

ÝMSAR HUGLEIÐINGAR UM GUFUVERÐ

eftir

Guðmund Guðmundsson

Apríl 1971.

ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

ÝMSAR HUGLEIÐINGAR UM GUFUVERÐ

eftir

Guðmund Guðmundsson

Apríl 1971.

Þessar hugleiðingar um GUFUVERÐ

Samanantekt

Hlifað við núverandi kostnaðargrundvöll rafstöðvarinnar við Hámafjall er framleiðslukostnaður rafmagns þar svipaður og við hinar óhagstæðari stórvirkjanir í fallvötnum sem ráðgert hefur verið að reisa á Íslandi. Þetta var tilraunastöð. Hlifað við þá reynslu sem þar hefur fengist og aðrar rannsóknir á orkuvinnslu á háhitasvæðum er ástæða til að mta að rafmagnsverð frá stórra orkuveri á Hámafjallssvæði verði svipað og við hagkvæmstu stórvirkjanir á íslenskum fallvötnum, þ.e.a.s. Austurlandsvirkjun og fullnaðarvirkjun Þjórsár og Hvítár.

Með núverandi fjármögnunarstefnu á Íslandi yrði mestur hluti stofnkostnaðar við stórrar jarðvarnaveitur greiddur af erlendu lánsfé. Við hugsanlega notkun verður þó víða að semja um greiðslu fyrir orku í íslenskum krónum. Stór stökk í gengisskráningu krónunnar valda ónákvæmni í mati á gjaldi er svari til framleiðslukostnaðar.

Fleiri en einn kaupandi getur notað sömu gufuna ef kröfur þeirra um hitastig eru mismunandi. Eru settar fram tillögur um skiptingu framleiðslukostnaðar milli þeirra samkvamt eftirfarandi sjónarmiðum:

- 1) Líkt er eftir verðmyndun sem yrði við fjárlst. frámboð á jarðhitaorku.
- 2) Allir kaupendur hagnist á samftingu.
- 3) Verðlagning hvotji til kaupa á magni við hvert hitastig er stuðli að bestu aftingu orkunnar.

**NJUG LAUSLEGUR SAMANBURÐUR Á RAFMAGNSVERÐI FRÁ VATNSAFLS-
OG GUFURAFSTÖÐVUM**

Stofnakestnaður vatnsaflsstöðva

Í skýrslunni "Laxárvirkjanir" frá Verkfræðistofu Sigurðar Thoreðsson í janúar 1970 er áttlaður stofnakestnaður/kw fyrir stórar virkjanir. Lagsti kostnaður var fyrir Þjórsá-Hvítá samkvamt nýstæráttlun apríl 1967, 16700 kr/kw. Hasti kostnaður var fyrir Laxárvirkjanir efri og Krákárvirkjanir, 26300 kr/kw. Miðað er við verðlag í ársbyrjun 1970.

Í skýrslunni "Um forrennsknaif á vatnsafl í Íslandi" frá sömu verkfræðiskrifstofu í janúar 1971 er kostnaðaráttlun fyrir Þjórsá-Hvítá 30000 kr/kw. Auk verðhakkana árið 1971 er aðal-
ástæðan fyrir hinn mikla mun þessara kostnaðaráttlana að í síðari kostnaðaráttluninni er miðað við alþjóðleg tilboðsverð, en í hinn fyrri er gert ráð fyrir innlendum tilboðum.

Við stórar virkjanir er hutt við að langur tími líði frá því að sum mannvirki eru reist þar til þau verða fullnýtt, t.d. kunna jarðgöng sem geta tekið við neðalárrennsli að vera notuð langi við virkjun sem aðeins eftir minnsta rennsli. Kinnig er líklegt að ekki sé unnt að nota þegar í stað allt rafmagn sem fust frá stórrí virkjun. Gufurafstöð er laus við þessa annmarka.

Stofnakestnaður jarðgufurafstöðva

Við mat á stofnakestnaði jarðgufurafstöðva er stuðst við "Alitgerð um verð jarðgufu frá gufuveitu Jarðvarnaveitna ríkisins í Hámafjalli" eftir Karl Ragnars í apríl 1970 og rannsóknir Jarðhitadeildar á Hámafjallsevði og Reykjanesi. Aðalframsenda kostnaðarreikninga Karls er að þessa þurfi nýja helu á þriggja ára fresti til að halda við því gufumagn sem upphaflega fust úr sex holum.

Berholur og gufuveitur hafa hliðstætt hlutverk og stíflur, skurbir og jarðgöng við vatnsaflsvirkjanir. Þarf því að telja þar með stefnakostnaði við samanburð við ofangreindar ástlanir um vatnsaflsvirkjanir. En samkvæmt kostnaðargrundvelli Karls er stöðugt verið að bora neðan gufstöðina starfar. Eru því allar holur sem boraðar kunna að verða reiknaðar með stefnakostnaði. Stefnekostnaður hola sem boraðar eru eftir að stöðin tekur til starfa er hér talinn það fé sem þyrfti að eiga við upphaf tímabilsins til að geta annast boranir án þess að afla frekara fjármagns.

Vextir eru áttlaðir 8% og miðað við verð á erlendum lánun. Vegna verðhækkana á útflutningi og innflutningi er raunverulegur ávinningur við að fresta útgjöldum lagri. Eftir reynslu síðustu 15 ára er hæfilegt að lækka vextina um 2% og reikna með 6%.

Berkostnaður einnar holu af þeirri gerð sem boraðar hafa verið til orkuvinnslu við Hámafjall er 6 milljón kr. á verðlagi við ársbyrjun 1970. Karl gerir ráð fyrir að kaupa nýja gufuveitu á 3 m.kr. fyrir hverja nýja holu og er því fylgt hér.

Rafstöðin við Hámafjall kostaði 20 milljón kr. og getur framleitt 2500 kw. Súverandi stöð var reist í tilraunaskyni. Af reynslu frá henni og öðrum rannsókaum Jarðhitadeildar má fjarlæggt lara til hagræðingar ef ráðist verður í meiri virkjanir á Hámafjallsveðinu.

- 1) Við hönnun rafstöðvarinnar var framleiðslukostnaður gufu vanmetinn og keppt að því að hafa aflstöðina sjálfa sem ódýrasta. Var því valin stöð sem nýttir aðeins 4% af orku holanna. Samkvæmt kostnaðargrundvelli Karls Ragnars var þetta mieraðrið. Viðbót við stöðina, tvöfalt dýrari en súverandi vélar og hús, sem yki nýtinguna í 8% myndi lækka einingarstefnakostnað. Samkvæmt hönnun Sveins Einarssonar lækkar verð aflstöðva/kw ört með stærð vélanna.

2) Holur í Hámafjalli eru 1200-1300 m djúpar. Á Reykjanesi höfðu 1400 efstu metrarnir af holu 8 gefið um 25 kg/sek, en öll holan, 1760 m, gefur 75 kg/sek. Hiti eykst með dýpi vatnsæða. Sautjánhundruð metra djúp hola, féðruð í botn, kostaði um 9 milljón króur, en náverandi holur við Hámafjall 5 milljón kr. Verð gufuveitu er hið sama hverju sem holan afkastar. Ef unnt væri að tvöfalda gufunagnið með borun 1700 m myndi gufuverð lækka um meira en 12/16.

3) Í ámtlun Karls er gert ráð fyrir að afl holanna minnki smátt og smátt þar til þar gefi svo lítið að ekki svari kostnaði að nýta þar og séu síðan óaftar. Þetta er í samræmi við reynslu Ný-Sjálandinga af borunum á háhitasvæðum sem hófust 1950 og sjálfsagt að miða við það í náverandi kostnaðarveikningum. Það er þó alls ekki ótíðlegt að ákveðinn holufjöldi nagi til að fá alla nýtanlega orku af svæðinu og endurnýjun á holum sé óþörf.

Hér fer á eftir ámtlun um "stofnakostnað" 10 Mw stöðvar með 8% orkunýtingu. Gert er ráð fyrir 25% lækun á kostnaði við gufuvinnslu með því að bora dýpra en nú er gert. Til samanburðar er sýndur fjórfaldur stofnakostnaður náverandi rafstöðvar.

	Ámtlun	Náverandi
	milljón kr.	stöð x 4 milljón kr.
Vélar og húsnæði	100	80
Aðalgufluveita	20	40
Nýjar holur og veitur	36	96
Endurnýjun	<u>32</u>	<u>84</u>
	188	300
	<u>18800 kr/kw</u>	<u>30000 kr/kw</u>

Sankvamt þessu yrði rafnagnsverð svipað og frá hagkvæmstu stórvirkjunum vatnsfalla. Ástæðan er að sjálfsögðu ónákvæm, en það eru áætlanir um vatnsaflsvirkjanir líka.

Reynt var að gæta hófs í mati á kostnaðarlökkunum vegna hagræðingar í borun og nýtingar orkunnar. Fljótlegt varí að fá grundvöll að nákvæmari ámtlun með því að bora niður í 1000 m í Bjarnarflagi og kanna hvaða vélakostur hentar best á þessu svæði.

Þaði við stórvirkjanir vatnsafls og jarðvarma er nokkur óvissa um fánlegt orkumagn um 50 ára tímabil. Tíltölulega lítil lökkun á sumarhita dregur verulega úr rennsli frá jöklium. Lítið er vitað um endingu íslenskra háhitasvæða við stórfellda orkuvinnslu í langan tíma.

Jarðhitinn við Hámafjall og Kröflu er á virku eldfjalli. Tíðni gosa er svo lág niðað við afskriftatíma að þau skipta litlu máli við kostnaðarreikninga. Áskilegra er þó að nýta svæðin þannig að ekki dvelji þar mikill mannfjöldi að staðaldri. Eru svæðin að því leyti betur fallin til raforkuvinnslu en efnaiðnaðar. Einnig er rétt að taka goshattuna með í reikninginn við ákvarðanir um samsetningu orkuvera. Ef þaði svæðin varu fullvirkjuð er hattan á verulegu tjóni vegna gosa af starðargráðunni 1:1000 á ári.

VEXTIR

Við samanburð á gufuvinnslu og öðrum orkulindum eru vextir mikilvægur liður og sömuleiðis við að meta framleiðslukostnað vöru sem notar þessa orku.

Ríkið hefur nánast ótamandi lánamöguleika innanlands, annað hvort með því að auka peningagagnið með skuldasöfnun hjá Seðlabanka eða skerða hlut annara lánakanda hjá bönkum og fjárfestingarlánastofnunum. Ákvarðanir um lántökur ríkisins fara mest eftir mati á áhrifum þessara kosta og vaxtaþrósentan skiptir litlu máli. Vegna mikillar og bræytilegrar verðbólgu er erfitt að meta kostnað við innlendar lántökur og viðhorfið gjörólíkt eftir því hvort um ríki, sveitarfélag eða einkaaðila er að ræða.

Hér er gert ráð fyrir að kostnaður sé greiddur af erlendu lánsfé og vextir mínus verðbólga séu 6%. Við núverandi ástand tel ég að frá sjónarmiði ríkisins sé þetta hentug vaxtaþrósentu við samandæmið valkosta, hvort sem notað er innlent eða erlent fjármagn. Í Bandaríkjunum var miðað við 2 1/2-3% fyrir árið 1985 við verðlagningu gæða frá vatnsvirkjunum sambandsstjórnarinnar. Síðan hafa vextir á lánamarkaði hækkað verulega og þá um leið, vaxtanlega, kostnaður ríkisins við að fjárfesta tekjur sínar.

Við val milli fjárfestingar í orkuvinnslu og iðnaði er byggist á henni og fjárfestingar í öðrum atvinnugreinum er hentugt að hafa hlífðun af ástlunum um vöxt þjóðartekna.

Frá 1950-1970 uru þjóðartekjur Íslendinga á föstu verðlagi að meðaltali um rúm 4% á ári og þjóðartekjur/íbúa um tæp 3%. Í þróðum löndum eru 7,5-8% aukning/íbúa talin góð árleg aukning.

Ef vextir eru mun hærri en framleiðsluaukning + verðbólga er að jafnaði hagstæðara að lána öðrum fé en að verja því til framkvæmda og ófugt af vextir eru lægri. Þykir mér eðlilegt að gera ráð fyrir að ástand þar sem miklu munar á annanhvora veginn væri ekki lengi. Í iðnaðarríkjum verða óþvari breytingar á vöxtum og verðbólgu en hagvexti.

Lántökur til virkjunarframkvæmda á Íslandi eru yfirleitt með ríkisábyrgð og áhætta lánveitenda því lítil.

VERÐLAGNING GUFUORKU

Við verðlagningu verður að svara spurningum sem ekki þarf að taka afstöðu til í grófum samandæmi á stofnkostnaði. Verða sett hér fram nokkur sjónarmið um verðlagningu orku.

Hér á eftir verður stofnkostnaður kallaður A og árlegur kostnaður eftir það utan vaxta B. Gert er ráð fyrir að

stofnkostnaður sé allur fenginn að láni og rekstrarkostnaður, þar með tákni borun á nýjum holum eða viðgerð á mannvirkjum, sé jafn 511 árin. Árleg greiðsla er standi undir kostnaði er þá

$$a = Ar / (1 - 1 / (1 + r)^n) + B \quad (1)$$

þar sem n er áttlaður endingartíni virkjunar og r vextirnir. Með 8% vöxtum er kostnaður ekki sérlega nammur fyrir endingartíma. Frá 30-50 árum breytist fyrri liður jöfnunnar úr 0,989 A í 0,982 A.

Rannsóknarkostnað fyrir lán úr Orkusjóði ber að greiða upp á 5 árum samkvæmt Orkulögum.

Eðlilegt er að reikna verð til almenningar orkuneyzlu innanlands með hliðsjón af þessari jöfnu. Rekstrarkostnaðurinn, B , breytist með innlendu verðlagi. Greiðslur vegna vaxta og afbergunar á stofnkostnaði fara eftir gengisskráningu og einnig otti að hækka þar til samræmis við útflutningsbætur. Ekilegt er þó að orkuverð breytist jafnar en venja hefur verið um gjaldeyrisverð.

Í þessum reikningum er reiknað með vöxtum af lánunum án tillits til erlendrar verðbólgu. Hér hefur þau áhrif að fyrri liður kostnaðarinn hækkar minna en innlent verðlag sem svarar erlendu verðbólgunni og lækkar því rafmagnsverð með tímanum.

Við orkusölu til iðnaðarfyrtækja í erlendri eign koma fleiri viðhorf til sögunnar. Ríkið á að hafa ágjóða af slíkri starfsemi og virðist eðlilegt að selja orkuna yfir kostnaðarverði. Ákvarðanir um álagningu eru nátengdar ákvæðum um skattlagningu og önnur fjármál fyrirtækjanna hérlendis og fer ég ekki frekar út í þá mál. Álagning til innlendra kaupenda fer eftir því hvort atlast er til að orkusalan standi

undir nauðsynlegri aukningu framleiðslunnar eða gert sé ráð fyrir að ríkið verði að útvega fé sérstaklega þegar þörf er á meiri orku. Hér á eftir verður alltaf miðað við kostnaðarverð.

Við orkusölu til stóriðnaðar þar sem orkuverð er hár hluti framleiðslukostnaðar þarf að senja um rafmagnsverð til langs tíma. Ef samið er í dollurum má styðjast við fyrri liðinn í jöfnu (1) óbreyttan. Síðari liðinn þarf að ofmeta líftíð háttar í upphafi vegna útlendrar verðbólgu ef samið er um fast verð til langs tíma.

Ekki er hægt að ákveða fast verð í íslenskum krónum til langs tíma. Verðlagning skv. jöfnu (1) þar sem stærsti hluti verðsins fer eftir gengi krónunnar og útflutningsbótum er einnig óhaf. Í iðnaðarframleiðslu verður að vera hægt að gera samilegar fjárhagsámtlanir alllangt fram í tímann. Rafmagnsverð má því ekki fylgja fiskverði og aflabrögðum. Hægt er að fá jafnari verðbreytingar með því að láta upphaflegt verð fylgja íslenskri verðvísitölu, t.d. vísitölu byggingarkostnaðar. Ef ákvarðanir um byggingu orku- og iðjuvera varu óháðar gengi krónunnar væri vantanlegt gildi (expected value) tekna ríkisins af slíkri orkusölu hið sama og með hinni verðlagningunni. En miðað við gengisbreytingar krónunnar frá stríðslokum er aðferðin mjög ónákvæm. Samningur rétt eftir gengislökkun á borð við þar sem urðu 1960-61 og 1967-68 myndi gera kaupanda að greiða að jafnaði 10-20% harra verð en kaupanda sem sendi mitt á milli þeirra. Sá sem sendi skómmu fyrir gengislökkun greiddi að sama skapi lagra verð. Ónákvæmni verður enn meiri ef ekki er tekið tillit til útflutningsbóta.

SKIPTING VINNSLUKOSTNAÐAR MILLI NOTENDA

Vel geta orðið fleiri en einn gufukaupandi á sama svæði. Ímeir líklegir kaupendur nota gufu og vatn við mismunandi þrýsting og hitastig. Set ég hér fram drög að reglum um

skiptingu framleiðslukostnaðar við slíkar aðstaður.

Reglunum verður hagað sem líkast því að um frjálsan gufu-
markað væri að ræða, þ.e.a.s. kaupendur eigi kost á að
verzla við annan framleiðanda með sama konar jarðvarma-
vinnslu.

Rannsóknarkostnaður og verð aðalgufuveitu/orkueiningu
minskar með aukinni nýtingu háhitasvæðis, en að öðru leyti
er gufuverð nokkurn veginn í réttu hlutfalli við magnið og
til einföldunar verður gert ráð fyrir því eftirlæðis.

Samband afkasta og nótprýstings er mjög mismunandi í þeim
holum sem boraðar hafa verið á íslenskum háhitasvæðum, en þó
álitaf þannig að afköstin eru lakkandi fall af nótprýstingnum.
Ending og viðhaldskostnaður holanna fer sannilega mest eftir
útfellingum. Hætta á útfellingu í bergi og holum fer
minnkandi með vaxandi prýstingi. Lakkun prýstings hefur því
að jafnaði þau áhrif að upphafleg afköst holanna aukast, en
viðhalds- og endræðunarkostnaður vex.

Kröfur hugsanlegra notenda um hitastig eru mjög ólíkar.
Útblásturstúrbínur nýta ekki vatn niður fyrir 160-180°C.
Hitaveita getur notað vatn niður fyrir 50°C. Sá sem vinnur
við hæstan hita getur ekki tapað á að annar nýti þá orku
er hann heindir. Sá sem nýtir orkuna við lagri hita greiðir
hins vegar ekki á samþlinu nema notendur við hærri hita greiði
hærra verð/orkueiningu.

Ávinningur af að nýta jarðhita fer eftir hvað gæðin myndu
kosta ef þau varu framleidd á annan hátt. Hugsum okkur að
hagstæðasta verð framleiðslu með öðrum aðferðum væri p fyrir
það magn er fengið við notkun einnar orkueiningar frá jarð-
hita. Ef gæðin væru framleidd með jarðhita væri annar
kostnaður en orka k . Ágæði notenda í af að nota jarðhitaorku
er í réttu hlutfalli við mismuninn $p_1 - k_1 - c_1$ og magnið

sem hann framleiðir ef c_1 er verið sem hann greiðir fyrir orkueiningu. Við ákveðum verið í hlutfalli við $p_1 - k_1$.

Sem dæmi um kostnaðarskiptingu eftir þessari reglu tókum við gufuveitu sem framleiðir 100 orkueiningar á ári fyrir 3 notendur, A, B og C. Notkun þeirra er eftirfarandi:

	hámarksýting	orkueiningar/ár	p - k
A	300	30	2,50 kr
B	700	40	1,00 kr
C	1000	30	0,80 kr

Kostnaður við framleiðsluna er 1 kr/einingu og skiptist þannig á notendurna.

A greiðir c_A	$= 100 \times 2,5/130 = 1,80$ kr/orkueiningu	(3,33)
B " c_B	$= 100 \times 1,0/130 = 0,72$	" (1,43)
C " c_C	$= 100 \times 0,8/130 = 0,57$	" (1,00)

Verðið innan sviga er það sem hver þyrfti að greiða ef hann væri einn á báti. Það er ljóst að með þessari verðlagningu hefðu hvorki einstakir kaupendur né einhver hópur þeirra hag af að snúa sér til annars framleiðenda með same konar gufuveitu.

Ef allir kaupendur nota orkuna á sama formi ætti að selja öllum á sama verði því að ella myndu einhverjir hagnast á að leita annað. Séu hins vegar kaupendur að orku á fleiri en einu formi getur verið skillegt að selja tveimur kaupendum same konar orku misdýrt, eins og eftirfarandi dæmi sýnir.

	hámarksýting	orkueiningar/ár	p - k
A	300	30	3,00 kr
B	1000	50	1,00 kr
C	1000	20	0,50 kr

Hér verður reglan um að líkja eftir frjálveri samkeppni til þess að hlutfallið milli einingarverðs hvers kaupanda og $p_1 - k_1$ verði mismunandi. Ef hlutfallið væri haft eins fyrir A, B og C væri kostnaðarskiptingin:

$$\begin{aligned}c_A &= 2,00 \text{ kr/orkueiningu} && (3,33) \\c_B &= 0,67 && " && (1,00) \\c_C &= 0,33 && " && (1,00)\end{aligned}$$

En annar seljandi gæti nú boðið A 21,5 einingar og B 50 einingar samkvæmt skiptingunni

$$\begin{aligned}c_A &= 71,5 \times 3/114,5 = 1,875 \text{ kr} \\c_B &= 71,5 \times 1/114,5 = 0,624 \text{ kr}\end{aligned}$$

Það verður því að selja A og B ofangreint magn á þessu verði og A og C síðan $8,5 + 20$ einingar á verðinu

$$\begin{aligned}c_A &= 28,5 \times 3/35,5 = 2,41 \text{ kr} \\c_C &= 28,5 \times 0,5/35,5 = 0,40 \text{ kr}\end{aligned}$$

Lökakostnaðarskiptingin verður þá

$$\begin{aligned}c_A &= 2,02 \text{ kr} \\c_B &= 0,62 \text{ kr} \\c_C &= 0,40 \text{ kr}\end{aligned}$$

Hliðstæða aðferð mætti nota þó að fleiri kaupendur væru að orkunni.

Gerum nú loks ráð fyrir að A verði að fá a.m.k. 60 einingar til að geta stundað sína framleiðslu. Nú þarf að framleiða 200 einingar til að fullnægja þörfum allra kaupanda og heildarágæði þeirra minnkar af því að $(p_A - k_A) \times 30 = 90 \text{ kr}$

sem er minna en framleiðslukostnaður 100 eininga. Það sjónarmið er óhaldbert að halda áfram eins og áður og láta A greiða 3,33 kr fyrir hverja einingu sem hann kaupir eftir að þörfum B og C er fullnagt. Með öðrum gildum fyrir orkuþarfir eða p - k gætu þá komið upp verð þar sem A hefði engan heildarhagnað af orkukaupunum, en B og C græddu þó að þeir gætu ekki staðist án orkusölu til A.

Eftir að verðlag samsvamt þessari aðferð væri orðið herra en p - k atti að jafna muninn með því að minnka ágóða kaupenda í hlutfalli við ágóða þeirra samsvamt fyrri verðlagningu. Í þessu dæmi var ágóðinn

$$30 \times 3 + 50 \times 1 + 20 \times 0,5 - 100 = 50 \text{ kr}$$

Þegar A keypti 30 einingar og skiptist þannig að A fær $(3,00 - 2,02) \times 30 = 29$ kr, B fær 18 kr og C fær 2 kr. Gróðinn minnkar um 10 kr við að selja 80 einingar og lakkar þannig um 20%. Meðalverð verður þá:

$$\begin{aligned} c_A &= 2,61 \text{ kr} \\ c_B &= 0,70 \text{ kr} \\ c_C &= 0,42 \text{ kr} \end{aligned}$$

Með þessari verðlagningu hefðu allir hag af að breyta orkunotkun sinni í þá átt að nýting batnaði.

Í stað þess að miða skiptinguna við kostnaðarverð (1 kr/orku-einingu) mætti búa álagningu við og reikna síðan eftir þeim reglum sem hér hefur verið stungið upp á.