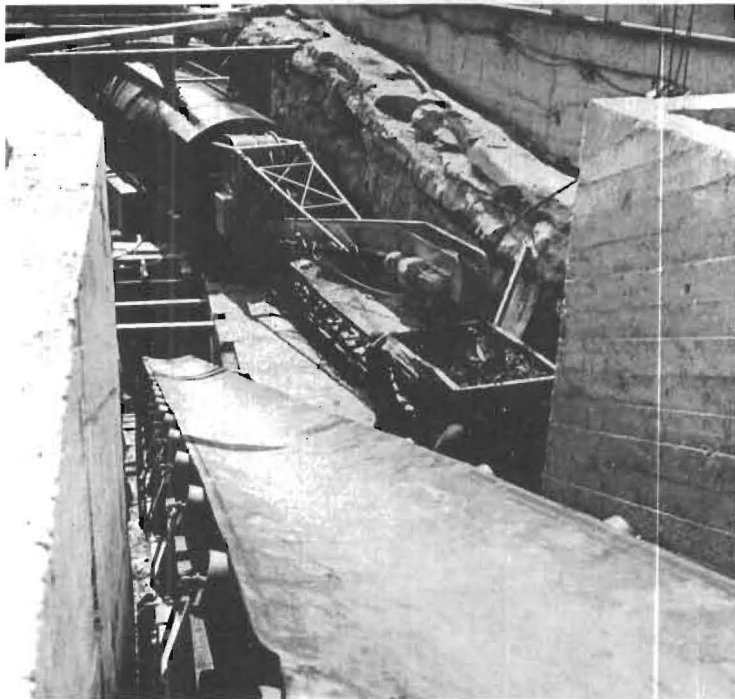
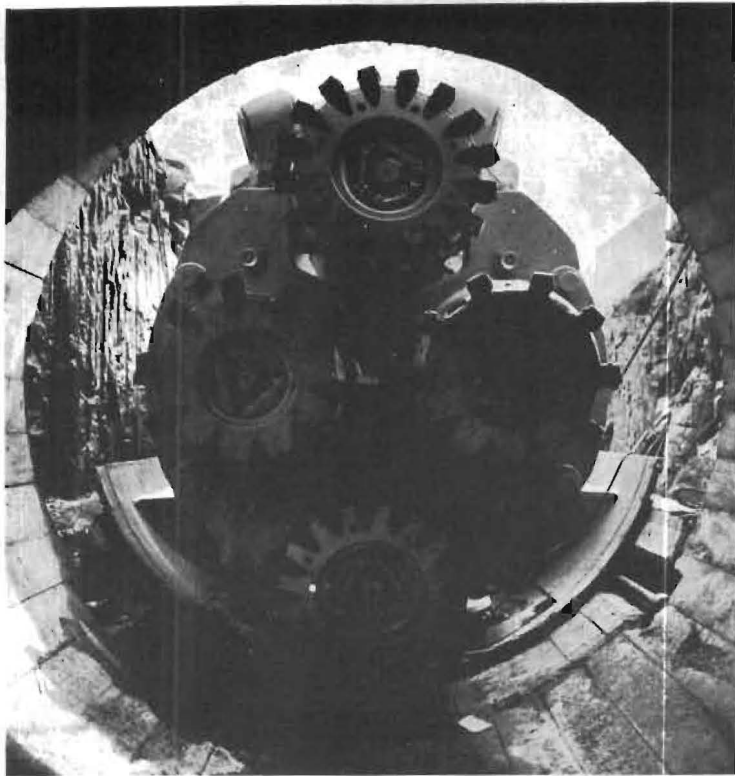
Jarva

- △ Lawrence
- ▲ Atlas Copco
- + Jarva
- Demac
- Wirth
- Hughes Tools

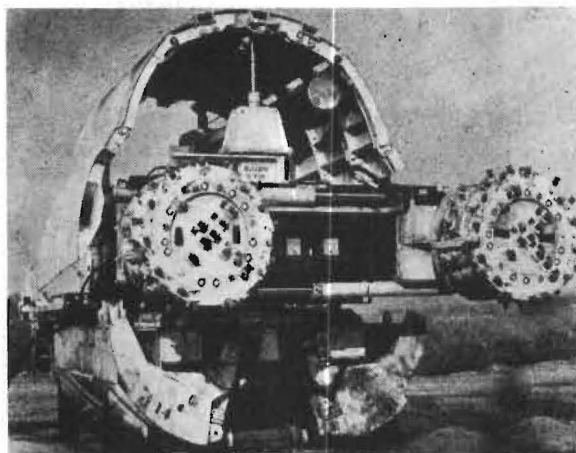
Pvermál

5 2 3 4 5 6 7 8 m



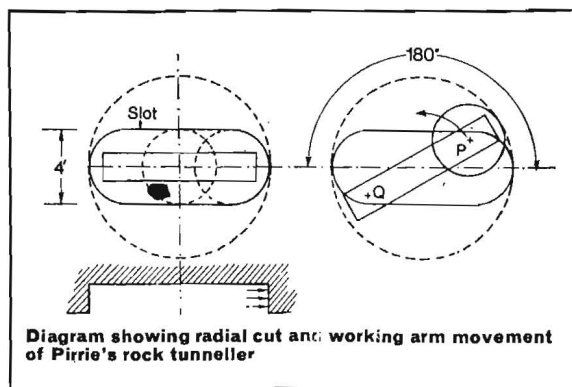


Mynd 7. Bakskurðarvél frá Atlas Copco.



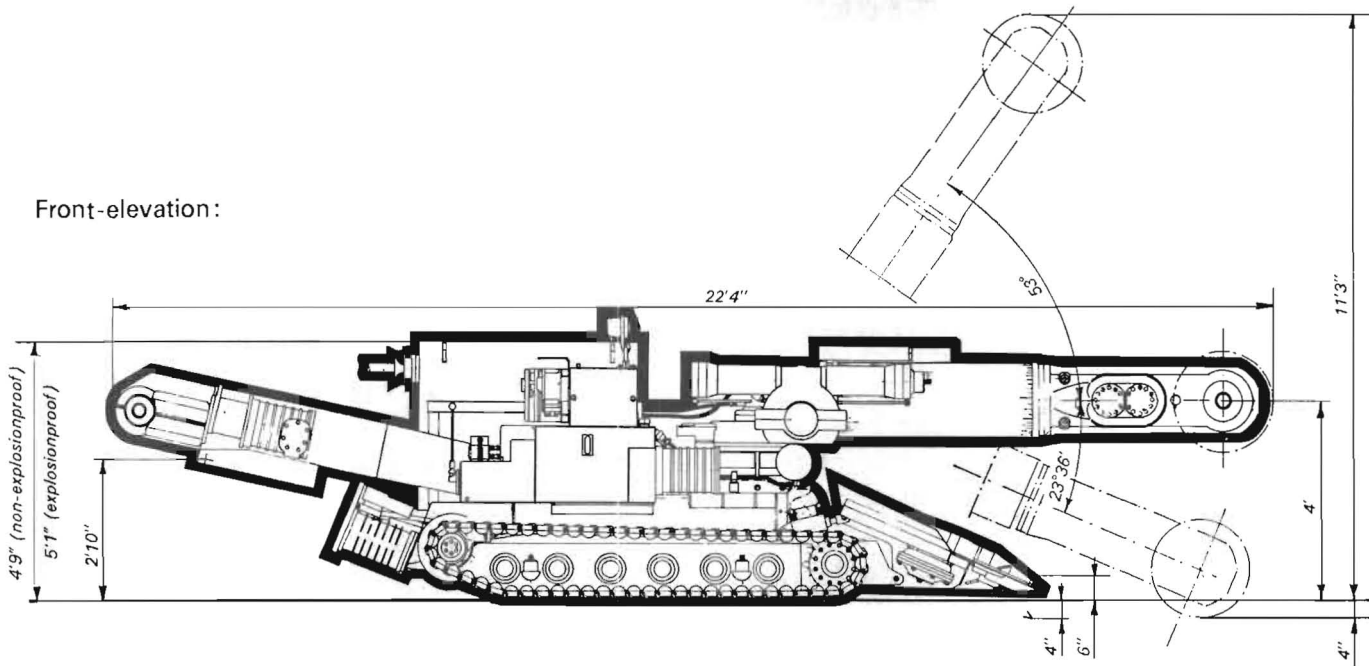
Greenside-McAlpine rock tunneller

○ 195

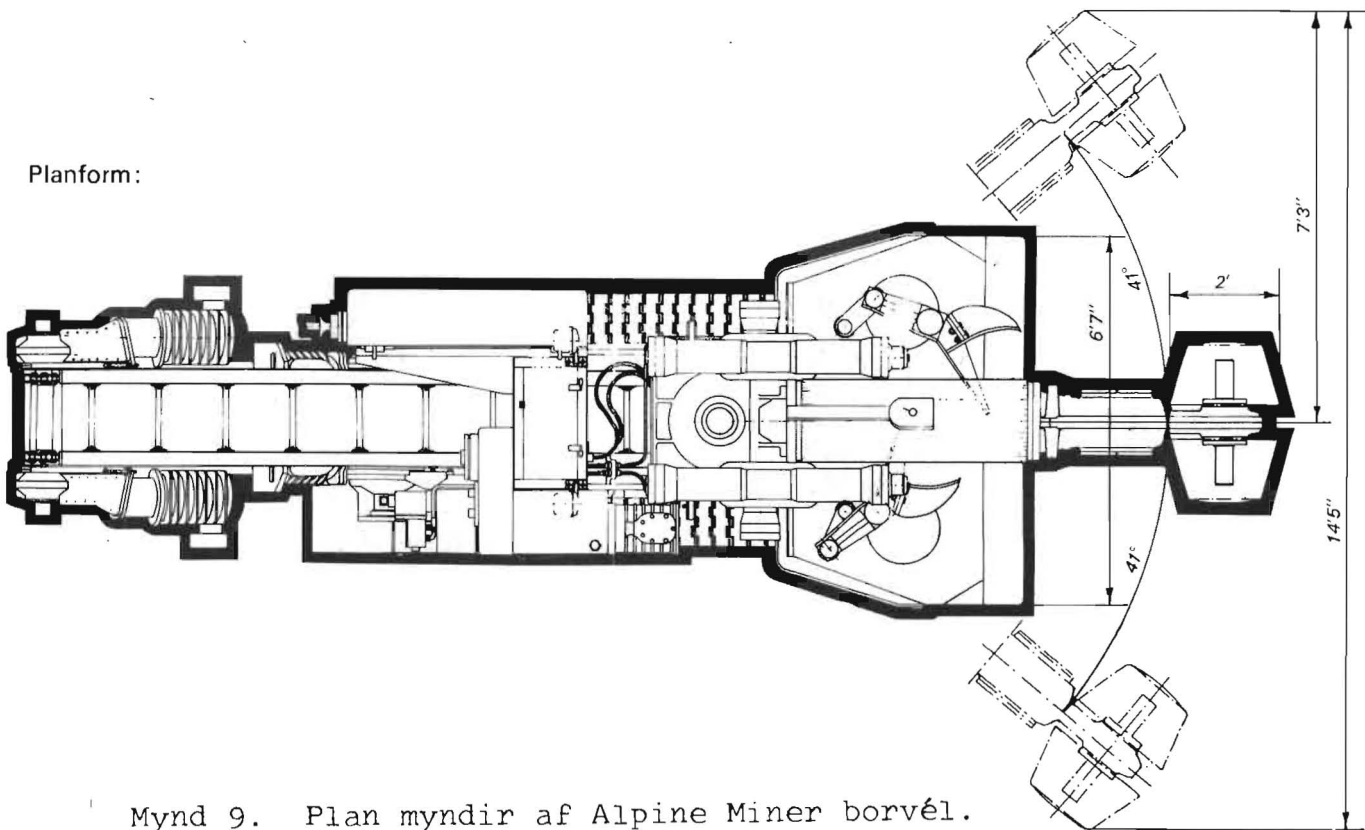


Mynd 8. Greenside-McAlpine jarðgangaborvélin.

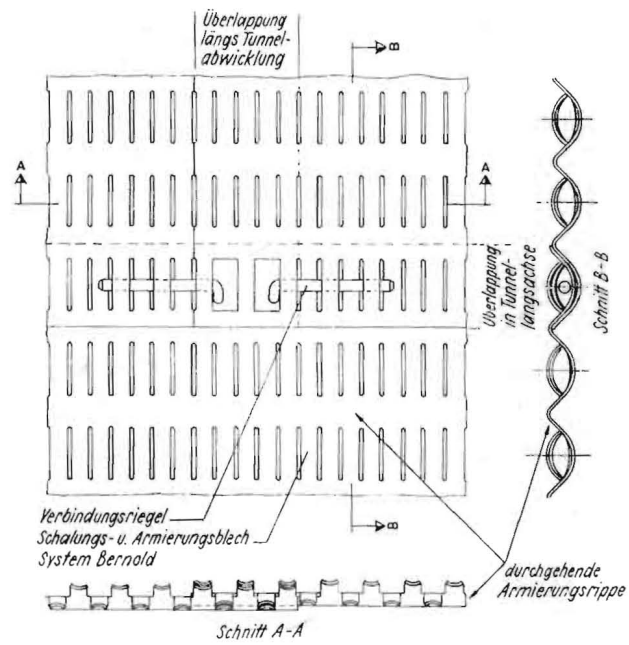
Front-elevation:



Planform:

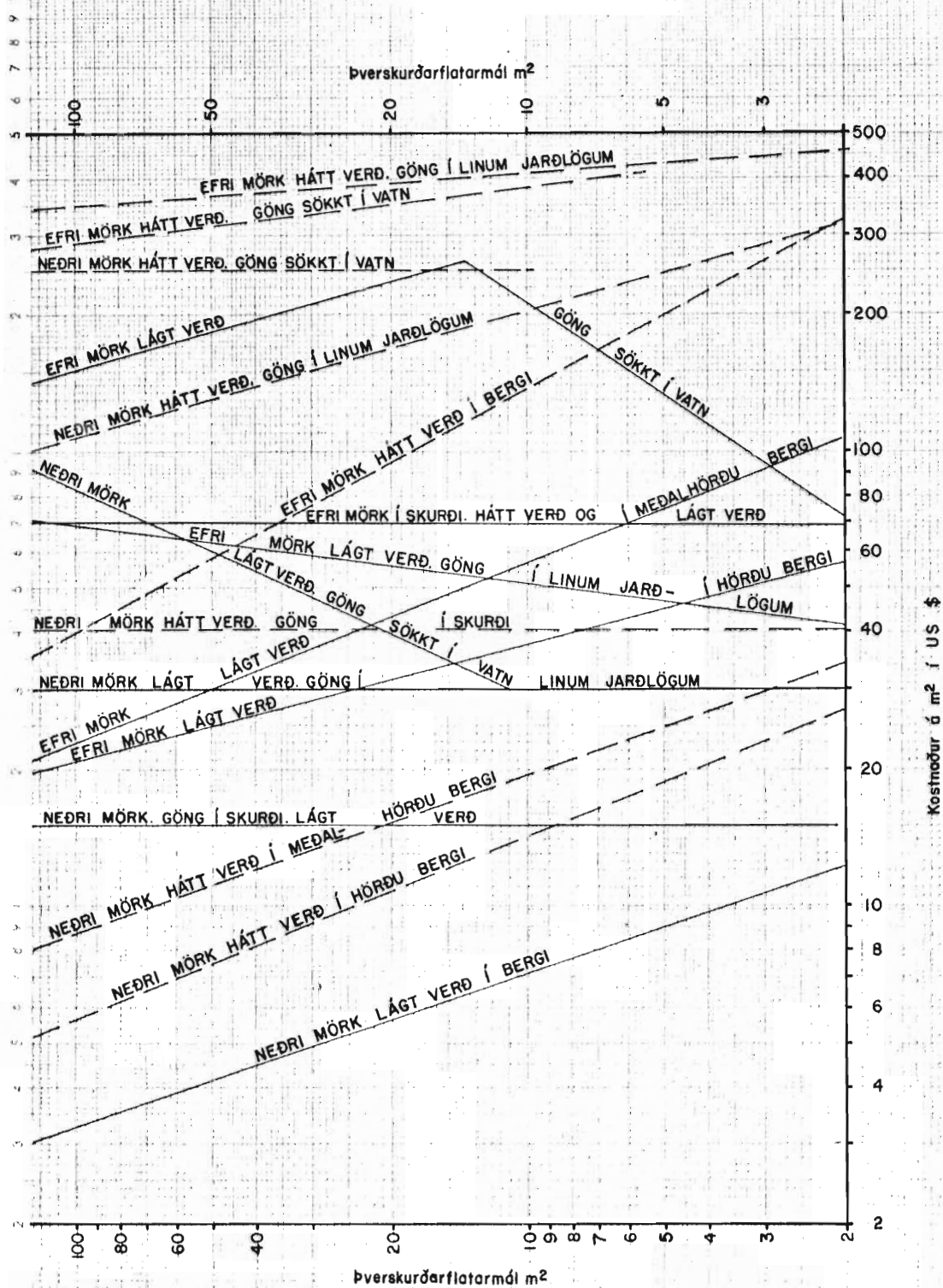


Mynd 9. Plan myndir af Alpine Miner borvél.



Mynd 10. Bernolds-Bleche í göngum og skýringarmynd.

Verð á jarðgöngum í O.E.C.D. löndum á áratugunum 1960-1970



- 5 línur fyrir göng í hörðu og meðalhörðu bergi
- 3 línur fyrir göng í skurði
- 4 línur fyrir göng í linum jarðlögum
- 4 línur fyrir göng sökkt í vatn

Verð á göngum uppgæfið á sviði
Ódýrt _____
Dýrt _____

22.6.72 HT/SI.

Tafla 1.

Rekstrarkostnaður jarðgangavéla, tollar ekki meðreiknaðir.
 Miðað við upplýsingar frá Wirth frá 1969, tekið tillit til verðbreytinga fram til
 byrjun árs 1972.

| | 3 m | | útvíkkun 3 í 6 m | | 2 m | |
|---------------|---|---------------------------------------|---------------------|------------|--|--------------------------------------|
| | Hart berg Basalt, andesit 16 m d meðalhart móberg/set | 250 510 125 505 430 80 | Hart berg | Meðal berg | 150 1.430 640 2.590 730 120 | 120 280 45 175 430 80 |
| Fastur kostn. | 3.190 | 1.900 | 1.820 | 1.130 | 5.660 | 3.180 |
| Borleiga | 930 | | 38.100 | 23.500 | 14.100 | 7.940 |
| Aukatæki | 230 | | | | | |
| Mannaflí | 930 | | 60.100 | 36.900 | | |
| Borkrónur | 730 | | | | | |
| Rafmagn | 120 | | | | | |
| m í göngum | 22.000 | 13.400 | | | | |
| m samtals | | | | | | |

Hart berg: Basalt, andesit, borhraði 9 m á sólarhring.
 Meðalhart berg: Móberg og set, borhraði 16 m á sólarhring.

Tafla 2.

Áætluð jarðgangagerð á áratugnum 1961-1970
skift eftir notendum

| Notkun | Lengd | | Rúmmál | | Kostnaður | | Kostn. á m ³ |
|-----------------|-------------------------|------|-------------------------------------|------|-------------------------|------|----------------------------|
| | km (x 10 ³) | % | m ³ (x 10 ⁶) | % | \$ (x 10 ⁶) | % | |
| Námugróftur | 417,7 | 96,9 | 3,625,8 | 92,7 | 18,166 | 68,4 | 5 \$ |
| Flutningar | 2,3 | 0,5 | 161,9 | 4,1 | 5,219 | 19,7 | 32 \$ |
| Vatnsorka | 3,9 | 0,9 | 73,0 | 1,9 | 1,650 | 6,2 | 22 \$ |
| Lagnir í borgum | 7,0 | 1,6 | 42,5 | 1,1 | 1,372 | 5,2 | 32 \$ |
| Annað | <0,2 | 0,2 | 8,8 | 0,3 | 178 | 0,6 | 20 \$ |
| Total | 431,1 | 100 | 3,912,0 | 100 | 26,585 | 100 | |

Tafla 3.

Aætluð jarðgangagerð á áratugnum 1960-1970,
skift eftir gerð umhverfis

| Gerð mannvirkis | Lengd | | Rúmmál m ³ (x 10 ⁶) | Kostnaður \$ (x 10 ⁶) | Kostn. á m ³ \$ |
|--------------------------|-------------------------|------|---|--------------------------------------|----------------------------------|
| | km (x 10 ³) | % | | | |
| Göng í bergi | 44,1 | 10,2 | 692,9 | 11,290 | 18 \$ |
| Göng í línunum jarðlögum | 382,2 | 88,7 | 3,128,6 | 12,128 | 38 \$ |
| Göng byggð í skurði | 4,7 | 1,1 | 85,6 | 2,749 | 32 \$ |
| Göng sökktt í vatni | 0,1 | <0,1 | 5,0 | 418 | 83 \$ |
| Total | 431,1 | 100 | 3,912,0 | 26,585 | 100 |