



Landsvirkjun

Fákeppni á frjálsum raforkumarkaði

09.04.2002

Skúli Jóhannsson

Annað veldi ehf

Austurstræti 3 – 101 Reykjavík

**2.V
VELDI**

Efnisyfirlit

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1.0 | Inngangur | 3 |
| 2.0 | Yfirlit | 4 |
| 3.0 | Fákeppni á raforkumarkaði | 6 |
| 4.0 | Hermilíkan | 9 |
| 5.0 | Heimildir | 14 |

**Greinargerðin er unnin í samvinnu við
Elías B. Elíasson, Landsvirkjun**

1.0 Inngangur.

Í dag ríkir í reynd fákeppni á raforkumarkaði hér á landi þar sem aðilar eins og Landsvirkjun hafa í raun einokun hver á sínu sviði.

Nú hefur verið lagt fram á Alþingi ‘Frumvarp til raforkulaga’.

Með lögnum á að stuðla að því að markaðsvæða viðskipti með raforku hér á landi.

Markmið laganna er að ‘skapa forsendur fyrir samkeppni í vinnslu og viðskiptum með raforku’ en almennt er talið að með markaðsvæðingu verði komið á virkari neytendamarkaði og með samkeppni muni verð á raforku fara lækkandi og uppbygging og rekstur batna þegar til lengri tíma er lítið. Ekki er minnst á sölu á virkjunum sem eru að lang mestum hluta í opinberri eigu.

Þetta er svipuð leið og farin var í Noregi (1991), Svíþjóð (1996) og Finnlandi (1997) þar sem betri nýtni raforkukerfisins var drifkraftur markaðsvæðingar. Hins vegar var megin tilgangur með markaðsvæðingu á Englandi og í Wales (1990) að hið opinbera seldi virkjanirnar til einkaaðila sem tækju að sér orkuframleiðsluna en hið opinbera fengi sölutekjur.

Frumvarpið tekur ítarlega á því hvernig á að aðgreina raforkuvinnslu, raforkuflutning og raforkudreifingu en lítið er fjallað um viðskiptahætti með raforku.

Þrátt fyrir þær væntingar sem hafa verið gerðar víða um heim um aukna hagræðingu og lækkun á raforkuverði í kjölfar markaðsvæðingar þá hefur reynslan ekki alltaf verið þannig og má þar t.d. benda á ástandið í Kaliforníu árið 2000-2001. Í Evrópu-sambandinu hefur verið reynt að skapa betri skilyrði fyrir samkeppni með því að stækka markaðssvæðin. Það er gert með því að tengja saman raforkukerfi aðilda-ríkjanna með öflugum flutningslínum.

Erlendar rannsóknir hafa í ríkum mæli beinst að því að athuga áhrif þess ef einn eða fleiri aðilar ná markaðsráðandi stöðu og geta í skjóli fákeppnis haft áhrif á verðmyndun á raforkumarkaði með hækkun á raforkuverði til að auka þannig eigin hagnað.

Raforkukerfið á Íslandi er afar lítið samanborið við raforkukerfi stórpjóðanna og hverfandi líkur eru á því að það tengist raforkukerfi Evrópu í náinni framtíð. Hætta á fákeppni er því vissulega fyrir hendi.

Áhugavert er að skoða áhrif væntanlegrar markaðsvæðingar á Íslandi í þessu ljósi.

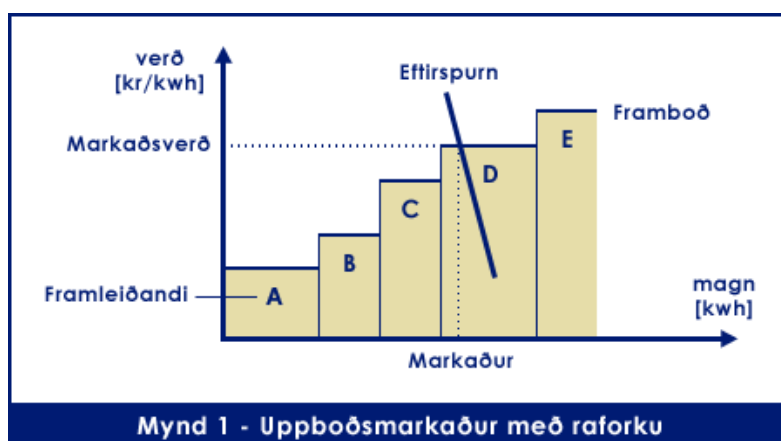
Um það er fjallað í greinargerðinni.

2.0 Yfirlit.

Við markaðsvæðingu raforkukerfisins hér á landi munu eiga sér stað ýmsar veigamiklar breytingar og eru þessar helstar:

- Í stað þess að fáir aðilar hafi rétt á byggingu stærri raforkuvirkja eins og Landsvirkjun hefur í dag þá verður fleiri aðilum heimilað að reisa og reka raforkuver og keppa sín í milli um sölu á orku til neytenda í frjálsum viðskiptum.
- Einn aðili sem er óháður eigendum raforkuvera skal sjá um raforkuflutning og kerfisstjórnun.

Aðferðir við raforkuviðskipti, þar sem markaðsvæðing er komin á, eru líklega jafn margar og markaðirnir eru og aðlögun að staðbundnum aðstæðum alls staðar fyrir hendi. Ekki er búið að ákveða endanlega form raforkuviðskipta eftir markaðsvæðingu hér á landi. Algeng útfærsla er að viðskipti með raforku eiga sér stað þannig að raforkuframleiðendur bjóða orku til sölu, t.d. fyrir eina klukkustund, einn dag eða jafnvel eina viku í senn. Tilboðum er raðað í vaxandi röð eftir tilboðsverði og lögstu tilboðum tekið þar til eftirspurn er náð. Hæsta verð af þeim tilboðum sem er tekið er skilgreint sem markaðsverð fyrir umrætt tímabil og allir framleiðendur fá greitt það verð fyrir framleiðsluna, þrátt fyrir að tilboð þeirra hafi verið lægra.



Samkvæmt mynd 1 fá framleiðendur A, B og C að selja allt sem þeir buðu, framleiðandi D framleiðir að hluta og framleiðandi E verður útundan. Framleiðendur A, B, C og D fá allir greitt fyrir framleiðsluna það verð sem D bauð.

Því hefur verið haldið fram að með þessu fyrirkomulagi þá muni markaðurinn ásamt aðhaldi frá neytendum stjórna því að hagkvæmur rekstur verði á raforkukerfinu og að uppbygging kerfisins verði með hagkvæmasta hætti til að mæta stækkun markaðar í framtíðinni. Flestir eru sammála þessum almennu viðhorfum.

Ýmislegt ber þó að varast í þessu sambandi sérstaklega ef framleiðendur á samkeppnismarkaði eru fáir. Ef framleiðandi D á mynd 1 er hlutfallslega mjög stór, t.d. með markaðshlutdeild yfir 50% þá á hann auðvelt með að þvinga verðið upp með

yfirboðum og líklegt er að eftirspurnarferillinn muni oft skera framleiðsluferilinn í tilboðsverði hans. Þannig er hann orðinn markaðsráðandi og stjórnar verði á markaði. Þetta er sérstaklega varasamt í viðskiptum með raforku því teygni eftirspurnar er lítil enda er hinn almenni neytandi ekki sífellt að velta því fyrir sér hvort hann eigi að kveikja eða slökkva á ljóum eða tækjum heima hjá sér og hafna þannig eða taka tilboði einhvers framleiðanda.

Í vatnsorkuráðandi raforkukerfi eins og hér á landi er annar þáttur sem býður upp á markaðsráðandi tilburði hjá framleiðendum, ef af fullri markaðsvæðingu verður. Það er að raforkukerfið reiðir sig afar mikið á rekstur vatnsmiðlana og eigendur þeirra eiga auðvelt með að stjórna verði á raforku allan ársins hring.

Tökum sem dæmi að Orkuveita Reykjavíkur reisi jarðgufuvirkjun á Hengilsvæðinu og treysti á toppafl frá eigendum virkjana á Þjórsársvæðinu, sem hafa bakhjarl í stórum vatnsmiðlunum. Hvernig munu þá eigendur Þjórsárvirkjana bregðast við í frjálsu markaðskerfi? Það ætti að vera álitlegur valkostur fyrir þá í samkeppninni að lækka verðið á sumarorkunni niður undir núll en hækka verulega verðið á vetrarorkunni, þó ekki væri nema til að trufla samkeppnisaðilann.

Margur ætlar að þróunin yrði aldrei með þessum hætti en hægt er að sýna fram á þessa niðurstöðu með hermilíkani eins og fram kemur síðar í greinargerðinni. Einnig má benda á reynslu frá Nýja Sjálandi þar sem söluverð raforku á opnum tilboðsmarkaði hefur stundum farið niður að núlli um tíma.

Í ljósi fámennis hér á landi og fyrirkomulags raforkusölu þá er vissulega sú hætta á ferðum að viðskiptaaðilar með raforku verði ekki margir í náinni framtíð og hætta á fákeppni því mikil. Í þessu sambandi ber þess að geta að stór hluti af raforkusölu á Íslandi er í dag bundinn með langtímasamningum við stóriðjuver og mun sú raforkusala væntanlega verða utan uppboðsmarkaða um allmörg ár. Hverfandi líkur eru á að íslenska raforkukerfið verði tengt raforkukerfum annarra landa a.m.k. í náinni framtíð þannig að markaðssvæðið mun ekki stækka með þeim hætti.

Mikil umræða hefur verið um fákeppni hér á landi að undanfögnu t.d. á matvörumarkaði. Stjórnvöld af fremsta mætti reynt að standa í vegi fyrir myndun markaðsráðandi aðila í viðskiptalífínu. Varla getur það verið ætlun stjórnvalda að innleiða fákeppni á fleiri sviðum eins og gæti orðið ef frumvarp til nýrra raforkulaga nær fram að ganga.

3.0 Fákeppni á raforkumarkaði.

Í raforkuviðskiptum í vatnsorkukerfum er jafnan notað Nash-Cournot líkanið til að skýra atferli raforkusala í frjálstri samkeppni og opnu markaðskerfi sem hafa engin samráð sín í milli. Sjá heimild [1] sem fjallar um raforkumarkaðinn í Brasilíu.

Með líkaninu er gert ráð fyrir því að raforkusalar bjóði ákveðið magn orku á ákveðnu tímabili og síðan er markaðsverð reiknað út á eftir. Þetta fer þannig fram að framleiðsla hjá fyrsta raforkusalanum er ákveðin með hliðsjón af því að hann þekki framleiðslu allra hinna keppinautanna. Þetta er endurtekið koll af kolli fyrir alla raforkusalana þar til enginn getur lengur fengið meiri hagnað af raforkusölunni með því að breyta um magn síns tilboðs. Með þessu er komið á svokallað Nash-jafnvægi.

Fyrst skal greina N samkeppnisaðila sem móta markaðsverðið og eru því markaðsráðandi. Þetta eru verðvaldar. Hver verðvaldanna hefur skilgreint sinn breytilega kostnað við raforkuframleiðslu sem $c(i)$, $i=1, \dots, N$.

Einnig má greina aðra minni aðila á markaðnum sem ekki hafa nein teljandi áhrif á verðmyndun, en hér eru á ferðinni smærri aðilar sem samþykkja markaðsverð hverju sinni og framleiða eins og þeir geta meðan breytilegur rekstrarkostnaður er minni en markaðsverð. Þetta eru verðtakar.

Samheiti verðvalda og verðtaka er orkumiðlari.

Til einföldunar er gert ráð fyrir því að breytilegur rekstrarkostnaður verðtaka sé skilgreindur með jöfnunni:

$$\delta(O) = O^2/2\alpha \quad (1)$$

þar sem O er heildarframleiðsla verðtakanna og α fasti.

Þessa forsendu þarf að rannsaka nánar og aðlaga aðstæðum hér á landi þar sem óverulegur hluti raforkuframleiðslunnar er með olíustöðvum.

Með því að diffra (1) m.t.t. O og gera ráð fyrir því að verðtakarnir framleiði allt sem þeir geta framleitt upp að kostnaðarverði þá má áætla framleiðslumagn þeirra sem línulegt fall af markaðsverði eða $O(p) = \alpha p$.

Ef heildareftirspurnin er D þá er framleiðsla markaðsráðandi aðila eða verðvaldanna:

$$Q = D - O(p) = D - \alpha p \quad (2)$$

og markaðsverðið verður þá:

$$p(Q) = (D - Q) / \alpha \quad (3)$$

Nú er $\{ E(i), i = 1, \dots, N$ með $Q = \sum E(i) \}$ raforka sem boðin er af markaðsráðandi aðilum þá er hagnaður verðvalda i að gefinni framleiðslu hjá hinum $N-1$ verðvöldunum:

$$R(i) = (p(Q) - c(i)) E(i) \quad (4)$$

Með því að diffra jöfnu (4) m.t.t. $E(i)$ og setja inn fyrir Q og $p(Q)$ fæst það gildi $E^*(i)$ sem hámarkar hagnað:

$$2 E^*(i) = D - \alpha c(i) - \sum_{k \neq i} E(k) \quad (5)$$

Þetta jöfnuhneppi er auðvelt að leysa og ákvarða þannig framleiðslu hvers af verðvöldunum fyrir sig $E^*(i)$, $i = 1, \dots, N$ og heildarframleiðsluna í Nash-jafnvæginu $Q_e = \sum E^*(i)$. Tilheyrandi markaðsverð fæst með jöfnu (3) og hagnaður hvers raforkuframleiðanda með jöfnu (4).

Nánari útleiðslu á þessum jöfnum er sýnd í heimild [1].

Einfaldast er að stilla upp niðurstöðunum ef gert er ráð fyrir því að breytilegur rekstrarkostnaður verðvaldanna sé sá sami hjá öllum eða c en þá verður framleiðsla hjá hverjum aðila:

$$E^*(i) = (D - \alpha c) / (N+1) \quad (6)$$

og heildarframleiðsla:

$$Q_e = (D - \alpha c) N / (N+1) \quad (7)$$

og markaðsverð:

$$p_e(Q_e) = (D - Q_e) / \alpha \quad (8)$$

Reiknilíkönin Landsvirkjunar sem herma eftir rekstri vatnsorkukerfa hafa það að markmiði að lágmarka rekstrarkostnað heildarkerfisins í landinu eða svokallaðan 'þjóðhagslegan kostnað'. Með sömu forsendum og hér á undan er auðvelt að sýna fram á að framleiðsla í vatnsorku- og jarðhitavirkjunum er þá:

$$Q_c = (D - \alpha c) \quad (9)$$

og markaðsverð eða jaðarkostnaður í kerfinu:

$$p_c = c \quad (10)$$

með sömu skilgreiningum á breytum og áður.

Rétt er að taka fram að jöfnur (6) til (10) eru mikil einföldun á raunverulegum aðstæðum á raforkumarkaði en lýsa þó mynstri, sem hægt er að álykta út frá.

Með því að bera saman framleiðslu í Nash-jafnvægi skv. jöfnu (7) og framleiðsla ef þjóðhagslegur kostnaður er lágmarkaður skv. í (9), þá sést að framleiðendur á frjálsum markaði leitast við að draga úr framleiðslu til að ná markaðsverðinu upp sbr. töflu 1:

Tafla 1

Samanburður á framleiðslu í Nash-jafnvægi og lausn með lágmarkun á þjóðhagslegum kostnaði.

| N | Q_e/Q_c |
|----------|-----------------------------|
| 1 | 50% |
| 2 | 67% |
| 3 | 75% |
| 5 | 83% |
| 10 | 91% |
| ∞ | 100% |

Tafla 1 sýnir greinilega mikilvægi þess að þátttakendur í samkeppni á frjálsum raforkumarkaði séu ekki fáir. Ef einn aðili er markaðsráðandi þ.e. verðvaldi, þá er niðurstaðan sú að hann leitast við að draga saman framleiðsluna um 50% til að ná upp verðinu, ef 5 þátttakendur eru markaðsráðandi þá er hlutfallið 83% og það stefnir í 100% með auknum fjölda þátttakenda.

Tafla 2 sýnir samskonar samanburð á orkuverði:

Tafla 2

Samanburður á orkuverði í Nash-jafnvægi og lausn með lágmarkun á þjóðhagslegum kostnaði.

| N | p_e/p_c |
|----------|-----------------------------|
| 1 | 300% |
| 2 | 233% |
| 3 | 200% |
| 5 | 167% |
| 10 | 136% |
| ∞ | 100% |

Framleiðendur leitast við að ná orkuverðinu upp með því að takmarka framleiðsluna. Hækkunin er umtalsverð ef verðvaldar eru fáir, eins og tafla 2 sýnir, en lækkar óðfluga með fjölgun samkeppnisaðila.

4.0 Hermilíkan.

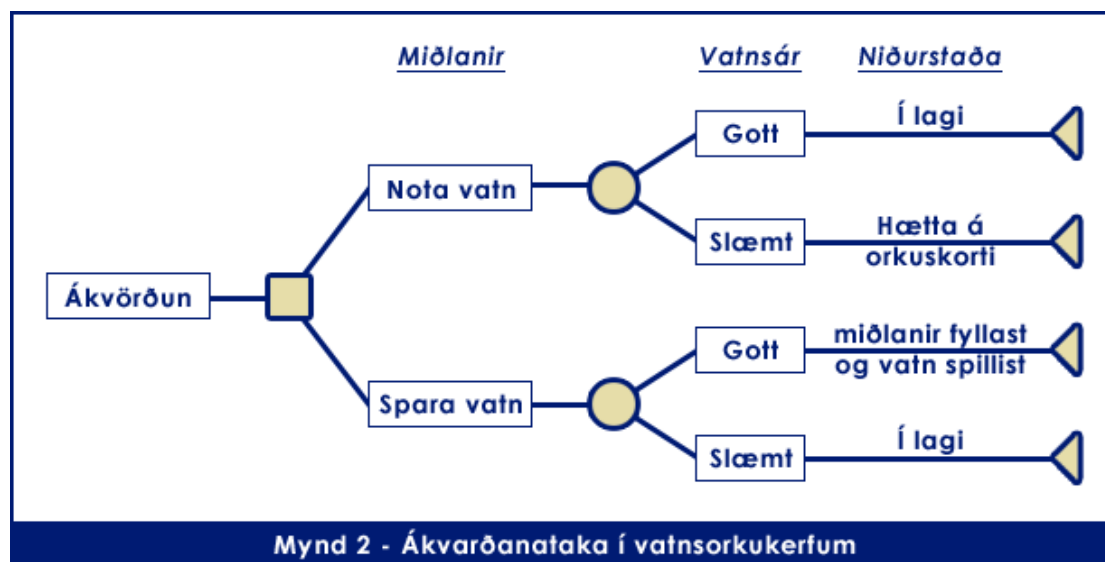
Hér á landi hafa reiknilíkön verið notuð um langt árabíl til að herma eftir rekstri raforkukerfisins, og hafa þessi reiknilíkön með fáum undantekningum verið þróuð fyrir Landsvirkjun. Nærtækt er að nota hermilíkönin til að kanna hvort fákeppni muni koma upp í raforkuviðskiptum ef af markaðsvæðingu verður.

Um þessar mundir er Annað veldi ehf að þróa nýtt reiknilíkan til að herma eftir vatnsorkukerfi í samvinnu við Landsvirkjun. Hönnuð hefur verið frumgerð að nýju reiknilíkani og var skrifuð greinargerð um það sem ber yfirskriftina 'Nýtt hermilíkan fyrir vatnsorkukerfi Landsvirkjunar' og er dagsett 01.03.2002, sjá heimild [2]. Niðurstaðan af frumgerðinni var afar góð og er nú unnið að því að fullgera líkanið.

Nýja reiknilíkanið byggir á svipuðum hugmyndum og eldri orkulíkön Landsvirkjunar að því viðbættu að nú er tekið tillit til takmarkana í flutningslínunum milli landshluta við mat á verðmæti vatns í miðlunum í hverjum landshluta. Með hinni endurbættu aðferð fæst einnig skuggagildi raforkumarkaðar í hverjum landshluta sem gefur mat á markaðsverði eða jaðarkostnaði í landshlutunum.

Nýja reiknilíkanið hentar því mjög vel til að rannsaka hin ýmsu áhrif markaðsvæðingar.

Grundvallarþættir í ákvarðanatöku við rekstur vatnsorkukerfa eru sýndir skematískt á mynd 2:



Ákvörðunaraðilinn stendur ávallt frammi fyrir þeirri ákvörðun hvort nota eigi vatn úr miðlunum hverju sinni eða spara það til seinni tíma til að minnka keyrslu dýrra olíustöðva eða jafnvel til að forða orkuskorti.

Reiknilíkanið tekur á þessu og er reyndar í grundvallaratriðum hannað til styðja við ákvarðanatöku sem þessa. Með reiknilíkaninu er leitast við að lágmarka breytilegan rekstrarkostnað kerfisins, sbr jöfnuna:

$$z_t = \text{Min} \{ \sum c(j) g(j) + \alpha_{t+1}(v_{t+1}) \} \quad (11)$$

þar sem fyrir miðlun i gildir:

$$v_{t+1}(i) = v_t(i) - u_t(i) - s_t(i) + a_t(i) + \sum [u_t(m) + s_t(m)] \quad (12)$$

og fyrir hvern kerfishluta gildir:

$$\sum \rho(i) u_t(i) + \sum g_t(j) - \sum L_{ab} (1 + \tau) + \sum L_{ba} (1 + \tau) = d_t^a \quad (13)$$

Skýringar:

- d_t^a orkumarkaður í tímabili t fyrir kerfishluta a
- $c(j)$ orkukostnaður í varmastöð j
- $g(j)$ framleidd orka í varmastöð j
- $v_{t+1}(i)$ staða miðlunar í lok tímabils
- $v_t(i)$ staða miðlunar í upphafi tímabils
- $u_t(i)$ notað vatn í vatnsvélum virkjunar i
- $s_t(i)$ framhjárennsli virkjunar i
- $a_t(i)$ hlutrennsli að virkjun i
- $\sum [u_t(m) + s_t(m)]$ rennsli frá virkjunum næst fyrir ofan virkjun i
- $\rho(i)$ orkustuðull í virkjun i
- $L_{ab} (1 + \tau)$ flutningur í línu frá kerfishluta a til kerfishluta b ásamt töpum.
- $\alpha_{t+1}(v_{t+1})$ verðmæti vatns í miðlunum í lok tímabils t

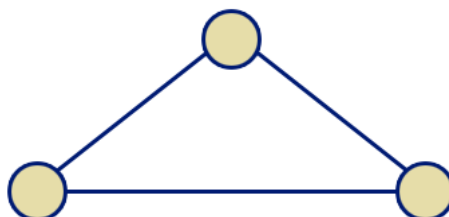
Reiknilíkanið tekur tillit til efri og neðri takmarkana á flestum af þessum breytum.

Skuggagildi líkingar (12) er vatnsgildi miðlunar i og skuggagildi líkingar (13) er jaðarkostnaður eða markaðsverð (í þessu tilviki fyrir kerfishluta a).

Til að rannsaka áhrif fákeppni liggur beinast við að skipta raforkukerfi landsins upp í kerfishluta og skilgreina einn verðvald í hverjum hluta. Kerfishlutarnir gætu t.d. verið tveir:



eða þrír:



Í hermílikaninu er markaðsverðið/vatnsgildið notað beint til að taka ákvarðanir um framleiðslu í kerfishlutunum og um flutninga milli kerfishlutanna. Köllum þetta aðferð A.

Til að kanna áhrif fákeppnis er nærtækt að gera aðra keyrslu með hermílikaninu þar sem Nash-jafnvæginu, eins og lýst var í kafla 3, er beitt við ákvarðanatöku í hverri tímeiningu. Köllum þetta aðferð B.

Niðurstaða með aðferð B er síðan borin saman við niðurstöðu sem fékkst með aðferð A bæði hvar varðar orkusölu og orkuverð.

Þessi aðferð var notuð í heimild [1] og endurspeglar niðurstaðan greinilega það mynstur sem kemur fram í töflu 1 og 2.

Ekki þótti tímabært á þessu stigi að útfæra þessa hugmynd í hermílikaninu og mun það bíða betri tíma. Þó er ekki að búast við öðru en að sambærileg niðurstaða og í [1] fái.

Breytilegur rekstrarkostnaður í hverjum kerfishluta er þó mikilvægasta stærðin sem gengið er út frá við útreikning á Nash-jafnvæginu. Þennan kostnað er hægt að reikna út í núverandi útgáfu af hermílikaninu og var því ákveðið að gera það, vegna þessarar greinargerðar.

Landinu var skipt upp í 3 kerfishluta, SV-land, N-land og A-land, og gert var ráð fyrir Kárahnjúkavirkjun og stóriðju á Austurlandi og álagi samkvæmt raforkuspá fyrir árið 2010.

Mynd 3 sýnir skuggagildi eða markaðsverðið með einingu [kr/kwh] fyrir líkingar (13) og myndir 4 og 5 sýna skuggagildi eða vatnsgildi í [kr/kl] fyrir líkingar (12).

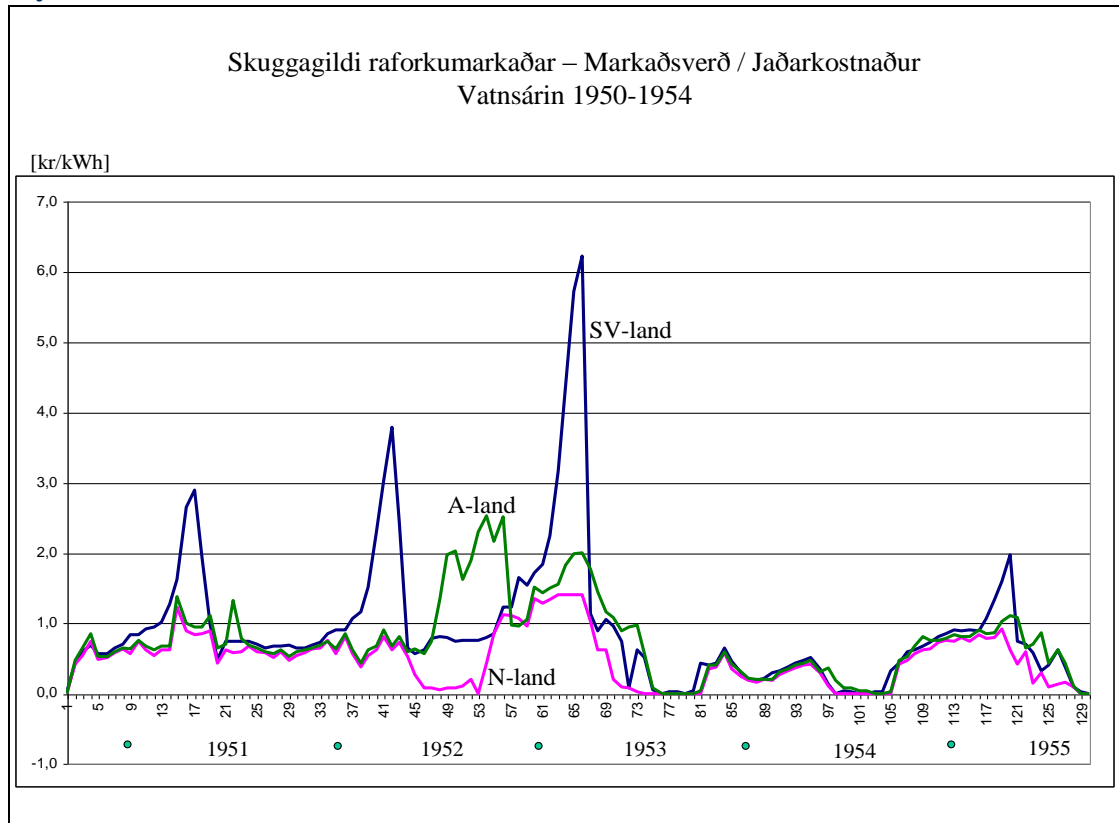
Ef niðurstöðurnar eru skoðaðar grannt þá sést að vatnsgildin á myndum 4 og 5 gefa nákvæmlega sömu niðurstöðu og mynd 3. Það er sama lögun á kúrfunum og fæst vatnsgildið með því að deila með öfugu formerki í markaðsverðið með orkustuðli virkjunar og allra virkjana fyrir neðan hana í sama vatnsfalli. Þetta er vegna þess að í öllum kerfishlutum eru stærstu vatnsmiðlanirnar efst í vatnsföllum virkjana.

Á myndum 3-5 eru í dæmaskyni aðeins sýndar niðurstöður fyrir 5 vatnsár 1950-54 en reyndar voru útreikningar gerðir fyrir 44 vatnsár þ.e. vatnsárin 1950-93.

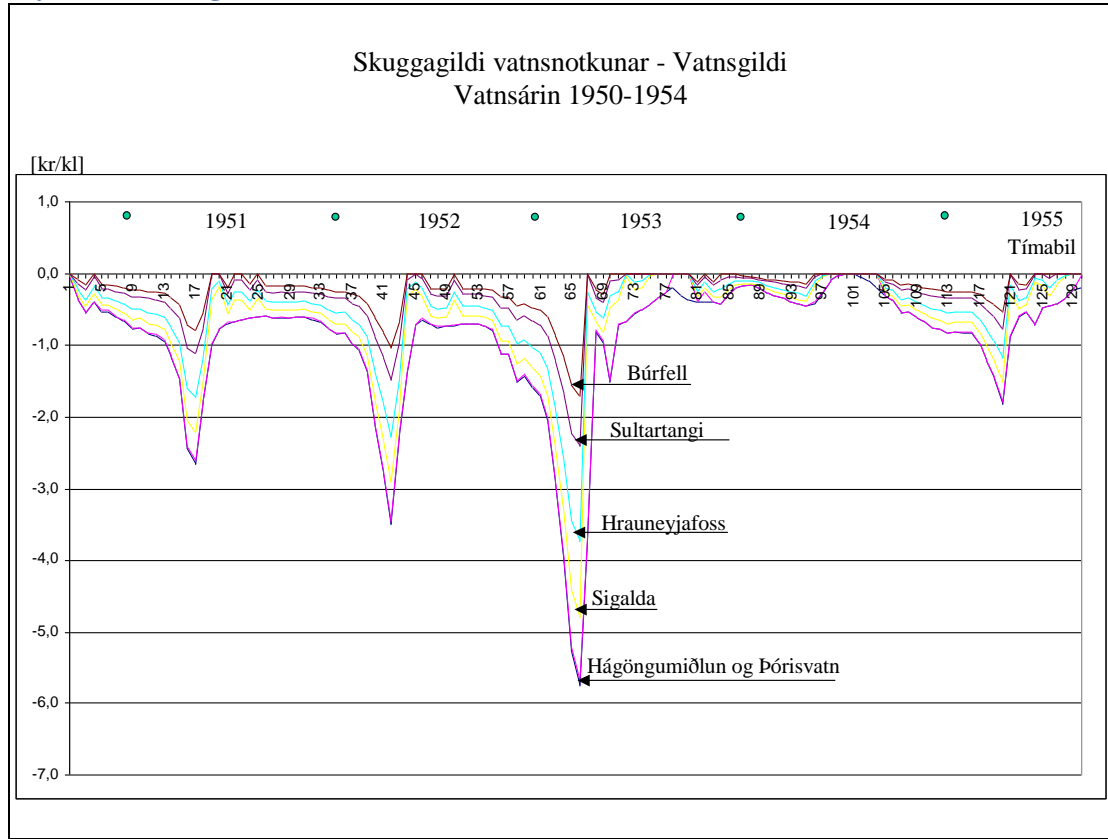
Á mynd 3 kemur fram að sumarið 1953 og 1954 fer markaðsverð og vatnsgildi niður að núlli um nokkurra mánaða skeið.

Rétt er að ítreka að niðurstöðurnar á myndir 3-5 taka fullt tillit til takmarkana í flutningslínunum á milli landshluta.

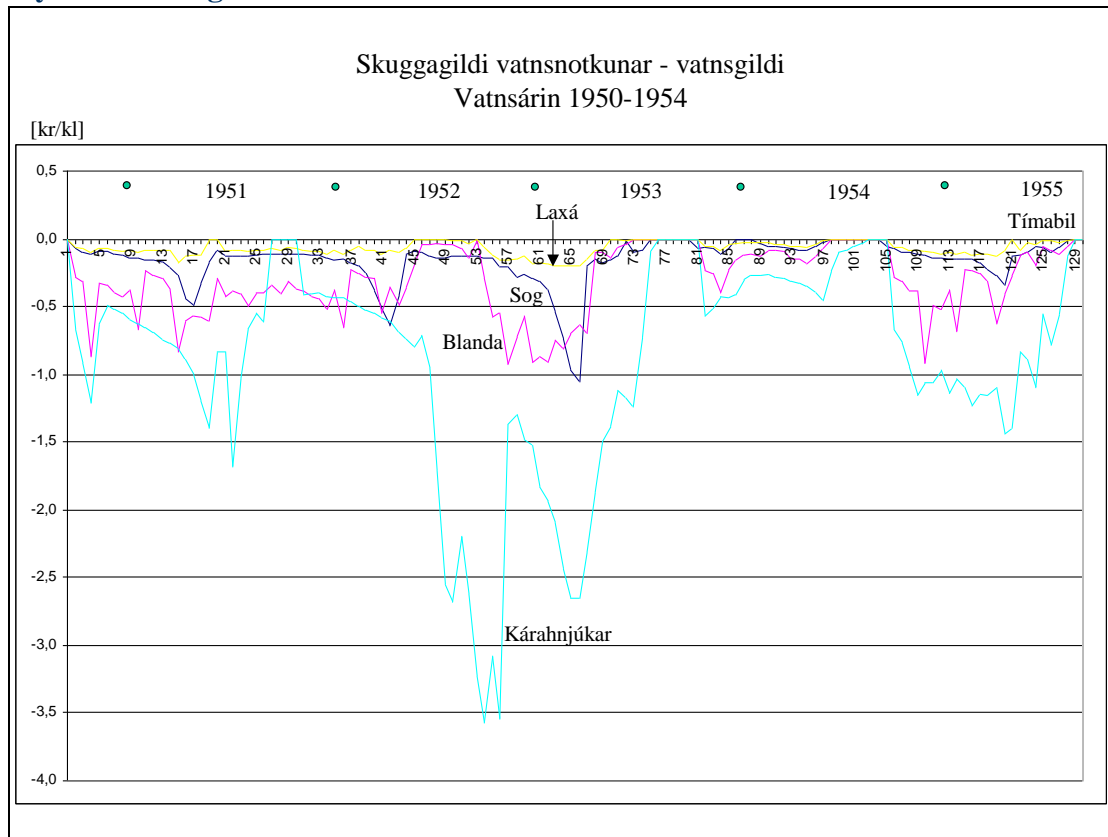
Mynd 3 Markaðsverð / Jaðarkostnaður



Mynd 4 Vatnsgildi



Mynd 5 Vatnsgildi



5.0 Heimildir:

1. Mario Veiga F Pereira, Luiz Augusto N Barroso, Rafael Kelman Power Systems Research Icc, Rio de Janeiro, Brazil: “Market Power Issues in Bid-Based Hydrothermal Dispatch”.
2. Skúli Jóhannsson, Annað veldi ehf: “Nýtt hermilíkan fyrir vatnsorkukerfi Landsvirkjunar”, unnið fyrir Landsvirkjun 01.03.2002.