



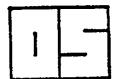
ORKUSTOFNUN
Orkubúskapardeild

**KOSTNAÐUR VEGNA
RAFORKUSKORTS
Samantekt á upplýsingum
frá ýmsum þjóðum**

Jón Vilhjálmsson

OS-86008/OBD-02 B

Febrúar 1986



ORKUSTOFNUN
GRENSÁSVEGI 9, 108 REYKJAVÍK

Verknr.: 942

**KOSTNAÐUR VEGNA
RAFORKUSKORTS
Samantekt á upplýsingum
frá ýmsum þjóðum**

Jón Vilhjálmsson

OS-86008/OBD-02 B

Febrúar 1986

EFNISYFIRLIT

EFNISYFIRLIT	3
TÖFLUSKRÁ	4
MYNDASKRÁ	5
1 INNGANGUR	7
2 NOTKUN SKOÐANAKANNANA VIÐ MAT Á KOSTNAÐI VEGNA RAFORKUSKORTS ...	10
2.1 Svíþjóð	11
2.2 Finnland	13
2.3 Kanada	15
2.4 Aðrar athuganir	21
3 NOTKUN HAGRÆNNA AÐFERÐA VIÐ MAT Á KOSTNAÐI VEGNA RAFORKUSKORTS .	23
3.1 Noregur	23
3.2 Bandaríkin	26
3.3 Aðrar athuganir	30
4 RAUNVERULEG REYNSLA AF MYRKVUN	32
4.1 New York 1977	32
4.2 Svíþjóð 1983	34
4.3 Önnur dæmi	36
5 KOSTNAÐUR VEGNA RAFORKUSKORTS Á ÍSLANDI	38
5.1 Athugun Hagverks frá 1971	38
5.2 Kostnaður sem miðað hefur verið við í rekstrareftirlíkingum	39
5.3 Reynsla af raforkuskorti	40
5.4 Mat út frá einföldum hagrænum aðferðum	46
6 SAMANTEKT	50
6.1 Samanburður á niðurstöðum mismunandi skoðanakannana	50
6.2 Samanburður á athugunum	51
HEIMILDIR	58
VIÐAUKI 1. Flokkun fyrirtækja eftir ISIC staðli	63

TÖFLUSKRÁ

1	Yfirlit yfir úrtak athugunar Avbrottsvärderingskommittén	11
2	Samanburður á kostnaði vegna 8 og 24 stunda bilana í iðnaði samkvæmt skoðanakönnun og virðisauka	12
3	Yfirlit yfir úrtak finnsku athugunarinnar	15
4	Yfirlit yfir úrtak athugana Ontario Hydro	17
5	Yfirlit yfir úrtak athugana CEA	19
6	Kostnaður vegna rafmagnsleysisisins í New York 1977 samkvæmt athugun System Control Inc. í milljónum Bandaríkjadalra	33
7	Raforkuskömmtu Landsvirkjunar vegna bilunar á Búrfellslínu I þann 15. nóvember 1970	42
8	Raforkuskömmtu Landsvirkjunar vegna bilunar á Búrfellslínu I þann 21. desember 1972	43
9	Skerðing á forgangsorkusölu Landsvirkjunar og vinnsla í oliustöðvum vegna vatnsskorts árin 1979 til 1982	45
10	Hlutfall vergrar landsframleiðslu og raforkuvinnslu á Íslandi ..	47
11	Nokkur dæmi þar sem kostnaður af völdum raforkuskorts er áætlaður út frá meðallaunum á árinu 1983	48
12	Virðisauki í hlutfalli við raforkuvinnslu hjá Álverinu í Straumsvík	48
13	Virðisauki í hlutfalli við raforkuvinnslu hjá Járnblandifélaginu á Grundartanga	49
14	Kostnaður vegna raforkuskorts samkvæmt ýmsum athugunum umreiknaður í Bandaríkjadali á verðlagi 1. ársfjórðungs 1980 ...	54
	a) Skoðanakannanir og raunveruleg myrkun	
	b) Hagrænar athuganir	

MYNDASKRÁ

1 Kostnaður vegna raforkuskorts í Svíþjóð samkvæmt athugun frá 1981	14
2 Kostnaður vegna raforkuskorts í Finnlandi samkvæmt athugun frá 1978	16
3 Kostnaður vegna raforkuskorts samkvæmt athugunum Ontario Hydro .	18
4 Kostnaður vegna raforkuskorts samkvæmt athugunum CEA	20
a) Þjónusta	
b) Smáiðnaður	
c) Heimili	
5 Kostnaður vegna raforkuskorts, sem vitað er um með fyrirvara, samkvæmt athugun frá Noregi. Kostnaður í norskum krónum á verðlagi ársins 1979	27
a) Innan einstakra notendaflokka ef orka er skert jafnt til allra	
b) Noregur alls	
6 Kostnaður vegna raforkuskorts, sem vitað er um með fyrirvara, samkvæmt norskum athugunum frá 1969 og 1982. Kostnaður í norskum krónum á verðlagi í janúar 1982	28
7 Tími sem það tók að koma raforku á ný til notenda eftir bilun í Svíþjóð í desember 1983 og við nokkrar aðrar bilanir ...	35
8 Samanburður á mismunandi skoðanakönnunum. Kostnaður umreiknaður í Bandalíkjadali á verðlagi 1. ársfjórðungs 1980	52
9 Samanburður á tveimur athugunum sem gerðar hafa verið í Svíþjóð. Kostnaður í særskum krónum umreiknaður á verðlag 1. ársfjórðungs 1980	53

1 INNGANGUR

Eitt af verkefnum starfshóps um endurskoðun á aðferðum við mat á orkugetu vatnsorkuvera og rekstri þeirra (STAMOVAR) er að kanna kostnað vegna raforkuskorts til notkunar við rekstrareftirlíkingar. Þessi skýrsla er fyrsta skrefið í slíkri athugun en hún fjallar um mat annarra þjóða á kostnaði af völdum raforkuskorts og þau gildi sem notuð hafa verið hér á landi. Söfnun erlendra upplýsinga byggði að stórum hluta á lista sem birtur var í grein eftir Billinton og fleiri frá árinu 1983. Í kjölfar þessarar skýrslu þarf starfshópurinn að taka ákvörðun varðandi framhald verksins, t.d. hvort farið verður út í að gera skoðanakönnun meðal notenda eða að vinna hagræna athugun.

Kostnaði sem notendur verða fyrir við bilun má skipta í tvennt, þ.e. í beinan og óbeinan kostnað. Fyrri þátturinn er vegna tapaðrar framleiðslu, skemmda á framleiðslu og tækjum og annarra slíkra þátta. Dæmi um óbeinan kostnað er aftur á móti framkvæmdir sem framleiðendur eða notendur leggja út í vegna bilunar, svo sem kaup á varastöðvum. Einnig má nefna aukna löggæslu, hærri slysatiðni og fleira. Nánast ómögulegt er að meta þennan kostnað og í athugunum er því einungis reynt að meta beina þáttinn. Varðandi óbeina kostnaðinn má taka fram að áætlað hefur verið að við rafmagnsleysi í New York borg árið 1977 hafi hann verið mun meiri en sá beini, en þar er um sérstakt tilvik að ræða. Gera má ráð fyrir að beini kostnaðurinn sé oftast yfirgnæfandi.

Skipta má raforkuskorti í two flokka, þ.e. annars vegar fyrirvaralausan skort og hins vegar skort sem vitað er um með nokkrum fyrirvara. Við bilanir á rafbúnaði og línum, ístruflanir og fleira getur komið til skyndilegs rafmagnsleysis. Í slíkum tilvikum verður yfirleitt aðeins takmarkaður hluti notenda straumlaus. Aftur á móti þegar léleg vatnsár koma samfara mikið nýttu raforkukerfi er ekki fyrir hendi nægjanlegt vatn við virkjanir til að fullnægja orkubörfinni. Yfir veturinn þarf þá að skerða orkunotkun með einhverjum hætti. Framleiðendur og notendur geta þá skipulagt skerðinguна þannig að raunveruleg notkun samsvari því vatni sem fyrir hendi er. Skortinum má mæta á ýmsa vegu; ef hann t.d. er ekki mjög mikill geta notendur oft sparað raforku sem samsvarar skortinum og komist þannig hjá því að rafveitir skerði beint orkumagnið til þeirra. Þar sem hægt er að skipuleggja skerðinguна er kostnaður minni en ef um væri að ræða fyrirvaralaust straumrof. Í þessu samhengi má nefna að uppsett afl í olíustöðvum hér á landi er yfir 20 % af raforkubörfinni og ef þær eru allar settar í gang áður en til skorts kemur eru litlar, en þó einhverjar, líkur á skorti sem vitað er um með fyrirvara. Slíkt var ekki gert í skortinum á árunum 1979 til 1982.

Segja má að tvær mismunandi aðferðir hafi verið notaðar til að meta kostnað vegna raforkuskorts. Í fyrsta lagi skoðanakannanir en þeim hefur

mest verið beitt til að kanna kostnað vegna rafmagnsleysis sem kemur fyrirvaralaust og stendur í stuttan tíma. Upplýsingar um sílikon kostnað má síðan nota við að meta hagkvæmustu uppbyggingu raforkukerfa og við hönnun einstakra þátta þeirra. Í öðru lagi hafa verið notaðar hagrænar reikni-aðferðir og er þeim frekar beitt til að kanna kostnað af völdum fyrirsjáanlegs skorts. Norðmenn, sem eins og Íslendingar byggja raforkuvinnslu sína á vatnsorku, hafa notað hagrænar aðferðir við að meta þennan kostnað til notkunar í rekstrareftirlíkingum. Spyrja mætti hvort ekki væri unnt að notast við skoðanakannanir til að meta kostnað þegar vitað er um skort með fyrirvara. Því er til að svara að fæstir notendur hafa nokkra reynslu af langvarandi skorti og eiga því erfitt með að meta kostnað af hans völdum. Ef nota á sílika könnun þarf að spyrja um fleiri þætti en gert er þegar eingöngu er verið að kanna fyrirvaralausan skort, t.d. hve mikla orku notendur væru færir um að spara.

Erlendis hefur fremur lítið verið unnið að athugunum á kostnaði af völdum raforkuskorts. Varðandi hagrænar aðferðir hefur verið nefnd nýleg athugun frá Noregi en undirrituðum er ekki kunnugt um neina aðra ítarlega könnun þar sem slíkum aðferðum er beitt. Ýmsir hafa beitt einföldum aðferðum er snerta þjóðarframleiðslu eða launakostnað. Þær athuganir sem fjallað verður um hér á eftir byggja auk þess flestar á meira en 10 ára gömlum gögnum. Vitað er um aðeins fjórar umfangsmiklar skoðanakannanir sem gerðar hafa verið síðasta áratuginn og þar af eru tvær frá Kanada en hinær eru frá Svíþjóð og Finnlandi. Nýjasta og jafnframt ítarlegasta athugunin var unnin á vegum rafveitusambands Kanada og kom skýrsla út um hana á árinu 1982. Í henni er miklar upplýsingar að finna.

Gerð hagrænnar athugunar og skoðanakönnun er hvort tveggja mikið og kostnaðarsamt verk. Sem dæmi má nefna að vinna við norsku athugunina, sem nefnd var hér að framan, var þrjú mannár og kostnaður við skoðanakönnun sem gerð var á árinu 1982 í Kanada var um 200.000 Kanadadalir. Ýmis vanda-mál kæmu eflaust upp við athuganir sem þessar hér á landi og er eitt þeirra skortur á gögnum hjá rafveitum. Í slíkum könnunum er notendum skipt niður eftir þeirri starfsemi sem um er að ræða hjá þeim og er yfirleitt byggt á ISIC (International Standard Industrial Classification) flokkun. Ekki er til fyrir landið allt greining raforkunotkunar niður í svipaða flokka og ISIC, einungis er hún fyrir hendi hjá Rafmagnsveitum ríkisins og Rafmagnsveitu Reykjavíkur. Í viðauka 1 er sýnd tveggja stafa ISIC flokkun ásamt fjölda fyrirtækja í hverjum flokki hér á landi (sjá þjóðhagsstofnun 1985, atvinnuvegaskýrslu). Úrvinnsla gagna um bilanir er einnig skammt á veg komin hjá flestum rafveitum og liggja ekki fyrir niðurstöður varðandi hve oft einstaka notendur verða fyrir rafmagnsleysi eða hve lengi það hefur staðið. Slíkar upplýsingar eru mikilvægar til að bera saman við niðurstöður skoðanakannana.

Hér á eftir verða nefnd nokkur dæmi þar sem komið hefur til langvarandi skorts sem vitað hefur verið um með nokkrum fyrirvara. Á Bretlandi og í

Finnlandi hafa verkföll valdið skorti og í Bandaríkjunum kom til sliks í olíukreppunum á síðasta áratug vegna takmarkana í aðflutningi eldsneytis. Ýmsar leiðir hafa verið farnar til að mæta þessum skorti. Erlendis hefur það reynst vel að heimila notendum kaup á vissu magni, sem er áætlað í hlutfalli við fyrri notkun, en fyrir umframeyðslu hefur þeim verið gert að greiða hátt verð. Ætla má að slík aðferð valdi minni kostnaði hjá notendum en þegar rafmagn er tekið af þeim til skiptis. Erfitt gæti verið að koma slíku við hér á landi þar sem yfirleitt er aðeins lesið einu sinni á ári af mælum. En víst er að kostnaður vegna fyrirsjáanlegs raforkuskorts er háður því hvernig staðið er að skerðingu og er því mikilvægt að rafveitur og notendur séu sem best undirbúnir undir hann.

Þó svo að gerð sé skoðanakönnun eða hagræn athugun verður óvissa í niðurstöðum mikil og kostnaður notenda mjög misjafn. Einnig er óvíst að kostnaður vegna raforkuskorts verði sá sami í framtíðinni og hann er í dag. Niðurstöður allra athugana verður því ætíð að nota með varúð.

2 NOTKUN SKOÐANAKANNANA VID MAT Á KOSTNAÐI VEGNA RAFORKUSKORTS

Eins og fram hefur komið er ein leið til að meta kostnað vegna raforkuskorts að gera skoðanakönnun meðal notenda. Þessi leið hefur þó verið tiltölulega lítið notuð hingað til og sumar slíkar athuganir hafa takmarkað gildi, m.a. vegna þess að þær byggja á litlu úrtaki, ná eingöngu til eins hóps notenda og spurningar gefa takmarkaðar upplýsingar um kostnað vegna skorts. Af þeim athugunum sem undirritaður hefur undir höndum eru fjórar langveigamestær og ítarlegastar en þær eru frá Svíþjóð, Finnlandi og Kanada (tvær) og er fjallað sérstaklega um þær hér á eftir. Í kafla 2.4 eru síðan nefndar ýmsar minni athuganir.

Svíar hafa verið frumkvöðlar á þessu sviði en þeir gerðu skoðanakönnun á kostnaði vegna raforkuskorts á seinni hluta 7. áratugarins og birtist niðurstaðan í skýrslu árið 1969. Ný athugun var gerð á árunum 1979 til 1981. Í Finnlandi var í fyrsta sinn gerð skoðanakönnun sem þessi á árinu 1978. Síðasta áratuginn hefur mikið verið unnið á þessu sviði í Kanada, en raforkufyrirtækið Ontario Hydro gerði ítarlegar athuganir á árunum 1976 til 1980 er tóku til Ontario fylkis. Rafveitusamband Kanada (Canadian Electrical Association) hefur látið gera könnun sem nær til flestra fylkja Kanada og kom út skýrsla um athugunina á árinu 1982 en hún var unnin af háskólanum í fylkinu Saskatchewan (University of Saskatchewan).

Í þessum skoðanakönnunum eru notendur ekki einvörðungu beðnir um að meta þann kostnað sem þeir verða fyrir við rafmagnsleysi heldur er einnig spurt um ýmis önnur atriði. Algengt er t.d. að spyrja um eftirfarandi:

- Hagi og starfsemi notanda.
- Rafmagnsleysi sem notandi hefur orðið fyrir á síðustu árum.
- Varaafl.
- Áhrif þess á hvaða tíma ársins, vikunnar og sólarhringsins bilun verður.
- Hvort hætta sé á að fólk slasist eða umhverfi skaðist við bilun.
- Áhrif viðvörunar um rafmagnsleysi á kostnað vegna þess.
- Ef til skömmtunar kæmi hvaða fyirkomulag notandi vildi hafa á henni.
- Spennu- og tíðnisveiflur sem notandi getur búið við.

Áður en spurningaeyðublöð hafa verið endanlega hönnuð hafa þau í flestum tilvikum verið reynd á takmörkuðum fjölda notenda.

Í ljós hefur komið að nánast ómögulegt er að spyrja heimilisnotendur beint um kostnað þeirra vegna orkuskorts og eru því yfirleitt notaðar óbeinar aðferðir

2.1 Svíþjóð

Raforkuvinnsla í Svíþjóð var 120 TWh á árinu 1984 en framleiðslan byggir að mestu á vatnsorku og kjarnorku og var hlutur þessara orkugjafa um 56 % og 41 % á því ári (sjá ársskýrslu NORDDEL).

Eins og áður er komið fram var fyrir fáum árum gerð athugun á kostnaði vegna raforkuskorts í Svíþjóð. Þessi athugun var unnin af sérstakri nefnd (Avbrottsvärderingskommittén 1981) á vegum sánska rafveitusambandsins og byggði að stórum hluta á að spyrja notendur sjálfa um áhrif raforkuskorts, en á sumum sviðum voru einnig notaðar aðrar aðferðir. Í athuguninni var notendum skipt niður í eftirfarandi flokka:

- 1) Iðnað
- 2) Þjónustu
- 3) Skrifstofur
- 4) Landbúnað
- 5) Samgöngur
- 6) Heimili
- 7) Annað

Til notenda í öðrum flokkum en samgöngum og "öðru" voru send spurningaeyðublöð. Í samgöngum er um að ræða rafmagnsjárnbrautir, neðanjarðarbrautir og sporvagna og er kostnaður vegna raforkuskorts metinn út frá hagrænum forsendum og viðræðum við rekstraraðila neðanjarðarbrautanna í Stokkhólmi og sporvagnanna í Gautaborg. Kostnaður vegna raforkuskorts hjá "öðrum" notendum er metinn sá sami og meðaltal hinna flokkanna.

Í töflu 1 er sýnt það úrtak sem notað var í þessum skoðanakönnunum.

Tafla 1 Yfirlit yfir úrtak athugunar Avbrottsvärderingskommittén.

Flokkur	Söfnun gagna	Stærð úrtaks	Svörun %
Iðnaður	Póstur	190	134 70
Þjónusta	Viðtöl, 3 hópar verslana		
Skrifstofur	Póstur	222	98 44
Landbúnaður	Póstur		70
Heimili	Póstur		467

Til samanburðar við kostnað vegna raforkuskorts í iðnaði sem fékkst út frá

skoðanakönnun, var áætlaður virðisauki miðaður við raforkunotkun. Með virðisauka er átt við tekjur að frádegnum útgjöldum til hráefniskaupa. Kostnaður samkvæmt skoðanakönnun, er tengdist 8 og 24 stunda bilunum, er sýndur í töflu 2 ásamt virðisauka.

Tafla 2 Samanburður á kostnaði vegna 8 og 24 stunda bilana í iðnaði samkvæmt skoðanakönnun og virðisauka (sænskar krónur á verðlagi fyrsta ársfjórðungs 1980).

Flokkur	2 til 8 stunda bilun			8 til 24 stunda bilun			Virðisauki á orkueiningu kr/kWh
	Fastur	Breyti-	Alls	Fastur	Breyti-	Alls	
	legur	8 klst	kr/kW	legur	24 klst	kr/kW	kr/kWh
Námur	10,1	1,8	3,1	20,9	1,5	2,4	0,8
Matvælaiðnaður	21,3	12,0	14,7	93,5	9,8	13,7	7,5
Vefjariðnaður	10,3	4,5	5,8	37,0	2,7	4,2	9,0
Trjávöruiðnaður	21,9	6,4	9,1	60,3	3,1	5,6	5,2
Pappírsiðnaður	4,7	0,8	1,4	9,3	0,5	0,9	1,0
Efnaiðnaður	18,7	1,8	4,1	29,5	1,3	2,5	2,0
Steinefnaiðnaður	7,5	1,8	2,7	18,5	1,8	2,6	3,4
Járn- og stáliðnaður	25,2	2,9	6,1	42,6	1,0	2,8	0,8
Verkstæði	32,5	17,3	21,4	136,5	4,1	9,8	10,2
Smáiðnaður	100,4	22,6	35,2	236,3	3,9	13,8	...
Iðnaður, alls	23,5	6,5	9,4	62,6	2,2	4,8	...

Í töflunni sést að kostnaður vegna 8 og 24 tíma bilana sem fékkst í skoðanakönnun er hærri eða svipaður og áætlaður virðisauki fyrir aðra flokka en vefjariðnað og steinefnaiðnað. Í matvælaiðnaði, trjávöruiðnaði, pappírsiðnaði, efnaiðnaði og á verkstæðum er kostnaður samkvæmt skoðanakönnun um eða innan við tvöfaldur virðisauki. Fyrir námur og járn- og stáliðnað er munurinn mun meiri. Hafa verður í huga að aflþörf, sem deilt er með í notkun, er mesta aflþörf og orkuskerðing er áætluð miðað við að þetta álag sé fast. Tölur frá skoðanakönnun eru því ekki fullkomlega sambærilegar við tölur um virðisauka þar sem sú orkunotkun sem þar er miðað við er raunveruleg notkun.

Í landbúnaði var auk skoðanakönnunar gerð hagræn athugun, en endanleg niðurstæða fyrir þann flokk byggir bæði á niðurstöðum þeirrar athugunar og á skoðanakönnuninni. Kostnaður vegna raforkuskorts á heimilum er áætlaður út frá þemur athugunum, þ.e. skoðanakönnun, hagrænni athugun og með því að nota aðferðir sem tíðkast í tryggingum.

Iðnfyrtækin anna sjálf um 14 % af aflþörfinni en varaafhl samsvarar einungis um 3 % af henni. Samkvæmt þessari athugun er meðalfjöldi bilana sem valda rafmagnsskorti hjá iðnfyrtækjum 2,2 á ári og vara þær að meðaltali í 50 mínútur alls. Fyrir skrifstofur eru þessar tölur nánast þær sömu (2,1 á ári og 50 mínútur).

Kostnaður vegna orkuskorts samkvæmt þessari athugun er sýndur á mynd 1 fyrir sjö flokka notkunar en hér er um að ræða gildi við hámarksálög.

2.2 Finnland

Raforkuvinnsla í Finnlandi var um 43 TWh á árinu 1984 og vegur vatnsorka mun minna í raforkuframleiðslu Finna en Svíu eða um 30 % en kjarnorka vegur aftur á móti svipað eða um 41 % árið 1984. Finnar fluttu það ár inn rúmar 5 TWh umfram útflutning (sjá árskýrslu NORDEL).

Á árinu 1978 var gerð skoðanakönnun til að kanna kostnað vegna raforkuskorts í Finnlandi og er hér stuðst við útdrátt á ensku úr skýrslu sem fjallaði um þessa athugun (sjá The Finnish Power Producers Coordinating Council 1979). Athugunin var talin gerð á mjög heppilegum tíma vegna þess að nýlega hafði komið til skorts í Finnlandi eða eins og segir í skýrslunni (lausleg þýðing):

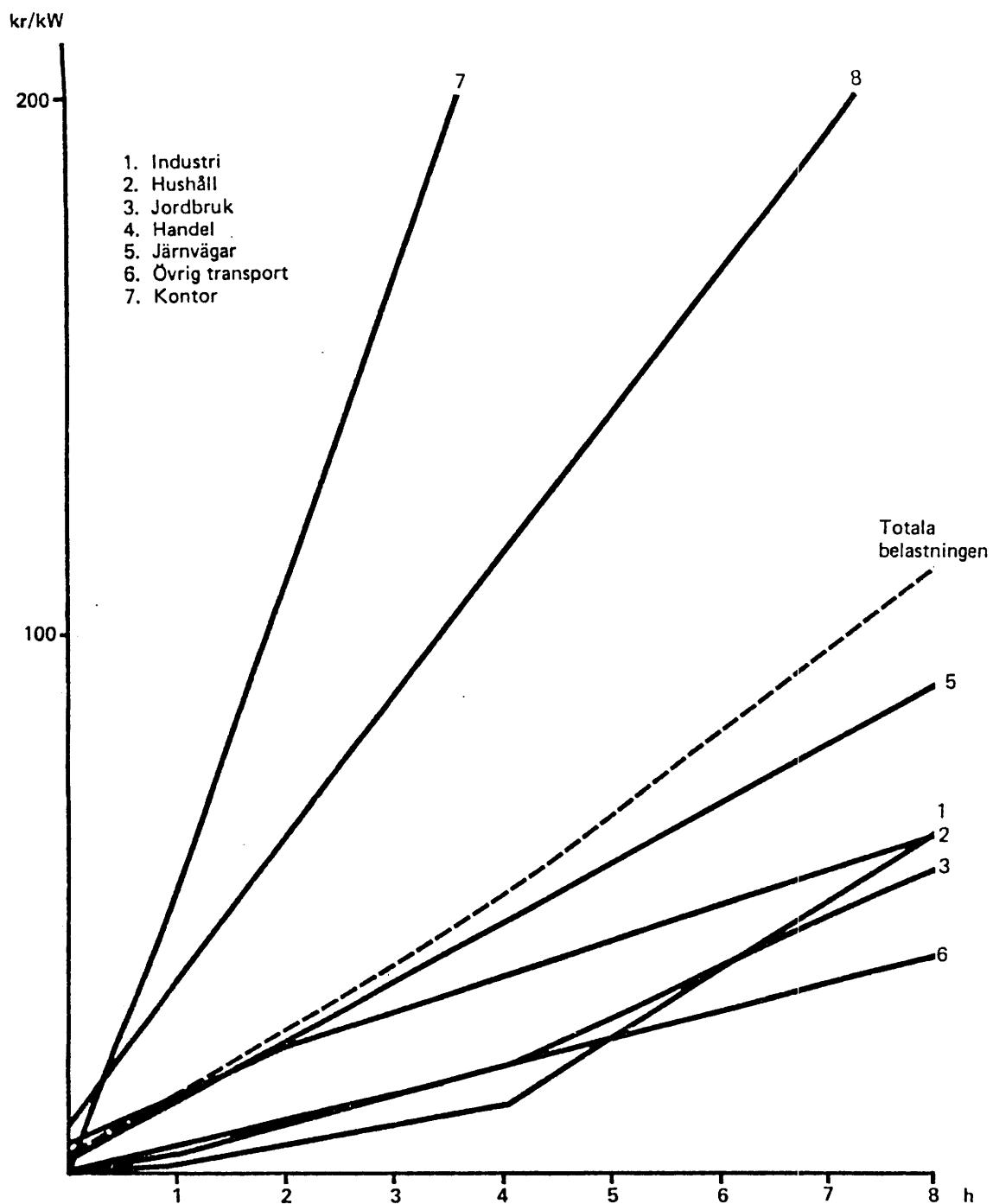
"Í þessu tilliti var tímasetning athugunarinnar heppileg þar sem nær því átta vikna verkfall vorið 1977 hafði áhrif á störf tæknimanna orkuvera og dreifiveitna. Mikil skerðing var nauðsynleg og var hún mest hjá notendum dreifiveitna en einnig í nokkrum mæli hjá stóriðju. Flestar dreifiveitur beittu svæðisbundinni skömmtu sem stóð í 1 til 2 tíma í einu, oft nokkrum sinnum á sólarhring."

Í þessari athugun var notendum skipt niður í eftirfarandi flokka:

- 1) Stóra notendur (orkunotkun meiri en 10 GWh)
- 2) Viðskipti og opinbera þjónustu
- 3) Landbúnað
- 4) Heimili
- 5) Annað (special branches)

Stórir notendur, með um helming raforkunotkunar í Finnlandi, voru flokkaðir niður í 9 flokka eftir tveggja stafa SIC (Standard Industrial Classification) númerum. Í flokknum viðskipti og opinber þjónusta voru verslanir, skrifstofur, smáiðnaður og fl. Í flokknum annað var aðallega um að ræða samgöngur og fjarskipti. Gerð var skoðanakönnun innan allra þessara flokka og er úrtakinu, sem notað var, lýst í töflu 3.

AVBROTTSKOSTNADER I HELA LANDET



Mynd 1 Kostnaður vegna raforkuskorts í Svíþjóð samkvæmt athugun frá 1981 (mynd úr skýrslu Avbrottswärderingskommittén, verðlag 1. ársfjórðungs 1980).

Tafla 3 Yfirlit yfir úrtak finnsku athugunarinnar.

Flokkur	Stærð úrtaks	Svörun %
Stórir notendur	47	44 94
Viðskipti og opinber þjónusta	2761	1753 63
Landbúnaður	500	360 72
Heimili	1093	900 82
Annað	9	9 100

Með svörun er hér átt við þau svör sem bárust en hluti þeirra var ónot-hæfur þannig að nothæf svör eru færri.

Stórir notendur voru einnig spurðir um kostnað af völdum allt að 30 % skerðingar og hvort þeir væru tilbúnir til að inna hana af hendi. Í ljós kom að kostnaður við skerðingu upp á 200 til 300 MW (8 til 12 % af notkun) var minni en jaðarkostnaður við raforkuvinnslu í gastúrbínu. Lítið var um að þessir notendur hefðu einkastöðvar til notkunar við bilanir en uppsett afl í slíkum stöðvum var einungis 0,8 % af afþörfinni.

Mynd 2 sýnir kostnað vegna raforkuskort í Finnlandi samkvæmt þessari athugun og er miðað við mesta kostnað við skort og mesta álag.

2.3 Kanada

Raforkufyrirtæki eru mörg í Kanada og sjá þau fyrir um 90 % af raforkuþörfinni en um 10 % eru framleidd í einkastöðvum notenda. Flest fyrirtækiná eingöngu til eins fylkis (province) en alls skiptist Kanada í 12 fylki. Árið 1982 var raforkuframleiðslan í Kanada 375 TWh og þar af var útflutningur 31 TWh (sjá Department of Energy, Mines and Resources). Raforkuvinnslan var mest með vatnsorku (68 %) en næst komu kol (17 %) og síðan kjarnorka (10 %). Af einstökum fylkjum var notkunin mest í Quebec eða 118 TWh (mæld í orkuveri) og næst mest var hún í Ontario eða 107 TWh. Í þessum fylkjum eru einnig stærstu raforkuframleiðendurnir en það eru fyrirtækin Hydro-Quebec og Ontario Hydro.

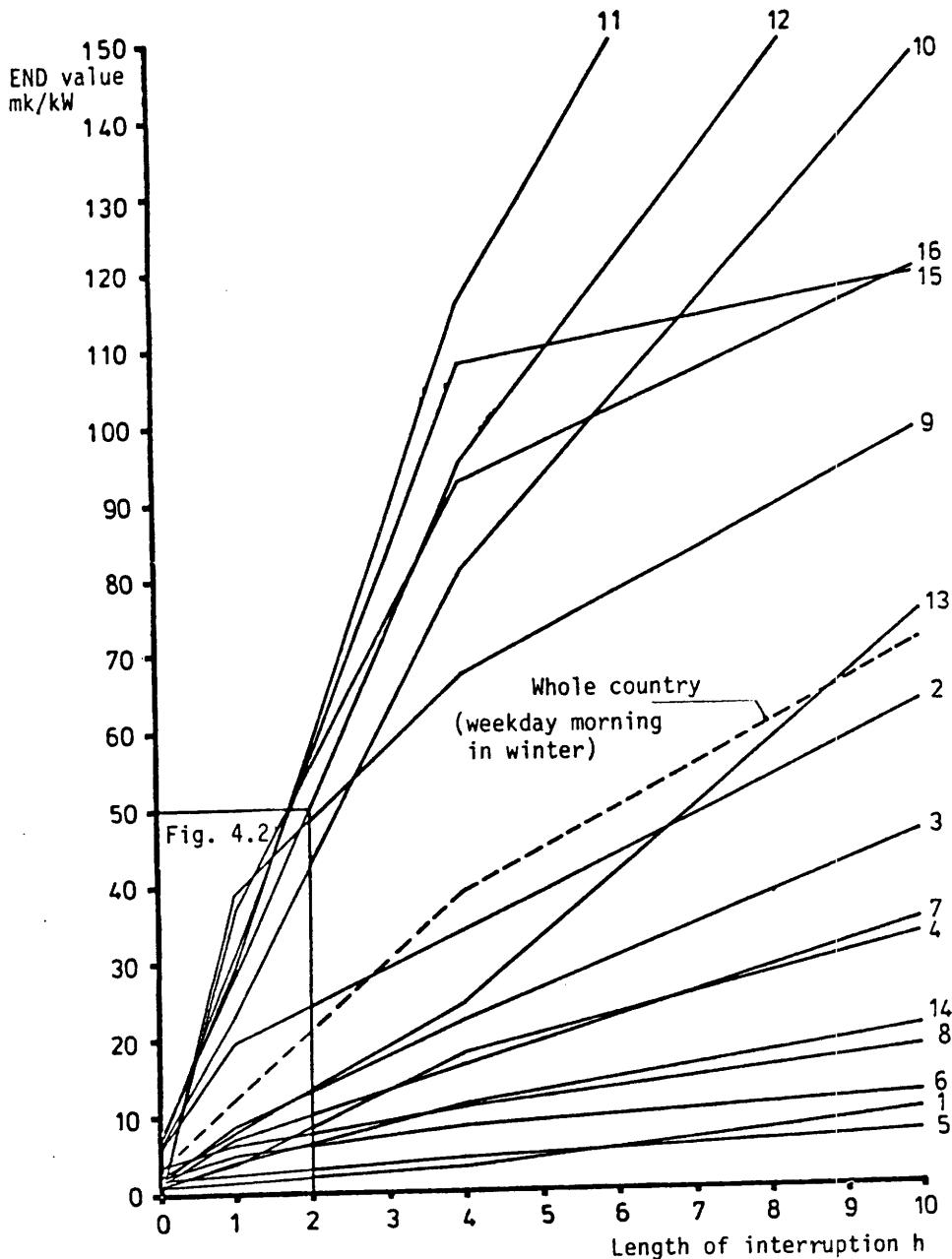


Figure 4.1
END value by consumer group (mk/kW)
Emergency interruption

- | | |
|-------------------------------|--------------------------|
| 1. Mining | 9. Metal industry |
| 2. Food industry | 10. Light industry |
| 3. Textile industry | 11. Services |
| 4. Timber industry | 12. Public consumption |
| 5. Paper and pulp industry | 13. Agriculture |
| 6. Chemical industry | 14. Domestic consumption |
| 7. Non-metallic minerals ind. | 15. Communications |
| 8. Basic metal production | 16. Transport |

Mynd 2 Kostnaður vegna raforkuskorts í Finnlandi samkvæmt athugun frá 1978
(mynd úr skýrslu The Finnish Power Producers Coordinating Council,
verðlag 1. ársfjórðungs 1978).

Eins og áður er komið fram hefur Ontario Hydro gert könnun á kostnaði af völdum raforkuskorts. Notendum var skipt niður í 7 flokka og var gerð sérstök athugun á hverjum flokki fyrir sig. Úm var að ræða eftirfarandi flokka:

- 1) Stóra notendur (aflþörf yfir 5 MW)
- 2) Smáiðnað (aflþörf undir 5 MW)
- 3) Verslun og þjónustu (retail trade and service)
- 4) Skrifstofur
- 5) Opinberar stofnanir (government agencies and institutions)
- 6) Landbúnað
- 7) Heimili

Notendum voru send eyðublöð til útfyllingar sem voru mismunandi milli flokka. Í sumum flokkunum var ætlast til þess að þeir fylltu eyðublöðin út án aðstoðar (þó var gefið upp símanúmer sem notendur gátu hringt í ef þeir þurftu á aðstoð að halda) en í öðrum flokkum var farið til notenda og þeir aðstoðaðir við að fylla út eyðublöð. Á árunum 1976 til 1980 voru gefnar út skýrslur um hvern flokk fyrir sig ásamt yfirlitsskýrslu (sjá Ontario Hydro 1976-1980). Í töflu 4 er sýnt yfirlit yfir úrtak þessarar athugunar en raforkuþörf þeirra notenda sem svöruðu var um 29 % af notkuninni í Ontario.

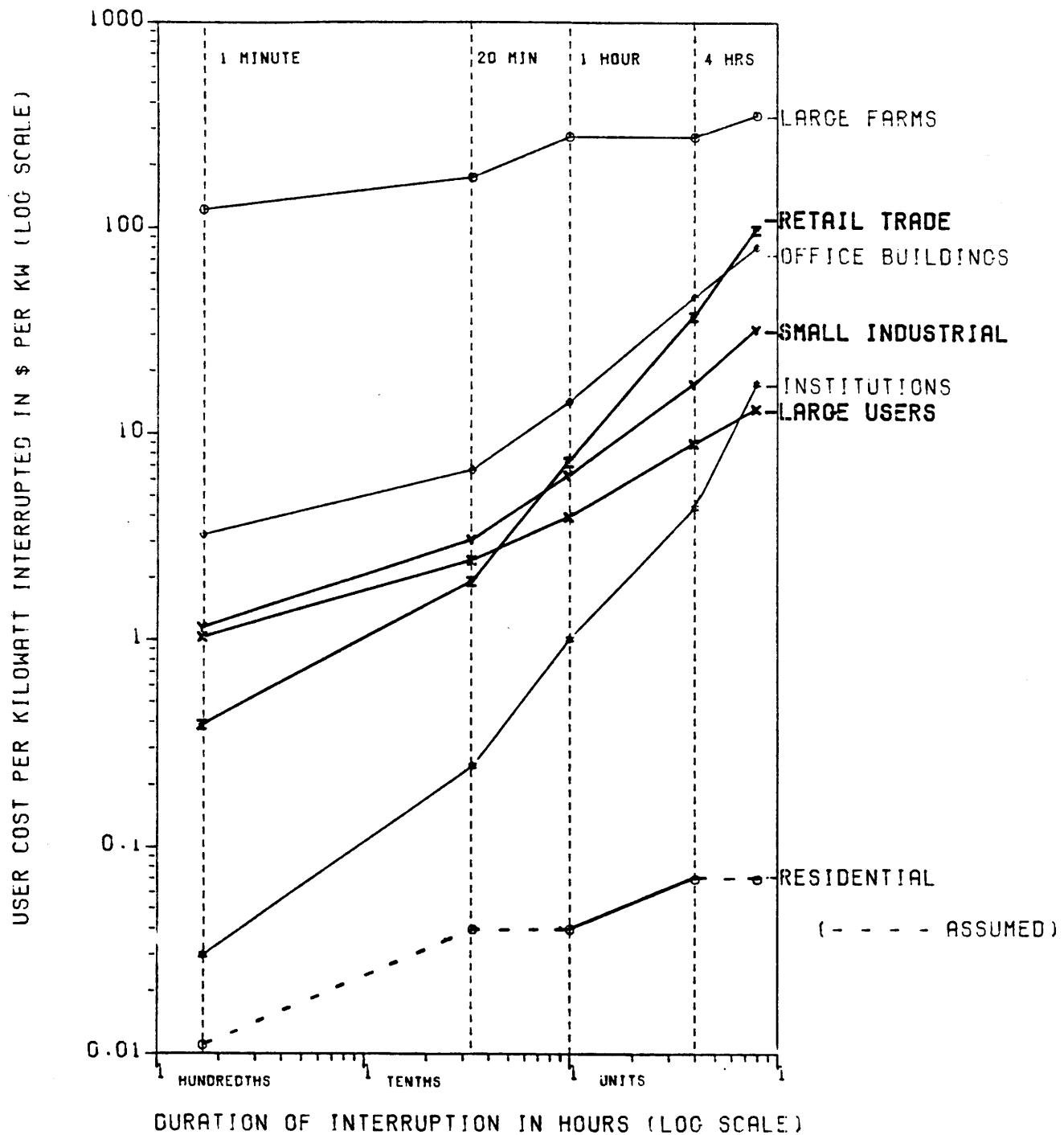
Iafla 4 Yfirlit yfir úrtak athugana Ontario Hydro.

Flokkur	Hlutfallsleg		Söfnun	Stærð	Svörun
	notkun	Fjöldi			
	%	(u.þ.b.)			%
Stórir notendur	30	200	Viðtöl	199	172
Smáiðnaður	19	14.000	Póstur	14.000	3.574
Verslun og þjónusta	9,0	102.700	Viðtöl	1.799	669
Skrifstofur	2				
Rekstraraðilar			Viðtöl	110	81
Notendur			Póstur	1.066	481
Opinberar stofnanir	5,5		Viðtöl	350	317
Landbúnaður	2,5	115.000	Póstur	26.000	8.074
Heimili	30	2.700.000	Póstur	2.000	1.239
Annað		2			

Á mynd 3 er sýnd niðurstaða þessara athugana varðandi kostnað vegna raforkuskorts við mislangar bilanir. Myndin er fengin úr fyrrnefndri yfirlitsskýrslu.

USER ESTIMATES OF INTERRUPTION COSTS
DATA ADJUSTED TO 1980 DOLLARS*

REPORTED COSTS ON A JANUARY WEEKDAY MORNING
FOR EACH CUSTOMER SEGMENT STUDIED
IN \$/KW AT SPECIFIED DURATIONS



Mynd 3 Kostnaður vegna raforkuskorts samkvæmt athugunum Ontario Hydro
(mynd úr skýrslu Ontario Hydro frá 1980-12, verðlag 1980).

Á vegum Rafveitusambands Kanada (CEA) voru á árunum 1980 til 1982 gerðar skoðanakannanir fyrir þrjá flokka notenda, þ.e. heimili, þjónustu og smáiðnað og verið er að vinna að athugun á landbúnaði (sjá skýrslu Billinton og fl. frá 1982). Könnunin á heimilisnotkun náði til veitusvæða átta raforkufyrirtækja í mismunandi fylkjum, í þjónustu var um að ræða veitusvæði tveggja fyrirtækja og í smáiðnaði þriggja fyrirtækja. Í töflu 5 er sýnt yfirlit yfir úrtakið sem notað var.

Tafla 5 Yfirlit yfir úrtak athugana CEA.

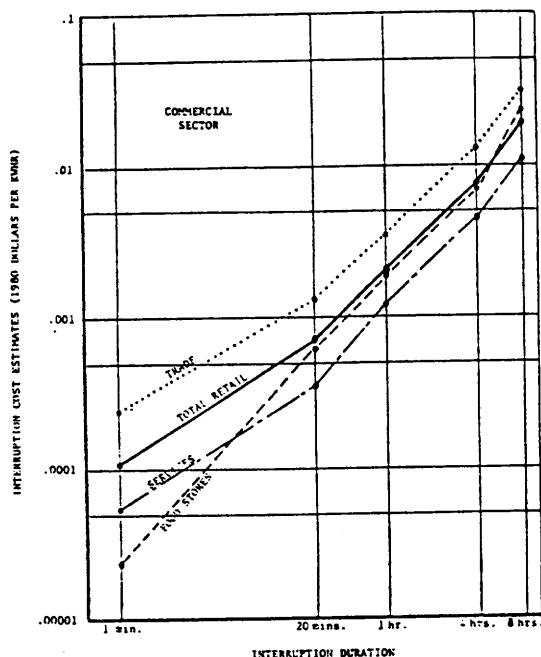
Flokkur	Söfnun gagna	Stærð úrtaks	Svörun %
Smáiðnaður	Póstur	2.311	425 18
Verslun og þjónusta	Póstur	3.624	1.001 28
Heimili	Póstur	13.359	4.740 35

Bæði fyrir smáiðnað og verslun og þjónustu eru notendur greindir eftir SIC (Standard Industrial Classification) flokkum og er því hægt að greina niðurstöðurnar eftir þeim. Ontario Hydro notaði einnig þessa flokkun í sínum athugunum.

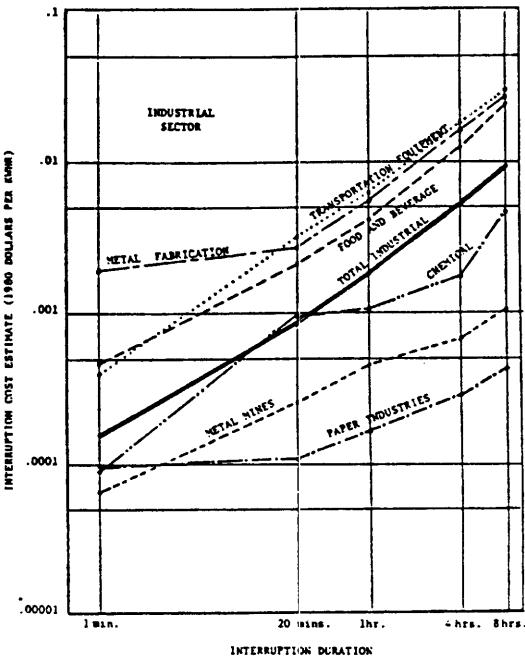
Síðustu tvö árin áður en athugunin var gerð var meðalfjöldi bilana sem ollu rafmagnsleysi á heimilum 5,5, í iðnaði var fjöldinn 4,0 og meðallengd 1,7 klukkustund, og fyrir þjónustu voru samsvarandi tölur 3,3 og 0,8. Bæði í iðnaði og þjónustu voru 87 % notenda án eigin vvaraafls. Á þeim svæðum þar sem raforkuafhending var áreiðanlegust reyndist mat heimilisnotenda á kostnaði vegna orkuskorts vera hæst, en lægst þar sem áreiðanleiki var minnstur. Samsvarandi svörun fannst ekki fyrir iðnað eða þjónustu.

Mynd 4, sem fengin er úr greinum eftir Wacker og fl. (1983) og Wojczynski og fl. (1984), sýnir niðurstöðurnar. Á myndum 4a og 4b er um annan kvarða að ræða en á myndum 3 og 4C þar sem á þeim fyrnefndu er deilt í kostnaðartölur með orkunotkun yfir árið en á hinum myndunum er deilt með mestu aflþörf.

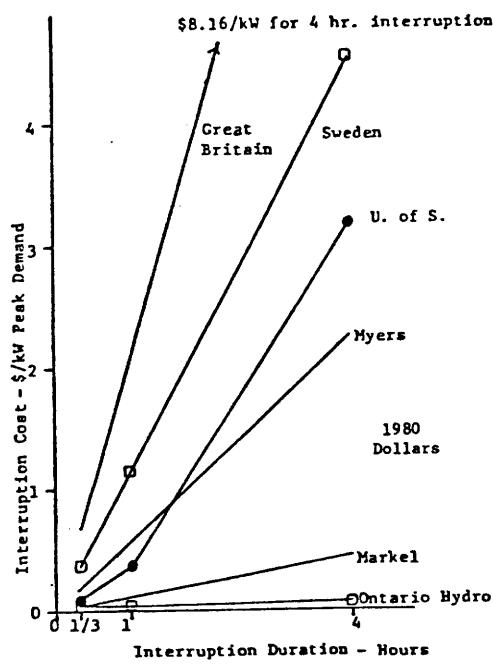
Þegar mynd 4c er skoðuð vekur það athygli hve kostnaður samkvæmt athugun Ontario Hydro er lítill. Í grein Wacker og fl. frá 1983 er talið að skýringu á þessu megi finna í spurningunum sem notaðar voru.



a)



b)



c)

Mynd 4 Kostnaður vegna raforkuskorts samkvæmt athugunum CEA (myndir úr greinum eftir G. Wacker og fl. frá 1983 og E. Wojczynski og fl. frá 1984, verðlag 1980).

- a) Þjónusta.
- b) Smáiðnaður.
- c) Heimili.

2.4 Aðrar athuganir

Raforkufyrirtæki í Michigan fylki í Bandaríkjunum, Consumers Power Company, vann að athugun meðal heimilisnotenda á árinu 1976 (sjá Samsa og fl. 1978). Úrtakinu var skipt í two hópa, annars vegar notendur sem ekki höfðu orðið rafmagnslausríki síðasta mánuðinn og hins vegar notendur sem höfðu orðið rafmagnslausríki á síðustu 10 dögum. Hringt var til notenda og þeir spurðir ýmissa spurninga en ekki var spurt um kostnað vegna skorts nema hvað ein spurning fjallaði um það hvort notendur væru reiðubúnir að greiða meira fyrir áreiðanlegri raforkuafhendingu eða minna fyrir óáreiðanlegri.

Fyrirtækið General Public Utilities, sem er eigandi (holding company) að þemur fyrirtækjum í New Jersey og Pennsylvaniu, fékk háskóla (Pennsylvania State University) til að vinna fyrir sig skoðanakönnun um áhrif raforkuskorts. Könnunin náði til heimilisnotenda, iðnaðar, þjónustu og sveitarstjórnarmanna (community leaders). Spurt var um áhrif bilunar, sem á sér stað um mitt sumar við háan útihita og mikinn raka í lofti, og var miðað við að bilun stæði frá 11:30 um morguninn í um 12 tíma. Meginhluti þessarar skoðanakönnunar snýr að þjóðfélagslegum viðhorfum til raforkuskorts en lítil áhersla er lögð á hagfræðilega þætti (sjá Samsa og fl. 1978).

Nefnd hjá bandaríkska rafmagnsverkfraðingafélaginu (IEEE) stóð fyrir tveimur skoðanakönnunum á árunum 1972 og 1974 varðandi kostnað vegna raforkuskorts. Fyrri athugunin náði til 68 verksmiðja í eigu 30 fyrirtækja sem flokkuð voru til 9 iðngreina (sjá IEEE Committee Report, 1974). Seinni könnunin tengdist þjónustubyggingum og fengust nothæf svör frá 48 fyrirtækjum um 55 byggingar. Svör sem bárust um 121 aðra byggingu reyndust ekki nothæf þar sem engar tölur um kostnað vegna skorts voru gefnar upp (sjá P.E. Gannon, 1975).

Á árinu 1970 var gerð athugun á kostnaði af völdum raforkuskorts hjá 23 iðnfyrirtækjum á Bretlandi (sjá Jackson og fl., 1974). Fyrirtækin voru heimsótt og spurt var um áhrif og kostnað vegna rafmagnsleysis sem stæði í minna en mínútu og upp í um 8 klukkustundir. Um kostnaðarliðinn fengust einungis upplýsingar um 12 af þessum fyrirtækjum. Vegna þess hve úrtak þessarar athugunar er takmarkað gefur hún litlar upplýsingar um kostnað vegna raforkuskorts á Bretlandi.

Í skýrslu Lundbergs frá 1972 er sagt frá skoðanakönnun sem gerð var í Frakklandi árið 1971. Athugunin náði til 500 heimila og var gerð innan þriggja daga frá nokkuð langri bilun. Í ljós kom m.a. að notendur gerðu sér litla grein fyrir fjölda bilana sem þeir höfðu orðið fyrir á síðustu 12 mánuðum. Einungis 12 % heimila gáfu upp hve mikið þau væru tilbúin að greiða til að koma í veg fyrir svipaða bilun og þá síðustu.

Margar aðrar kannanir á þessu sviði hafa verið unnar og má t.d. nefna athugun frá Brasilíu sem Munasinghe fjallar um í bók og grein frá 1979, og athuganir frá Bretlandi og Jórdaníu sem Khatib fjallar um í bók frá 1978. Fleiri athuganir eru einnig nefndar í þessum bókum.

3 NOTKUN HAGRÆNNA AÐFERÐA VIÐ MAT Á KOSTNAÐI VEGNA RAFORKUSKORTS

Oft hefur verið reynt að meta kostnað vegna orkuskorts með hagrænum aðferðum sem byggja á gögnum sem safnað er að staðaldri um orkunotkun, framleiðslu og fleira. Með því að nota slíkar aðferðir er komist hjá að gera umfangsmiklar skoðanakannanir eða þessar tvær leiðir eru notaðar til að styðja hvor aðra. Skoðanakannanir geta einnig gefið ranga niðurstöðu m.a. vegna þess að notendur hafa enga reynslu af skorti sem spurt er um og þeir geta talið sér hag í að gefa rangt svar. Hagrænar aðferðir hafa ekki síður galla en skoðanakannanir, t.d. þar sem gögn eru oft mjög takmörkuð og ekki flokkuð, aðferðir eru flestar tiltölulega grófar og gefa heildargildi óháð ýmsum breytilegum þáttum, erfitt er að taka tillit til þátt eins og tapaðs markaðar og óþæginda, og fleira mætti nefna í þessu sambandi.

Eins og áður er komið fram má skipta raforkuskorti í two flokka:

- Skortur sem vitað er um með engum eða litlum fyrirvara og stendur yfirleitt í skamman tíma (í mesta lagi í nokkra tugi klukkustunda).
- Skortur sem vitað er um með löngum fyrirvara (vikur) og stendur yfirleitt í margar vikur.

Kostnaður er mjög mismunandi fyrir þessa two flokka og er því ekki beitt sömu aðferðum við að meta hann. Skoðanakannanir, sem fjallað var um hér að framan, hafa verið notaðar til að meta kostnað í fyrri floknum en hagrænar aðferðir hafa verið meira notaðar í seinni floknum. Skortur sem vitað er um með miklum fyrirvara á sér helst stað í raforkukerfum sem byggja framleiðsluna að mestu á vatnsorku eins og raunin er hér á landi. Einnig hafa verkföll og takmarkanir á aðflutningi eldsneytis valdið slíkum skorti. Eingöngu hafa verið gerðar fáeinrar athuganir á kostnaði sem telst til seinni flokksins og verður hér á eftir fjallað um athugun frá Noregi. Í Bandaríkjum hafa verið gerðar ýmsar hagrænar athuganir á kostnaði vegna raforkuskorts og er fjallað um nokkrar þeirra.

3.1 Noregur

Árið 1984 var raforkuframleiðsla í Noregi um 107 TWh og útflutningur raforku var um 8 TWh meiri en innflutningur en framleiðslan byggir alfarið á vatnsorku (sjá ársskýrslu NORDEL).

Í slæmum vatnsárum getur sú staða komið upp að ekki sé fyrir hendi nægjanleg orka í formi vatns til raforkuframleiðslu og ef innflutningur og varmastöðvar geta ekki annað því sem á vantar kemur til skorts. Þar sem

stærstur hluti rennslis kemur á vorin og sumrin og miðlunarstig er mjög hátt er vitað snemma vetrar hvort líklegt sé að til skorts komi og má því hafa nokkurn fyrirvara á skömmutun. Haga má henni á ýmsa vegu, þó þannig að skorið sé niður það orkumagn sem þörf er á. Á árinu 1969 var gerð athugun á kostnaði vegna skorts sem þessa og hafa niðurstöður hennar verið notaðar við áætlanagerð. Ný athugun var síðan gerð í byrjun þessa áratugar og kom skýrsla út á árinu 1982 (sjá M. H. Raaholt og fleiri).

Í athuguninni frá 1982 er raforkunotendum skipt niður í fjóra flokka:

- 1) Orkufrekan iðnað
- 2) Almennan iðnað
- 3) Þjónustu
- 4) Heimili

Byrjað er á að reikna kostnað við að skerða fyrstu orkueininguna fyrir hvern flokk. Í frjálsu hagkerfi þar sem engar takmarkanir eru á raforkunotkun ætti verðmæti þessarar orkueiningar fyrir notandann að vera jafnt og verðið sem hann greiðir fyrir hana. Ef notandinn þarf að takmarka notkun sína um eina orkueiningu þá gerist það ekki af sjálfu sér heldur þarf hann að leggja vinnu í það sem kostar hann eitthvað. Kostnaður við að skerða fyrstu orkueininguna er því hærri en raforkuverðið. Ef notandinn hefur aftur á móti möguleika á að nota annan orkugjafa þá yrði hann að öllum líkindum notaður ef kostnaður er minni en við skerðingu. Kostnaður við að skerða fyrstu orkueininguna liggur því á milli raforkuverðsins og kostnaðar notanda við að nýta aðra orkugjafa í stað raforku og gefur upphafsgildi ferils sem sýnir kostnað vegna orkuskorts sem fall af hlutfallslegri orkuskerðingu.

Næsta stig er að finna hvernig kostnaður breytist með aukinni skerðingu. Flokkarnir hér að ofan eru þá greindir niður í nokkra undirflokkja og kostnaður fyrir hvern þeirra um sig fundinn. Heildarkostnaður innan viðkomandi flokks fæst síðan út frá niðurstöðum um einstaka undirflokkja. Við þessa reikninga er raforkuskorti skipt í þrjú svið eftir umfangi:

- 1) Fyrst er um að ræða raforku sem spara má án þess að það hafi bein áhrif á framleiðslu. Yfirleitt er miðað við að spara megi 20 % af raforku sem fer til ljósa og hita. Kostnaður við þennan skort er talinn jafn og að skerða fyrstu eininguna sem fjallað var um hér að framan.
- 2) Næst veldur skert raforkunotkun því að framleiðsla dregst saman. Talið er að fyrst séu teknar úr notkun þær einingar sem eru hlutfallslega orkufrekastar, t.d. vegna þess að þær eru gamlar eða framleiðslan er færð yfir á svið sem eru ekki eins orkufrek, og sparast því fyrst hlutfallslega meiri orka en sem samsvarar minnkun í framleiðslu. Þetta svið nær upp að því að hlutfallsleg minnkun í

orkunotkun og framleiðslu er jöfn (þá er stuðull sem skilgreindur er hér að neðan 1). Kostnaður á orkueiningu er fenginn út frá eftirfarandi jöfnu:

$$\text{Kostnaður} = \frac{\text{Virðisauki} + \text{kostnaður við raforkukaup}}{\text{Raforkunotkun} * \text{Stuðull}} \quad (1)$$

Þar sem:

$$\text{Stuðull} = \frac{\text{Jaðargildi raforkunotkunar á framleidda einingu}}{\text{Meðalgildi raforkunotkunar á framleidda einingu}}$$

$$= \frac{dR/dF}{R/F} = \frac{dR/R}{dF/F} \quad (2)$$

R: Raforkunotkun

F: Framleiðsla

Ef stuðlinum í jöfnu (1) væri sleppt þá fengist meðalkostnaður við að skerða raforkuafhendingu en með því að setja hann inn er tekið tillit til þess að fyrstu orkueiningarnar eru ekki eins verðmætar fyrir notandann eins og þær sem skertar eru síðast vegna þess sem rakið er hér að framan. Með að bæta kostnaði við raforkukaup við virðisaukann, eins og gert er í jöfnu (1), er ekki eingöngu verið að meta tjón fyrirtækisins heldur einnig tap orkuveitunnar.

Þessir reikningar eiga við iðnað, bæði orkufrekan og almennan, en fyrir þjónustu og heimilisnotkun er stærð sviðsins og kostnaður vegna skorts áætlað út frá möguleikum á að nýta aðra orkugjafa í stað raforku og þá aðallega til rafhitunar.

- 3) Þetta svið nær frá lokum sviðs 2 og upp að því að framleiðsla stoppar fullkomlega sem gerist áður en fullri skerðingu er náð. Flatarmálið undir ferlinum, sem sýnir kostnað á orkueiningu sem fall af hlutfallslegrí skerðingu, verður að vera jafnt meðalgildi kostnaðar á orkueiningu sem eins og áður sagði fæst út frá jöfnu (1) ef stuðull er settur jafn 1,0. Gert er ráð fyrir að kostnaður innan sviðsins breytist línulega frá lokagildi sviðs 2 þannig að þessu skilyrði sé fullnægt. Fáeinir notendur í almennum iðnaði geta notað aðra orkugjafa í stað raforku og í þeim tilvikum er miðað við kostnað sem er við þá notkun. Fyrir heimilisnotkun er ekki hægt að nota þessa aðferð og er því gert ráð fyrir að þegar raforka er skert að fullu sé kostnaður jafn því sem það kostar notendur að fá sér bensíndrifna vél til raforkuframleiðslu. Frá mörkum svæðis 2 vex kostnaður línulega upp í þennan kostnað.

Þegar heildarkostnaður varðandi Noreg er fundinn út frá niðurstöðum um flokkana fjóra er bætt við stjórnunarkostnaði upp á 2 Naura/kWh.

Á mynd 5 er sýndur kostnaður vegna orkuskerðingar samkvæmt þessari athugun, þæði að því er varðar flokkana og Noreg í heild. Varðandi einstaka flokka er miðað við hlutfallslega jafna skerðingu hjá öllum notendum, en þegar litið er á landið allt er einnig sýndur kostnaður ef framkvæmd skerðingar stjórnast af kostnaði hjá einstaka notendum (fyrst er skorið niður það sem ódýrast er).

Á mynd 6 er sýndur samanburður á kostnaði vegna raforkuskorts samkvæmt þeirri athugun sem hér hefur verið fjallað um og athugun frá 1969. Þar kemur fram að við skort upp fyrir 10 % af notkun eru eldri og nýrri ferlar svipaðir ef gert er ráð fyrir að allir notendur séu skertir jafnt. Í flestum tilvikum er skortur innan þessara marka og fást því svipaðar niðurstöður hvor kostnaðarferillinn sem notaður er (með nýju athuguninni fæst heldur minni kostnaður vegna skorts og verður því t.d. forgangsorkan heldur meiri, sjá skýrslu T. Jarlset frá 1983).

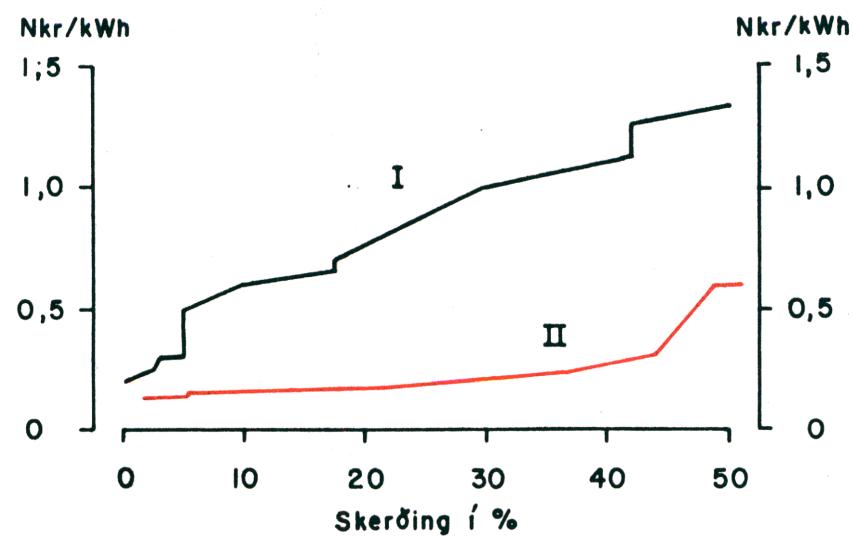
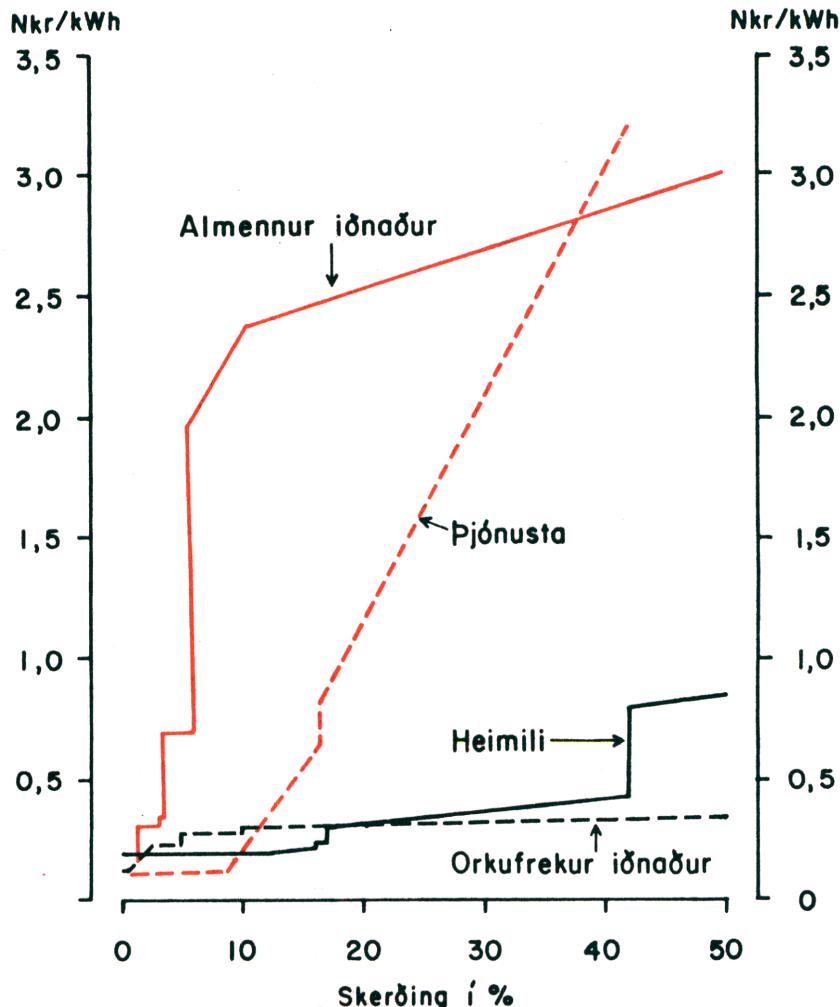
Við lítið skort er kostnaður samkvæmt athugun frá 1982 minni en við að framleiða raforku í varmaorkuveri. Ef vatnsorkuver gætu ekki fullnægt markaðnum var áliðið að fyrst yrðu öll varmaorkuver fullnýtt og flutt inn eins mikil raforka og mögulegt væri, en því næst yrði notkun skert. Ekki var því talið eðlilegt að miða við þetta lágan kostnað og var ákveðið að nota áfram athugun frá 1969 (sjá áfangaskýrslu II frá starfshóp um endurskoðun á aðferðum við mat á orkugetu vatnsorkuvera og rekstri þeirra).

3.2 Bandaríkin

Árið 1984 var raforkuvinnsla í Bandaríkjunum um 2.416 TWh og kom meira en helmingur raforkunnar frá kolaorkuverum (56 %), hlutur kjarnorku var 14 % og vatnsorku 13 % (sjá Energy Information Administration, 1985).

Í Bandaríkjunum hafa ýmsir reynt að nota hagrænar aðferðir til að meta kostnað vegna raforkuskorts. Slíkt mat ásamt athugunum á áreiðanleika raforkukerfa hefur stundum verið notað til að áætla hvort öryggi raforku-afhendingar sé of mikið eða of lítið. Niðurstaðan hefur yfirleitt verið sú að raforkukerfið sé of áreiðanlegt.

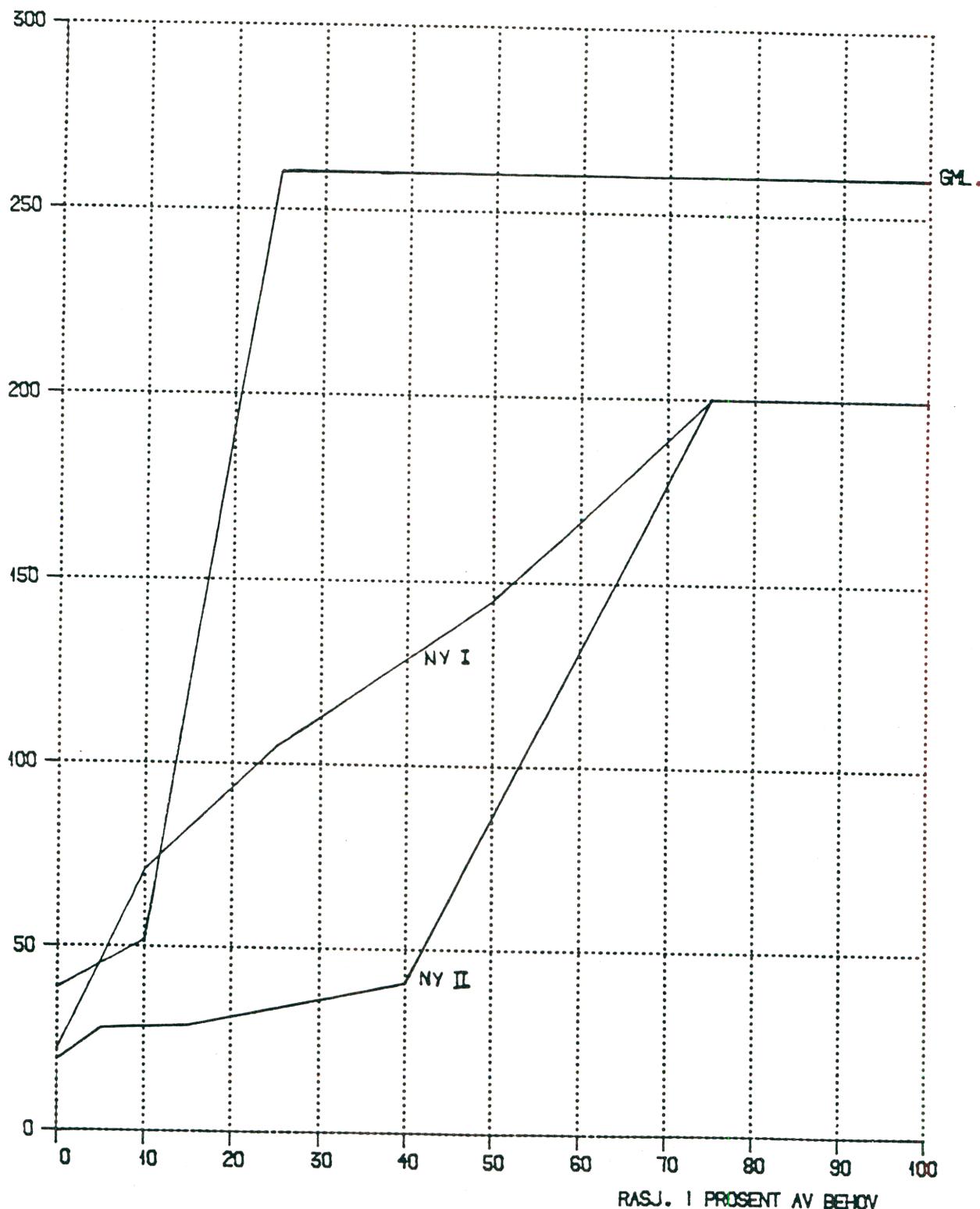
VOD-OB-942 JV
'86.02.0108-EK



Mynd 5 Kostnaður vegna raforkuskorts, sem vitað er um með fyrirvara, samkvæmt athugun frá Noregi. Kostnaður í norskum krónum á verðlagi ársins 1979.

- Innan einstakra notendaflokka ef orka er skert jafnt til allra.
- Noregur alls (I jöfn skerðing, II fyrst ódýrasta orkan skert).

KOSTNAÐ(ØRE/KWH)



Mynd 6 Kostnaður vegna raforkuskorts, sem vitað er um með fyrirvara, samkvæmt norskum athugunum frá 1969 og 1982. Kostnaður í norskum krónum á verðlagi í janúar 1982 (mynd úr skýrslu T. Jarlset frá 1983).

NY I: Athugun 1982, jöfn skerðing

NY II: Athugun 1982, ódýrasta orkan fyrst skert

GML: Athugun 1969, jöfn skerðing

Í grein eftir R. B. Shipley og fleiri frá 1972 er kostnaður vegna orku-skorts áætlaður með eftirfarandi jöfnu:

$$\frac{\text{Verg þjóðarframleiðsla}}{\text{Kostnaður vegna skorts}} = \frac{\text{Raforkunotkun}}{(3)}$$

Fyrir árið 1967 gefur þessi jafna kostnað sem er 0,6 USD/kWh. Þessi aðferð gefur ekki til kynna hve kostnaður er háður ýmsum þáttum eins og t.d. tegund notkunar, lengd bilunar og tíðni. Einnig er óvist hve rétt mat sem þetta er. Í greininni er auk þess reynt á einfaldan hátt að meta kostnað við vinnslu og flutning raforku sem fall af áreiðanleika raforkuahendingar og var niðurstaðan að raforkukerfi Bandaríkjanna væri líklega of öruggt (miðað var við árið 1967). Þessir reikningar eru mjög grófir og ónákvæmir og má því ekki taka þá mjög alvarlega. Höfundarnir gera sé grein fyrir þessu og segja í greininni að megin tilgangur hennar sé að "vekja umræðu og frekari rannsóknir á kostnaði vegna raforkuskorts og notkun hans við bestun á hönnun raforkukerfa".

Á árinu 1973 birtist skýrsla eftir M. L. Telson sem fjallar um hagræna þætti varðandi áreiðanleika orkuöflunarkerfis raforku. Undirritaður hefur þessa skýrslu ekki undir höndum og verður því hér byggt á útdrátti úr henni sem er að finna í skýrslu eftir M. E. Samsa og fleiri frá 1978. Þessi athugun byggir á gögnum um raforkukerfið í New York fylki (New York Power Pool) og er reynt að meta þann áreiðanleika kerfisins sem er þjóðhagslega hagkvæmastur með að áætla uppbyggingu þess næstu 20 árin. Kostnaður við uppbyggingu kerfisins og við skort er áætlaður sem fall af líkum á orkuskorti (sem fall af LOEP: "Loss of Energy Probability"). Hagkvæmasta kerfið fæst við lággildi summu þessara tveggja þátta. Gert er ráð fyrir að kostnaður vegna raforkuskorts sé línulegt fall af skortinum og er notuð eftirfarandi jafna til að finna hann:

$$\frac{\text{Greidd laun fyrirtækja}}{\text{Kostnaður vegna skorts}} = \frac{\text{Raforkunotkun frá 7:30 til 19:30}}{(4)}$$

Inn í núgildisreikninga gengur þessi kostnaður fyrir hvert ár í tímabilinu sem skoðað er. Niðurstöður reikninga Telsons eru m.a. að áreiðanleiki, sem miðað er við í Bandaríkjum við uppbyggingu raforkuvera, sé meiri en hagkvæmast er (oft er miðað við að LOLP, "Loss of Load Probability", sé 1 dagur á 10 árum). Lággildi kostnaðar sem fall af áreiðanleika er þó mjög flatt.

Í grein eftir Telson frá 1975 eru áætluð það sem hann telur vera efri mörk kostnaðar vegna raforkuskorts. Notar hann tvær aðferðir og samsvarar sú fyrri jöfnu (3) nema hvað sleppt er raforkunotkun á heimilum úr nefnar-anum. Sú seinni samsvarar jöfnu (4) nema sleppt er heimilisnotkun. Með

seinni aðferðinni fær hann, út frá gögnum fyrir árið 1970, að efri mörk kostnaðar við skort séu 1,22 USD/kWh fyrir New York fylki og 0,77 USD/kWh fyrir Bandaríkin.

Í skýrslu eftir Markel og fleiri frá 1976 er kostnaður við raforkuskort á heimilum áætlaður út frá því fjármagni sem liggur í rafmagnstækjum. Árlegur fjármagnskostnaður er fundinn og deilt í hann með raforkunotkunni og fengust þá 0,10 USD/kWh. Þetta gildi er talið lággildi kostnaðar þar sem ekki er tekið tillit til óþæginda sem notandi verður fyrir vegna rafmagnsleysis. Á mynd 4c hér að framan er niðurstaða þessarar athugunar sýnd í samanburði við aðrar og sést að einungis skoðanakönnun Ontario Hydro gefur lægra gildi.

Fleiri aðferðir hafa verið notaðar í þessu sambandi eins og "velferðarlíkön" (welfare model) þar sem byggt er á föllum sem sýna eftirspurn og framleiðslu við mismunandi verð en erfitt er að nota þessa aðferð vegna skorts á gögnum (sjá t.d. M. E. Samsa og fl. 1978 eða Stanford Research Inst. 1976).

3.3 Aðrar athuqanir

Í Frakklandi hefur verið notuð svipuð jafna og (1) hér að framan við að meta kostnað vegna raforkuskorts:

$$\text{Kostnaður vegna skorts} = \frac{\text{Virðisauki}}{\text{Raforkunotkun}} \quad (5)$$

Í skýrslu eftir Lundberg frá 1972 er sagt að þessi jafna gefi um 5 franka/kWh.

Í sömu skýrslu er einnig fjallað um Bretland og er kostnaður fyrir iðnað áætlaður út frá því að um 3 % af framleiðslukostnaði í iðnaði fari til raforkukaupa. Kostnaður vegna raforkuskorts er því talinn 33 sinnum meiri en meðal raforkuverð sem gefur 0,30-0,90 pund/kWh. Fyrir þjónustu fæst með sömu aðferð kostnaður sem er 0,40 til 0,50 pund/kWh. Kostnaður á heimilum vegna raforkuskorts er áætlaður jafn og laun og er gert réð fyrir að tveir séu í heimili og að raforkunotkun sé 1 kW. Út frá þessum forsendum fæst kostnaður á bilinu 0,25-0,75 pund/kWh.

Í bók Munasinghe frá 1979 er talið að meta megi kostnað vegna raforkuskorts á heimilum út frá launum eins og gert hefur verið á Bretlandi. Í bókinni er gerður samanburður á niðurstöðum sem fengust með því að ræða við 27 fjölskyldur í þorpinu Cascavel í Brasíliu og með því að nota laun sem mælikvarða á kostnað vegna raforkuskorts og ber þessum niðurstöðum vel

saman (sjá einnig grein M. Munasinghe og fl. frá 1979).

Í Nordel skýrslu frá 1985 er notaður mismunandi kostnaður vegna raforkuskorts fyrir einstök Norðurlönd. Í Noregi og Svíþjóð er miðað við samskonar feril og sýndur er á mynd 6 (frá 1969) framreiknaðann til verðlags ársins 1985 (100 % skortur: 318 Naurar/kWh). Fyrir Danmörku og Finnland er aftur á móti gert ráð fyrir að kostnaður vegna skorts sé 400 Naurar/kWh óháður umfangi hans.

Margar fleiri hagrænar athuganir á kostnaði vegna raforkuskorts hafa verið gerðar og byggja þær flestar á svipuðum aðferðum og nefndar hafa verið hér að framan og eru nokkrar taldar upp í bókum Munasinghe og Khatib.

4 RAUNVERULEG REYNSLA AF MYRKVUN

Þær athuganir sem nefndar voru í köflum 2 og 3 byggja á því að reyna að áætla kostnað sem notendur verða fyrir við rafmagnsleysi út frá mati á afleiðingum hugsanlegs raforkuskorts. Þegar notendur eru spurðir um kostnað vegna raforkuskorts, eins og gert er í skoðanakönnunum sem fjallað er um í kafla 2, þá er líklegt að svör þeirra byggist aðeins að hluta til á reynslu þeirra af skorti. Oft á tíðum hafa þeir jafnvel enga reynslu af bilunum, sem spurt er um, til að byggja á. En lítum nú á tilvik þegar til raunverulegs skots hefur komið. Kannanir þar um hafa verið gerðar erlendis þegar rafmagnsleysi hefur náð til stórra svæða.

Hér á eftir verður fjallað um tvö tilvik þar sem bilanir hafa valdið víðtæku og tiltölulega löngu rafmagnsleysi. Um er að ræða rafmagnsleysi í New York borg í júlí árið 1977 og í stórum hluta Svíþjóðar í desember 1983. Ennig er minnst á nokkur önnur dæmi.

4.1 New York 1977

Klukkan 8:37 að kvöldi 13. júlí árið 1977 laust eldingu niður í raforkukerfi Consolidated Edison og kom á stað keðjuverkun sem olli því að 59 mínútum síðar var allt veitusvæði fyrirtækisins án raforku. Rafmagnsleysið stóð í 25 klukkustundir og náði til 9 milljón íbúa í New York borg. Þar að auki tók nokkurn tíma fyrir ýmsa starfsemi að komast á stað að nýju eftir að rafmagnið komst aftur á. Meðan á myrvuninni stóð kom til meiriháttar óróa meðal íbúanna og flokkar unglingsa jafnt sem fullorðinna æddu um götur rænandi og brennandi það sem fyrir varð. Á þessu tímabili kvíknuðu alls 1.037 eldar og þar af voru 60 meiriháttar, en vitað er um 1.809 tilvik um skemmdir á eignum meðan á myrvuninni stóð. Tvö dauðsföll má rekja til þessa ástands, 436 lögregluþjónar, 80 slökkviliðsmenn og 204 almennir borgarar hlutu meiðsl. Um 3.000 manns voru teknir höndum sem yfirfylltu öll fangelsi og ollu miklu álagi á dómskerfið. Á venjulegum degi eru um 350 eldsvoðar á þessu svæði og um 650 handtökur. Meðan á rafmagnsleysinu stóð var mjög heitt í borginni eða um 30°C og mikill raki í lofti. Líklegt er að þessar aðstæður hafi m.a. stuðlað að þeim óróa sem upp kom.

Áhrif þessa rafmagnsleysis voru því mikil á því svæði sem það náði til. Auk þess hefur það uglaust haft nokkur áhrif út fyrir New York borg vegna þess hve mikil mistöð alþjóðlegra viðskipta hún er. Þessi bilun vakti miklar umræður í Bandaríkjunum og margar athuganir voru gerðar á einstaka þáttum sem tengdust rafmagnsleysinu. Hér verður stuðst við athugun sem fyrirtækið System Control Inc. gerði á vegum U.S. Department of Energy ("Impact Assessment of the 1977 New York City Blackout", sjá einnig grein W. T. Miles og fl. frá 1979).

Í athuguninni var reynt að meta kostnað vegna þessa rafmagnsleysis og er niðurstaðan sem þar fékkst sýnd í töflu 6.

Tafla 6 Kostnaður vegna rafmagnsleysisins í New York 1977 samkvæmt athugun System Control Inc. í milljónum Bandaríkjadalra.

	Beinn kostnaður	Óbeinn kostnaður
Viðskipti	Eyðilegging matvæla 1,0 Töpuð laun 5,0 Verðbréfaviðskipti 15,0 Bankar 13,0	Smáfyrirtæki 155,4 Neyðarþjónusta 5,0
Opinberir aðilar		Aðstoð alríkisst. 11,5 Aðstoð N.Y. fylkis 1,0
Consolidated Edison	Koma á orku 10,0 Yfirvinna 2,0	Ný tæki 65,0
Tryggingar		Gegn glæpum 3,5 Brunatryggingar 19,5 Eignatryggingar 10,5
Heilsugæsla		Ríkisspítalar 1,5
Fólksflutningar	Tapaðar tekjur 2,6 Yfirvinna og óunnið 6,5	Skemmdir á tækjum 0,2 Ný tæki 11,0
Önnur almenningsþjónusta		Rauði krossinn 0,01 Slökkvilið 0,5 Lögregla 4,4 Ríkisréttur 0,05 Refsing 1,1
Westchester County	Eyðilegging matvæla 0,25 Almenningsþjónusta 0,19	
Samtals	55,54	290,16

Ætla má að hér sé um að ræða lággildi kostnaðar vegna þessarar bilunar þar sem að ólíklegt er að tekist hafi að ná til allra þátta sem rafmagnsleysið hafði áhrif á. T.d. er ekki reynt að meta til peninga þá þætti sem ekki valda beinu fjárhagslegu tjóni svo sem óþægindi á heimilum. Athyglisvert

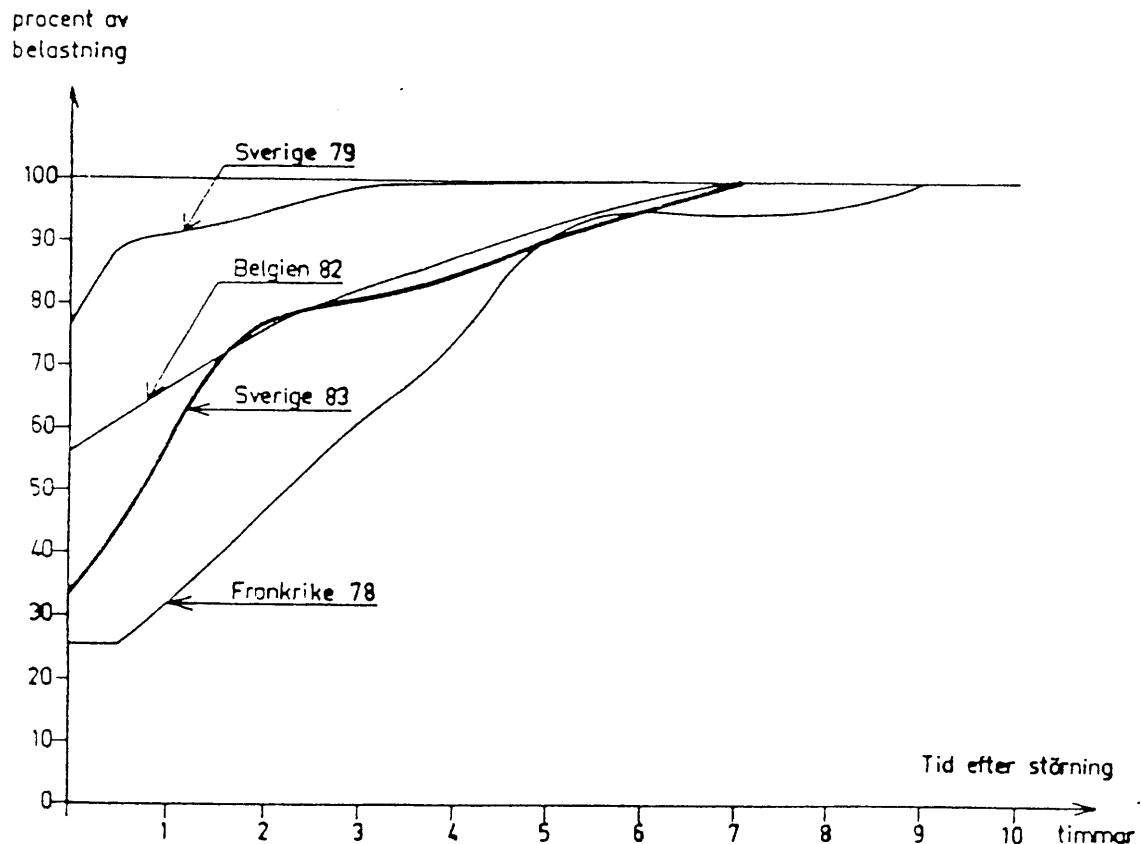
er að einungis um 20 % er beinn kostnaður en um 80 % óbeinn og stafar hann að stærstum hluta af skemmdum og þjófnuðum. Sá óbeini kostnaður sem í töflunni er kallaður smáfyrirtæki er vegna þjófnaða og íkveikja hjá smáfyrirtækjum.

Töpuð raforkusala vegna þessarar bilunar er áætluð um 84 GWh og ef þessari tölu er deilt upp í kostnaðinn samkvæmt töflu 6 fást 4,1 USD/kWh. Hafa verður í huga þegar þessar tölur eru skoðaðar að aðstæður eru nokkuð aðrar í New York borg en t.d. hér á landi. Samgöngur innan borgarinnar byggja mikið á raforku, mikið er um háar byggingar, borgin er miðstöð alþjóðlegra viðskipta og fleira má nefna. Einnig verður að telja ólíklegt að þjófnaðir og íkveikjur yrðu stórt vandamál hér á landi við bilun sem þessa.

4.2 Svíþjóð 1983

Þann 27. desember 1983 rétt fyrir klukkan 13 varð bilun í tengivirki í Hamra sem varð til þess að 400 kV hluti þess aftengdist öðrum þáttum kerfisins. Bilunin kom á stað keðjuverkun sem olli því að meginflutningskerfið, sem flytur raforku frá vatnsorkuverum í norðurhluta Svíþjóðar til syðri hluta landsins þar sem álagið er mest, féll úr notkun. Raforkukerfið klofnaði því upp í two hluta og í syðri hlutanum var álagið mun meira en frámlieiðslan þar, en hún er mest með kjarnorku. Kjarnorkuverin stoppuðu en fóru ekki í "húsrekstur" (þá er ekki drepið á kljúfunum heldur eru þeir reknir með litlu álagi) sem gerði það að verkum að mun lengri tíma tók að koma þeim í gang að nýju en ella hefði þurft. Rafmagnslaust varð því í öllum syðri hluta landsins. Í Norður-Svíþjóð voru vatnsorkuverin fljót að svara breyttum aðstæðum og kom ekki til rafmagnsleysis þar nema á takmörkuðu svæði. Aldrei fyrr hefur rafmagnsleysi í Svíþjóð náð samtímis til jafn margra notenda.

Bilunin átti sér stað fyrsta vinnudag eftir jól og var álag á raforkukerfið heldur minna en á venjulegum virkum degi þar sem starfsemi fyrirtækja var ekki hafin af fullum krafti eftir hátíðina. Útihiði var um 0°C og rafhitun því í hófi. Álag á kerfið var um 17.000 MW (rafkötlum sem nota afgangsorku sleppt) og hafði bilunin áhrif á um 11.000 MW af því eða um 65 %. Rafmagnsleysið stóð mislengi hjá einstökum notendum en eftir 7 tíma var einungis um 3 % notenda án orku. Á mynd 7 er sýnt hve hratt rafmagn komst á að nýju eftir bilunina og er myndin tekin úr skýrslu Vattenfall frá 1984 sem hér er stuðst við. Á myndinni eru einnig sýndar nokkrar aðrar bilanir frá Belgíu, Frakklandi og Svíþjóð.



Mynd 7 Tími sem það tók að koma raforku á ný til notenda eftir bilun í Svíþjóð í desember 1983 og við nokkrar aðrar bilanir (mynd úr skýrslu Vattenfall frá 1984).

Við mat á kostnaði vegna þessarar skerðingar er í fyrrnefndri skýrslu, að hluta til, byggt á þeirri athugun sem fjallað er um í kafla 2.1 hér að framan. Með því að nota gildi úr þeirri könnun fékkst að kostnaður í iðnaði var um 90 MSkr en einnig gerðu samtök iðnaðarins (Industriförbundet) könnun fyrstu tvo dagana eftir bilunina og var niðurstöða þeirrar athugunar að kostnaðurinn hefði verið um 100 MSkr. Þessar tvær niðurstöður eru því mjög svipaðar og í skýrslunni er því talið að kostnaður í iðnaði vegna rafmagnsleysisins hafi orðið á bilinu 80 til 100 MSkr.

Fyrir aðra flokka notenda en iðnað fékkst, með að nota tölur úr athugun sem fjallað er um í kafla 2.1, 280 MSkr kostnaður vegna raforkuskortsins. Í skýrslu Vattenfall er þessi tala af ýmsum ástæðum talin of há og er áætlað að kostnaður hafi orðið milli 100 og 200 MSkr.

Samtals hefur því kostnaður vegna þessa skorts verið 200 til 300 MSkr eða 8,3 Skr/kWh - 12,5 Skr/kWh ef deilt er í kostnaðinn með tapaðri raforkusölu sem var 24 GWh. Þar að auki er áætlað að beint tap raforkufyrirtækja

hafi verið um 25 MSkr.

4.3 Önnur dæmi

Þau tvö dæmi um raforkuskort sem nefnd voru hér að framan fjalla bæði um fyrirvaralausa bilun. Hér verða aftur á móti nefnd nokkur dæmi um skort sem gert hefur boð á undan sér.

Árið 1973 var mjög þurrt í norðvesturhluta Bandaríkjanna en þar er mikil raforkuframleiðsla með vatnsorku hjá Bonneville Power Administration (sjá Federal Power Commission, 1976). Í júlí á því ári afhenti fyrirtækið eingöngu 25 % af afli sem heimilt er að skerða samkvæmt samningum og í ágúst fór fyrirtækið fram á það við notendur að þeir skertu notkun sína. Áætlað var að draga þyrfti úr notkun um 7,5 % og þingið í Washingtonfylki setti lög sem heimiluðu fylkisstjóranum að fyrirskipa skerðingu á raforku-afhendingu. Fylkisstjórin í Oregon setti í september bann við lýsingu á skiltum utandyra. Árangur þessara aðgerða reyndist mjög góður og raforkunotkun í nóvember var sú sama og árið áður og í desember minnkaði hún um 10 % frá árinu á undan. Um miðjan janúar var þessi skortur úr sögunni þar sem miklar rigningar höfðu hafist í nóvember. Skorturinn hafði veruleg áhrif sérstaklega í áliðnaði þar sem framleiðsla minnkaði um 20 %. Í skýrslu Federal Power Commission er þó talið að kostnaður vegna þessa raforkuskorts hafi verið tiltölulega lítill.

Þegar verkfall hófst í kolaiðnaðinum á Bretlandi, 9. janúar 1972, voru fyrir hendi tiltölulegar litlar birgðir af kolum en 70 % af raforkuvinnslunni var þá með kolum (sjá Federal Power Commission 1976). Einungis fimm vikna birgðir voru fyrir hendi 11. febrúar þegar ríkisstjórnin fyrirskipaði verulega raforkuskerðingu. Lýsing til auglýsinga og á skiltum var bönnuð, heimilisnotendur voru beðnir um að hita einvörðungu eitt herbergi, fyrirtækjum í þjónustu var bannað að nota raforku til hitunar og fyrirskipað að minnka lýsingu, vinnuvika í stórum hluta iðnaðar var stytt niður í þrjá daga, spenna var lækkuð og rafmagn var tekið af notendum í allt að fjóra tíma í einu. Með þessum aðgerðum náðist að minnka raforkunotkun um 20 %, en verkfallið stóð alls í 7 vikur. Landsframleiðsla (GDP) minnkaði um 1,25 % á 1. ársfjórðungi 1972 og iðnaðarframleiðsla minnkaði um 2,75 %. Í fyrrnefndri skýrslu er áætlað að kostnaður af völdum þessa skorts hafi numið um 0,5 USD/kWh.

Í oliukreppunni 1973/74 var hætta á skorti á olíu til raforkuframleiðslu í Los Angeles í Bandaríkjum en um helmingur framleiðslunnar þar var með olíu (sjá W. B. Shew 1977). Borgarstjórnin ákvað að mánaðarleg raforkunotkun á heimilum og í iðnaði skyldi takmörkuð við 90 % af notkun sama mánaðar næsta árs á undan. Í þjónustu var þetta hlutfall ákveðið 80 %. Ef farið var fram úr þessum mörkum hækkaði rafmagnsreikningurinn um 50 %. Með

þessum aðgerðum átti að minnka raforkunotkun um 12 %, en árangurinn varð 17 % minnkun. Iðnfyrirtæki skertu notkun sína um 10 % eins og ráð var fyrir gert en heimili og þjónustufyrirtæki skertu notkun sína mun meira en stefnt var að.

Eins og áður er komið fram kom til raforkuskorts í Finnlandi á árinu 1977 vegna 7 vikna verkfalls tæknimanna rafveitna (sjá kafla 2.2). Ekki er hægt að fjalla hér frekar um þetta tilvik þar sem undirritaður hefur litlar upplýsingar undir höndum um það.

Til raforkuskorts kom í Nord-Salten í Noregi haustið og veturninn 1978-79 (sjá skýrslu Brunborg og fl. 1981). Í því tilviki var notkun takmörkuð með að gefa notendum vissan kvóta sem þeim var heimilt að nota en ef þeir fóru upp fyrir hann þurftu þeir að greiða hátt gjald svipað og í Los Angeles 1973/74. Í ljós kom að fáir fóru yfir þann kvóta sem þeir fengu. Í skýrslu Raaholt og fleiri kemur einnig fram að kvóti var notaður ásamt skerðingu í Finnlandi við fyrrnefndan skort þar og í Los Angeles í Bandaríkjunum þegar til skorts kom þar í seinni olíukreppunni árið 1979.

Á árinu 1983 ollu þurrkar í Afríku vatnsskorti við virkjanir í ánni Volta í Ghana. Stærsti raforkunandinn þar í landi er álver með 200.000 tonna árlega framleiðslugetu og var dregið úr afhendingu á raforku til þess fyrstu níu mánuði ársins 1983 en í október var álverinu lokað. Álverið gat hafið rekstur aftur í fyrsta lagi einu ári seinna. Á þessum tíma stóðu yfir viðræður milli eigenda álvversins og Ghana um breytingar á samningi um iðjuverið og eftir 18 mánaða viðræður tókust samningar um mitt ár 1984. Í þessum nýja samningi er gert ráð fyrir að álverið hafi minnstan forgang notenda að raforku en þegar næg orka er fyrir hendi fá þeir forgang að umframorkunni og hækkar þá jafnframt orkuverðið (sjá Metal Bulletin 1984).

Miklir vetrarkuldar 1984/85 ollu verulegum orkuskorti (raforka og elsneyti) í Rúmeníu og var ástandið svo slæmt að sendiráðum erlendra ríkja var lokað og starfsmenn þeirra yfirlágu landið. Til ýmissa aðgerða var gripið, t.d. var götulýsing og önnur útilýsing takmörkuð, lækkað var hámarksafli ljóspera, einungis var heimilt að láta ljós loga í einu herbergi á hverju heimili, notkun heimilistækja stöðvuð, sjónvarpsútsendingar takmarkaðar og veitingastöðum lokað klukkan 9 á kvöldin. Eins og þessi upptalning ber með sér voru mestar takmarkanir á heimilsnotkun (sjá Financial Times Energy Economist, 1985).

5 KOSTNADUR VEGNA RAFORKUSKORTS Á ÍSLANDI

Á síðustu áratugum hefur nokkrum sinnum komið til verulegs raforkuskorts og er skemmt að minnast skortsins árin 1979 til 1982. Á árunum 1970 og 1972 brotnuðu staurar í Búrfellslínu I, sem þá var eina 220 kV línan á Suðurlandi. Hér var um fyrirvaralausar bilanir að ræða og er eðli þeirra því annað en skortsins í byrjun þessa áratugar, sbr. hér að framan. Minniháttar truflanir á raforkuahendingu eiga sér stað einstaka sinnum en flestar þeirra stafa af bilunum í dreifikerfi raforku. Flestar þeirra ná til takmarkaðs fjölda notenda og standa í stuttan tíma.

Við rekstrareftirlíkingar af vinnslukerfi raforku er metinn kostnaður við rekstur kerfisins og er kostnaður vegna raforkuskorts einn þeirra þátta sem þar er tekinn með. Hér er um að ræða orkuskort vegna þess að ekki er fyrir hendi nægjanlegt vatn við virkjanir til að fullnægja eftirspurn. Skortur sem þessi er þekktur með nokkrum fyrirvara og gefst því notendum tími til að búa sig undir hann. Kostnaður vegna skorts sem þessa er því annar en kostnaður vegna fyrirvaralauss skorts eins og rakið er í inngangi.

Lítið hefur verið unnið að athugunum á kostnaði vegna raforkuskorts hér á landi. Þó var unnin ein athugun á vegum Landsvirkjunar á árinu 1971 en niðurstöður hennar hafa ekki verið notaðar í áætlunum. Því má segja að þær tölur sem notaðar hafa verið hér á landi varðandi kostnað vegna raforkuskorts séu fremur óáreiðanlega.

5.1 Athugun Hagverks frá 1971

Í janúar 1971 tók Hagwerk sf. saman greinargerð um kostnað vegna raforkuskorts fyrir Landsvirkjun. Að mörgu leyti er þessi skýrsla ákaflega takmörkuð og ber þess merki að um frumraun á þessu sviði var að ræða. Taka verður því niðurstöður hennar með fyrirvara. Í þessu sambandi má nefna eftirfarandi:

- 1) Byggt er ónákvæmum gögnum.
- 2) Lítið er um útskýringar í skýrslunni og nánast ekkert er fjallað um það hvernig ýmsir stuðlar, sem notaðir eru við reikninga, eru fengnir. Einnig eru sum atriði sem fram koma í töflum hvergi skýrð í texta og er því ekki vitað við hvað er átt.
- 3) Þær aðferðir sem notaðar eru í athuguninni flokkast til hagrænna aðferða en ekkert er fjallað um þessar aðferðir í skýrslunni og engin rök sett fram fyrir þeim. Sem dæmi má nefna að skortur á raforku á

heimilum, til húshitunar og til götulýsingar er metinn jafn raforkuverðinu sem telja verður vafasamt.

Lílegt er að ástæðan fyrir því að athugunin var unnin á sínum tíma hafi verið ástand flutningskerfisins frá Búrfellsvirkjun en frá 1969 og fram á mitt ár 1973 var einungis ein 220 kV lína frá Búrfelli að höfuðborgarsvæðinu. Turnbrot í línumni í nóvember 1970 og sá rafmagnsskortur sem fylgdi því hefur eflaust ýtt undir gerð þessarar athugunar en miðað er við fyrirvaralausa bilun sem getur staðið í marga daga. Líkur á slíkum bilunum eru mjög litlar á höfuðborgarsvæðinu nú en út um land eru þær meiri. Á síðustu árum hefur t.d. komið fyrir að tekið hafi nokkra daga að gera við skemmdir á byggðalinu en líkur á að slikar bilanir valdi skorti í nokkra sólarhringa hafa minnkað mikið með hringtengingu byggðalína sem lauk á árinu 1984. Meginorsök fyrirvaralauss rafmagnsleysis í dag eru því bilanir í aðveitukerfum svo og dreifikerfum til sveita en þær ná til hlutfallslega fárra notenda í einu.

Segja má að athugunin frá 1971 hafi lítið gildi nú vegna þess sem nefnt er hér að framan auk þess sem 15 ár eru liðin síðan hún var gerð og margt hefur breyst á þeim tíma. Til samanburðar við aðrar athuganir verða niðurstöður skýrslunnar nefndar hér og er þá orkunotkun deilt upp í kostnaðartölur (báðir þessir þættir eru gefnir upp í skýrslunni en ekki hlutfallið). Samkvæmt því sem kallast "deficiency-pattern I" er kostnaður á svæði Landsvirkjunar vegna almennrar notkunar ásamt Áburðarverksmiðjunni 8,2 kr/kWh á fyrsta degi og 41 kr/kWh á þritugasta degi og línulegur þar á milli. Ef ÍSAL er einnig tekið með eru samsvarandi tölur 3,8 kr/kWh og 16 kr/kWh. Ekki er gefið upp á hvaða verðlagi þessar tölur eru en þær miðast við áætlaða þjóðarframleiðslu og orkunotkun árið 1971. Lílegt er að þær séu á verðlagi í lok árs 1970.

5.2 Kostnaður sem miðað hefur verið við í rekstrareftirlíkingum

Á árunum 1981 og 1982 var á vegum Landsvirkjunar skrifað nýtt tölvulíkan til notkunar við rekstrareftirlíkingar (sjá Verkfraðistofan Strengur, 1985). Meðal þess sem breytt var frá eldra líkani var kostnaður vegna orkuskorts og var nú miðað við að hann jafngilti tífoldum kostnaði við raforkuvinnslu með gufuafli óháð umfangi hans. Þessi ákvörðun byggði ekki á neinni athugun á raforkuskorti heldur var tekið mið af tölum sem notaðar höfðu verið í eldra líkani en þar var miðað við línulega vaxandi kostnað með umfangi skorts og var nýja gildið nokkurn veginn meðalgildi eldri talna. Starfshópur um endurskoðun á aðferðum við mat á orkugetu vatnsorkuvera og rekstri þeirra ákvað í desember 1983 að breyta þessum gildum á þann veg að orkuskortinum var skipt í two hluta, þ.e. annars vegar skortur þar sem kostnaður er þrefaldur á við vinnslu í gufustöð, að umfangi 88 MW, og hins vegar flokkur með kostnaði sem er tífold vinnsla í gufustöð.

Starfshópurinn taldi að eldri viðmiðun ofmæti kostnað vegna skorts og var því þessi ákvörðun tekin til bráðabirgða uns lokið væri endurskoðun á þessum kostnaði á vegum hópsins. Á verðlagi í september 1983 samsvaraði vinnsla í gufustöð 2,66 kr/kWh og var þá kostnaður vegna orkuskorts 7,98 kr/kWh og 26,6 kr/kWh í þessum tveimur flokkum (tölur úr skýrslu Strengs). Í lok árs 1985 var þessi kostnaður 10,2 kr/kWh og 34,0 kr/kWh.

Í eldra líkani var miðað við línulega vaxandi kostnað með umfangi skorts og í skýrslu Orkustofnunar, "Vinnsla og flutningur raforku til aldamóta. II Orkuver" (sjá Verkfðistofa Helga Sigvaldasonar, 1981), var kostnaðurinn frá 4 einingum og upp í 18 einingar þar sem hver eining er skilgreind á sama hátt og hér að framan. Fyrir þann tíma var lengi miðað við samskonar feril með upphafsgildi í 5 og lokagildi í 21,7, t.d. í skýrslu frá 1972 (sjá Helga Sigvaldason og fl.). Þar er nefnt að í samanburði við athugun Hagverks frá 1971 sé þessi kostnaður nokkuð hár.

Prófessor Vidkunn Hveding innleiddi þennan feril fyrir kostnað vegna raforkuskorts á árinu 1966 er hann kynnti hér á landi notkun rekstrareftirlíkinga á vegum Sameinuðu þjóðanna. Í skýrslu um þessa kynningu, sem kom út á árinu 1967 (sjá NORENO Foundation), er notaður ferill sem þessi og gildi hans ákveðin til bráðabirgða eða eins og segir í skýrslunni (lauslega þýtt):

"Til að halda megi áfram við athugun á aðferðinni hefur þetta vandamál verið lagt til hliðar í bili en fyrir kerfið á Suðvesturlandi er settur fram hugsanlegur ferill "

Frekari upplýsingar liggja ekki fyrir á hvaða grunni kostnaður vegna orkuskorts, sem miðað er við í rekstrareftirlíkingum, er byggður. Líklega hefur prófessor Hveding upphaflega miðað við kostnað sem notaður var í Noregi en eins og fram er komið hefur kostnaðartölum sem notaðar eru við rekstrareftirlíkingar hér á landi verið breytt nokkuð á síðustu árum án þess að athuganir þar að lútandi hafi farið fram. Þá hefur kostnaður alla tíð verið miðaður við olíuverð (þar sem miðað er við gufuafstöð með olíu sem eldsneyti) og getur það verið varhugavert þegar það hækkar mikið umfram annað eins og gerðist á síðasta áratug. Að hluta til var tekið tillit til þessa í fyrrnefndri athugun Orkustofnunar með því að lækka aðeins hlutfallsstuðla. Út frá því sem að framan er sagt má ætla að ekki sé vanþörf á að enduskoða þennan kostnað.

5.3 Reynsla af raforkuskorti

Árið 1904 hófst dreifing raforku hér á landi frá vatnsaflstöð Jóhannesar Reykdal í Hafnarfirði. Á þeim rúmu 80 árum sem liðin eru frá þessum tíma-mótum hefur rafvæðing landsins gengið hratt og öryggi raforkuafhendingar

aukist. Hafa verður þetta í huga þegar dæmin hér á eftir eru skoðuð þar sem þær aðstæður sem um var að ræða þegar til skorts kom eru í mörgum tilvikum ekki fyrir hendi lengur. Mjög ólíklegt er því að svipuð tilvik og fjallað er um í sumum dæmunum komi upp á næstu árum.

Á höfuðborgarsvæðinu hefur á síðustu árum sjaldan komið til rafmagnsleysis sem staðið hefur lengur en í fáeina klukkutíma. Ívær slíkar bilanir áttu sér stað stuttu eftir að Búrfellsvirkjun hóf framleiðslu en þær orsökuðust af bilunum á Búrfellslínu I sem var eina línan frá Búrfelli. Á árunum 1979 til 1982 kom til raforkuskorts hér á landi sem vitað var um með fyrirvara og var honum mætt með að skerða forgangsorku til stóriðjufyrirtækja og með keyrslu eldsneytisstöðva. Kom því ekki til skorts hjá almennum notendum. Bilanir á byggðalínunum hafa valdið raforkuskorti út um land en summar þeirra hafa staðið í nokkra sólarhringa. Á árinu 1984 var lokið hringtengingu byggðalína og við það jókst afhendingaröryggi raforku utan Suðvesturlands. Hér á eftir verður fjallað um nokkur dæmi um raforkuskort sem átt hefur sér stað á undanförnum árum.

Upp úr hádegi sunnudaginn 15. nóvember 1970 datt 220 kV flutningslinan frá Búrfellsvirkjun út og við það féll niður orkuflutningur frá stöðinni. Fyrir bilunina var álag á Búrfellsvirkjun um 111 MW og á Sogstöðvar 40 MW en notkunin var um 76 MW hjá ÍSAL og kaup annarra notenda frá Landsvirkjun voru um 65 MW. Í ljós kom að turn hafði brotnað í fyrrnefndri línu og var gert við hana til bráðabirgða þannig að raforkuflutningur frá Búrfellsvirkjun hófst að nýju 56 klukkustundum síðar eða síðla kvölds þriðjudaginn 17. nóvember. Allar tiltækar varastöðvar voru gangsettar en auk þess var skortinum mætt með að skerða raforkuafhendingu til notenda. Tafla 7, sem fegin er úr greinargerð Guðmundar Helgasonar frá 1970, sýnir hve mikið raforkuafhending frá Landsvirkjun var skert við þessa bilun. Frá áætluðum orkukaupum RARIK hefur verið dregin framleiðsla í Vestmannaeyjum og á Keflavíkurflugvelli sem greind er sér í töflunni.

Skerðing var um 20 % af áætlaðri orkunotkun þessa rúmu two sólarhringa sem um var að ræða. Til almenningsveitna var skert þegar álagið var mest um hádegið og síðdegis auk þess sem spenna var lækkuð. Hjá ÍSAL var engin skerðing frá miðnætti og fram á morgun en til Áburðarverksmiðjunnar var skert allan tímann. Raforkuvinnsla í olíustöðvum var um 2.490 MWh eða um 30 % af áætlaðri notkun þannig að vatnsaflsvirkjanir Landsvirkjunar önnuðu eingöngu um 50 % af álaginu þessa daga. Til að framleiða raforku í olíustöðvum voru notuð 288 tonn af svartolíu og um 636 þúsund lítrar af dísil-olíu. Í desember 1985 kostar þetta olíumagn tæpar 11 milljónir króna. Ekki er til nein áætlun um kostnað vegna skortsins en ef miðað væri við lægri flokkinn, sem notaður er í rekstrareftirlíkingum nú, fást tæpar 18 milljónir króna.

Tafla 7 Raforkuskömmtu Landsvirkjunar vegna bilunar á Búrfellslínu I þann 15. nóvember 1970 (sjá Guðmund Helgason, 1970. R.R.: Rafmagnsveita Reykjavíkur, R.H.: Rafveita Hafnarfjarðar, RARIK: Rafmagnsveitur ríkisins, ÍSAL: Íslenska álfélagið).

Kaupandi	Áætluð orkukaup	Raunveruleg orkukaup	Afhent
	MWh	MWh	%
R.R.	1.979	1.831	93
R.H.	329	307	93
RARIK	707	624	88
Alls almenningsveitur	3.015	2.763	92
ÍSAL	4.238	3.412	81
Áburðarverksmiðjan	823	179	22
Alls stóriðja	5.061	3.591	71
Keflavíkurflugvöllur	339	339	
Vestmannaeyjar, dísilv.	99	99	
Samtals	8.514	6.792	80

Í skýrslu Landsvirkjunar um starfsemina árin 1970-1971 kemur fram að ein afleiðing fyrrnefndrar bilunar hafi verið að byggingu nýrrar línu hafi verið flýtt en í skýrslunni segir:

"Þörfin fyrir að flýta byggingu slíkrar línu varð smám saman augljósari, einkum eftir að stáltturn brotnaði í Búrfellslínu I í nóvember 1970 og vegna útsláttar sömu línu í nóvember 1971 vegna eldinga, og hvöttu viðskiptavinir Landsvirkjunar eindregið til, að bygging viðbótarlínu yrði flýtt. Til að tryggja rekstrar-öryggi Landsvirkjunar og viðskiptavina hennar ákvað stjórн fyrirtækisins því í samráði við eigendur, að viðbótarlína yrði byggð þegar á árinu 1972 og stefnt yrði að því, að hún kæmist í notkun fyrir árslok 1972."

Hér er því gott dæmi um óbeinan kostnað við raforkuskort, en hann er kostnaður við að flýta Búrfellslínu II að frádregnum sparnaði vegna aukins öryggis.

Áður en nýja línan frá Búrfelli komst í rekstur brotnaði turn í Búrfellslínu I við Hvítá en það gerðist 21. desember 1972. Vegna þessarar bilunar

varð Landsvirkjun að skammta rafmagn næstu þrjá sólarhringa. Samkvæmt greinargerð Guðmundar Helgasonar frá 1973 var afhending raforku skert eins og sýnt er í töflu 8. Þar kemur ekki fram skerðing á Keflavíkurflugvöll en engin raforkuvinnsla var möguleg í Vestmannaeyjum eins og við bilunina 1970 þar sem stöðin var ekki tiltæk. Hér er áætlað að raforkuvinnsla í olíustöðvum á Keflavíkurflugvelli hafi numið um 550 MWh (áætluð út frá meðalnotkun í desember 1972) og er þessi tala dregin frá tölum fyrir RARIK um áætluð raforkukaup.

Tafla 8 Raforkuskömmtu Landsvirkjunar vegna bilunar á Búrfells línu I þann 21. desember 1972 (sjá Guðmund Helgason, 1973).

Kaupandi	Áætluð orkukaup MWh	Raunveruleg orkukaup MWh	Afhent %
R.R.	3.364	2.398	71
R.H.	430	304	71
RARIK	484	430	89
Alls almenningsveitur	4.278	3.132	73
ÍSAL	9.372	5.548	59
Áburðarverksmiðjan	1.215	106	9
Alls stóriðja	10.587	5.654	53
Keflavíkurflugvöllur	550	550	
Samtals	15.415	9.336	61

Með því að bera saman tvær síðustu töflur sést að skerðingin var mun meiri við bilunina 1972 heldur en við þá fyrri og má líklega rekja það til þess að notkunin hafði aukist um 21 % á milli þessara ára auk þess sem seinni bilunin stóð lengur yfir. Raforka til almenningsveitna var skert yfir daginn og spenna var lækkuð, til ÍSAL var mest skert yfir daginn en minna að nótunni og skert var eins mikið og mögulegt var hjá Áburðarverksmiðjunni. Vinnsla í olíustöðvum hjá Landsvirkjun var 3.012 MWh og á Keflavíkurflugvelli um 550 MWh eða alls um 23 % af þörfinni og hafa því vatnsafslsstöðvar Landsvirkjunar annað um 40 % af markaðnum. Í olíustöðvum voru notuð um 406 tonn af svartoliú og um 880 þúsund lítrar af gasoliú sem miðað við oliuverð í desember 1985 kosta um 15 Mkr. Ef skortur er verðlagður eins og hér að framan vegna bilunarinnar 1970 fæst kostnaður sem er um 60 Mkr.

Kostnaður vegna þessara tveggja bilana á Búrfellslinu gæti því numið um 105 Mkr á verðlagi í desember 1985 en hafa verður í huga að hér er um mjög ónákvæma tölu að ræða þar sem kostnaður vegna skorts er nánast ágiskun. Til samanburðar má nefna að kostnaður við Hrauneyjafosslínu var um 240 Mkr á verðlagi í september 1982 (sjá skýrslu Landsvirkjunar um starfsemina árið 1982). Með að framreikna þennan kostnað með vísitölu byggingarkostnaðar til verðlags í desember 1985 fást um 670 Mkr.

Í desember 1973 kom til raforkuskorts á Höfn í Hornafirði sem vakti mikla athygli hér innanlands. Höfn og svæðið þar í kring var þá sérstakt orkuveitusvæði einangrað frá öðrum svæðum og sá Smyrlabjargavirkjun ásamt dísilstöðvum því fyrir raforku. Lón virkjunarnar tæmdist 10. desember og lagðist niður vinnsla þar og urðu dísilvélar staðarins þá einar að anna eftirspurninni sem var mun meiri en afl þeirra. Því varð að taka upp skömmtu og fengu notendur raforku í tæpa klukkustund á þriggja tíma fresti. Í rafhituðum húsum kólnaði fljótt og fór fólk úr húsum sínum þess vegna og gisti margir á hótelri staðarins. Einnig flúðu nokkrir Höfn en 14. desember fékkst undanþága frá verkfalli flugfreyja, sem þá stóð, til að sækja fólk til Hornafjarðar. Nokkrum dögum síðar kom 1.200 kW dísilstöð, sem Rafmagnsveitur ríkisins fluttu frá Seyðisfirði, en einnig höfðu frystihúsin fengið dísilstöð. Skortur var því úr sögunni í bili en aðfaranótt jóladags bilaði vélin frá Seyðisfirði og kom þá aftur til skorts. Var þá gripið til þess ráðs að senda rannsóknaskipið Bjarna Sæmundsson til Hafnar, sem kom þangað 29. desember, og nota ljósavélar þess (1.000 kW) til raforkuframleiðslu fyrir bænn (sjá Morgunblaðið, 1973).

Á tímabilinu 17. til 23. desember 1973 kom til rafmagnsskömmunar vegna rennsliserfiðleika í Þjórsá og Sogi og samkvæmt skýrslu Landsvirkjunar um starfsemina nam þessi skerðing 5,4 GWh eða um 15,4 % af áætlaðri raforkusölu það tímabil. Undirritaður hefur ekki undir höndum frekari upplýsingar um þessa skömmtu. Á árinu 1974 var raforkusala skert í upphafi og við lok árs af sömu sökum, alls um 8,6 GWh (sjá skýrslu Landsvirkjunar um starfsemina 1974) og á árinu 1975 var skerðing af þessum sökum 2,8 GWh. Á næstu árum kom ekki til skerðingar vegna slíkra erfiðleika.

Þau dæmi sem hér hafa verið nefnd eru öll um fyrirvaralausan skort nema dæmið frá Hornafirði. Gott dæmi um skort sem vitað er um með nokkrum fyrirvara er frá árunum 1979 til 1982 eða á árunum áður en Hrauneyjafossvirkjun kom í rekstur en fyrsta vél virkjunarnar var ræst í lok árs 1981. Orsök þessa skorts var m.a. að samhliða fullnýttu kerfi komu slæm vatnsár. Einnig hafði orkugeta kerfisins fyrir Hrauneyjafossvirkjun verið ofmetin þar sem leki og ísskolu reyndist meiri en ráð var fyrir gert og fallhæð Búrfellsvirkjunar hafði verið ofmetin. Ef þessar breytingar á forsendum rekstrareftirlíkinga hefðu verið komnar til þegar ákvörðun um tímasetningu Hrauneyjafossvirkjunar var tekin er líklegt að hún hefði fyr hafið rekstur. Á sínum tíma deildu menn einnig um það hvort rétt hefði

verið staðið að rekstri kerfisins og hvort skortur hefði þurft að vera eins mikill og raun bar vitni. Ekki skal lagður neinn dómur á þetta hér en mikilvægt er að rekstur kerfisins byggi á öllum þeim upplýsingum sem fyrir liggja og að aðferðir við mat á rekstrinum fram í tímann séu eins góðar og mögulegt er.

Skerðingin hófst haustið 1979 og var raforka skert þrjá veturnar í röð eins og sýnt er í töflu 9 (sjá skýrslur Landsvirkjunar um starfsemina auk breytinga frá Landsvirkjun).

Tafla 9 Skerðing á forgangsorkusölu Landsvirkjunar og vinnsla í olíustöðvum vegna vatnsskorts árin 1979 til 1982 (sjá skýrslur Landsvirkjunar um starfsemina).

Ár	ÍSAL	Járnblandi-	Áburðar-	Vinnsla í olíustöðvum
		verksmiðjan	verksmiðjan	Dreifiveitur Landsvirkjun
	GWh	GWh	GWh	GWh
1979	19,5	0,0	12,2	5,5
1980	57,1	3,2	26,0	16,4
1981	107,1	45,0	35,5	34,3 8,2
1982	5,1	3,8	10,5	1,9 0,2
Samtals	188,8	52,0	84,2	58,1 8,4

Um þrír fjórðu skerðingarinnar komu til veturnar 1980/81. Í upphafi árs 1981 var gert samkomulag við Járnblandiverksmiðjuna um endurkaup á orku frá henni og var alls um að ræða 30,3 GWh sem eru innifaldar í tölunum í töflu 9. Almenningsveitur greiddu fyrir þessa orku alls 9,8 Mkr (32 aurar/kWh) sem framreknað með vísitölu byggingarkostnaðar til verðlags í desember 1985 verður um 53 Mkr (1,7 kr/kWh). Hafa verður í huga þegar þessar tölur eru skoðaðar að samkomulag um endurkaup frá stóriðjufyrirtækjum er háð verði sem fæst fyrir afurðir fyrirtækjanna á hverjum tíma. Við góðar markaðsaðstæður væri því líklega dýrara, en þessar tölur segja til um, að kaupa orkuna til baka frá verksmiðjunni. Auk þess mættu almenningsveitur skertum orkukaupum frá Landsvirkjun með vinnslu í olíustöðvum og kom því ekki til skerðingar hjá almenningi.

Ef skorturinn árin 1979 til 1982 er metinn á sama hátt og í rekstrareftirlíkingum fæst að kostnaður við raforkuvinnslu með olíu var um 250 Mkr og vegna skorts um 3.300 Mkr og er þá miðað við verðlag í desember 1985. Kostnaður af völdum skortsins er vafalaust ofmetinn, t.d. var raforkuafhending til stóriðju skert fremur en að keyra olíustöðvar, en ef hann er

metinn eins og vinnsla í dísilstöð fást um 1.200 Mkr. Þessar tvær tölur miða við að kostnaður á orkueiningu vegna skorts sé 10,2 kr/kWh og 3,7 kr/kWh en eins og fram kom hér að framan var orkan keypt til baka af Járnbendiverksmiðjunni á 1,7 kr/kWh og ef þessi tala er notuð verður kostnaður vegna skortsins 550 Mkr.

Stofnkostnaður Hrauneyjafossvirkjunar, framreiknaður til verðlags í desember 1985 með vísitölu byggingarkostnaðar, er til samanburðar um 5.800 Mkr (sjá Landsvirkjun, 1984). Ef kostnaður vegna skorts er metinn jafn því verði sem Járnbendiverksmiðjunni var greitt fyrir endurkaup á orkunni þá verður hann ásamt vinnslu í oliustöðvum veturinn 1980/81 álika mikill og árlegur kostnaður Hrauneyjafossvirkjunar við 8 % vexti (annuitet). Auk þess varð Landsvirkjun af tekjum vegna tapaðrar sölu á afgangsorku.

Litlar upplýsingar liggja fyrir um fyrirvaralaust rafmagnsleysi sem stendur skamma stund þar sem lítið hefur verið unnið úr gögnum einstakra rafveitna um bilanir. Helstu aðgengilegu upplýsingarnar um fyrirvaralaust rafmagnsleysi eru frá Landsvirkjun varðandi straumleysi á Geithálsi (sjá erindi Þórðar Guðmundssonar á vetrarfundi SÍR og SÍH 1984 og erindi Guðmundar Helgasonar á ársfundi Landsvirkjunar 1985). Meðaltíðni straumleysis á Geithálsi var 2,3 á ári tímabilið 1969 til 1976 og 0,6 tímabilið 1977 til 1984. Meðallengd straumleysis á ári fyrir allt tímabilið var 47 mínútur. Inni í þessum tölum er einungis straumleysi og er skerðing því ekki meðtalinn. Einnig er hér um að ræða straumleysi vegna raforkuvinnslu og flutnings en ekki vegna bilana í dreifikerfi raforku eða á byggðalínu.

Einnig má nefna nýlegt dæmi frá Rafmagnsveitum ríkisins en mikið var um bilanir á línukerfinu á Austurlandi 13.-25. janúar 1986. Dísilvélar voru notaðar í um 30 tíma á Fáskrúðsfirði og í um 25 tíma á Stöðvarfirði. Á báðum þessum stöðum önnuðu dísilvélarnar einungis um helming álagsins yfir hádaginn. Á Bakkafirði voru dísilvélar notaðar í um einn sólarhring auk þess sem rafmagn var skammtað þar. Þriðjudaginn 21. janúar skall á mikið ísingarveður í Hornafirði, Lóni, Álftafirði og Berufirði og fylgdu því bilanir á línum. Notendur voru straumlausir mis lengi en lengst í rúma 6 sólarhringa (sjá greinargerð Erlings Garðars Jónssonar).

5.4 Mat út frá einföldum hagrænum aðferðum

Í kafla 3 hér að framan var fjallað um ýmsar hagrænar aðferðir sem notaðar hafa verið til að meta kostnað vegna orkuskorts. Einfaldasta aðferðin er að deila í verga þjóðarframleiðslu með raforkunotkun eins og sýnt er í jöfnu 3 hér að framan. Í töflu 10 hefur þetta verið reiknað fyrir Ísland, þó með þeim breytingum að verg landsframleiðsla er notuð í stað þjóðarframleiðslu. Tölur um landsframleiðsla eru fengnar úr riti þjóðhagsstofnunar frá 1985 (þjóðhagsreikningar 1973-1984), en varðandi orkunotkun

vísast í Orkumál (Orkustofnun, 1985).

Þegar þessar tölur eru skoðaðar verður að hafa í huga að hér er um mjög gróft mat að ræða eins og fram kemur í kafla 3.2. Í Bandaríkjadalum hefur hlutfallið farið lækkandi og eru ástæður þess m.a. að landsframleiðsla á föstu verðlagi fór lækkandi á tímabilinu 1981 til 1983, Bandaríkjadalur hefur hækkað meira en önnur mynt á þessu tímabili, raforka hefur annað stærri hluta orkumarðarins en áður (aukin rafhitun) og raforkunotkun hefur aukist verulega.

Tafla 10 Hlutfall vergrar landsframleiðslu og raforkuvinnslu á Íslandi.

Tölur á verðlagi hvers árs og umreiknað er með meðalgengi yfir í Bandaríkjadalí.

Ár	Verg landsframleiðsla Mkr	Raforkuvinnsla GWh	Landsf./raforkuv. kr/kWh	USD/kWh
1980	15.500	3.143	4,93	1,03
1981	24.000	3.258	7,35	1,01
1982	36.900	3.574	10,3	0,82
1983	62.700	3.766	16,6	0,66
1984	81.600*	3.914	20,8	0,66

* Bráðabirgðatala

Ein aðferð, sem nefnd var hér að framan, til að meta kostnað vegna raforkuskorts á heimilum er að miða við laun. Þá vaknar sú spurning við hvaða laun skal miða þar sem þau eru mismunandi milli einstaklinga, ekki er vitað hve stór hluti þeirra fer í beina skatta eða hve margir vinnandi eru í heimili og hver sé orkunotkun á einstaka heimilum ef nota á hana sem viðmiðun. Mjög erfitt er því að nota þetta mat auk þess sem það gefur ekki til kynna hve kostnaður er háður tíma eða lengd bilunar. Í töflu 11 eru sýnd nokkur dæmi og er þar miðað við að meðaltal vinnandi á heimili sé 1,5 og að orkunotkun sé 2 kWh/klst. Það sem kallað er meðallaun (á klukkustund) í töflunni er áætlað með að deila 2.000 stundum í meðallaun á ársverk.

Með því að bera saman niðurstöður í töflum 10 og 11 má ætla að kostnaður vegna skorts á heimilum sé ofmetinn með þessari aðferð. Þó verður að hafa í huga að aðferðin sem notuð er í töflu 11 á fremur við um fyrirvaralausan skort, en kostnaður er meiri við hann en skort sem vitað er um með fyrirvara sem reikningar í töflu 10 eiga frekar við. Þeir þættir sem ganga inn í þessa reikninga eru mjög óvissir auk þess sem ekki er tekið tillit til beinna skatta. Segja má því að nánast ómögulegt sé að nota þessa aðferð

nema með því að gera skoðanakönnun til að meta þær stærðir sem um er að ræða.

Tafla 11 Nokkur dæmi þar sem kostnaður vegna raforkuskorts er áætlaður út frá meðallaunum á árinu 1983 (gögn úr skýrslu Hagstofu Íslands frá 1984 og Framkvæmdastofnunar ríkisins frá 1985, verðlag 1983).

	Laun kr/klst	Kostnaður við skort kr/kWh
Dagvinna, verkamaður	82	61
Dagvinna, verkakona	71	53
Dagvinna, iðnaðarmaður	110	81
Meðallaun	140	100

Norðmenn notuðu virðisauka til að áætla meðalkostnað vegna skorts sem vitað er um með fyrirvara, en að vísu gerðu þeir ráð fyrir að kostnaður væri háður umfangi skortsins, þó þannig að fyr nefnt meðaltal fengist (sjá kafla 3.1 hér að framan). Auðvelt er að áætla þessi gildi fyrir stóriðju-fyrirtæki hér á landi og hefur það verið gert í töflum 12 og 13. Í framtíðinni, þegar raforkunotkun verður greind eftir notkunarflokkum, ætti að vera hægt að nota þessa aðferð á margar atvinnugreinar. Í viðauka 1 er sýndur fjöldi fyrirtækja í einstaka atvinnugrein.

Tafla 12 Virðisauki í hlutfalli við raforkuvinnslu hjá Álverinu í Straumsvík (gögn fengin úr ársskýrslum fyrirtækisins og frá Landsvirkjun).

Ár	Sölutekjur Mkr	Hráefni Mkr	Raforkunotkun GWh	Raforkunotkun (Sala-hráefni)/raforka kr/kWh	Raforkunotkun (Sala-hráefni)/raforka USD/kWh
1980	623	269	1.225	0,29	0,060
1981	726	399	1.215	0,27	0,037
1982	1.139	605	1.315	0,41	0,032
1983	2.736	1.221	1.308	1,16	0,046
1984	3.558	1.508	1.359	1,51	0,048

Tafla 13 Virðisauki í hlutfalli við raforkuvinnslu hjá Járnblandifélaginu á Grundartanga (gögn fengin úr ársskýrslum fyrirtækisins og frá Landsvirkjun).

Ár	Solutekjur	Hráefni	Raforkunotkun (Sala-hráefni)/raforka		
			GWh	kr/kWh	USD/kWh
Mkr	Mkr				
1980	84	35	271	0,18	0,037
1981	148	67	321	0,25	0,035
1982	255	121	402	0,33	0,026
1983	663	266	482	0,82	0,033
1984	1.226	366	568	1,51	0,048

Í þessum töflum er hlutfall virðisauka og raforkunotkunar bæði sýnt í kr/kWh og USD/kWh þar sem oft er miðað við Bandaríkjadalir þegar fjallað er um raforkuverð til stóriðju auk þess sem þá er hentugt að bera tölurnar saman við niðurstöður frá öðrum þjóðum. Til að yfirfæra krónur í Bandaríkjadalir er notað meðalgengi hvers árs.

6 SAMANTEKT

Hér að framan hafa verið sýndar niðurstöður athugana á kostnaði af völdum raforkuskorts. Ýmsir erfiðleikar koma í ljós þegar bera á saman þessar niðurstöður og í því sambandi má nefna eftirfarandi:

- Tölur um kostnað vegna raforkuskorts eru ekki fullkomlega sambærilegar milli þjóða þar sem uppbygging þjóðfélagsins, velmegun, verðlag og fleira hefur áhrif á kostnaðinn. Ætla má að tölur um einstakar atvinnugreinar séu fremur sambærilegar milli þjóða en heildartölur.
- Athuganir eru unnar á mismunandi tínum og eru því á mismunandi verðlagi. Til að framrekna á sambærilegt verðlag verður að nota vísitölur og getur það valdið skekkjum. Umreikningur yfir í sameiginlegan gjaldmiðil veldur einnig erfiðleikum þar sem miklar sveiflur geta verið í gengi gjaldmiðla. Auk þess má gera ráð fyrir að kostnaður vegna orkuskorts sé ekki óháður tíma vegna breyttrar notkunar orkunnar og tæknipróunar (t.d. tölvuvæðing í atvinnulífinu).
- Við gerð skoðanakannana er notendum yfirleitt skipt niður í flokka og í sumum hagrænum athugunum er einnig um síða skiptingu að ræða. Oft eru flokkar skilgreindir á mismunandi vegu milli athugana en einnig geta þeir verið mismunandi upp byggðir þó svo þeir taki til samskonar nota.
- Ef vitað er um skort með fyrirvara er kostnaður vegna hans í flestum tilvikum minni en ef um fyrirvaralausan skort er að ræða. Niðurstöður athugana um fyrirvaralausan skort eru því ekki sambærilegar við þær sem miða við skort sem gerir boð á undan sér.

Í þessum kafla eru tölur um kostnað vegna raforkuskorts sem nefndar hafa verið hér að framan, framreknaðar til verðlags ársins 1980 og yfirfærðar í Bandaríkjadalí.

6.1 Samanburður á niðurstöðum mismunandi skoðanakannana

Þær skoðanakannanir sem fjallað var um hér að framan eru allar gerðar á svipuðum tíma og tvær þeirra eru miðaðar við verðlag ársins 1980. Athuganir Ontario Hydro voru birtar á árunum 1976 til 1979 en það fyrirtæki hefur sjálft umreiknað þær yfir á verðlag ársins 1980. Finnska athugunin er á verðlagi ársins 1978 en í skýrslu Avbrottsvärderings-kommittén er hún umreiknuð yfir í særskar krónur á verðlagi 1. ársfjórðungs 1980. Ekki er því þörf á að umreikna þessar athuganir á annað verðlag

heldur þarf eingöngu að yfirlægða þær í sama gjaldmiðil.

Á mynd 8 er sýndur samanburður mismunandi kannana. Kostnaður er umreiknunar aður í Bandaríkjadal með meðalgengi gjaldmiðla á fyrsta ársfjórðungi 1980 miðað við íslensku krónuna.

Í landbúnaði er könnun Ontario Hydro sleppt þar sem hún náði einungis til stórbúa og kostnaður af völdum orkuskorts var samkvæmt henni margfalt meiri en í Svíþjóð og Finnlandi. Það sem kallað er skrifstofur/þjónusta er skilgreint nokkuð mismunandi. Í finnsku athuguninni er floknum viðskipti og opinber þjónusta skipt í þrjá þætti og telja má tvo þeirra til þjónustu ("Service" og "Public consumption") og eru þeir báðir sýndir á myndinni. Fyrir Svíþjóð er bæði sýnt það sem kallað var hér að framan þjónusta og einnig skrifstofur og er kostnaður hærri fyrir þær. Hjá Ontario Hydro er um skrifstofur að ræða. Samkvæmt þessum athugunum er kostnaður vegna raforkuskorts einna mestur á skrifstofum og því næst í smáiðnaði.

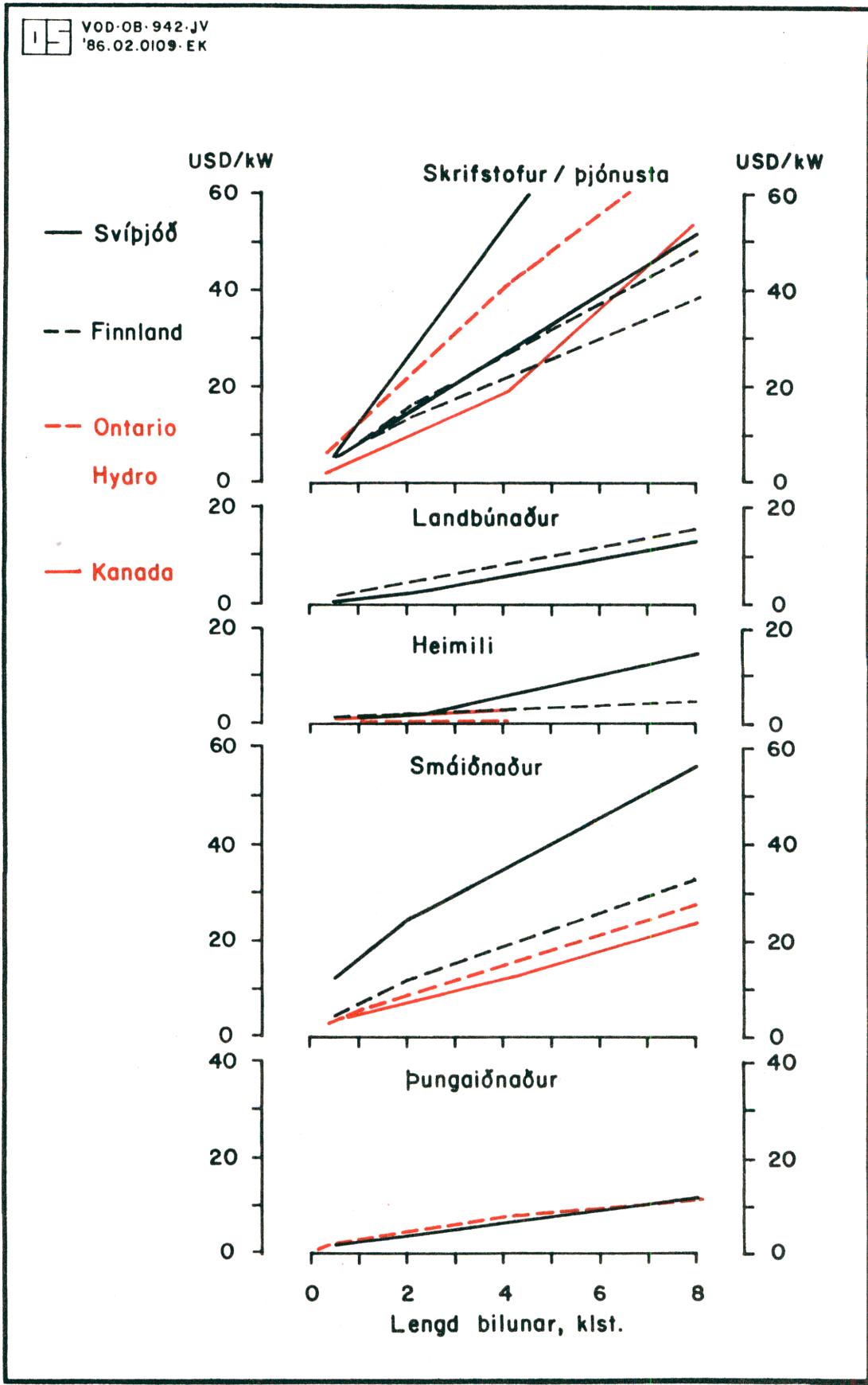
Sviðar hafa einnig borið athugun frá 1981 saman við eldri könnun frá 1969 framreiðnaða til verðlags 1980. Í ljós kom að í nýrri athuguninni er kostnaður vegna raforkuskorts að meðaltali um tvöfalt hærri en í þeirri eldri miðað við fast verðlag. Af einstökum flokkum er mest aukning í kostnaði á skrifstofum en kostnaður í landbúnaði og á heimilum er heldur lægri í nýrri athuguninni en þeirri eldri. Samanburður fyrir einstaka flokka er sýndur á mynd 9.

6.2 Samanburður á athugunum

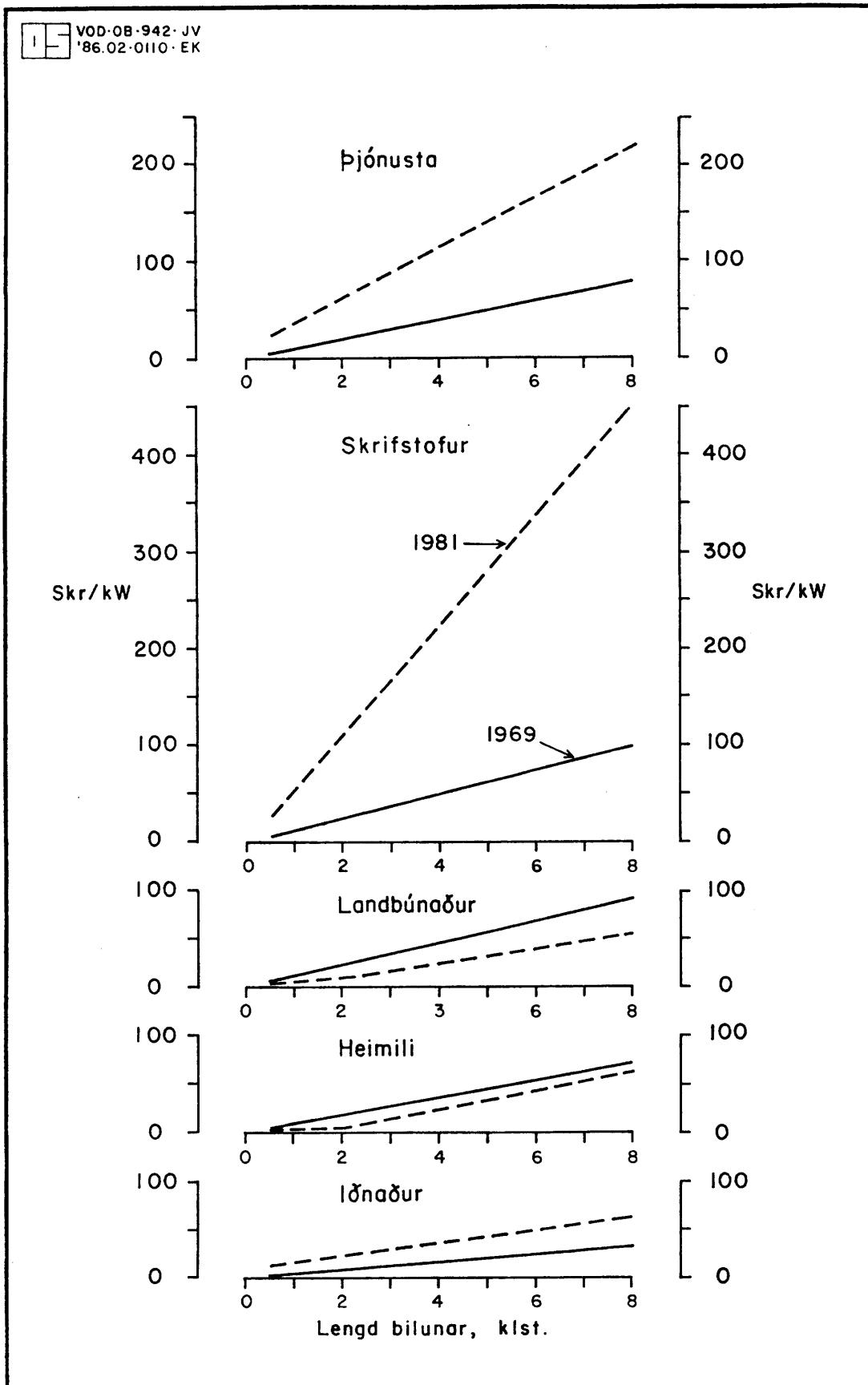
Í töflu 14 hafa verið teknar saman niðurstöður þeirra athugana sem fjallað er um hér að framan. Til samanburðar eru ekki bara sýndar hagrænu athuganirnar heldur einnig niðurstöður skoðanakannana fyrir 8 klukkustunda bilun.

Hafa verður í huga þegar tafla 14 er skoðuð að við umreikning á tölum yfir á verðlag 1980 og í Bandaríkjadal meðalgengi 1. ársfjórðungs þess árs til að yfirlægða tölur í Bandaríkjadal.

I-
VOD-OB-942-JV
'86.02.0109-EK



Mynd 8 Samanburður á mismunandi skoðanakönnunum. Kostnaður umreiknaður í Bandaríkjadalí á verðlagi 1. ársfjórðungs 1980.



Mynd 9 Samanburður á tveimur athugunum sem gerðar hafa verið í Svíþjóð.
Kostnaður í sænskum krónum umreiknaður á verðlag 1. ársfjórðungs
1980.

Tafla 14 Kostnaður vegna raforkuskorts samkvæmt ýmsum athugunum umreiknæður í Bandaríkjadalí á verðlagi 1. ársfjórðungs 1980.

- a) Skoðanakannanir og raunveruleg myrkun.
b) Hagrænar athuganir.

a)

A T H U G U N	Kostnaður USD/kWh
FYRIRVARALAUS SKORTUR Í 8 KLUKKUSTUNDIR	
Stórir notendur, Svíþjóð:	0,28 - 4,0
Finnland:	0,21 - 4,2
Ontario Hydro:	1,4
Smáiðnaður, Svíþjóð:	7,0
Finnland:	4,2
Ontario Hydro:	3,5
Canadian Electrical Association:	3,0
Þjónusta, Svíþjóð/skrifstofur:	6,5/13,4
Finnland:	4,9 - 6,1
Ontario Hydro/skrifstofur:	1,9 - 10,5/8,7
Canadian Electrical Association:	6,8
Landbúnaður, Svíþjóð:	1,7
Finnland:	1,9
Ontario Hydro:	38
Heimili, Svíþjóð:	1,9
Finnland:	0,60
Ontario Hydro (4 klst.):	0,015
Canadian Electrical Association (4 klst.):	0,68
Alls, Svíþjóð:	3,3
Finnland:	1,9
RAUNVERULEG REYNSLA AF MYRKVUN	
New York 1977:	5,7
Svíþjóð 1983:	1,3 - 1,9

b)

A T H U G U N	Kostnaður USD/kWh
NOREGUR, SKORTUR SEM VITAD ER UM MEÐ FYRIRVARA	
Orkufrekur iðnaður, alls, jöfn skerðing:	0,027 - 0,088
áliðnaður:	0,027 - 0,053
Almenn notkun, jöfn skerðing (0-50%):	0,041 - 0,48
Alls, jöfn skerðing:	0,040 - 0,37
ef fyrst er skert þar sem það kostar minnst:	0,031 - 0,37
athugun frá 1969:	0,062 - 0,48
ÝMSAR HAGRÆNAR ATHUGANIR	
Bandaríkin, Shipley:	1,6
aðferð Shipley með gögnum 1980:	1,1
Teleson, USA/New York fylki:	1,9/3,0
Frakkland, Lundberg:	2,2
Bretland, Lundberg, iðnaður:	1,7 - 5,2
þjónusta:	2,3 - 2,9
heimili:	1,5 - 4,4
ÍSLAND	
Hagverk, án ÍSAL/með ÍSAL:	0,32 - 1,6/0,15 - 0,63
Rekstrareftirlíkingar, 1981:	0,35 - 1,6
1985:	0,26 - 0,88
Landsframleiðsla 1980:	1,0
Heimili, meðallaun:	3,4 - 6,5
Virðisauki, ÍSAL:	0,060
Járnbendiverksmiðja:	0,037
Endurkaup frá Járnbendiverksmiðjunni 1981	0,050

Varðandi reikninga í töflu 14 skal eftirfarandi tekið fram:

- Hér að framan var kostnaður sem fékkst frá skoðanakönnunum miðaður við aflþörf, en flestar aðrar athuganir miða við orku sem ekki er afhent. Til að samræmi sé á milli talna eru gildi skoðanakannana umreiknuð í kostnað á kWh. Gert er ráð fyrir jöfnu á lagi, þ.e. fyrir 8 klukkustunda bilun er deilt í tölur um kostnað á kW með 8.
- Tölur frá Bandaríkjum, Bretlandi, Frakklandi og úr athugun Hagverks eru komnar til ára sinna og veldur því umreikningur með vísitölu verðlags mikilli óvissu. Með því að umreikna niðurstöður Shipley, sem gilda fyrir árið 1967, með vísitölu heildverslunar í Bandaríkjum fást 1,6 USD/kWh, en með því að nota sömu aðferð og hann en á gögn frá 1980 fást 1,1 USD/kWh (byggt á gögnum úr skýrslu Energy Information Administration frá 1985). Veruleg skekkja getur því verið í tolum sem umreiknaðar eru með vísitölu verðlags. Aðrar athuganir byggja á gögnum fyrir árið 1980 eða næstu ár á undan eða á eftir og veldur þetta atriði því ekki verulegri skekkju í niðurstöðum þeirra.
- Fyrir Frakkland og Bretland voru niðurstöður fyrst umreiknaðar yfir í Bandaríkjadalí og síðan færðar til verðlags ársins 1980 með vísitölu heildverslunar í Bandaríkjum. Þessi háttur var hafður á þar sem ekki voru fyrir hendi vísitolur frá þessum þjóðum. Auk þess var gert ráð fyrir að tölur í grein Lundbergs ættu við árið 1970, en það kom ekki fram í grein hans.
- Niðurstöður Hagverks eru framreiknaðar með vísitölu byggingarkostnaðar. Kostnaður sem miðað er við í rekstrareftirlíkingum er umreiknaður til verðlags á 1. ársfjórðungi 1980 með verði á svartolíu. Laun eru færð til sama verðlags með vísitölu kauptaxta.

Þegar tölur í töflu 14 eru bornar saman sést að niðurstaða skoðanakannana er að jafnaði nokkru hærri en niðurstöður hagrænna athugana. Þetta er eðlilegt þar sem inn í hagrænar athuganir koma ekki þættir eins og skemmdir á hráefni og tækjum og má því segja að þær athuganir eigi frekar við um skort sem vitað er um með fyrirvara. Sem dæmi má nefna að í athugun CEA var spurt hve mikið minni kostnaður vegna skorts yrði ef vitað væri um hann með fyrirvara og kom í ljós að um verulega lækkun var að ræða. Í smá-iðnaði átti þetta við um 3/4 notenda og töldu þeir sig geta minnkað kostnað að meðaltali um 68 % ef þeir fengju þriggja daga viðvörum.

Í athugun Norðmanna er verið að meta kostnað vegna fyrirsjáanlegs skorts. Skerðingu er því hægt að skipuleggja og notendur geta þá hagað starfsemi sinni þannig að þeir verði fyrir sem minnstu tjóni. Skortur sem þessi á sér m.a. stað þegar ekki er fyrir hendi nægjanlegt vatn við virkjanir til raforkuframleiðslu. Hér er því um að ræða samskonar tölur og notaðar eru hér á landi í rekstrareftirlíkingum. Ef norsku tölurnar eru bornar saman

við þau gildi sem notuð hafa verið í rekstrareftirlíkingum hér á landi kemur í ljós að okkar tölur eru nokkru hærri.

Gildi fyrir stóriðju á Íslandi sem hér hafa verið sett fram eru svipuð og í Noregi eins og við var að búast þar sem samskonar aðferðir eru notaðar. Hér á landi eru þessi gildi mun lægri en þau sem notuð eru í rekstrar-eftirlíkingum og leiðir þetta hugann að því hvernig best sé að standa að skerðingu. Er t.d. mögulegt að skerða stóriðju fyrst með því að kaupa orkuna til baka frá henni eins og gert var á árinu 1981 hjá Járnbendi-verksmiðjunni. Þeir samningar sem í gildi eru kveða ekki á um slíkt en ef þetta væri hægt yrði verðið að öllum líkindum háð markaðsaðstæðum fyrir framleiðsluvörur stóriðjunnar á hverjum tíma. Eins og fram hefur komið hafa Norðmenn bæði reiknað út tilvik þar sem allir eru skertir jafnt og einnig þegar fyrst er skert þar sem það veldur minnstum kostnaði og er nokkur munur á þessum tveimur aðferðum eins og fram kemur í töflunni. Í rekstrareftirlíkingum miða þeir við jafna skerðingu.

HEIMILDIR

Bækur:

H. Khatib, 1978: "Economics of Reliability in Electrical Power Systems". Technicopy Limited.

M. Munashsinghe, 1979: "The Economics of Power System Reliability and Planning. Theory and Case Study". The Johns Hopkins University Press.

Skýrslur:

Avbrottsvärderingskommitten, 1981: "Värdering av elavbrott". Svenska Elverksföreningen, remissutgaava 1981-05-04.

R. Billinton, G. Wacker and E. Wojczynski, 1982: "Customer Damage Resulting from Electric Service Interruption". Canadian Electrical Association, RD Project 907 U 131.

I. Brunborg, M. Raaholt, C. Tank-Nielsen og J. Vig jr., 1981: "Teknisk vedlegg til sluttrapport fra "Avsavnsverdien for elektrisk energi"". Gruppen for ressursstudier, GRS 410.

Department of Energy, Mines and Resources. Government of Canada, 1983: "Electric Power in Canada 1982".

Energy Information Administration, 1985: "Annual Energy Review 1984". DOE/EIA-0384(84).

Erling Garðar Jónasson, 1986: "Yfirlitsskýrsla um bilanir 13.-25. janúar 1986". Rafmagnsveitir ríkisins.

Federal Power Commission, 1976: "The Adequacy of Future Electric Power Supply: Problems and Policies". Technical Advisory Committee on the Inadequate Electric Power Supply.

The Finish Power Producers Coordinating Council, 1979: "Report on the Value of Non-Distributed Energy. English summary of report 1/79". Planning Committee STYV-S.

Framkvæmdastofnun ríkisins, 1985: "Vinnumarkaðurinn 1983. Mannafli, meðallaun, atvinnupátttaka". Áætlanadeild.

Guðmundur Helgason, 1973: "Rafmagnsskömmtun og olíunotkun vegna turnbrots í Búrfellslínu 21. desember 1972". Greinargerð, Landsvirkjun rekstrardeild.

Guðmundur Helgason, 1970: "Bilun 220 kV Búrfellslínu". Greinargerð, Landsvirkjun rekstrardeild.

Hagstofa Íslands, 1984: "Tölfræðihandbók 1984". Hagskýrslur Íslands II,82.

Hagverk sf, 1971: "A Study on Cost of Energy Deficiency". Landsvirkjun.

Helgi Sigvaldason and Gunnar Ámundason, 1972: "Revision and Sensitivity Analysis on Power Production Capability". Landsvirkjun.

Íslenska álfélagið hf.: Ársskýrslur.

Íslenska járnblendifélagið hf.: Ársskýrslur.

T. Jarlset, 1983: "Virkningen av de nye avsavnsverdiene i det norske kraftproduksjonssystemet". NVE, EE 19/83.

Landsvirkjun, 1984: "Sundurliðun á ýmsum liðum ársreiknings 1983".

Landsvirkjun: Skýrslur um starfsemina.

L. Lundberg, 1972: "Report of the Group of Experts on Quality of Service from the Consumers Point of View". UNIPEDE, Report 60/D.1.

L. C. Markel, 1976: "Analysis of Electric Power System Reliability". System Control Inc. Prepared for Energy Assessments Division of the California Energy Resources Conservation and Development Commission.

NORDEL, 1985: "Aarsberattelse 1984".

NORDELS Planleggingsutvalg, 1985: "Beregning av Nytteverdier for samkjöringsforbindelser. En studie av det nordiske elkraftsystem".

NORENO Foundation, 1967: "Survey of the Hvítá and Thjórsá River Basins Iceland. Power System Analysis". United Nations.

Ontario Hydro, 1976: "Ontario Hydro Survey on Power System Reliability: Viewpoint of Large Users". Report No. PMA 76-5.

Ontario Hydro, 1978: "Ontario Hydro Survey on Power System Reliability: Viewpoint of Government and Institutional Users (Pilot Survey in the City of Guelph)". Report No. RU 78-1.

Ontario Hydro, 1978: "Ontario Hydro Survey on Power System Reliability: Viewpoint of Small Industrial Users (Under 5000 kW)". Report No. RU 78-3.

Ontario Hydro, 1978: "Ontario Hydro Survey on Power System Reliability: Viewpoint of Farm Operators". Report No. RU 78-5.

Ontario Hydro, 1979: "Ontario Hydro Survey on Power System Reliability: Viewpoint of Customers in Retail Trade Service". Report No. RU 79-7.

Ontario Hydro, 1980: "Ontario Hydro Survey on Power System Reliability: Viewpoint of Customers in Office Buildings". Report No. RU 80-5.

Ontario Hydro, 1980: "Ontario Hydro Survey on Power System Reliability: Viewpoint of Government and Institutional Users". Report No. RU 80-6.

Ontario Hydro, 1980: "Ontario Hydro Survey on Power System Reliability: Summary of Customer Viewpoints". Report No. RMR 80-12.

Orkustofnun, 1985: "Orkumál nr. 34-35".

M. H. Raaholt, C. Tank-Nielsen og Jens Vig jr., 1982: "Avsavnsverdien for elektrisk energi". Gruppen for ressursstudier, GRS 399.

M. E. Samsa, K. A. Hub and G. C. Krohm, 1978: "Electric Service Reliability: The Customer Perspective". Argonne National Laboratory. Prepared for the U. S. Department of Energy.

Stanford Research Inst., 1976: Impacts from a Decrease in Electric Power Service Reliability". Prepared for Bonneville Power Administration.

Starfshópur um endurskoðun á aðferðum við mat á orkugetu vatnsorkuvera og rekstri þeirra, 1985: "Áfangaskýrsla II. Ferð til Noregs og Svíþjóðar í maí 1985".

System Control, Inc., 1978: "Impact Assessment of The 1977 New York City Blackout". Prepared for: U. S. Department of Energy.

Vattenfall, 1984: "Elævbrottet 27-12-1983".

Verkfðistofa Helga Sigvaldasonar hf., 1981: "Vinnsla og flutningur raforku til aldamóta. Samanburður virkjunarleiða. II Orkuver". Orkustofnun OS81001/VOD01.

Verkfðistofan Strengur, 1985: "Rekstrareftirlíkingar. Reiknilíkan til langtímasýringar virkjunarkefis". Landsvirkjun.

Þjóðhagsstofnun, 1985: "Atvinnuvegaskýrslur 1982". Atvinnuvegaskýrslur nr. 30.

Þjóðhagsstofnun, 1985: "Þjóðhagsreikningar 1973-1984. Nýtt ráðstöfunaruppgjör". Þjóðhagsreikningaskýrslur nr. 4.

Greinar:

R. Billinton, G. Wacker and E. Wojczynski, 1983: "Comprehensive Bibliography on Electrical Service Interruption Costs". IEEE Transactions on PAS, Vol. PAS-102, No. 6, June.

Financial Times Energy Economist, 1985: "Romania: Keeping Industry Going by Sitting in the Dark". August, issue 46.

P. E. Gannon, 1975: "Cost of Electrical Interruptions in Commercial Buildings". Power Systems Reliability Subcommittee Report. Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference, Toronto, Canada, May 5-8.

Guðmundur Helgason, 1985: "Afhendingaröryggi í kerfi Landsvirkjunar". Erindi flutt á ársfundi Landsvirkjunar 19. apríl.

IEEE Committee Report, 1974: "Report on Reliability Survey of Industrial Plants, Part II: Cost of Power Outages, Plant Restart Time, Critical Service Loss Duration Time and Type of Loads Lost Versus Time of Power Outages". IEEE IAS Transactions Mar/Apr.

A. F. Jackson and B. Salvage, 1974: "Cost of Electricity Supply Interruptions to Industrial Consumers". IEE Library 1974.

Metal Bulletin, 1984: "Aluminium Power Struggle". July 24.

Metal Bulletin, 1984: "Boost for Ghana in Valco Accord" July 20.

W. T. Miles, J. Corwin and P. D. Blair, 1979: "Cost of Power Outages - the 1977 New York City Blackout". 1979 Reliability Conference for the Electric Power Industry.

Morgunblaðið, 1973: Fréttir af raforkuskortinum á Höfn 11., 13., 14., 15., 16., 28., og 30. desember.

M. Munasinghe and M. Gellerson, 1979: "Economic Criteria for Optimizing Power System Reliability Levels". The Bell Journal of Economics, Vol. 10, No 1, spring 1979, pp. 353-365.

- W. B. Shew, 1977: "Costs of Inadequate Capacity in the Electric Utility Industry". Energy Systems and Policy, Vol. 2, No. 1, 1977, pp. 85-110.
- R. B. Shipley, A. D. Patton and J. S. Denison, 1972: "Power Reliability Cost vs. Worth". IEEE PAS, 1972, pp. 2204-2212.
- M. L. Telson, 1975: "The Economics of Alternative Levels of Reliability for Electric Power Generation Systems". The Bell Journal of Economics, Autumn 1975, pp. 679-694.
- G. Wacker, E. Wojczynski and R. Billinton, 1983: "Interruption Cost Methodology and Results - A Canadian Residential Survey". IEEE Transactions on PAS, Vol. PAS-102, No. 10, October.
- E. Wojczynski, R. Billinton and G. Wacker, 1984: "Interruption Cost Methodology and Results - A Canadian Commercial and Small Industry Survey". IEEE Transactions on PAS, Vol. PAS-103, No. 2, February.
- Þórður Guðmundsson, 1984: "Stöðugleiki Landsvirkjunarkerfisins og rekstraröryggi". Erindi flutt á vetrarfundi SÍR og SÍH 14.-15. nóvember.

VIÐAUKI 1

Flokkun fyrirtækja árið 1983 eftir ISIC staðli

(Heimild: Atvinnuvegaskýrsla nr. 30 frá þjóðhagsstofnun)

Númer	Atvinnugrein	Fjöldi fyrirtækja eftir stærð (ársverk)			
		Færri en 5	Milli 5 og 60	Yfir 60	Alls
11	Landbúnaður	6.981	24	-	7.005
13	Fiskveiðar	2.148	298	5	2.451
30	Fiskiðnaður	268	165	53	486
31	Annar matvælaiðnaður	126	132	12	270
32	Vefjariðnaður og fleira	158	70	5	233
33	Trjávöruiðnaður	296	91	-	387
34	Pappírsiðnaður	221	65	4	290
35	Efnaiðnaður	53	26	4	83
36	Steinefnaiðnaður	81	31	2	114
37	Ál og kísiljárnframleiðsla	1	1	2	4
38	Málmsmíði, vélaviðg. og fl.	324	143	7	474
39	Ýmis iðnaður og viðgerðir	101	17	1	119
41	Rekstur rafmagns og hitav.	29	13	5	47
42	Rekstur vatnsveitna	8	2	-	10
50	Byggingarstarfsemi	3.492	414	21	3.927
61	Heildverslun	1.049	212	10	1.271
62	Smásöluverslun	1.483	266	15	1.764
63	Veitinga- og hótelrekstur	311	85	4	400
71	Samgöngur	2.478	80	11	2.569
72	Rekstur Pósts og síma	6	1	2	9
81	Penningastofnanir	62	59	10	131
82	Tryggingar	141	14	4	159
83	Fasteignarekst., þjón v/at	1.695	94	2	1.791
93	Heilbr.þjón., einkaaðilar	744	10	-	754
94	Menningarmál	627	42	4	673
95	Persónuleg þjónusta	1.286	160	1	1.447
96	Varnarliðið og sendiráð	5	-	1	6
	Starfsemi hins opinbera	824	155	43	1.022
	Önnur starfsemi	542	87	10	639
Samtals		25.540	2.757	238	28.535