



## Sérstaða íslenskra álvera

Helena Sigurðardóttir



Iðnaðarverkfræði-, vélaverkfræði- og tölvunarfræðideild  
Háskóli Íslands  
2009



# Sérstaða íslenskra álvera

Helena Sigurðardóttir

60 eininga ritgerð sem er hluti af  
*Magister Scientiarum* gráðu í iðnaðarverkfræði

Leiðbeinendur  
Páll Jensson  
Þröstur Guðmundsson

Prófdómari / Fulltrúi deildar  
Helgi Þór Ingason

Iðnaðarverkfræði-, vélaverkfræði- og tölvunarfræðideild  
Verkfræði- og náttúruvísindasvið  
Háskóli Íslands  
Reykjavík, 1.október 2009

Sérstaða íslenskra álvera  
60 eininga ritgerð sem er hluti af *Magister Scientiarum* gráðu í Iðnaðarverkfræði

Höfundarréttur © 2009 Helena Sigurðardóttir  
Öll réttindi áskilin

Iðnaðarverkfræði-, vélaverkfræði- og tölvunarfræðideild  
Verkfræði- og náttúruvísindasvið  
Háskóli Íslands  
VR II, Hjarðarhaga 2-6  
107 Reykjavík

Sími: 525 4000

Skráningarupplýsingar:  
Helena Sigurðardóttir, 2009, *Sérstaða íslenskra álvera*, meistararitgerð, Iðnaðarverkfræði-,  
vélaverkfræði- og tölvunarfræðideild, Háskóli Íslands, 90 bls.

Prentun: Prentsmiðjan Oddi ehf  
Reykjavík, október 2009

## ÚTDRÁTTUR

Þessi ritgerð fjallar um að þróa hentuga aðferð til að auka þekkingu á sérstöðu íslenskra álvera og rannsaka samkeppnishæfi þeirra. Ekki fundust opinber gögn um að áður hafi verið gerð tilraun til að bera álframleiðslu á Íslandi saman við önnur lönd. Einnig hafa oft verið settar fram ályktanir um sérstöðu íslenskrar álframleiðslu en þær ekki sannreyndar.

Notast er við AHP aðferð til að staðsetja Ísland miðað við fjórtán önnur lönd. Byggt er á eftirfarandi viðmiðum: orka, súrál, aðgengi að kolum, launakostnaður, losun CO<sub>2</sub>, öryggi á vinnustað, aðgengi að vinnuafli og aðgengi að mörkuðum. Öll viðmið og valkostir eru metin með AHP aðferðinni og eru valkostir bornir saman innan hvers viðmiðs. Út frá vægi viðmiða má reikna heildareinkunn hvers lands. Þá er gerð næmniathugun þar sem vægi viðmiða er breytt.

Sterkust er staða Íslands hvað varðar orku og losun CO<sub>2</sub> auk þess sem staðan er góð hvað varðar launakostnað og aðgengi að mörkuðum. Aðgengi Íslands að hráefni til álframleiðslu getur ekki talist gott en það dregur stöðu Íslands niður. Þá er öryggi á vinnustað og aðgengi að vinnuafli ekki jafn gott á Íslandi og í samanburðarlöndunum.

Í ritgerðinni kemur fram að álframleiðsla á Íslandi hefur ákveðna kosti og galla sem vega upp á móti hvor öðrum. Niðurstaðan er sú að þegar öll viðmið eru tekin saman lendir Ísland í sjöunda sæti af þeim fimmtán löndum sem borin eru saman. Verður það að teljast nokkuð hagstæð niðurstaða fyrir Ísland sem álframleiðanda.

Lykilorð: Ákvörðunarfræði, AHP aðferð, álframleiðsla, Multi-Criteria Decision-Making.

## ABSTRACT

This essay focuses on developing a method to both increase knowledge on Icelandic smelters and examine their competitiveness. No official documents were found where an attempt had been made to compare the aluminium industry in Iceland with other countries.

The AHP method will be used to locate Iceland in comparison with fourteen other countries. The comparison will be based on the following criteria: energy, alumina, access to coal, labor costs, CO<sub>2</sub> emissions, safety, access to labor and market access. All criteria and alternatives are evaluated with AHP method, and options are compared with each other and from the weighting criteria one can calculate the total score of each country. Sensitivity analysis is done with each criterion.

Iceland's strongest position is in terms of energy and CO<sub>2</sub> emissions. The country also holds a strong position with regard to labor costs and access to markets. Iceland accessibility to raw material cannot be considered good and reduces the status of Iceland. Safety and access to labor is not good in Iceland compared to other countries.

The essay reveals that Aluminium production in Iceland has certain advantages and disadvantages which weigh up against each other. In conclusion, Iceland is in seventh place when all criteria's have been taken into account which must be considered a favourable outcome for Iceland.

Keywords: Decision Theory, AHP method, Aluminum, Multi-Criteria Decision-Making.



## EFNISYFIRLIT

1	Inngangur .....	1
1.1	Álframléiðsla .....	1
2	Fræði .....	7
2.1	Rannsóknarspurninginn .....	7
2.2	Lausnaraðferðir .....	7
2.2.1	Hagnýt viðmið (Benchmark).....	7
2.2.2	AHP aðferðin (Analytic Hierarchy Process).....	8
2.2.3	Val á aðferð .....	9
2.3	Nánar um AHP aðferðina .....	9
2.4	Notkun á AHP aðferðinni við aðrar rannsóknir.....	12
2.5	Gagnaöflun .....	13
3	Rannsókn .....	15
3.1	Aðferðarfræði .....	15
3.2	Val landa sem bera skal saman við Ísland .....	17
3.3	Valin viðmið tekin fyrir og rædd .....	18
3.3.1	Orka.....	18
3.3.2	Súrál .....	21
3.3.3	Aðgengi að kolum .....	22
3.3.4	Launakostnaður .....	23
3.3.5	Öryggi á vinnustað .....	24
3.3.6	Losun CO <sub>2</sub> .....	26
3.3.7	Aðgengi að vinnuafli .....	29
3.3.8	Nálægð við markað .....	31
3.3.9	Önnur viðmið .....	33
3.4	Skipting rekstrarkostnaðar .....	35
4	Niðurstöður .....	37
4.1	Samantekt allra viðmiða og landa.....	37
4.2	Vægi viðmiða.....	38
4.3	Niðurstöður viðmiða .....	39
4.3.1	Orka.....	40
4.3.2	Súrál .....	41
4.3.3	Aðgengi að kolum .....	42
4.3.4	Launakostnaður .....	43
4.3.5	Öryggi á vinnustað .....	44

4.3.6 Losun CO <sub>2</sub> .....	45
4.3.7 Aðgengi að vinnuafli .....	46
4.3.8 Nálægð við markað .....	47
4.3.9 Samantekt á einkunnum Íslands í hverju viðmiði .....	48
4.4 Breyting á vægi viðmiðanna .....	49
5 Lokaorð .....	55

Heimildir

Viðauki A

Viðauki B

Viðauki C

Viðauki D



## MYNDASKRÁ

Mynd 1.1 Þverskurður af rafgreiningarkeri með forbökkuðum forskautum.....	1
Mynd 1.2: Þróun álframleiðslu frá árinu 1973 – 2008 .....	2
Mynd 2.1: Skýringarmynd af stigkerfi aðferðarinnar.....	10
Mynd 3.1: Flæðirit sem lýsir notkun á AHP aðferðinni við lausn þessa verkefnis.....	16
Mynd 3.2 Losun CO <sub>2</sub> ígilda við framleiðslu á einu tonni af áli og orkugjöfum eftir mismunandi orkugjöfum .....	21
Mynd 3.3 Meðal fjöldi slysa með fjarveru á ári frá 2001 til 2008 .....	25
Mynd 3.4 Niðurstaða úr könnun um vægi á öryggi starfsmanna .....	26
Mynd 3.5 Skipting helstu rekstarliða álvera árið 2006 samkvæmt CRU Analysis.....	36
Mynd 4.1 Skipting vægi viðmiða. ....	38
Mynd 4.2 Einkunn fyrir orku milli landa. ....	40
Mynd 4.3 Einkunn fyrir súrál milli landa.....	41
Mynd 4.4 Einkunn fyrir aðgengi að kolum milli landa.....	42
Mynd 4.5 Einkunn fyrir launakostnað milli landa.....	43
Mynd 4.6 Einkunn fyrir öryggi á vinnustað milli landa.....	44
Mynd 4.7 Einkunn fyrir losun CO <sub>2</sub> milli landa. ....	45
Mynd 4.8 Einkunn fyrir aðgengi að vinnuafli milli landa.....	46
Mynd 4.9 Einkunn fyrir nálægð við markað milli landa.....	47
Mynd 4.10 Einkunn Íslands í hverju viðmiði.....	48
Mynd 4.11 Niðurstaða úr forritinu EC 11.5 borin saman við niðurstöðu úr Excel.....	49
Mynd 4.12 Niðurstöður á tilviki 1 ásamt upphaflegu vægi.....	50
Mynd 4.13 Niðurstöður á tilviki 2 ásamt upphaflegu vægi.....	51
Mynd 4.14 Niðurstöður á tilviki 3 ásamt upphaflegu vægi.....	52
Mynd 4.15 Niðurstöður á tilviki 4 ásamt upphaflegu vægi.....	53

## TÖFLUSKRÁ

<i>Tafla 1-1 Magn og verðmæti útfluttrar vöru 2008-2009</i> .....	3
<i>Tafla 1-2 Þróun álframleiðslu á Íslandi</i> .....	4
<i>Tafla 2-1 Skýring á AHP-kvarðinn</i> .....	10
<i>Tafla 3-1 Yfirlit yfir lönd sem framleiða yfir 1.000.000 tonn af áli á ári í janúar 2009</i> .....	17
<i>Tafla 3-2 Lönd til samanburðar og tákni þeirra</i> .....	18
<i>Tafla 3-3 Skuldbinding um samdrátt eða losun gróðurhúsalofttegunda á árunum 2008-2012 samkvæmt Kyoto-bókuninni</i> .....	28
<i>Tafla 3-4 Hlutfall útgjalda í menntun af heildarþjórðartekjum (GDP)</i> .....	30
<i>Tafla 3-5 Hlutfall atvinnulausra fyrir og eftir fjármálakreppuna af heildarfjölda íbúa</i> ....	31
<i>Tafla 3-6 Niðurstöður við mat á meðal vegalengd til næsta ál markaðar</i> .....	33
<i>Tafla 4-1 Niðurstaða á einkunn landanna eftir AHP samanburð</i> .....	37
<i>Tafla 4-2 Vægi viðmiða eins og sérfræðingar mátu þau ásamt hlutfalslegu vægi CRU á helstu kostnaðarliðum til álframleiðslu</i> .....	39
<i>Tafla 4-3 Vægi viðmiða í tilviki 1</i> .....	50
<i>Tafla 4-4 Vægi viðmiða í tilviki 2</i> .....	51
<i>Tafla 4-5 Vægi viðmiða í tilviki 3</i> .....	52
<i>Tafla 4-6 Vægi viðmiða í tilviki 4</i> .....	53

## ÞAKKIR

Verkefnið er 60 eininga meistaraverkefni í iðnaðarverkfræði við Verkfræðideild Háskóla Íslands. Markmiðið með rannsókninni er að þróa aðferð sem hægt er að nota sem staðarval fyrir álframleiðslu ásamt því að auka þekkingu á sérstöðu íslenskra álvera. Verkefnið er unnið af Helenu Sigurðardóttur, meistaranema í iðnaðarverkfræði við Háskóla Íslands á tímabilinu september 2008 - maí 2009.

Verkefnið er styrkt af Orkuveitu Reykjavíkur en unnið í samstarfi við Landsvirkjun, og vil ég koma á framfæri þökk til þeirra. Einnig vil ég þakka Þresti Guðmundssyni fyrir að lesa verkefnið yfir og gefa mér gagnlegar ábendingar og hugmyndir um verkefnið. Einnig vil ég þakka Edvardi G. Guðnasyni frá Landsvirkjun og Andrésí Svanbjörnssyni frá Iðnaðarráðuneytinu fyrir aðgang að gögnum og ráðgjöf ásamt ummælendum mínum frá álverunum, Landsvirkjun og HRV. Einnig vil ég þakka Andra Haraldssyni frá Expert Choice fyrir aðgang að forritinu EC 11.5. Að lokum vil ég þakka Páli Jenssyni, aðalleiðbeinanda, og Símoni Þorleifssyni fyrir leiðsögn.



# 1 INNGANGUR

Ál (Al) myndar um 8% massa jarðskorpunnar og er þriðja algengasta frumefni hennar. Það er mjög hvarfgjarn málmur og finnst því ekki hreint í náttúrunni en það má finna í meira en 270 mismunandi efnasamböndum (*Álbókin, 1992*).

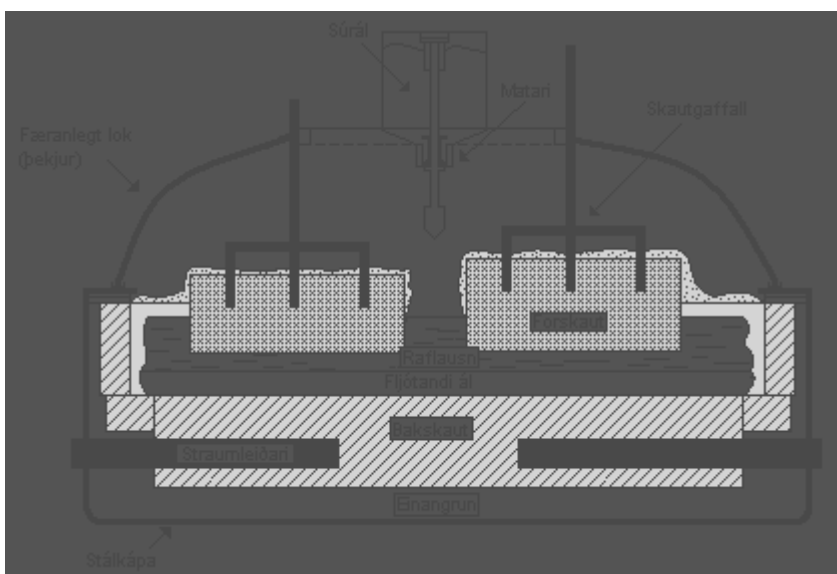
Fyrsta heppnaða tilraun til að aðgreina ál frá súráli var gerð árið 1807 af breska efnafræðingnum Humphry Davy. Honum tókst ekki að framleiða hreint ál en tókst að búa til álblöndu. Tveimur áratugum síðar, eða árið 1827, tókst þýska eðlisfræðingnum Frederich Wöhler að finna aðferð til að framleiða hreint ál og árið 1886 var fundin upp aðferð sem gerir vinnslu áls úr málmgrýti ódýra og er hún í dag mest notaða aðferðin við framleiðslu á áli. Aðferðin er kölluð Hall-Hérault aðferðin og er nefnd eftir upphafsmönnum hennar, Bandaríkjamanninum Charles Martin Hall og Frakkanum Paul Héroult (*Light Metals Committee, 1986*).

Í dag eru álver í yfir 70 löndum sem finna má í öllum heimsálfum. Heildar framleiðsla er um 30.000.000 tonn á ári og er hún mest í Kína eða rúmlega 30% af heildarframleiðslu (*International Aluminium Institute, 2009*). Álframleiðsla á Íslandi hófst árið 1969 og var framleiðslan þá einungis 33.000 tonn á ári (Alcan á Íslandi hf, 2009). Í dag eru starfandi 3 álver hér á landi og er framleiðslugeta þeirra er alls um 786.000 tonn á ári.

## 1.1 Álframleiðsla

### *Framleiðsluferlið*

Ál finnst ekki hreint í náttúrunni heldur er það unnið úr súráli ( $Al_2O_3$ ) með rafgreiningu. Sú aðferð sem er notuð í hefðbundinni framleiðslu áls nefnist Hall-Hérout ferli. Í grunninn má lýsa aðferðinni þannig að súrál er leyst upp í bráðnu krýólíti ( $Na_3AlF_6$ ) og er lausnin rafgreind til að ná fram hreinu áli.



Mynd 1.1 Þverskurður af rafgreiningarkeri með forbökðuðum forskautum. [mynd, Helena]

Í álverum eru svokallaðir kerskálar sem hafa mörg rafgreiningarker en þar er álið framleitt. Bygging rafgreiningakeranna er flókin en á mynd 1.1 má sjá einfalda uppsetningu þess.

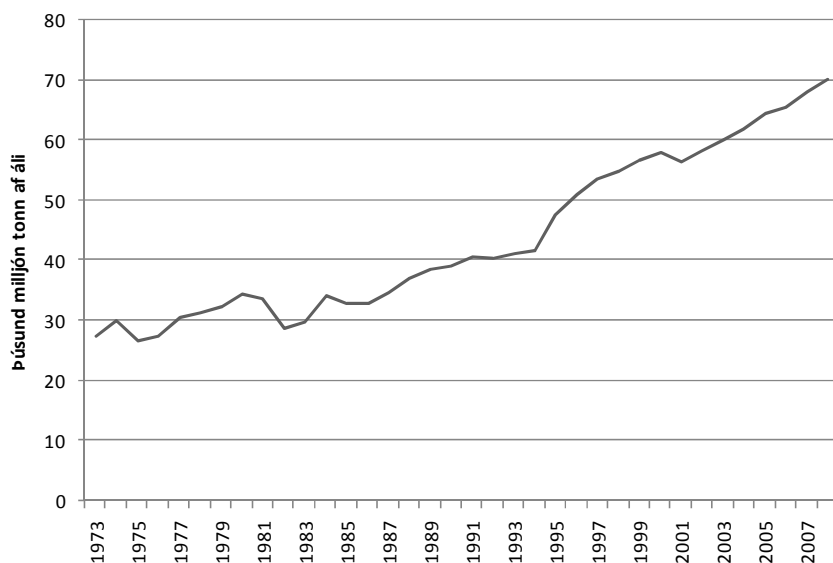
Forskautin eru úr kolefnum og gegna því hlutverki að koma rafstraumi í keridið en bakskautin taka síðan á móti þessum straum. Síðan eru matarar sem sjá um að fæða keridið súráli ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) þar sem það leysist upp í krýólítinu við háan hita ( $950\text{-}970^\circ\text{C}$ ). Rafstraumur er látinn fara í gegnum keridið með spennu (4-6 V) og afleiðingin er sú að sameindir súrálrofna í ál (Al) og súrál (O). Álið sekkur til botns í rafgreiningarkerinu en súrefnið úr súrálínu hvarfast við kolefni forskautsins og myndar koldíoxíð ( $\text{CO}_2$ ) og koleinoxíð (CO). Álið er síðan sogað upp úr pottinum í þar til gerðar deigjur og þaðan er það flutt í steypuskála. Framleiðsla með Hall-Héroult ferli getur gefið af sér að hámarki 99,9% hreint ál. Til framleiðslu á 1 tonni af áli þarf um 2 tonn af súráli, um 0,5 tonn af kolefni og um 15MWh af raforku (Álbókin, 1992; Rafgreiningarkerið, 1997).

### Tvær tegundir forskauta

Álfyrirtæki hafa mörg þróað með sér sína eigin tækni, en til eru tvær megin aðferðir fyrir álbræðslu. Í grunninn er aðferðin sú sama, en framleiðslugeta og mengunarhætta getur verið mismunandi. Báðar aðferðirnar eyða forskautinu upp í ferlinu vegna þess að súrefnið sem er framleitt af rafgreiningunni oxast við kolefnið í forskautinu. Önnur þessara aðferða kallast Söderberg en hin forbökuð rafskaut, kallað PB (e. prebaked anodes) hér eftir, þar sem PB skaut eru bökuð áður en þau eru sett í keridið en Söderberg rafskaut bakast í kerinu. Í dag eru öll álver byggð með forbökuðum skautum, en af þeim hlýst minni mengun, rekstur rafgreiningaferlisins er auðveldari og straumleiðin um þau er betri (Álbókin, 1992).

### Nytsemi áls

Ál er einn af mest notuðum málum í heiminum og er eftirspurn eftir því alltaf að aukast frá ári til árs.



Mynd 1.2: Þróun álframleiðslu frá árinu 1973 – 2008. Heimild: International Aluminium Institute, 2009. Sögulegar heimildir.

Á mynd 1.2 má sjá þróun álframleiðslu frá árinu 1973 til 2007 samkvæmt gögnum frá IAI<sup>1</sup>. Af henni má sjá má að álframleiðsla hefur aukist milli ára og hefur lítið dregið úr þeirri framleiðslu. Miðað við þessa þróun er líklegt að álframleiðsla í heiminum haldi áfram að vaxa en samkvæmt spá CRU<sup>2</sup> mun eftirspurn á áli halda áfram að aukast um 3,7% á ári yfir tímabilið 2006-2030 sem þýðir að álframleiðsla mun halda áfram að aukast (*CRU Analysis. September 2007*). Ál er mjög nytsamur málmur og kemur oft við í okkar daglega lífi. Kostirnir við álið er að það hefur marga fýsilega eiginleika, mótast auðveldlega og er endurvinnanlegt. Álið má til dæmis nota í þök, klæðningar og glugga í byggingariðnaðinum. Þá hefur hann reynst vel í farartæki en málmurinn er bæði sterkur og léttur. Þar sem álið hefur háa leiðni, létt og gott viðnám gegn tæringu þá hentar málmurinn einstaklega vel sem rafmagnsleiðari (*International Aluminium Institute, 2009*).

### Áhrif á Ísland

Ál og sjávarafurðir nema alls um 77% af heildarútflutningi Íslands. Í fyrsta ársfjórðung 2008 fór ál í fyrsta skipti fram úr sjávarafurðum í verðmæti vöruútflutnings, en vegna verðlækkunar á áli að undanförunu hafa sjávarafurðir aftur orðið stærsti útflutningsflokkurinn. Þrátt fyrir það hefur álframleiðsla aukið mikið útflutningstekjur Íslendinga og er landið með eina mestu álframleiðslu allra landa sem hlutfall útflutningstekna (*Seðlabanki Íslands. 2009*). Tafla 1.1 hér að neðan sýnir magn og verðmæti útfluttrar vöru 2008 og 2009. Þar má sjá að í júní 2008 fór ál fram úr sjávarafurðum í verðmæti vöruútflutnings. En rúmlega 30% útflutningstekna Íslands er í dag vegna álframleiðslu.

Tafla 1-1 Magn og verðmæti útfluttrar vöru 2008-2009

Heimild: Hagstofa Íslands 2009.

	2008				2009			
	Júní		Janúar-júní		Júní		Janúar-júní	
	FOB	Hlutfall	FOB	Hlutfall	FOB	Hlutfall	FOB	Hlutfall
Alls	41.465 kr.	%	207.342 kr.	%	40.712 kr.	%	211.815 kr.	%
<b>Sjávarafurðir</b>	13.773 kr.	33%	77.657 kr.	37%	19.398 kr.	48%	94.958 kr.	45%
<b>Landbúnaðarafurðir</b>	472 kr.	1%	2.413 kr.	1%	480 kr.	1%	3.629 kr.	2%
<b>Iðnaðarvörur</b>	22.572 kr.	54%	99.618 kr.	48%	19.300 kr.	47%	102.436 kr.	48%
<i>þar af ál</i>	<i>18.428 kr.</i>	<i>44%</i>	<i>73.709 kr.</i>	<i>36%</i>	<i>13.180 kr.</i>	<i>32%</i>	<i>70.681 kr.</i>	<i>33%</i>
<b>Aðrar vörur</b>	4.649 kr.	11%	27.654 kr.	13%	1.535 kr.	4%	10.792 kr.	5%

### Íslensk álver

Álframleiðsla hófst á Íslandi 1969 og var framleiðslan þá einungis 33.000 tonn á ári. Í dag eru starfandi 3 álver hér á landi og er framleiðslugeta þeirra er alls um 786.000 tonn á ári.

<sup>1</sup> International Aluminium Institute, 1937-2008

<sup>2</sup> Commodity Research Unit

## Tafla 1-2 Þróun álframleiðslu á Íslandi.

Heimild: Gögn fengin af heimasíðum íslensku álveranna og HRV verkfræðistofu

Fyrirtæki	Ár	tpy	Ker	Tækni	Straumur
Ísal	1969	33.000	120	EPT-10	80-135 kA
Ísal	1970	44.000	160	EPT-10	
Ísal	1972	55.000	280	EPT-10	
Ísal	1980	100.000	320	EPT-10	
Ísal	1997	162.000	480	EPT-10	
Ísal	1998-2009	180.000	480	Tæknileg lagfæring og stöðugri rekstur	
Norðurál	1998	60.000	120	CA-180	180 kA
Norðurál	2001	90.000	180	CA-180	
Norðurál	2006-I	180.000	360	CA-180	
Norðurál	2006-II	220.000	440	CA-180	
Norðurál	2007	260.000	520	CA-180	
Fjarðaál	2007	346.000	336	AP-35	365 kA

Í töflu 1.2 má sjá að Ísal, Alcan á Íslandi, er fyrsta fyrirtæki til að hefja álvinnslu á Íslandi. Árið 1969 var framleiðslan einungis 33.000 tonn á ári en síðan þá var verksmiðjan stækkuð fjórum sinnum. Árið 1970 voru 40 ker til viðbótar tekin í rekstur og 1972 var fyrri áfangi kerskála 2 tekinn í notkun. Síðari áfanginn var svo byggður nokkrum árum seinna og árið 1980 var framleiðslugetan orðin 100.000 tonn á ári. Síðan var nýjasti áfanginn tekinn í notkun árið 1997 og var framleiðslugetan þá orðin um 162.000 tonn. Í dag er framleiðslugetan 180.000 tonn á ári, en með tæknilegum tilfæringum og betri árangri í rekstri hefur tekist að auka framleiðslugetuna (*Alcan á Íslandi, 2009*).

Í júní 1998 var fyrsta kerrið gangsett hjá Norðuráli og var framleiðslugeta álversins þá 60.000 tonn á ári. Sumarið 2001 var hún síðan aukin í 90.000 tonn á ári og árið 2006 var hún kominn í 180.000 tonn. Aftur sama ár var hún síðan aukin upp í 220.000 tonn og loks árið 2007 fór framleiðslan upp í 260.000 tonn (*Norðurál, 2009*).

Árið 2007 var gangsett álver í Reyðarfirði, Alcoa Fjarðaál. Framleiðslugeta þess er 346.000 tonn á ári (*Alcoa Fjarðaál, 2009*).

### Ný álver í byggingu

Hér á landi hefur verið hafist handa við byggingu nýs álvers í Helguvík. Gefin var heimild til að framleiða allt að 250.000 tonn af áli árlega (*Umhverfisstofnun, 2009*). Stefnt er að því að byggja álver með framleiðslugetuna 360.000 tonn á ári en umhverfismat þess er enn ólokið. Álverið mun byggja á svokallaðri AP3X tækni frá franska fyrirtækinu Pechiney. Áætlað er að gangsetning fyrsta áfanga hefjist seinnipart ársins 2011. (*Norðurál, 2009*)

Alcoa íhugar að reisa álver á Bakka við Húsavík með framleiðslugetu frá 250.000 til 346.000 tonn á ári. Áætlað er að álverið muni ná fullum afköstum árið 2015. Ekki liggur fyrir hvaða kertækni skal notast við en valið verður eftir bestu fánlegu tækni. Þá hyggst Alcoa einnig að byggja álver á Grænlandi með framleiðslugetu 340.000 tonn á ári sem verður einnig útbúið bestu fánlegri tækni. Verkið er þó enn á athugunarstigi (*Alcoa, 2009*)



Í Austurlöndum nær er mikill uppgangur í álframleiðslu og má þar nefna tvö stór verkefni sem eru í gangi. Í Qatar er verið að byggja álver með framleiðslugetu 585.000 tonn á ári með möguleika á stækkun upp í 1.200.000 tonn á ári. Kerin verða með HAL-275 tækni og mun fara um þau 300kA straumur. Áætlað er að verkinu ljúki í ágúst 2010 (*Qatalum, 2009*). Einnig er unnið að byggingu álvers í Sameinuðu arabísku furstadæmunum með framleiðslugetuna 1.400.000 tonn á ári. Byggt verður í tveim áföngum og mun álverið notast við tækni er nefnist DUBAL DX, og 350 kA straum. Áætlað er að álverið verði komið í fulla vinnslu í janúar 2011. (*Emirates Aluminium, 2009*)

### *Þróun á nýrri tækni*

Framleiðsla á áli er orkufrekur iðnaður og mengandi. Áliðnaðurinn ennþá að leita eftir aðferð til að auka orkunýtinguna, auka framleiðni og draga úr mengun við framleiðsluna. Þróun á nýrri kertækni hefur átt sér stað með notkun á svokölluðum óvirkum forskautum (e. inert anodes). Margir kostir liggja á bak við tæknina takist að þróa aðferðina þannig að hún verði rekstrarhæf fyrir álver. Þar má nefna minnkun á rekstrarkostnaði og einfaldari meðhöndlun og stýringu því skautin eyðast ekki og ekki þarf að skipta um þau reglulega. Einnig fylgir þeim aukin framlegð, orkusparnaður og losun gróðurhúsalofttegunda verður lítil sem engin því skautin hvarfast ekki við súrefni og mynda því ekki koldíoxíð. (*Jeff Keniry, maí 2001*)

## **1.2 Uppbygging skýrslu**

Í kafla 1 er tæknilegum þáttum álframleiðslu lýst ásamt því sem farið er yfir þróun og sögu álframleiðslu á Íslandi. Þá er einnig farið yfir þau álver sem annaðhvort eru í byggingu eða til stendur að byggja. Þá er fjallað um mögulega þróun í álframleiðslu sem byggir á nýrri tækni við hönnun forskauta.

Í kafla 2 er rannsóknarspurningin sett fram. Einnig er fjallað um tvær aðferðir sem leysa má verkefnið með og ein af þeim valin og hún skoðuð nánar. Þá verða aðrar rannsóknir ræddar sem svipa til þessa verkefnis og dæmi um notkun á aðferðinni tekin fyrir. Loks verður farið yfir gagnaöflun í þessu verkefni.

Í kafla 3 verður farið yfir rannsóknina og þau viðmið sem koma til greina við samanburðinn talin upp og rædd ásamt því að farið verður í hvernig val á löndum var háttáð sem bera skal saman.

Í kafla 4 er gert grein fyrir niðurstöðum og næmniathugun gerð.

Loks í kafla 5 verða svör við rannsóknarspurningum dregin saman í lokaniðurstöðu.



## 2 FRÆÐI

Verkefnið fjallar um að þróa aðferðarfræði sem hægt er að nota sem staðarval fyrir álframleiðslu. Hér verður aðeins reynt að draga upp mynd af notkun aðferðarinnar með því að bera Ísland við valin lönd sem einnig framleiða ál. Vonast er til að úr verði gagnlegt verkfæri fyrir álframleiðendur og aðra aðila, en allir geta notað aðferðina og breytt eftir sinni notkun.

### 2.1 Rannsóknarspurningin

Settar hafa verið fram ályktanir um sérstöðu Íslands en þær aldrei sannreyndar. Má þar nefna dæmi af umræðum um að álframleiðsla á Íslandi dragi úr losun gróðurhúsalofttegunda og einnig hefur mikið verið fjallað um orkuverð hér á landi.

Markmiðið með rannsókninni er að þróa aðferð sem hægt er að nota sem staðarval fyrir álframleiðslu ásamt því að auka þekkingu á sérstöðu íslenskra álvera. Leitað verður svara við eftirfarandi spurningum:

- *Hver er sérstaða íslenskra álvera?*
- *Eru íslensk álver samkeppnishæf?*

Til þess að svara þessum spurningum verður Ísland borið saman við valin lönd sem hafa álver af svipaðri stærðargráðu og hér á landi. Þá verða löndin borin saman eftir mismunandi samkeppnisþáttum, en þeir þættir verða valdir í samstarfi við þá sem þekkjast vel til áliðnaðarins.

Þá var ákveðið að rannsóknin væri fyrir aðstandendur álveranna og því aðeins fengið álit frá þeim sem starfa innan áliðnarins en taka skal fram að hér verið að þróa verkfæri sem allir geti notað og breytt eftir sinni notkun. Niðurstaðan er nemendaverkefni og þó að fagaðilar tengjast þá ber að taka niðurstöðum með fyrirvara.

Einnig skal hafa í huga að efni þessara ritgerðarinnar er mikið í umræðunni og því viðkvæmt. Því verður hér aðeins reynt að nálgast svör á sem hlutlausan hátt og hægt er.

### 2.2 Lausnaraðferðir

Hér verða aðeins skoðar tvær aðferðir sem þóttu koma til greina og henta vel við lausn þessa verkefnis. Rætt verður stuttlega um aðferðirnar og kostir og gallar þeirra dregnir upp. Síðar verður fjallað nánar um þá aðferð sem notuð verður við lausn þessa verkefnis eða í kafla 2.3.

#### 2.2.1 Hagnýt viðmið (Benchmark)

Dr. Robert Camp er talin vera upphafsmaður benchmarking aðferðarinnar. Hann kynnti aðferðina fyrst flutninga fyrirtæki að nafni Xerox árið 1981. Við notkun á aðferðinni tókst að auka flutningagetuna fyrirtækisins um nærri 7% (*Joe Flower, 1993*). Í framhaldi af því skrifaði hann fyrstu bókina sína um bechmarking árið 1989, *Benchmarking: The search for*

*industry best practices that lead 2 superior performance*. Síðan þá hefur hann auk þess skrifað tvær bækur um aðferðarfræðina *Business Process Benchmarking: Finding and Implementing Best Practices* sem kom út árið 1995 og bókina *Global Cases in Benchmarking: Best Practices from Organizations Around the World* sem kom út árið 1998. Þá hefur hann einnig skrifað fjölda greina og flutt fjölmörg erindi um efnið.

Til eru margar aðferðir sem nota hagnýt viðmið en engin hefur fengið meiri notkun en aðrar. Í fyrstu bók Robert Camp má finna lýsingu á aðferðinni í 10 skrefum (*Robert C. Camp, 1989*), en í grunninn má lýsa aðferðinni í fimm skrefum:

1. Ákvarða þarf hvað skal „benchmarka“, það er verkefnið er skilgreint.
2. Skilgreina önnur fyrirtæki eða stofnanir í sama umhverfi eða rekstri.
3. Safna saman upplýsingum. Viðmið eru ákveðin og núverandi árangur metinn.
4. Greining. Besta lausnin er fundin og umbætur ákveðnar.
5. Innleiðing umbóta og árangur þeirra metinn.

Aðferðarfræðin ber saman frammistöðu fyrirtækja með það að markmiði að verða ekki aðeins jafngóður heldur betri. Viðkomandi fyrirtæki ber sig saman við önnur fyrirtæki í viðkomandi atvinnugrein og metur styrkleika og veikleika sína á sviði þróunar og nýtra viðmiða. Ferlið má nota til að bera saman kostnað, framleiðni og annað sem snertir frammistöðu fyrirtækja.

Kostir hagnýtra viðmiða er að aðferðin víkkar sjóndeildarhring manna og hægt er að meta stöðuna í samanburði við aðra og móta umbætur. Einn helsti kostur aðferðarinnar er sá að hún hjálpa stjórnendum að taka ákvarðanir sem byggja á staðreyndum frekar en tilfinningu eða skoðunum, en margar ákvarðanir stjórnenda eru oft á tíðum teknar án nægra upplýsinga. Með hagnýtum viðmiðum geta stjórnendur einnig betur þekkt getu og starfsvenjur samkeppnisaðila.

Helstu gallar aðferðarinnar er að svo hægt sé að vinna að umbótum þurfa að liggja fyrir réttar upplýsingar bæði um gæði og magn. Oft á tíðum er of mikið af upplýsingum letjandi og sú nákvæmni sem fæst við að vinna úr of miklu magni upplýsinga of dýru verði keypt. Söfnun gagna krefst oft en ekki hópvinnu margra fagaðila, einlægni þátttakenda og staðfestu stjórnenda. Aðferðin er einnig sögð dýr en borgar sig oft þegar umbætur hafa verið innleiddar.

### **2.2.2 AHP aðferðin (Analytic Hierarchy Process)**

AHP aðferðin var þróuð á áttunda áratugnum og er höfundur hennar Thomas L. Saaty. Hann er fæddur árið 1926 og er stærðfræðingur og eðlisfræðingur að mennt. Upphaflega þróaði hann fyrst Þrepagreiningaraðferðina (AHP) og síðar Netgreiningaraðferð (ANP), en sú síðari er almennari form af AHP aðferðinni. Thomas hefur lengi unnið að þróun aðferðinnar og hefur gefið út fleiri en 12 bækur um aðferðina auk þess að finna má fjölmargar greinar birtar eftir hann. Fyrsta bók hans um efnið var bókin *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation* sem kom út árið 1980.

Aðferðinni má lýsa þannig að í upphafi eru skilgreind viðmið (e. criteria). Því næst eru viðmið og valkostir metin og borin saman í pörum hvort við annað. Hægt er að meta hvern þátt eftir huglægu mati, mikilvægi eða hlutfallslegri merkingu. Notast er við svokallaðan

AHP-kvarða sem gefur einkunn frá 1-9, þar sem einkunnin 1 þýðir að tvö viðmið eru jafn mikilvæg en einkunnin 9 þýðir að annað sé afgerandi miklu mikilvægara en hitt. AHP-aðferðin flytur þetta mat yfir í tölulegt mat sem hægt er að vinna og bera saman yfir allt vandamálið. Einnig er hægt að reikna út svokallaðan samkvæmnistuðul (e. consistency index) sem sýnir hversu mikið samræmi er í matinu. Töluleg vigt eða forgangsröð er síðan gefin hverjum þætti í kerfinu sem gerir það mögulegt að bera þá saman við hvorn annan (Wayne L. Winston, 1994).

Kostur AHP aðferðarinnar er að hún er auðveld í framkvæmd. Mikilvægi viðmiða er metið á kerfisbundinn hátt sem eykur trúverðugleika á niðurstöðum. Einnig er hægt er að reikna út hversu mikið samræmi er í matinu. Gallar aðferðarinnar eru þeir að AHP kvarðinn metur með hlutfallslegum kvarða atriði sem ef til vill er erfitt að meta nema á röðunarkvarða. Einnig má nefna að ef valkostirnir eru orðnir mjög margir getur verið auðvelt að missa yfirsýn á samanburðarfylkjunum.

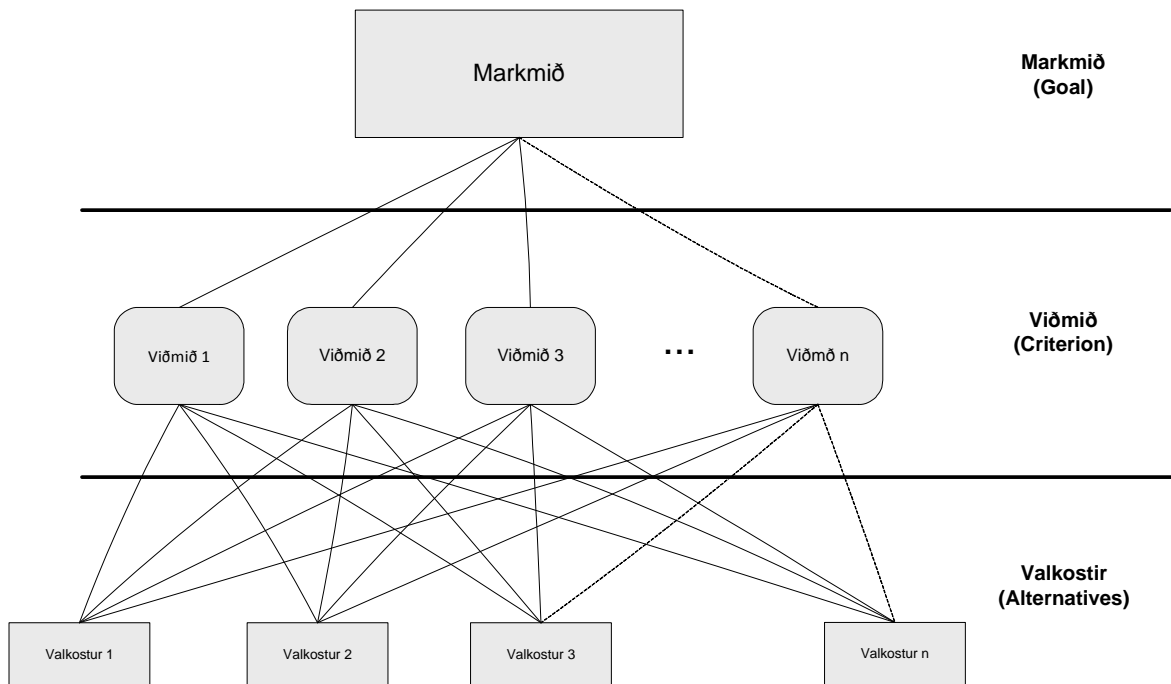
### 2.2.3 Val á aðferð

AHP aðferðin er hvað mest notaða aðferðin af MCDM (Multi Criteria Decision Making) þegar um mörg viðmið eru að ræða og þótti aðferðin henta best miðað við þá kosti og galla sem nefndir eru hér að ofan. Verkefnið hefur marga þætti sem bera þarf saman á kerfisbundinn hátt en AHP aðferðin býður upp á slíkan samanburð. Ekki er hægt að setja verkefnið upp sem bestunaryvandamál en AHP aðferðin leysir það. Í næsta kafla verður fjallað nánar um aðferðina.

## 2.3 Nánar um AHP aðferðina

AHP aðferðina má nota til að taka ákvörðun þegar um mörg markmið eru að ræða. Með því að skipta markmiðinu upp í þætti fá þátttakendur tækifæri á að skoða útlit vandamálsins frá almennu sjónarhorni. Á mynd 2.1 má sjá skýringarmynd af stigkerfi aðferðarinnar.

Aðferðinni má lýsa þannig að í upphafi er vandamálinu skipt niður í flokka og sett upp í stigskipt kerfi (hierarchy), það er viðmið (e. criteria) eru skilgreind og valkostir eru listaðir. Hver valkostur innan hvers viðmiðs er síðan metinn og viðmiðin eru síðan borin saman í pörum hvort við annað. Hægt er að meta hvern þátt eftir huglægu mati, mikilvægi eða hlutfallslegri merkingu. Notast er við svokallaðan AHP-kvarða sem gefur einkunn frá 1-9, sjá töflu 2.1, þar sem einkunnin 1 þýðir að tvö viðmið eru jafn mikilvæg en einkunnin 9 þýðir að annað sé afgerandi miklu mikilvægara en hitt. AHP-aðferðin flytur þetta mat yfir í tölulegt mat sem hægt er að vinna og bera saman yfir allt vandamálið. Einnig er hægt að reikna út svokallaðan samkvæmnistuðul (e. Consistency index), en hann sýnir hversu mikið samræmi er í matinu. Töluleg vigt eða forgangsröð er síðan gefin hverjum þætti í kerfinu. Niðurstaðan þarf ekki endilega að vera sú rétta, en AHP aðferðin hjálpar ákvarðanatataka að finna bestu lausn eftir þeirra skining á vandamálinu. Þessi möguleiki á AHP-aðferðinni aðskilur hana frá öðrum ákvarðana-aðferðum.



Mynd 2.1: Skýringarmynd af stigkerfi aðferðarinnar.

Mynd: Helena Sigurðardóttir.

Skoðum hvernig átt er við vægi hvers markmiðs. Segjum að við höfum  $n$  markmið. Ef við setjum þau í  $n \times n$  fylki fæst svokallað samanburðarfylki  $A$  (e. pairwise comparison matrix) þar sem hvert stak má tákna með  $a_{ij}$ , sem segir hversu mikilvægara markmið  $i$  er yfir markmið  $j$ . Einnig gildir að fyrir öll  $a_{ii} = 1$ . Í töflu 2.1 hér að neðan má sjá skýringar á AHP-kvarðanum.

Tafla 2-1 Skýring á AHP-kvarðinn.

Heimild: Wayne L. Winston, 1994.

Vægi ( $w_i$ )	Útskýring
1	Markmið $i$ og $j$ eru jafn mikilvæg
3	Markmið $i$ er nokkuð mikilvægara en markmið $j$ .
5	Markmið $i$ er verulega mikilvægara en markmið $j$ .
7	Markmið $i$ er mjög verulega mikilvægara en markmið $j$ .
9	Markmið $i$ er afgerandi miklu mikilvægara en markmið $j$ .
2,4,6,8	Millistigs gildi.

Ef  $a_{ij} = w$  þá þarf að gilda að  $a_{ji} = 1/w$  svo samræmi sé í gögnunum. Til að skýra hvernig AHP aðferðin ákvarðar vægin sín þá skulum við gera ráð fyrir að ákvarðanatakin sé fullkomlega samkvæmur. Þá er samstæðu samanburðarfylkið á eftirfarandi formi:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_1}{w_1} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \\ \frac{w_n}{w_1} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Þegar samanburðarfylki hvers viðmiðs hefur verið fyllt út má nota tvær aðferðir til að reikna út vægisstuðla hvers valkosta. Önnur aðferðin lýsir sér þannig að einungis er reiknuð nálgun á eiginvigi með því að kvarða (e. normalize) hvern dálk fylkisins. Hana er auðvelt að nota og virkar vel á fylki sem eru að stærð  $n \leq 3$  en ekki er hægt að tryggja að rétt vægi haldist vegna skekkju (e. approximation error). Hinsvegar er hægt að reikna samkvæmni niðurstöðunnar sem tryggir að rétt vægi haldist. Hin aðferðin lýsir sér þannig að reiknuð eru út nákvæm gildi eiginvigna hvers fylkis. Hér verður fyrri aðferðin notuð til að leysa verkefnið.

Til að finna vægi hvers markmiðs samkvæmt aðferð á nálgun á eiginvigi er fylki A kvarðað og táknað  $A_{\text{norm}}$ . Það er gert með því að deila hverju gildi í dálki  $i$  úr fylki A með summu stakana í dálki  $i$ . Þetta leiðir að því að summa hvers dálks  $i$  verður jafnt og 1. Loks er áætlað gildi á vægjum hvers markmiðs, sem má tákna með  $w^* = \{w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*\}$ , fundið með því að taka meðaltal úr hverri röð  $i$  frá fylkinu  $A_{\text{norm}}$ .

Til að tryggja að rétt vægi haldist má reikna samkvæmni niðurstöðunnar. Nota má eftirfarandi fjögurra skrefa aðferð til að kanna samkvæmni.

Skref 1: Reiknið:  $Aw^{*T}$

Skref 2: Reiknið:  $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\text{gildi } i \text{ í } Aw^{*T}}{\text{gildi } i \text{ í } w^{*T}} \right)$

Skref 3: Reiknið samkvæmnistuðulinn (e. Consistency Index) með eftirfarandi jöfnu:

$$CI = \frac{(\text{Lausn úr skefi 2}) - n}{n - 1}$$

Skref 4: Til að finna samkvæmni í niðurstöðum þarf að finna samkvæmnihlutfallið  $CR = CI/RI$  (e. Consistency Ratio). Þar sem CI er samkvæmnistuðullinn og RI er slembi samkvæmnistuðullinn (e. Random Consistency Index) sem er skilgreindur sem  $RI(n) = E[CI(n)]$ . Hér verður notast við  $RI(n)$ -gildi sem fékkst með hermun á 100.000 fylkjum, fyrir hvert gildi á  $n$ ,  $n = 1, 2, 3, \dots, 16$ , þar sem einkunnir voru gefnar á bilinu  $\{1/9, 1/8, \dots, 1, \dots, 8, 9\}$ . Niðurstöður á  $RI(n)$  gildunum má finna í töflu A-4 í viðauka A, (*Juan Aguarón og José María Moreno-Jiménez, 2003*). Síðan gildir að ef  $CR < 0,1$  þá er gildi samkvæmnis viðunandi, en ef  $CR > 0,1$  þá er niðurstaðan sem AHP-aðferðin gefur ekki þýðingarmikil. Fullkomlega samkvæmdur ákvarðanatáki gefur  $CI = 0$ .

Skref 5: Endurtaka skal skrefin fjögur hér að ofan fyrir hvert og eitt markmið.

(Wayne L. Winston, 1994).

## 2.4 Notkun á AHP aðferðinni við aðrar rannsóknir

Finna má ýmsar rannsóknir þar sem notast er við AHP-aðferðina. Á Íslandi hefur þessi aðferð ekki verið mikið notuð en finna má notkun á henni í nokkrum rannsóknum og fræðigreinum.

Eðvarð Júlíus Sólmes notaði aðferðina við samanburð á umhverfisáhrifum við val á milli olíuhreinsunarstöðvar og álvers í Reyðarfirði. Auk þessa valkosta bætti hann við einum svokölluðum fölsuðum valkosti sem tæki á svokallaðri almennri þróun á svæðum, það er verkefni sem fengju svæðisstyrk fyrir uppbyggingu á atvinnu. Við einkunnagjöf voru fengnir sex óháðir sérfræðingar til að gefa einkunnir til samanburðar á öllum þeim viðmiðum sem rannsóknin var byggð á. Mat þeirra við einkunnagjöf virtist gefa mjög álíka niðurstöður þó svo að sérfræðingarnir hefðu allir mismunandi sjónarhorn á hvern valkost. Niðurstaðan var sú að falsaði valkosturinn gaf mun hærri einkunn en olíuhreinsistöðin og álverin, þar sem álverin fékk lægstu einkunn. Aðferðin reyndist vel en vandamálið hefði mátt brjóta meira niður fyrir viss viðmið til að fá áreiðanlegri niðurstöður (*Júlíus Sólmes, 2002*).

Ágúst Þorgeirsson notaðist við AHP-aðferðina til að meta mismunandi staðsetningu á miðstöð innanlandsflugs á Íslandi. Þar setti hann einnig fram aðferð í forröðun viðmiða áður en einkunnagjöf fer fram. Aðferðinni lýsir hann þannig að í upphafi eru  $n$  stökum raðað í röð og síðan eru þörin borin saman. Röðunin leiðir til færri samanburða og því einfaldari en ef um óraðaðan fylkjasamanurð væri að ræða. Þessi aðferð þótti einfalda viðfangsefnið og gera þátttakenda kleift að einbeita sér að afmörkuðum hluta þess hverju sinni. Sett var fram dæmi um notkun á AHP aðferðinni og reyndist hún vel. Niðurstaða á rannsókninni var þó ekki trúverðug þar sem gera hefði þurft nánari athugun á því hverju viðmið ættu að byggja á. Einnig gáfu sérfræðingar huglægt mat sitt án undirbúnings og hefði þurft meiri tíma í slíka rannsókn (*Ágúst Þorgeirsson, 2002*).

Að lokum má nefna Rammaáætlun Landverndar um nýtingu vatnsafls og jarðvarma. Þar var notast við AHP aðferðina til að leggja mat á og flokka virkjunarkosti. Notkun á aðferðinni hentaði vel og gerði mat á virkjunarkostum gegnsærra og svo betur mátti greina hvers vegna tilteknir kostir röðuðust hátt eða lágt. Virkjunarsvæði og virkjunarkostir voru metnir með þremur einkunnakvörðum, það er verðmætaeinkunn, áhrifaeinkunn og AHP-einkunn. Nokkur fylgni var á milli allra þriggja kvarðanna, en AHP þótti henta best þar sem aðferðin horfði bæði á áhrif og verðmæti (*Landvernd, 2009*).

Til er bandarískt fyrirtæki að nafni Expert Choice sem býið hefur til forrit sem byggt er á AHP aðferðinni. Notast verður við útgáfu af forritinu til að bera saman niðurstöður síðar í þessu verkefni, sjá kafla 4.3. Á heimasíðu Expert Choice ([www.expertchoice.com](http://www.expertchoice.com)) má finna mörg dæmi um notkun á AHP aðferðinni og hér verða nefnd þrjú dæmi af aðilum sem nutu góðs af við beitingu aðferðarinnar. Bandaríska ráðuneyti uppgjafarhermanna (U.S. Department of Veterans Affairs) beitti aðferðinni til þess að bæta forgangsröðun þeirra verkefna sem keppa um fjármögnun og tengdu um leið lykilákvæðanir við mikilvægi verkefna. Einnig beitti bandaríska húsnæðis- og þéttbýlisþróunarráðuneytið (e. U.S. Department of Housing and Urban Development) AHP aðferðinni til þess að þróa aðferð við skipulagningu fjármögnunar upplýsingatækniverkefna sem hluta af fjárhagsáætlun sinni. Webster Bank notaði aðferðina til þess að velja besta söluaðilann til að skipta út þjónustukerfi viðskiptavina en að verkefninu komu yfir 50 stjórnendur úr 11 viðskiptaeiningum. Í öllum tilvikum þótti AHP aðferðin henta vel og gefa góða yfirsýn á vandamálið.



Ítarleg leit var gerð eftir sambærilegri rannsókn og sett er fram hér sem notar AHP-aðferðina eða aðrar álíka aðferðir, en ekki fannst neinn sambærilegur samanburður á álframléiðslu milli landa. Hér má þó nefna tvær rannsóknir sem gerðar voru annarsvegar til að bera saman breytingu á orkuverði og áhrif milli landa og hinsvegar við val á staðsetningu álvers á Íslandi. Sú fyrri var áströlsk rannsókn sem fjallaði um það hvaða áhrif það hefði á áliðnaðinn kæmi til hækkunar á orkuverði þar í landi til að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda. En þar er Ástralía skoðuð til hliðs við önnur lönd miðað við orkuverð, losun gróðurhúsalofttegunda og orkugjafa álveranna. Engin niðurstaða fékkst í þeirri rannsókn því enginn tilraun til samanburðar var gerð (*Hal Turton, Janúar 2002*). Sú seinni fjallaði um samanburð þriggja mögulegra staða á Norður Íslandi fyrir staðsetningu álvers. Þar eru mögulegir staðir fyrir nýtt álver taldir upp og safnað saman gögnum um ýmsa þætti til samanburðar eins og mögulega orkugjafa, ýmsar landfræðilegar upplýsingar og hafnaraðstöðu. Hverjum þætti er síðan raðað í röð eftir hag, en engin endanleg niðurstaða er sett fram (*HRV Engineering, 2006*).

Finna má fjölmargar fræði greinar á leitarsíðum eins og [www.scirus.com](http://www.scirus.com) um notkun á AHP aðferðinni. Þar má finna dæmi um notkun aðferðarinnar á öðrum sviðum eins og fyrir val á fjárfestingarkostum eða við val á bestu staðsetningu svo eitthvað sé nefnt. Eitt dæmi um notkun á AHP aðferðinni er val á staðsetningu sementverksmiðju. Þar eru fimm viðmið og fimm staðsetningar á valkostum bornir saman. Niðurstaða á notkun AHP aðferðarinnar þótti nákvæm, skiljanleg og góð til ákvörðunartöku (*M. Ataei. 2005*).

## 2.5 Gagnaöflun

Við gagnaöflun var reynt að styðjast sem mest við töluleg gögn til fá sem mest hlutlausar niðurstöður. Hafa þarf í huga að miklar breytingar hafa orðið í vetur vegna fjármálakreppunnar og því erfitt að fá rétta gögn þegar rannsóknin var unnin. Þar má nefna dæmi um atvinnuleysi sem breyst hefur mikið. Tekin var sú ákvörðun að notast við gögn frá árinu 2008, það er gögn fyrir kreppu, en þegar verkefnið var unnið voru heldur ekki til nákvæm gögn til að styðjast við, bæði hérlendis og erlendis. Skoðað verður í kafla 4.3.7 sérstaklega hver áhrifin eru á aðgengi að vinnuafli og á niðurstöður eins og staða landanna er í dag, það er eftir að rannsóknin var unnin. Annað dæmi eru gengisbreyting, en hér á landi hefur íslenska krónan veikst verulega gagnvart bandarískum dollar eftir fjármálahrunið, en samanburður er gerður í dollurum. Þetta verður einnig skoðað sérstaklega í kafla 4.3.4.

Gögn voru að mestu fengin úr gagnagrunni CRU (*CRU Analysis, Ágúst 2007*) sem safnar saman upplýsingum um rekstrarkostnað og ýmsa aðra þætti álfyrirtækja. Gögn sem notuð eru í þessu verkefni eru frá árinu 2006. Einnig var notast við vefútgáfu af *The World Factbook 2008* (*The World Factbook, 2008*). Bókin hefur að geyma ítarleg gögn um landfræðilegar upplýsingar, fólksfjölda, stjórnfyrirkomulag og efnahag landa svo eitthvað sé nefnt. Þessi tvö rit þóttu gefa bestu heimildir varðandi einkunnagjöf landa. Þó svo að gögn frá CRU séu frá árinu 2006 þá verður gert ráð fyrir að hlutfalsleg breyting hafi haldist í innkaupaverði á hrávöru milli landa.

Notkun á aðferðinni er fyrir aðstandendur álveranna og því aðeins fengið álit frá þeim sem starfa innan áliðnarins og þó að fagaðilar tengist mati þá ber að taka niðurstöðum með fyrirvara. Ákvarðanir á vali og vægi viðmiða voru unnar í samstarfi við sérfræðinga sem þekkja vel til álframléiðslu ásamt mínu mati. Þeir sérfræðingar sem talað var við eru forstjóri, framkvæmdastjórnar og verkfræðingar frá bæði HRV, íslensku álverunum og Landsvirkjun.



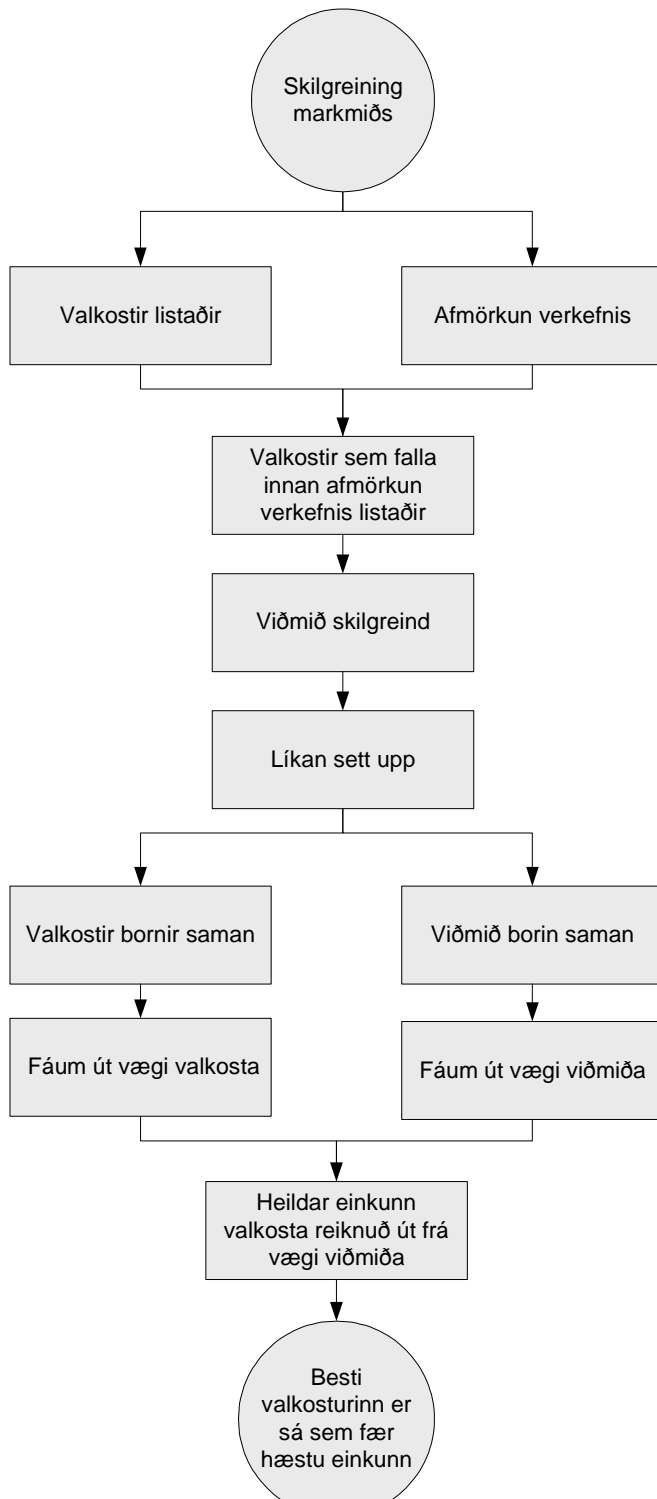
### 3 RANNSÓKN

Þegar valið er land sem hagstætt er fyrir álfyrirtæki að staðsetja álver í þá er það einkum fernt sem skiptir máli. Það er næg orka, nálægur markaður, nálægð við hrávörur og nægt vinnuafli til staðar. Þessir þættir verða skoðaðir til að bera saman valin lönd á samt fleirum þáttum sem sérfræðingar telja að geti skipt máli eða haft áhrif á loka ákvörðun á staðsetningu álvers.

Í kafla 3.1 verður notkun á AHP aðferðinni skoðuð við þetta verkefni. Í kafla 3.2 verður fjallað um hvernig þau lönd sem notuð eru í þessum samanburði eru valin. Loks í kafla 3.3 verður gert grein fyrir viðmiðunum sem notuð eru til samanburðar.

#### 3.1 Aðferðarfræði

Til þess að skýra notkun á AHP aðferðinni við þetta verkefni má setja upp flæðirit af verkröðuninni, sjá mynd 3.1.



Mynd 3.1: Flæðirit sem lýsir notkun á AHP aðferðinni við lausn þessa verkefnis. Mynd: Helena Sigurðardóttir.

Ef flæðiritið er skoðað í samræmi við þetta verkefni þá er markmiðið að kanna sérstöðu íslenskra álvera og skoða samkeppnishæfni Íslands miðað við önnur lönd. Við upphaf verkefnis var könnuð staða á notkun aðferðarinnar og hvort hún hafi verið notuð til samanburðar af þessu tagi. Því næst var að afmarka verkefni með því að velja þau lönd og viðmið til að bera saman. Öll lönd sem framleiða ál voru tekin til greina sem valkostir en af

þeim voru valin fimmtán lönd. Valkostirnir fimmtán skulu hafa álver í sama stærðarflokki og þekkist hér á landi og ekki eru tekin með ný álver þar sem ekki liggja fyrir næg gögn. Sjá val landa í kafla 3.2. Möguleg viðmið til samanburðar verða átta, sjá viðmið í kafla 3.3.1 - 3.3.8, og eru þau valin í samráði með þeim sem þekkja vel til áliðnaðarins. Líkanið verður sett upp í excel og einnig verður notast við forritið EC 11.5. Valkostir annarsvegar og viðmið hinsvegar eru borin saman samkvæmt AHP aðferðinni og vægi þeirra fundið. Heildar einkunn og samkvæmni viðmiða og valkosta er reiknað og besti kosturinn fær síðan hæstu einkunn, en summa einkunna hverju viðmiði er alls 1 (eða 100%). Notast er við töluleg gögn til að gefa einkunn þar sem þess er kostur en annars verður notast við huglægt mat frá sérfræðingum innan álgeirans. Fjöldi valkosta er  $n=15$  og því verður fjöldi samanburða fyrir hvert viðmið  $n(n-1)/2 = 15(15-1)/2 = 105$ .

## 3.2 Val landa sem bera skal saman við Ísland

Síðustu ár hefur eftirspurn eftir áli farið vaxtandi en þó hefur hægt á eftirspurninni eftir að fjármálakreppan hófst. Eins og kom fram í kafla 1 er heildar framleiðslan í dag um 30.000.000 tonn á ári. Framleiðslan er hvað mest í Kína eins og sjá má í töflu 3.1. Taflan sýnir þau lönd sem framleiða hvað mest af áli eða yfir eina milljón tonn á ári í janúar 2009.

Tafla 3-1 Yfirlit yfir lönd sem framleiða yfir 1.000.000 tonn af áli á ári í janúar 2009.

Heimild: Alcor b.v., 2009.

Land	Framleiðslugeta (kt/ár)
Kína	15.650
Rússland	4.194
Bandaríkin	3.468
Kanada	3.075
Ástralía	1.951
Braselía	1.666
Noregur	1.265
Indland	1.223

Skilgreind voru þau lönd sem bera skal saman við Ísland með því að nota tölur um framleiðslugetu álvera samkvæmt CRU (*CRU Analysis. Febrúar 2008*). Ákveðið var að samanburður yrði gerður á álverum af sömu stærðargráðu og á Íslandi. Því voru öll álver sem lentu fyrir utan framleiðslugetuna á bilinu 100.000-400.000 tonn á ári þurrkuð út af lista svo eftir urðu álver af svipaðri stærðargráðu og þekkist hér á landi. Því næst var heildarframleiðsla landanna tekin saman miðað við þessi álver og þeim raðað upp eftir framleiðslugetu. Ísland lenti þar í áttunda sæti og voru því valin fimmtán lönd til samanburðar, það er sjö fyrir ofan og sjö fyrir neðan. Því fengust eftirfarandi fimmtán lönd sem notuð verða til samanburðar, sjá töflu 3.2.

Tafla 3-2 Lönd til samanburðar og tákn þeirra.

Land	Tákn	Land	Tákn	Land	Tákn
Ástralía	AU	Indland	IN	Noregur	NO
Bandaríkin	USA	Íran	IR	Nýja-Sjáland	NZ
Bretland	UK	Ísland	IC	Oman	OM
Frakkland	FR	Kanada	CA	Rússland	RU
Holland	NE	Kína	CH	Þýskaland	GE

Við sjáum að Brasilía er eina landið sem lendir ekki inn í samanburðinum af þeim níu sem nefnd eru í töflu 3.1. Ástæðan er sú að þar eru mörg álver sem framleiða minna en 100.000 tonn á ári og eitt stórt álver sem framleiðir meira en 400.000 tonn á ári og þurrkuðust þau því út og þar af leiðandi lendir Brasilía ekki í þessum samanburði.

### 3.3 Valin viðmið tekin fyrir og rædd

Í köflunum hér á eftir, frá 3.3.1 til 3.3.8, verða þau viðmið sem valin voru til að bera saman löndin rædd. Settir verða fram möguleikar á hverju einkunnagjöfin geti byggt á í hverju viðmiði og síðan tekin ákvörðun um hvað einkunnagjöfin byggði á í hverju viðmiði í þessari rannsókn. Í kafla 3.3.9 verða síðan önnur möguleg viðmið sem einnig má nota til samanburðar rædd lauslega.

Eins og nefnt var í kafla 2.5 var val á viðmiðum sem valin voru til að bera saman löndin fundin í samstarfi við sérfræðinga sem þekkja vel til álframleiðslu ásamt mínu mati. Þeir sérfræðingar sem talað var við eru forstjóri, framkvæmdastjórnar og verkfræðingar frá bæði HRV, íslensku álverunum og Landsvirkjun. Viðmiðin voru valin með tilliti til kostnaðar og mikilvægis í álframleiðslu.

Hér skal enn og aftur tekið fram að val á viðmiðum og einkunnagjöf er aðeins ætlað að gefa vísbendingu um hvernig hægt er að standa að samanburði af þessum toga. Þó verður reynt að nálgast matið eins vel og hægt er og ekki er tekin afstaða með eða á móti álframleiðslu hér á landi eða álframleiðslu almennt.

#### 3.3.1 Orka

Helstu orkugjafar álvera eru kolaorka, gasorka, vatnsaflsorka og kjarnorka auk þess hefur jarðhitaorka verið að ryðja sér til rúms hér á landi. Kolaorka er langmest notaði orkugjafinn í áliðnaðinum en um 42% álvera eru knúin þeim orkugjafa. Vatnsaflsorka fylgir þar fast á eftir en 41% álvera notar þann orkugjafa. Notkun gasorku er einungis 8%, kjarnorku rúm 3% og jarðvarmaorku sem er hverfandi (*CRU Analysis, febrúar 2008*).

##### *Trygg orka til lengri tíma*

Lagaumhverfið getur skipt miklu máli og að stjórnarumhverfi sé gegnsætt. Því er mjög mikilvægt að traustir samningar séu gerðir til lengri tíma, það er til 40-50 ára í senn, því álfyrirtækin vilja geta horft langt fram í tímann og geta þar með tryggt hagstæðan rekstur.

Almennt er erfitt er fyrir álver að gera langtíma samninga við raforkufyrirtæki vegna þess að í flestum ríkjum eru fleiri en ein tegund orkufrekar iðnaðar og geta orkuseljendur valið úr kaupendum. Hér á Íslandi eru allir samningar gerðir til langs tíma sem er hagur beggja aðila. Ástæða þess er sú að hér er lítið um annan orkufrekan iðnað sem getur tekið við orkunni. Samningar hér á landi hafa einnig verið þannig háttaðir að ef álver nota ekki alla

þá orku sem samið var um þá þurfa þau samt sem áður að greiða fyrir orkuna. Því borgar það sig ekki fyrir álver að draga úr vinnslu. Á móti kemur að þá eru raforkufyrirtækin bundin því í samningum að geta ekki lokað fyrir orku til álveranna (*Bjarni Bjarnason, 2009*). Álverð hefur verið sögulega lágt í byrjun árs 2009, en það fór undir 1.300 \$/tonn. Af því leiðir eru meiri líkur á að álverksmiðjur sem standa ekki undir rekstrarkostnaði þurfi að hætta starfssemi. En vegna þessa samninga hér á landi er mjög ólíklegt að svo gerist.

Forsenda þess að álver geti starfsrækt álverin sín er aðgegni að orkunni. Sem dæmi er mikið til af vatnsaflsorku í heiminum sem ekki er búið að virkja. Pólítísk staða einstakra ríkja gagnvart áformum um byggingu orkuvera til álfyrirtækja getur verið breytileg og er ekki vel þekkt. Hér er einnig um hápólítískt mál að ræða og nær fyrir utan ramma þessa verkefnis. Því verður þessi liður ekki tekinn með í matið. Þó svo að staða landa yrði skoðuð gagnvart áformum um byggingu orkuvera til álfyrirtækja geta verið miklar breytingar miðað við hvaða tíma slíkt er skoðað og því erfitt að bera saman afstöðu ríkjanna.

### *Orkuverð*

Orkuverð er sjaldan gefið upp og ríkir því mikil leynd yfir því hvaða verð álfyrirtæki fá orkuna á. Þekkt er að orkuverð fari eftir tegund orkugjafa og oftast er ekki orkuverð tengt álverði ef orkan kemur úr vatnsaflsvirkjun eða kjarnorku eða hún er háð verði á kolum og olíu sé notast við slíka orkugjafa.

Orkuverð til álfyrirtækja verður notað til samanburðar í þessari rannsókn og verður notast við orkuverð sem CRU áætla (*CRU Analysis, Febrúar 2008*). Verðið sem þeir áætla innifelur allan minniháttar rafmagnskostnað og tap í afriðlum. Kostnaður fyrirtækja í þátttöku orkuverkefna er ekki tekinn fram í matinu heldur er sá kostnaður metinn inni í orkuverðið þar sem það á við. Í viðauka A má sjá í töflu A-1 meðalorkuverð landanna sem notuð eru til samanburðar samkvæmt AHP kvarðanum.

### *Mismunur á tækni álvera og orkunotkun þeirra*

Álver með Söderberg tækni nota meiri orku en þau sem nota PB tækni við álframleiðslu. Flest álver í dag sem rekin voru með Söderberg tækni hefur verið breytt í PB eða þeim verið lokað, einnig eru öll ný álver byggð á PB tækni (*Rafgreining, 1999*). Í viðauka A má finna töflu A-2 sem inniheldur upplýsingar um tækni álvera.

Mismunur á orkunotkun Söderberg og PB tækni var sannreyndur. Það var gert með því að taka mismunur á orkukostnaði álveranna árið 2006, samkvæmt CRU, í hverju landi sem þessi skýrsla nær til. Þau álver sem nota Söderberg tækni eru staðsett í Indlandi, Rússlandi, Noregi, Kanada, Bandaríkjunum og Kína. Ekki verða gögn sett fram um orkuverð hvers álvers heldur er vísað í gagnagrunn CRU. Hér fyrir neðan eru niðurstöður á samanburði orkuverðs Söderberg og PB álvera.

- Á Indlandi eru flest álver rekin með Söderberg tækni. Aðeins tvö af þeim álverum sem voru í CRU skýrslunni notuðust við PB tækni. Orkuverð var 64% dýrara hjá Söderberg álverum.
- Mörg álver í Rússlandi eru rekin með Söderberg tækni. Aðeins tvö notast einungis við PB tækni en einhver álver hafa verið að skipta út Söderberg yfir í PB og nota því báðar aðferðirnar. Mismunur orkuverðs reyndist vera að PB tækni er 18% ódýrari.
- Í Noregi eru ennþá nokkur álver með Söderberg tækni. Aðeins eitt notast ennþá eingöngu við Söderberg en hin eru blönduð af henni og PB tækni. Niðurstaðan var að

orkuverð PB álvera var 30% meiri. Það má hugsanlega skýra með því að Söderberg álverin eru gömul og hugsanlegt er að gamlir samninga draga verðið niður.

- Í Kanada fékkst að orkuverð væri um 68% minna fyrir þau álver sem notuðust við Söderberg tækni. Þann mismun má skýra með því að hugsanlegt er að góðir samningar eru enn í gildi í gömlum álverum eða að verð sé niðurgreitt af ríki til að halda framleiðslunni gangandi. Einnig má sjá að orkuverð í Kanada er mjög mismunandi séu öll álver skoðuð, eða allt frá 83 – 513 \$/t, en þessi mismunur hefur mikil áhrif á útreikning meðalorkuverðs.
- Í Bandaríkjunum eru enn starfandi þrjú Söderberg álver af þeim 21 álveri sem CRU listar upp. Þar er orkuverð á hvert framleitt tonn 43% lægra fyrir PB tækni.
- Erfitt er að nálgast upplýsingar um álver í Kína, en fjöldi álvera þar eru nálægt 100 talsins. Mismunur á orkuverði þeirra álvera sem rekinn með PB tækni og þeirra sem upplýsingar vantar um má áætla að orkuverð sé um 4% ódýrari fyrir álver sem nota PB tækni.

Hér sjáum við að orkuverð er ekki endilega alltaf dýrara fyrir álver sem nota Söderberg tækni heldur en PB tækni. Það sem gerir þennan samanburð erfiðan er að ríki eiga það til að greiða niður orkuverð eða gefa skattaafslátt til álvera. Til dæmis í Ástralíu og Nýja-Sjálandi niðurgreiða ríkin orkuverð til álvera. Í Bandaríkjunum hafa nokkur álver notið lágs orkuverðs með því að sleppa við að borga skatt af orkunni (*Hal Turton. Janúar 2002*).

#### *Orkuflutningur*

Flutningur á orku getur verið kostnaðarsamur liður og því getur skipt máli hvaðan orkan er fengin. Því lengri vegalengd sem flytja þarf orkuna því dýrari er hún. Einnig skiptir öryggi í flutningi máli en álver eru viðkvæm fyrir truflunum á raforkukerfinu og rafmagnsskortur sem varir í meira en örfáar klukkustundir getur haft mjög kostnaðarsamar afleiðingar í för með sér. Hér á landi voru til dæmis lagðar tvær háspennulínur frá Kárahnjúkum til Fjarðaáls en það er gert vegna rofs sem gæti orðið vegna snjóflóðahættu, en slíku fylgir mikill viðbótar kostnaður. Hér er miðað við að flutningskostnaður sé innifalinn í orkuverði til álvera og að ekki sé hætta á truflunum í raforkukerfinu.

#### *Álag á orkuverð vegna losunar gróðurhúsalofttegunda*

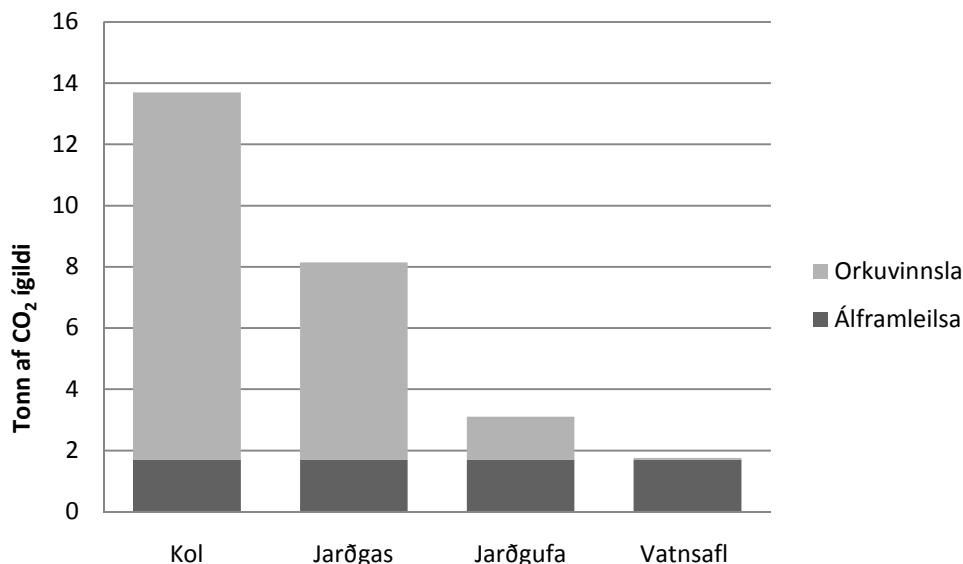
Tegund orku getur skipt mál. Losi orkugjafi mikið af gróðurhúsalofttegundum er líklegt að í framtíðinni bætist álag á orkuverð vegna losunar gróðurhúsalofttegunda. Þá hafa 39 ríki skuldbundið sig eftir svokölluðum Kyoto sáttmála sem er milliríkja sáttmáli um að setja bindandi mark um að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda. Út frá þessum sáttmála er líklegt að myndist kolefnisjöfnunar markaður. Um þetta verður fjallað nánar í kafla 3.3.6.

Áhugavert er að bera saman gróðurhúsaáhrif frá mismunandi raforkuvinnslu og frá álverunum sjálfum. Samkvæmt niðurstöðum sem Landsvirkjun birti úr vistferilsgreiningu (*Harpa Birgisdóttir og Ragnheiður Ólafsdóttir, Júní 2008*) á mismunandi valkostum raforkuvinnslu eru gróðurhúsaáhrifin eftirfarandi:

Kol	800.000-1050.000	kg CO <sub>2</sub> ígildi/GWst
Jarðgas	430.000	kg CO <sub>2</sub> ígildi/GWst
Jarðgufa	94.000-122.000	kg CO <sub>2</sub> ígildi/GWst
Vatnsafl	4.000	kg CO <sub>2</sub> ígildi/GWst



Ef gert er ráð fyrir að 15MWh af raforku þurfi til að framleiða eitt tonn af áli, og að álver losi að meðaltali 1,7 tonn af CO<sub>2</sub> við að framleiða sama magn, má finna út heildarloftmengun á áli frá mismunandi orkugjöfum miðað við þau gögn sem sett eru fram hér að ofan.



Mynd 3.2 Losun CO<sub>2</sub> ígilda við framleiðslu á einu tonni af áli og orkugjöfum eftir mismunandi orkugjöfum. Heimild: Harpa Birgisdóttir og Ragnheiður Ólafsdóttir, Júní 2008.

Á mynd 3.2 má sjá niðurstöðu útreikninga á heildar losun CO<sub>2</sub> við framleiðslu á einu tonni af áli. Miðað við þessar forsendur má sjá að gróðurhúsaáhrif við brennslu kola eru langmest eða um 200 sinnum meiri en við vatnsorku og um 9 sinnum meiri en frá jarðgufu. Einnig er áhugavert að sjá að jarðgufa losar um 23 sinnum meira af CO<sub>2</sub> en vatnsafl (sjá einnig töflu A-3 í viðauka A). En samkvæmt þessu er líklegt er að kola orka komi til með að hækka mest í verði komi til álag á orkuverð vegna losun á gróðurhúsalofttegundum.

#### Einkunnagjöf

Eins og kom fram verður notast verður við meðal orkuverð landa til að gefa einkunn og þá einungis meðalverð álvera sem nota PB tækni. Þær upplýsingar eru ekki huglægt mat og gefa því bestu niðurstöður. Gefin var einkunn eftir hlutfallslegum mismun á orkuverði. Gögn um meðalorkuverð landanna má sjá í töflu A-1, viðauka A, og niðurstöðu einkunnagjafar má sjá í töflu C-1, viðauka C.

### 3.3.2 Súrál

Súrál (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) er meginhráefnið í álframleiðslu, en með rafstraumi er hægt að kljúfa það í frumefni sín. Efnið finnst ekki hreint í náttúrunni, heldur er það framleitt úr bákíð, sem finnst aðallega á breiðu beltum við miðbaug jarðar. Bákíð er flutt til vinnslu í þar til gerðar súrálsværksmiðjur, en stór hluti af heimsframleiðslu bákíðs er unnið yfir í súrál (Rafgreining, 1999). Gögn frá World Mineral Production (WMP) (L.E. Hetherington, T.H. Brown, A.J. Benham, T. Bide, P.A.J. Lusty, V.L. Hards, S.D. Hannis, N.E. Idoine. 2008) um helstu súrálframleiðendur heims má finna í töflu B-1 í viðauka B.

### *Gæði súrál*

Súrál getur verið mismunandi. Það er ýmist sandkennt eða mjölkennt og fer eftir hvers konar bákíð er notað ásamt þeirri aðferð sem notuð er til að vinna súrálið. Korna bygging og fallhorn súrálans skipta einnig máli upp á það hversu vel gengur að flytja það með þéttflæðikerfinu og ná því úr súrálsgæmum og kertönkum. Einnig ræður korna byggingin því hversu hratt súrálið leysist upp í raflausninni. Breyti álfyrirtæki um tegund súrál þá þarf það að fara í gegnum aðlögunarferli á rafgreiningarbúnaði í álframleiðslunni og getur aðlögunarferlið orðið dýrt (*Jón Hjaltalín Stefánsson, 1997*). Þessi liður mun ekki hafa áhrif á einkunnagjöf.

### *Verð á súráli*

Þegar framleiða skal ál þarf að hafa tryggar birgðir af súráli og eru samningar oftast gerðir til lengri tíma. Til eru tvær aðferðir við að kaupa súrál. Önnur er að kaupa það beint af birgjum en hin er að kaupa það í gegnum miðlara (e.trader). Fyrri aðferðin felur í sér fastan kostnað en sú seinni breytilegan. Þegar súrál er keypt af birgjum þá miðast verð á súráli oftast við hlutfall af 3 mánaða verði á áli. Verðið getur einnig verið breytilegt milli verksmiðja en ástæður þess geta meðal annars verið mismunandi samningar milli fyrirtækja, innanlands bónusar, aukalegur flutningskostnaður, mismunandi gæði súrál og í einhverjum tilfellum þá eru súrálverksmiðjur í eigu álfyrirtækja.

Indversk, brasilísk og áströlsk álfyrirtæki njóta lægsta kostnaðar á súráli vegna lágs flutningskostnaðar en álfyrirtæki sem staðsett eru til dæmis inn í landi í Rússlandi þurfa að greiða meiri flutningskostnað. Því getur verið hagkvæmt fyrir álver að vera staðsett nálægt súrálverksmiðju (*CRU Analysis, Ágúst 2007*). Í töflu A-1 í viðauka A má sjá upplýsingar um meðalverð á súráli hvers lands, en sá liður verður notaður til einkunnagjafar.

### *Innanlands flutningur súrál*

Súrál er oftast flutt í stórum skipum sem rúma allt að 60 þúsund tonn. Ef álver eru staðsett við sjó eða við flutninga skurði sem ráða við svo stór skip er hægt að flytja súrálið beint úr skipum í síló þar sem það er geymt. Í Kanada má finna dæmi mörg álver sem eru staðsett meðfram árfarvegum sem rúma stór skip. Álver sem staðsett eru inn í landi þurfa að flytja súrálið á landi með lestum eða flutningabílum sem bætir miklum flutningakostnaði ofan á. Einnig er mikið magn af súráli að ræða og getur orðið erfitt að fá leyfi innan samgöngukerfis fyrir svo miklum og reglulegum flutningum. Því er það oftast ódýrara að flytja súrál til álvers sé það staðsett við höfn eða skurð þó svo flytja þurfi það lengri vegalend.

### *Einkunnagjöf*

Af öllum þáttunum sem nefndir eru hér að ofan verður notast við áætlað verð súrál samkvæmt CRU til að bera saman löndin, en það er verð til kaupanda að flutningakostnaði meðtöldum. Meðalverði landanna má sjá í viðauka A, töflu A-1 og niðurstöðu einkunnagjafar má finna í viðauka C, töflu C-2.

### **3.3.3 Aðgengi að kolum**

Kostnaður kola við framleiðslu á áli er um 9% af heildarkostnaði í framleiðsluferlinu samkvæmt CRU. Það sem gerist í rafgreiningarferlinu er að súrefnið (O<sub>2</sub>) úr súrálínu hvarfast við kolefni (C) forskautsins. Til að framleiða eitt tonn af áli þarf hálf tonn af kolum.

### *Staðsetning kolanáma og flutningar fjarlægðir*

Stærstu kolaframleiðendur heims má finna í Kína og í Bandaríkjunum. Kínverjar framleiða hvað mest af kolum eða rúmlega 2.190 milljón tonn á ári. Þar á eftir koma Bandaríkin með rúmlega helmingi minni framleiðslu eða um 1.000 milljón tonn á ári (*BP Statistical Review of World Energy June 2008*). Flest þau lönd sem borin eru saman hér hafa aðgang að kolanámum nema Holland, Noregur, Íran, Óman og Ísland, en það þýðir að þessi lönd þurfa að greiða meira fyrir kol. Gögn um helstu kolaframleiðendur heims má finna í töflu B-2 í viðauka B.

### *Endurvinnsla*

Við rafgreiningu verður um fjórðungur hvers skauts eftir. Skautaleifarnar eru hreinsaðar og malaðar og sendar í endurvinnslu. Sum álver selja leifarnar til forskautssala en önnur eru með sína eigin framleiðslu á skautum og endurnýja skautin sín sjálf (*Jón Hjaltalín Stefánsson, 1997*). Ávinningur af því að vera með sína eigin framleiðslu er að verð skautanna lækkar og ekki þarf að flytja leifar úr landi heldur er hægt að nýta þær til endurvinnslu. Einnig er möguleiki á að önnur nálæg álver kaupi þaðan skaut sem felur í sér enn meiri hagnað. Framleiðsla á skautum fer hvergi fram hér á landi.

### *Verð á kolum*

Forskaut eru búin til að mestum hluta úr kok (70% - 85%) og restin er tjörubik sem heldur skautinu saman. Verð á skautum er háð olíuverði og hækki verð þeirra hraðar en ál getur það haft í för með sér að fyrirtæki þurfi að hætta framleiðslu vegna þessa. Samið er vanalega um verð á kolum tvisvar á ári og sex mánuði fyrirfram í senn (*CRU Analysis, ágúst 2007*). CRU tekur saman verð á kolum til hvers álvers og er allur hagnaður á sölu skautleifa innifalinn. Allur eldsneytiskostnaður og kostnaður við vinnu er þó ekki innifalinn í verðinu. Í viðauka A, töflu A-2, má sjá meðalverð á kolum til landanna samkvæmt CRU. Tekinn er saman meðalkostnaður hvers lands sem borin eru saman hér og sá kostnaður notaður til að gefa einkunn.

### *Einkunnagjöf*

Af öllum þáttunum sem nefndir eru hér að ofan þá byggist einkunnagjöf á hlutfallslegum mismun á meðal verði kola samkvæmt CRU. Einkunnagjöf má sjá í viðauka C, töflu C-3.

## **3.3.4 Launakostnaður**

Launakostnaður er stór hluti af framleiðslukostnaðnum. Hlutfallið var um 10% árið 2006 samkvæmt greiningu CRU. Til að bera saman launatölur má leita uppi meðallaun verkamanna í hverju landi fyrir sig. Gerð var tilraun til að leita þær upplýsingar uppi, en ekki var hægt að finna upplýsingar um meðallaun fyrir öll löndin og þótti samanburður á þeim ekki gefa góðan samanburð. Einnig dugar ekki að skoða aðeins meðallaun verkamanna því framleiðni vinnuafls getur haft áhrif á samanburð.

### *Áhrif launakostnaðurs eftir staðsetningu álvera*

Álver geta haft áhrif á launakostnað innan síns fyrirtækis. Séu lágmarksalaun há getur fyrirtækið flutt inn ódýrari vinnuafli, en hinsvegar er líklegt að stjórnvöld séu ekki hliðholl því að vinnuafli sé flutt inn. Í flestum tilfellum er líklegt að gerðir séu samningar varðandi það að nýta það vinnuafli sem í boði er innan þess lands sem reksturinn fer fram í. Dæmi er til um að álver reiði sig á vinnuafli annarsstaðar frá þar sem bæði er skortur á vinnuafli og eða þekking ekki til staðar. Sé til dæmis skortur á vinnuafli í mið austurlöndum eru líkur á að álver reiði sig á ódýru vinnuafli frá Indlandi, Pakistan og sambærilegum löndum og að tæknimenntað vinnuafli komi þá frekar frá Evrópu eða Kanada.

Álver eru oft staðsett í dreifbýlum og hafa þau brugðið til þess ráðs að hækka meðallaun og auka fríðindi starfsmanna til að laða að vinnuafli. Sem dæmi þá átti Fjarðaál í erfiðleikum með að fá til sín starfsmenn vegna staðsetningu. Þar var tekið upp á því til dæmis að greiða auka mánuð í laun, greiða fyrir búferlaflutning og hluta af leigu á húsnæði til að laða að vinnuafli.

#### *Launakostnaður*

CRU tekur saman allan launakostnað fyrir hvert framleitt tonn af áli og reiknar með mismunandi framleiðni vinnuafli. Innifalið í þeim launakostnaði eru grunnlaun starfsmanns ásamt alls viðbótarkostnað eins og tryggingar, lífeyrislaun og skattar (*CRU Analysis, September 2007*). Launakostnaðurinn er reiknaður yfir í dollara og því geta tölur sveiflast mikið milli álvera eftir því í hvaða gjaldmiðli launakostnaður er greiddur í og á hvaða tíma hann er reiknaður.

Meðallaunakostnaður hvers lands var fundinn út frá launakostnaði hvers álvers samkvæmt CRU. Engar upplýsingar voru um Oman úr þeirri töflu sem CRU gaf og því var sú ályktun tekin að launakostnaður þar væri álíka og í Íran en örlítið hærri vegna þess að lífskjör hafa verið talin betri í Oman en Íran og þar með launin hærri. Einnig má gera ráð fyrir að flytja þurfi inn starfskrafta til Oman þar sem faglært fólk þar er af skornum skammti.

#### *Einkunnagjöf*

Af þeim þáttum sem nefndir eru hér að ofan er notast við launakostnað sem CRU gefur upp. Einkunn var gefin eftir hlutfallslegum mismun á meðallaunakostnaði milli landa. Meðallaunakostnað má finna í viðauka A, töflu A-1 og niðurstöður úr einkunnagjöf má sjá í töflu C-4 viðauka C.

### **3.3.5 Öryggi á vinnustað**

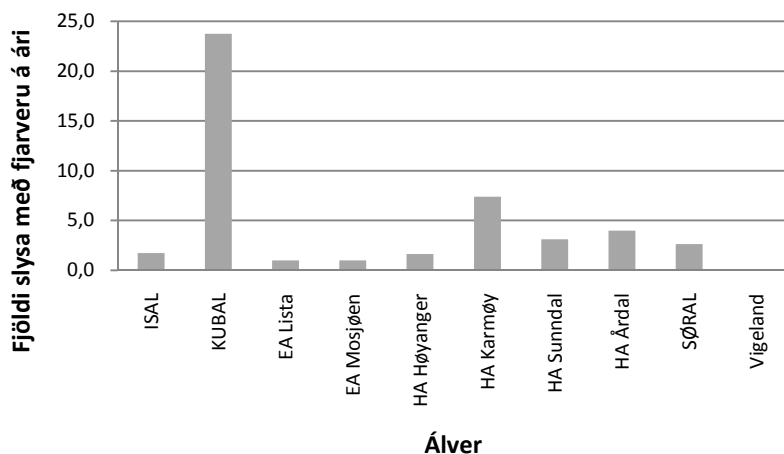
Með öryggi á vinnustað er reynt að koma í veg fyrir að starfsmaður slasi sig við störf og verði ekki fyrir heilsutjóni af einhverju tagi. Flest álfyrirtæki setja starfsemi öryggismála í algjöran forgang og fjalla almennt vel um sína eigin stöðu í öryggismálum. Álfyrirtæki hafa mismunandi framleiðslulínur og mismunandi samsetta tækni og því hafa þau aðlagð öryggi á vinnustað að sínum aðstæðum. Einnig geta skráningar verið mismunandi skilgreindar milli fyrirtækja. Því getur það reynst erfitt að bera þau saman og líkur eru á að niðurstöður brenglist þrátt fyrir að hvert og eitt álver geti verið mjög hæft innbyrðis á sinn hátt. Öll álver eiga þó eitt sameiginlegt markmið og það er að heildar slysatölur eiga að vera sem lægstar í öllum tilfellum.

#### *Tölfræði um öryggi á vinnustöðum og öryggisstaðlar*

Öryggismál eru hluti af daglegum störfum innan flestra þessara fyrirtækja. Flest fyrirtæki halda uppi töflu með upplýsingum um tölfræði slysa og hversu margir vinnutímar hafa tapast af völdum slysa. Einnig er markviss fræðsla innan þessara fyrirtækja og ýmiss greiningarvinna unnin og árangursmælingar gerðar. Sem dæmi þá heldur Norðurál utan um öll gögn ef slys ber að og einnig tölur um slys sem hefðu getað orðið eins og ef menn aka of hratt eða ef menn fara ekki eftir settum reglum. Einnig eru haldnir öryggisfundir alla daga áður en starfsmenn fara á vakt og er slysatíðni tengd launum í formi bónusa til að draga enn frekar úr slysaáætlu. Einnig má nefna að hjá Alcoa þá eru allir nýir starfsmenn látnir fara í gegnum ítarlega starfsþjálfun við upphaf starfs ásamt því að haldnir eru reglulegir öryggisfundir (*Tómas Sigurðsson, 2009*).

Dæmi er um að álfyrirtæki beri sig saman við hvort annað eða starfi saman að því markmiði að auka öryggi starfsmanna. Umhverfisskrifstofa norræna áliðnaðarins (AMS) er

samstarfsvettvangur sem norrænu frumvinnsluálverin standa að. Markmið AMS er meðal annars að vinna úr og dreifa þekkingu og reynslu til að bæta heildarumhverfið. Þar má meðal annars finna upplýsingar um slysa- og fjarvístatölur hjá nokkrum álverum á norðurlöndunum (*Umhverfisskrifstofa norræna áliðnaðarins, 2009*). Á mynd 3.3 má sjá meðalfjölda slysa á ári sem leiddu til fjarveru frá árinu 2001 til 2008. Sjá má að meðal fjöldi slysa með fjarveru er afgerandi mestur hjá Kubal en minnstur hjá Vigeland.



Mynd 3.3 Meðal fjöldi slysa með fjarveru á ári frá 2001 til 2008. Heimild: Umhverfisskrifstofa norræna áliðnaðarins (AMS).

Hafa ber í huga að mismunur getur legið á milli þess hvernig fyrirtæki skrá slys. Þá er munur á hvaða slys eru skráð ef þau gerast innan viss svæðis sem álverið skilgreinir eða hvort starfsmaður sem slasast sé starfsmaður eða verktaki.

Til eru staðlar sem fyrirtæki geta farið eftir og er mest notast við evrópska eða bandaríska staðla. Sem dæmi má nefna þá starfar Alcan á Íslandi samkvæmt alþjóðlega OHSAS 18001 (Occupational Health and Safety Zone) öryggisstaðlinum (Alcan á Íslandi hf, 2009).

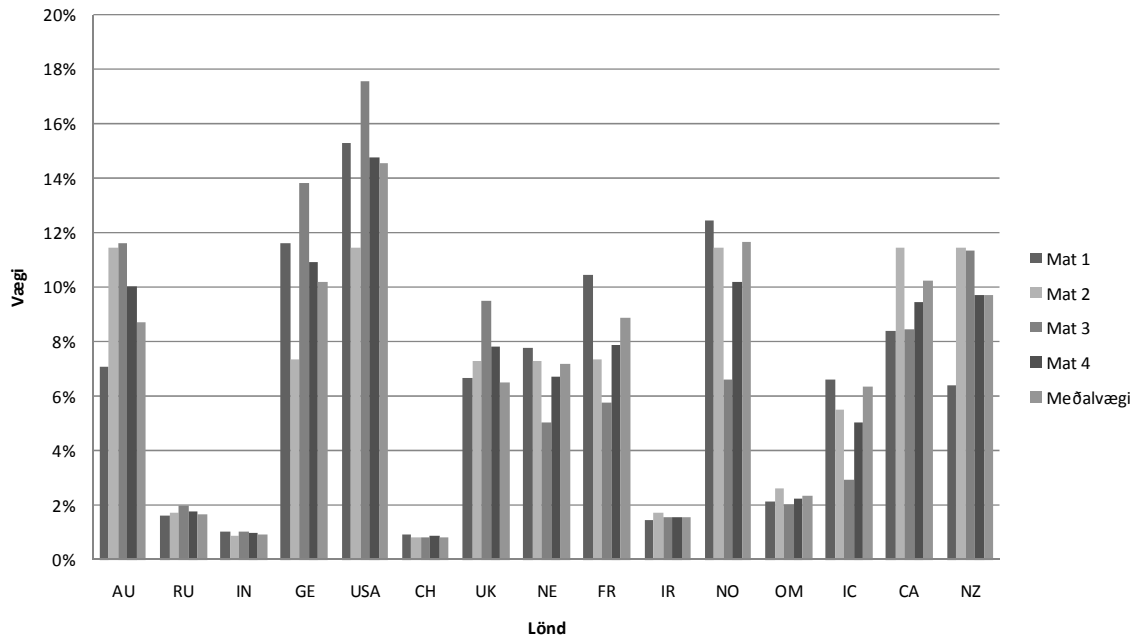
#### *Hefðir og menning landa*

Menning landa er mismunandi og um leið þær öryggiskröfur sem gerðar eru í hverju þeirra. Mjög gott er fyrir álfyrirtæki ef menning fyrir öryggi er til staðar í því landi sem það er staðsett í. Ef hún er ekki fyrir hendi geta fyrirtæki búið hana til en þurfa þá að leggja til kostnað vegna innleiðingar. Almennt er ekki mikil öryggismenning hér á Íslandi líkt og þekktist til dæmis í Bandaríkjunum. Ástæðan gæti verið sú að stór iðnaður er frekar nýr hér á landi og lítil reynsla hlotist af honum. Finna má dæmi um álver þar sem segja má að álið sé talið dýrmætara en mannlíf og annarsstaðar má finna álver sem eru illa afgirt svo sjá má dýr inni á verksmiðjugólfi sem varla telst heppilegt út frá öryggissjónarmiðum.

#### *Könnun á öryggi*

Til að fá hugmynd um raunhæfan samanburð á öryggi var útbúin könnun. Fengnir voru fjórir sérfræðingar úr álgeiranum, sem starfa þó ekki hjá álverum, til að gefa löndunum einkunn samkvæmt AHP kvarðanum um mat þeirra á öryggi landa eftir menningu. Flestir sérfræðinganna sem gáfu mat sitt hafa heimsótt álver í flestum þeim löndum sem borin eru saman. Mat sérfræðinga var án undirbúnings og hefðu þeir þurft meiri tíma til ráðstöfunar

til að geta gefið nákvæmari niðurstöður. Niðurstaðan er því einungis ætla að gefa hugmynd um flokkun á öryggi álvera og því ber að taka niðurstöðunum með fyrirvara.



Mynd 3.4 Niðurstaða úr könnun um vægi á öryggi starfsmanna

Á mynd 3.4 má sjá niðurstöður á mati frá fjórum mismunandi aðilum ásamt meðalvægi þeirra. Sjá má af grafinu að öllum álitsgjöfum ber nokkuð vel saman um stöðu landanna.

#### Einkunnagjöf

Notast var við meðalvægi úr könnuninni sem nefnd er hér að ofan. Niðurstöðuna má sjá í töflu C-5, viðauka 5.

### 3.3.6 Losun CO<sub>2</sub>

Álver losa mikið af gróðurhúsalofttegundum og áhrif þeirra á umhverfið geta verið breytileg eftir tækni. Við bruna forskauta og spennurisa í rafgreiningarferlinu við álvinnsluna losna gróðurhúsalofttegundir og er losunin almennt í kringum 1,7 tonn af CO<sub>2</sub> fyrir hvert framleitt tonn af áli.

#### Efni sem álver losa og hafa áhrif á umhverfið

Þau efni sem álver losa og hafa áhrif á umhverfið eru aðallega koldíoxíð, flúoríð, PAH efni (Polycyclic aromatic hydrocarbons) og brennisteinsdíoxíð (SO<sub>2</sub>).

Koldíoxíð (CO<sub>2</sub>) myndast þegar kolefnið (C) í anóðunum hvarfast við súrefnið (O<sub>2</sub>) er rafgreining á sér stað í pottunum. Í dag er þessi losun óumflýjanlegur þáttur í framleiðslu áls og auk þess að vera stór mengunarpáttur. Einnig losa álver flúror, en flest álver í dag eru þannig útbúin að þau hafa öflugan hreinsibúnað, svokallaðan þurrhreinsibúnað eða vothreinsibúnað sem nær að fjarlægja allt að 99% af því sem ker losa af flúoríð til hreinsibúnaðarins. Efnin sem eru fjarlægð má síðan nota aftur í bræðsluferlið. PAH efni losnar þegar anóður eru búnar til í nútíma forbökuðum álverum, og einnig í rafgreiningarferlinu hjá gömlum álverum sem notast við Söderberg tæknina.

Brennisteinsdíoxíð (SO<sub>2</sub>) getur myndast frá álframléiðslu vegna efnasamsetningar forskautanna, sem innihalda um 1,4% brennistein (*IAI, maí 2009*).

#### *Mengun frá orkugjafa*

Mengun kemur ekki bara frá álverunum sjálfum því til að reka álver þarf orku og getur sú orka komið meðal annars frá bruna jarðeldsneyta eins og kola sem losar mikið af gróðurhúsalofttegundinni CO<sub>2</sub>. Á mynd 3.2 í kafla 3.3.1 má sjá hvernig mismunandi mengun hlýst af mismunandi orkugjöfum.

Hér verður aðeins notast við losun á CO<sub>2</sub> frá orkugjafanum en ekki álverunum sjálfum, en gera má ráð fyrir að öll álver sem nota PB tækni losi að jafnaði sama magn af CO<sub>2</sub>. Þá verður notast við áætluð gögn frá árinu 2006 sem CRU tók saman um losun CO<sub>2</sub> frá orkugjöfum álveranna (*CRU Analysis, ágúst 2007*). Út frá upplýsingum um losun CO<sub>2</sub> frá orkugjöfum álveranna var reiknuð meðallosun CO<sub>2</sub> á hvert framleitt tonn af áli hvers lands. Sjá meðallosun CO<sub>2</sub> hvers lands í töflu A-1 í viðauka A.

#### *Kyoto-bókunin*

Umhverfissjónarmið hafa breyst mikið síðustu ár og hafa kröfur um minnkun á losun gróðurhúsalofttegunda breyst mikið. Kyoto-bókunin er bókun við rammisamning Sameinuðu þjóðanna um loftslagsbreytingar. Markmið samningsins er meðal annars að koma í veg fyrir hættulega röskun á loftslagskerfinu af mannavöldum. Samkvæmt Kyoto-bókuninni þá skuldbinda aðildarríki sig til að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda á árunum 2008-2012 innan marka sem eru 5,2% lægri en heildarlosun þessara ríkja var árið 1990. Mörg lönd eins og Kína og Bandaríkin eru aðilar að sáttmálanum en hafa ekki samþykkt hann. Ástæða þess að Kínverjar hafa ekki staðfest sáttmálann er sú að Kínversk yfirvöld krefjast þess að útreikningur á losun gróðurhúsalofttegunda hvers lands sé margfeldi íbúafjölda og miðist við meðal losun frá hverjum manni. Bandaríkin ein og sér bera ábyrgð á rúmlega 35% af heildarlosun koldíoxíðs en þau eru aðilar en hafa ekki enn staðfest bókunina (*UNFCCC, maí 2009*).

Í töflu 3.3 hér að neðan má sjá lista yfir þau lönd sem notuð eru í samanburðinum. Taflan sýnir hversu mikið þau hafa skuldbundið sig til að draga úr eða mega auka losun gróðurhúsalofttegunda á árunum 2008 -2012 þar sem viðmiðunarár er 1990.

Tafla 3-3 Skuldbinding um samdrátt eða losun gróðurhúsalofttegunda á árunum 2008-2012 samkvæmt Kyoto-bókuninni: Heimild: UNFCCC.

Land	Losun / Aukning
Ísland	10%
Ástralía	8%
Noregur	1%
Rússland*	0%
Frakkland	0%
Nýja-Sjáland	0%
Kanada	-6%
Holland*	-6%
Bretland*	-13%
Þýskaland*	-21%
Kína	Ekki bundin
Bandaríkin	Ekki bundin
Indland	Ekki bundin
Óman	Ekki bundin
Íran	Ekki bundin

\*Grunnár 1995.

Í töflu 3.3 má sjá að Ísland, Ástralía og Noregur eru einu löndin sem mega auka útblástur en Ísland hefur möguleika á yfir 10% aukningu. Þýskaland tekur að sér mestan samdrátt eða um -21% miðað við viðmiðunarárið 1995. Þau lönd sem þurfa að draga úr losun eða eiga engan kvóta hafa möguleika á að kaupa sér losunarkvóta, binda losunina með gróðursetningu eða draga úr orkunotkun.

Þessar tölur segja þó ekki alla söguna því stefna stjórnvalda hefur breyst bæði hér á landi og erlendis. Sumarið 2009 samþykkti íslenska ríkisstjórnin tillögu umhverfisstjórnvalda um að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda um 15% fram til ársins 2020. Í desember 2009 fer síðan fram loftslagsráðstefna Sameinuðu þjóðanna í Kaupmannahöfn en þar er stefnt að því að ganga frá nýju samkomulagi um þær skuldbindingar ríkja heims sem taka við þegar núverandi ákvæði Kópólóbókunarinnar renna út árið 2012. Nú þegar hafa mörg ríki tilkynnt markmið sín um allt að 30% samdrátt í losun gróðurhúsalofttegunda fyrir 2020 og virðast stjórnvöld hér á landi ekki ætla að gefa neitt eftir í þeim málum. Þá má einnig nefna íslenska sérákvæðið, sem samþykkt var 10.nóvember 2001, en þar er kveðið á um að árlegt koldíoxíðútsreymi frá nýrri stóriðju eftir árið 1990 skuli ekki vera meiri en 1.600 þúsund tonn að meðaltali árin 2008-2012. Í dag er Ísland aðili að viðskiptakerfi ESB en frá og með 1. janúar 2013 er talið að sérákvæðið muni falla niður þegar ESB-reglur taka gildi. Þar af leiðir verði ekki þörf á að halda íslenska sérákvæðinu (*Umhverfisstofnun*, 2009; *Umhverfisstofnun*, 2009). Sjá má að staða landanna getur því breyst eftir árið 2012 þegar nýjar skuldbindingar taka í gildi.

#### *Álag vegna losunar koldíoxíðs og jöfnunarmarkaðir*

Skipta má álverum í tvo flokka, þau sem búa til sína eigin orku og þau sem kaupa orkuna. Þau álver sem framleiða sína eigin orku eiga eftir að finna fyrir því í framtíðinni með auknum kostnaði, að greiða þarf aukna skatta og annan tengdan kostnað vegna losunar. Þau álver sem kaupa orkuna þurfa líklegast að greiða hærri kostnað fyrir orkuna, en það mun þó vera breytilegt eftir samningum.



Jöfnunarmarkaður er notaður sem stjórnæki til að stýra losun gróðurhúsalofttegunda. Í ársbyrjun 2005 voru heimiluð viðskipti á markaði Evrópusambandsins til losunar gróðurhúsalofttegunda. Í dag er Ísland ekki aðili að þessum markaði en getur skapað sér innistæðu hvað útblásturinn varðar vegna góðrar stöðu miðað við önnur lönd Kyoto-bókunarinnar. Þær innistæður er síðan hægt að selja þeim þjóðum er fara framúr lögum og reglum um magn útblástursins (*Clean Development Mechanism, maí 2009*).

Finna má upplýsingar um markaðsverð CO<sub>2</sub> ígildis á ýmsum vefsíðum. Ef notast er við viðmiðunarverð á Evrópumarkaði í maí 2009 má gera ráð fyrir að markaðsverð CO<sub>2</sub> ígildis sé um 15-25US\$/tonn. Losi álver 1,7 tonn af CO<sub>2</sub> við hvert framleitt tonn af áli er kostnaðurinn við að kolefnisjafna álverið 25,5 – 42,5US\$ fyrir hvert framleitt tonn af áli. Framleiði álver 250.000 tonn af áli getur það kostað álfyrirtæki frá um 6.375.000 - 10.625.000US\$ að kolefnis jafna sig. Séu til dæmis skoðaðar tölur út frá orkugjafa sem losar 12 tonn af CO<sub>2</sub> ígildum við hvert framleitt tonn af áli þá rúmlega sjöfaldast kostnaðurinn.

Ísland hefur ákveðna sérstöðu í mótvægisáðgerðum þar sem hér eru miklir möguleikar í landgræðslu og skógrækt á svæðum sem ekki eru nýtt í annað. Landið er stórt og víða gróðurnautt og víða hægt að binda kolefni í gróðri og trjám. Til að mæta árlegum útblæstri af kolefni hér á landi þyrfti tæplega tveggja milljarða trjáa skóg til. Slíkur skógur myndi þekja um 8.422 km<sup>2</sup> sem er innan við 10% af heildarflatarmáli landsins (*Orkusetrið, maí 2009*).

#### *Einkunnagjöf*

Til að gefa einkunn fyrir þennan þátt eru skuldbindingar samkvæmt Kyoto-bókuninni til ársins 2012 skoðuð samhliða gögnum sem sýna losun frá orkugjafa hvers álvers þessara landa. Í töflu A-1 í viðauka A má finna meðallosun á CO<sub>2</sub> frá orkugjöfum hvers lands. Niðurstöður einkunnagjafa má sjá í viðauka C töflu C-6.

### **3.3.7 Aðgengi að vinnuafli**

Aðgengi að vinnuafli getur verið mismunandi þá bæði eftir landi og staðsetningu álvera innan lands. Álver eru oftast staðsett í dreifbýli og því getur reynst erfitt að manna stöður. Einnig þó svo að álver sé staðsett nálægt þéttbýli þá er einfaldlega ekki nægilegt vinnuafli í landinu sjálfu. Sem dæmi þá rétt ber Grundartangi í dag fjölda starfsmanna sem koma til greina, en þeir eru staðsettir utan þéttbýlis og aðgengi að vinnuafli hefur ekki verið mjög gott (*Ágúst F Hafberg, apríl 2009*). Álver eru einnig búin mismunandi stigum af sjálfvirkni og þá er mismikil þörf á vinnuafli. Meiri sjálfvirkni á þó sérstaklega við þegar vinnuafli er dýrt og það borgar sig að kaupa frekar dýrar vélar sem vinna verkin en að borga starfsmönnum.

#### *Menntunarstig*

Við álframleiðslu þarf alltaf ákveðin fjölda vinnuafli. Sum störf krefjast einungis grunnmenntunar en í önnur þarf sérhæfðari menntun. Land sem hefur hátt hlutfall menntunar getur því skipt máli þegar aðgengi að vinnuafli er skoðað. Hér fyrir neðan má finna tölur um hlutfall útgjalda í menntun af heildarþjóðartekjum landanna árið 2008.

### Tafla 3-4 Hlutfall útgjalda í menntun af heildarþjóðartekjum (GDP)

Heimild: *The World Factbook 2008*.

Land	Menntun af GDP
Ísland	7,6%
Noregur	7,2%
Nýja-Sjáland	6,2%
Frakkland	5,7%
Bretland	5,6%
Bandaríkin	5,3%
Holland	5,3%
Kanada	5,2%
Íran	5,1%
Þýskaland	4,6%
Ástralía	4,5%
Óman	4,0%
Rússland	3,8%
Indland	3,2%
Kína	1,9%

Í töflu 3.4 má sjá að hlutfallið er hæst á Íslandi og því ætti aðgengi að vel menntuðu fólki að vera gott. Í Kína er þetta hlutfall heldur lágt og því ætti að vera erfiðara að nálgast vel menntað fólki. Hafa ber þó í huga að þó Kínverjar eru mun fjölmennari þjóð en Íslendingar en þá reka þeir einnig mun stærra hagkerfi. Því má gera ráð fyrir hlutfallslegu jafnvægi og að fólksfjöldi hafi því ekki áhrif. Gera má ráð fyrir að sama gildir einnig um hin löndin.

#### *Atvinnuleysi*

Tengja má saman aðgengi að vinnuafli og hlutfall atvinnulausra. Með auknu atvinnuleysi þá eykst aðgengi að vinnuafli. Þó svo að álver sé staðsett utan þéttbýlis þá er hér gert ráð fyrir að það komi ekki til með að hafa áhrif, enda eru flest álver staðsett utan þéttbýlis. Þó má nefna álverið í Straumsvík sem er einstakt fyrir þær sakir að vera staðsett innan þéttbýlis. Hér voru því skoðaðar tölur um hlutfall atvinnuleysis hvers lands þar sem upplýsingar fengust úr *The World Factbook*. Í töflu 3.5 má sjá yfirlit um hlutfall atvinnuleysis í hverju landi bæði fyrir (byrjun árs 2008) og eftir (byrjun árs 2009) fjármálakreppu.

Tafla 3-5 Hlutfall atvinnulausra fyrir og eftir fjármálakreppuna af heildarfjölda íbúa.

Heimild: The World Factbook 2008 og 2009.

Land	Atvinnuleysi (fyrir hrun)	Atvinnuleysi (eftir hrun)	Breyting
Ástralía	4,5%	5,8%	-1,3%
Bandaríkin	7,2%	9,7%	-2,5%
Bretland	5,5%	7,9%	-2,4%
Frakkland	7,4%	9,4%	-2,0%
Holland	4,5%	3,3%	1,2%
Indland	6,8%	7,2%	-0,4%
Íran	12,5%	12,5%	0,0%
Ísland	1,6%	7,7%	-6,1%
Kanada	6,1%	8,7%	-2,6%
Kína	4,0%	9,0%	-5,0%
Noregur	2,6%	3,1%	-0,5%
Nýja Sjáland	4,0%	6,0%	-2,0%
Óman	15,0%	5,0%	10,0%
Rússland	6,2%	9,9%	-3,7%
Þýskaland	7,9%	9,3%	-1,4%

Í töflu 3.5 má sjá að Ísland er með minnsta atvinnuleysið fyrir hrun og Óman með það mesta. Tölur hafa breyst mikið frá því að fjármálakreppan hófst og í dag er Ísland ekki lengur með minnsta atvinnuleysið heldur hefur það aukist um 6,1% á einu ári eftir fjármálahrunið og er Ísland þá sjöunda ríkið með minnsta atvinnuleysi miðað við þau lönd sem borin eru saman hér. Þá fór Noregur úr því að vera með næst minnsta atvinnuleysið í að vera með minnsta atvinnuleysið eftir hrun af þeim fimmtán samanburðarlöndum.

#### *Einkunnagjöf*

Einkunn var gefin eftir hlutfalli atvinnuleysis fyrir hrun og áherslu þjóðanna á menntun. Niðurstöður einkunnagjafar má sjá í viðauka C, töflu C-7.

Þegar þessi rannsókn var gerð veturinn 2008/2009 voru tölur ekki samanburðarhæfar. Atvinnuleysi á Íslandi fór ört vaxandi yfir veturinn og hafa þær snúist upp í andstæðu sína. Því verður bætt við í niðurstöðum þar sem árif hrunsins á einkunnagjöf verður sérstaklega skoðað. Sjá kafla 4.3.7.

### **3.3.8 Nálægð við markað**

Aðgengi að mörkuðum er mikilvægur þáttur fyrir álframleiðslu. Tollalög og samskipti landa er þáttur í að tryggja gott og ódýrt aðgengi á markaði milli landa. Sum álfyrirtæki hafa tryggt sig og eru með langtímasamninga við kaupanda. Þá má nefna sérstöðu Íslands vegna staðsetningu þess í miðju Atlantshafinu, en stutt er í stóra markaði eins og til Evrópu eða Bandaríkjana.

#### *Verð á tilbúinni vöru og verðmæti tegunda*

Tegund áls getur skipt máli. Ál sem hefur verið unnið meira eins og steipt í barra eða flatt út í álþynnu er dýrmætara en steipt ál sem ætlað er aftur til bræðslu. Hinsvegar er ál sem er lítið unnið auðseljanlegra heldur en það sem er búið að vinna meira. Einnig eru gæði áls

mismunandi, eins og magn járninnihalds, en það fer að mestu eftir hvernig álframleiðslunni er háttað.

#### *Kostnaður við flutning á afurð*

Mikill mismunur er á flutningskostnaði milli þess ef flutt er á landi eða sjó. Öll meðhöndlun eins og losun og fermun hefur í för með sér aukinn kostnað og því er mun hagstæðara ef hægt er að flytja vöruna beint úr og í næstu höfn. Staðsetning álvera og næsti nálægi markaður getur verið mislöng vegalengd og því getur flutningur haft bæði áhrif á hráefniskostnað og flutningskostnað á tilbúna vöru. Álfyrirtæki sem staðsett eru inn í landi, eins og er í Kína og Rússland, eru í verri stöðu vegna mikils flutningskostnaðar. Því eru flest álfyrirtæki staðsett nálægt höfn, skurðum eða sjófærum árfarvegum.

Til að bera saman aðgengi að mörkuðum verða flutningavegalengdir bornar saman. Gert er ráð fyrir að öll ríki hafi aðgengi að markaði en flytja þarf vöru mislangar vegalengdir. Ekki fundust nægar upplýsingar um útflutning áls frá þeim löndum sem borin eru saman hér og því var reynt að nálga það með því að nota tölur um útflutning sem finna má á upplýsingarsíðu The World Factbook. Þar er ekki úthlutað hvert álið dreifist og því var það nálgað með heildar vöru og hráefna útflutningi. Út frá þeim upplýsingum verður flutninga kostnaður metinn með flutninga fjarlægðum.

Eftirfarandi forsendur voru gefnar til að finna flutningakostnað:

1. Gert er ráð fyrir að sama söluverð gildi fyrir alla.
2. Flutningafjarlægð milli landa miðast við flutning milli miðju hvers lands.
3. Gert er ráð fyrir frjálsum markaði. Vörutollar eru jafnir allsstaðar.
4. Þær útflutningstölur sem gefnar voru samkvæmt The World Factbook gilda fyrir allar vörur svo gert ráð fyrir að útflutningur á áli dreifist á sama hátt.

Með hjálp MapCrow (*MapCrow. 20.mái, 2009*) má finna upplýsingar um meðalflutninga fjarlægðir milli landa. Út frá útflutning hrávara frá þessum löndum var fundin meðal flutninga fjarlægð í næsta markað. Tafla 3.6 sýnir niðurstöðu þess.

Tafla 3-6 Niðurstöður við mat á meðal vegalengd til næsta ál markaðar.

Land	Vegalengd (km)
Netherlands	636
France	959
Germany	1.072
Norway	1.189
UK	1.431
Iceland	1.943
Iran	2.199
Canada	2.751
USA	3.222
China	3.263
India	3.675
New Zealand	4.794
Australia	4.805
Oman	5.048
Russia	10.280

Af töflu 3.6 má sjá að flestar Evrópuþjóðirnar voru með stystu flutningavegalengdirnar. Rússland kemur verst út en mörg álfyrirtæki þar er staðsett inn í landinu, en landið er stórt og því miklar vegalengdir sem fara í flutning. Í Kína eru verksmiðjur einnig staðsettar inn í landi en kemur þó ekki eins illa út og Rússland en gera má ráð fyrir að framleiðslan þar sé mikið fyrir innanlandsmarkað. Ástralía og Nýja-Sjáland lenda einnig frekar neðarlega en þau lönd eru staðsett heldur langt frá næstu mörkuðum eða yfir 4000 km að meðaltali miðað við aðrar þjóðir. Það sama má segja um Bandaríkin og Kanada. Hér er þó aðeins um nálgun að ræða og ber að taka þessum niðurstöðum með fyrirvara.

#### *Einkunnargjöf*

Niðurstöður þessarar nálgunar þóttu viðunandi og því var hún notuð til að gefa einkunn. Gefin var einkunn eftir hlutfallslegri fjarlægð milli landanna. Einkunnagjöf má sjá í töflu C-8 viðauka C.

### **3.3.9 Önnur viðmið**

Hér verða nefndir aðrir þættir er snerta bæði rekstur álvera og umhverfi þeirra. Mikilvægi þeirra þótti ekki jafnt hinum en þykja eiga rétt á umræðu svo hér verður einungis rætt stuttlega um hvern þátt.

#### *Raflausn*

Eina þekkta efnið sem leysir upp súrál við tiltölulega lágt hitastig (960-1000 °C) er krýólít ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ). Þar sem bráðið krýólít hefur lægri eðlisþyngd en fljótandi ál þá sekkur álið til botns á kerinu og krýólítið flýtur ofan á. Efnið er einnig notað sem þekjuefni fyrir ker þar sem rafgreiningin fer fram og eykur því einangrun kersins. Þörf á krýólíti fer eftir því hvort kerin eru Söderbergker eða ker með forbökuð skaut. Báðar kergerðirnar þurfa á miklu krýólíti að halda við gagnsetningu. Eftir það tapast krýólít í Söderbergkerum og verður því að bæta því í kerinu en ker með forbökuð skaut framleiðir það. Flest álver í dag notast við PB tækni, það er forbökuð skaut, og er því meira til af krýólít en þörf er á. En förgun á krýólíti getur verið kostnaðarsamt. (*Jón Hjaltalín Stefánsson, 1997; Rafgreining, 1999*)

### *Straumnýtni*

Næstum allar nýjar álverksmiðjur í dag eru hannaðar þannig að notast er við nýjustu tækni sem felur í sér sem mesta straumnýtingu. Minni straumnýtni hefur því í för með sér minni hagnað. Straumnýtni er svokallað hlutfall framleiðslutaps og er skilgreint sem hlutfall milli áls sem raunverulega er framleitt og þess fræðilega magns sem hægt er að framleiða. Ástæður á framleiðslutapi má meðal annars rekja til taps í kerskála, steypuskála og áls sem fer til spillis. Þau álver sem hafa um 95% straumnýtni nota um 15kWh á hvert framleitt kíló af áli. Áður fyrr voru þessar tölur um 80-85% og orkunotkun var 23KWh á hvert framleitt kíló. Bættur stöðugleiki kerja með sjálfstýringu hefur verið mikilvægur þáttur í að ná þessari bættu straumnýtni og auk þess hefur betri stöðugleiki í kerunum sjálfum haft í för með sér meiri orkunýtingu (*Jón Hjaltalín Stefánsson, 1997*).

### *Aðgengi að sjó og ferskvatni*

Mikil kæling þarf að fara fram í álverum. Kæla þarf allan háspennubúnað, loftpressur, steypibúnað og annan búnað en auk þess er þörf á neysluvatni. Þar sem ekki er aðgengi að ferskvatni hefur sú lausn verið notuð að eima sjó. Því skiptir miklu máli fyrir álver að vera staðsett nálægt sjó eða ferskvatni og sé það ekki getur því fylgt kostnaður.

Sem dæmi um aðgengi að vatni hér á landi má nefna að erfitt er fyrir Norðurál að sækja ferskvatn því jarðgrunnur í Hvalfirði er svo þéttur. Norðurál notast því við sjókælikerfi með varmaskiptum fyrir háspennubúnað. Síðan sækja þeir ferskvatn úr Akrafjalli en hafa þurft að fara sparlega með það. Þá notar Norðurál og Fjarðaál svokallaðar kælivatnslaugar og kæliturna fyrir kælingu í steypuskála. Hjá Ísal þá rennur ferskt vatn undir álverksmiðjuna út í sjó svo nóg er af ferskvatni til kælingar og neyslu. (*Ágúst F Hafberg, 2009*).

### *Hafnaraðstaða*

Það skiptir miklu máli að hafnaraðstaða sé góð og að hægt sé að koma stórum súrálsskipum að höfn og til baka. Einnig skiptir máli að mögulegt sé að byggja hafnaraðstöðu, en kostnaður við það er mikill og oft eru það sveitafélög sem vilja eiga og reka höfnina og nýta sér tekjur sem hlýst af henni. Eini rekstrarkostnaður álveranna tengt hafnaraðstöðu eru gjöld vegna notkunar á hafnaraðstöðu.

### *Breyttar umhverfisaðstæður og pólitískt viðhorf*

Breyttar aðstæður í umhverfi álvera geta haft áhrif á rekstur. Hér má nefna nokkur dæmi. Stöðugleiki í stjórnámum og stjórnkerfi landa skiptir miklu máli þegar velja skal staðsetningu álvera. Sem dæmi má nefna land eins og Venesúela sem hefur haft mikið af ónýttri vatnsaflsorku á mjög samkeppnishæfu verði en hefur ekki náð að laða að stóriðju vegna vantrú á stöðugu stjórnkerfi. Einnig má nefna minni eftirspurn á áli og áhrif þess á verð. Flest álver í dag eru rekin með tapi sökum mikillar lækkunar á álverði.

Stríð getur einnig haft áhrif. Segja má að flestar þjóðir í Vestur-Evrópu séu frekar friðarsinnaðar og líkur á stríði þar heldur litlar. Hinsvegar breytist umhverfið strax þegar komið er í Austur-Evrópu þar sem stríð um landyferráð og trú eru líklegri.

Umræður um umhverfismál stendur misjafnlega eftir löndum. Hér hefði verið áhugavert að setja inn stöðu umhverfismála hvers lands sem viðmið. Hinsvegar er þekkt að viðhorf til umhverfismála geta breyst mikið og geta verið mjög mismunandi innbyrðis hvers lands. Hér er einnig komið inná svið sem er út fyrir skilgreiningu þessa verkefnis og verður ekki fjallað sérstaklega um það.

### *Innlendir skattar og gjöld af rekstri álfyrirtækja*

Innlendar tekjur landa af rekstri álvera koma fram í ýmsum myndum. Sem dæmi má nefna raforkusölu, tekjur af launum starfsmanna í gegnum skatta og mikið er um aðkeypta sérfræðipækkingu innanlands auk þess að mikið er af sjálfstætt starfandi verktökum sem hugsanlega starfa einnig innan álfyrirtækja.

Í flestum löndum þarf að greiða innlenda skatta og gjöld. Hér á landi tekur ríkissjóður til sín tekjuskatt, tryggingagjald og önnur gjöld, en einnig taka sveitafélögin til sín gjöld eins og vörugjöld vegna notkunar hafnaraðstöðu og fasteignagjöld svo eitthvað sé nefnt. En lágir skattar geta laðað til sín fyrirtæki.

### *Stéttarfélög og verkfallshætta*

Hlutverk stéttarféлага er að berjast fyrir bættum kjörum félagsmanna sinna og standa vörð um hagsmuni þeirra og réttindi. Menning landa getur verið mismunandi og stéttarfélög verkamanna sömuleiðis. Því getur það skipt máli hvernig kjarasamningar eru gerðir í hverju landi. Það er slæmt fyrir rekstur álvera fari starfsmenn þess í verkfall en álvinnsla fer fram allan sólahringinn og getur það orðið dýrkeypt fyrir álver leggi starfsmenn niður vinnu. Sem dæmi þá gerðist slíkt við Becancour álverið í Kanada. (*All Buisness, 2009*).

### *Annar kostnaður*

Samkvæmt útreikningum CRU er annar kostnaður eða óbeinn kostnaðar um 10% af heildarframleiðslunni. Það sem telst vera óbeinan kostnaður er allt viðhald við álverin, varahlutir og þjónusta. Allur stjórnunarkostnaður og kostnaður við starfsmenn eins og matur, fatnaður og þjálfunarkostnaður. Einnig allar afskriftir, birgðakostnaður og skattar má telja sem annan kostnað. Þessi kostnaður getur verið mismunandi eftir löndum.

### *Endurvinnsla*

Hlutur endurunns áls hefur aukist á síðustu árum. Til eru tvennskónar skrapál, það er það sem fellur til frá álframleiðendum og ál úr notuðum hlutum. Dæmi um það sem fellur til frá álframleiðendum eru til dæmis barrendar, plötuafskurður, spænir og afgangur frá stönsum. Skrapál úr hlutum er það sem hefur verið í notkun. Safnað er saman áli úr flutningatækjum, drykkjarvöruumbúðum, byggingariðnaði og ýmsum tækjum og tólum (*Rafgreining, 1999*).

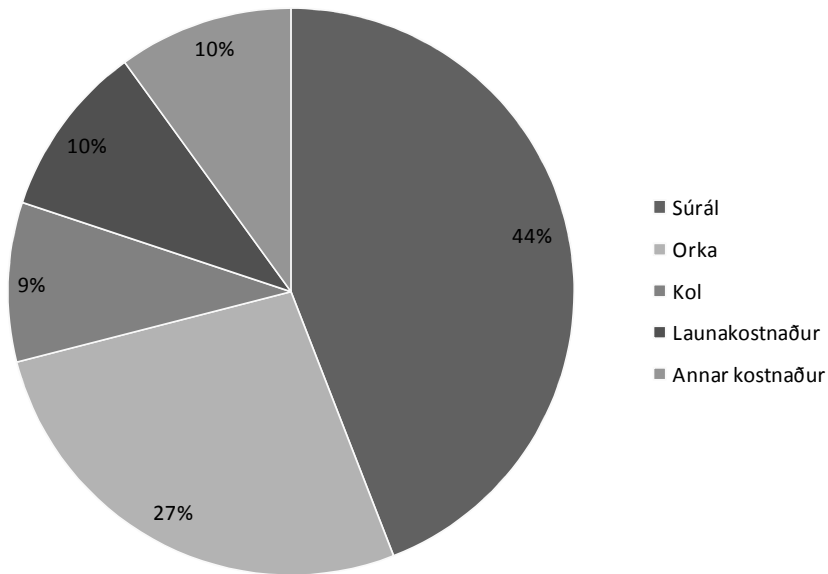
Hér á Íslandi er fyrirtæki sem rekur endurvinnsluverksmiðju fyrir álgjall. Alur, álvinnsla hf. tekur við álgjalli frá álverum sem verður til við álframleiðslu endurvinnur það og sendir það síðan aftur tilbaka í álverin (*Alur, 2009*).

### *Viðhald kera og förgun*

Í kafla 1.1. má sjá á mynd 1.1 uppbyggingu keranna. Á botninum eru bakskaut sem leiða straum frá álinu í raflausninni og sjá um að koma straumnum út úr kerunum. Þau taka ekki þátt í rafgreiningarferlinu og eyðast því síður, en endingartími þeirra er á bilinu 4-7 ár. Því þarf að viðhalda kerunum reglulega og skipta um fóðringu. Þetta eru svokölluð kerbrot sem þarf að farga sem getur verið kostnaðarsamt ferli.

## **3.4 Skipting rekstrarkostnaðar**

Samkvæmt útreikningum CRU (*CRU Analysis, Ágúst 2007*) skiptist rekstrarkostnaður álvera á eftirfarandi hátt:



*Mynd 3.5 Skipting helstu rekstarliða álvera árið 2006 samkvæmt CRU Analysis.*

Á mynd 3.5 má sjá að stærsti kostnaðarliður eru kaup á súráli og fylgir orkukostnaður þar fast á eftir. Allir þessir kostnaðarliðir nema annar kostnaður verður skoðað í samanburðinum ásamt öðrum þáttum sem nefndir eru í kafla 3.3.1-3.3.8. Annar kostnaður verður ekki skoðaður í samanburðinum vegna þess að ekki er hægt að fá samanburðarhæf gögn. Þegar vægi allra þátta er metið samkvæmt AHP greiningunni verður þessi skipting höfð til hliðsjónar.



## 4 NIÐURSTÖÐUR

Í kafla 4.1 verða niðurstöður á sætisskipan landanna skoðuð og í kafla 4.2 verður gert grein fyrir á hvert vægi viðmiðanna var, en vægi þeirra er forsenda niðurstöðunar í kafla 4.1. Í kafla 4.3 verður hvert og eitt viðmið skoðað og loks í kafla 4.4 verður gerð næmnigreining með því að breyta vægi viðmiðna, skoðuð verða fjögur tilvik.

Athuga skal að aðferð til að gefa einkunn er aðeins tilraun og þarf ekki endilega að endurspegla raunveruleikann. Tilgangur þessarar vinnu er að komast að eins hlutlægrni niðurstöðu og hægt er. Það þýðir að í öllum eignum var reynt að skilja eins lítið eftir til huglægs mats og mögulegt var og því reynt að meta eftir tölulegum gögnum þá þætti sem möguleiki var á.

### 4.1 Samantekt allra viðmiða og landa

Vægi viðmiðanna er aðeins hægt að setja fram sem huglægt mat og getur hver og einn breytt vægi viðmiðanna eftir sýnum skoðunum. Hér var farin sú leið að fengið var mat sérfræðinga í íslenska álgeiranaum og verður það notað til að bera saman löndin.

Samkvæmni fékkst í öllum liðunum, það er allir valkostir gáfu samkvæmnistuðulinn á bilinu 0,03-0,05 og samkvæmni viðmiðanna er 0,03.

Tafla 4-1 Niðurstaða á einkunn landanna eftir AHP samanburð.

Sæti	Land	Einkunn
1	Indland	0,13
2	Ástralía	0,09
3	Óman	0,08
4	Kanada	0,08
5	Rússland	0,08
6	Nýja-Sjáland	0,08
7	Ísland	0,07
8	Íran	0,06
9	Frakkland	0,06
10	Bandaríkin	0,06
11	Noregur	0,05
12	Kína	0,05
13	Bretland	0,04
14	Holland	0,04
15	Þýskaland	0,03

Tafla 4.1 sýnir sætisskiptingu og einkunn þeirra fimmtán landa sem borin eru saman. Eins og sjá má í töflunni lendir Ísland í sjöunda sæti af þeim fimmtán löndum sem borin eru

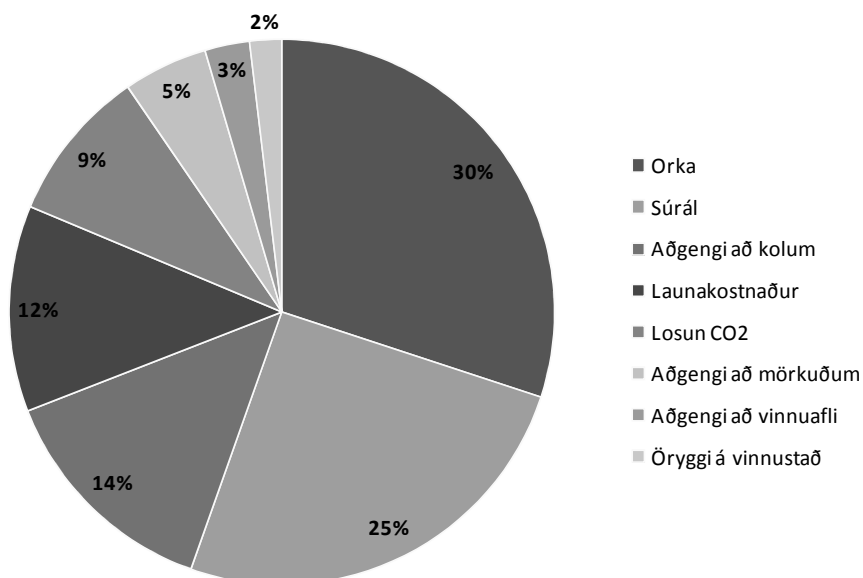
saman og fær 7% í einkunn af 100%. Sterkustu voru viðmiðin í orku og losun CO<sub>2</sub> en niðurstöður hvers viðmiðs má finna í kafla 4.3.1 – 4.3.8 ásamt vægi viðmiða í kafla 4.2.

Indland lendir í efsta sæti og fær 13,1% og fær háa einkunn í súráli, aðgegni að kolum og vinnuafli, en þessi viðmið fá einnig hátt vægi sem skýrir þá háu einkunn sem Indland fær. Nýja-Sjáland fær 7,9% og er næst á undan Íslandi. Oft hefur Nýja-Sjáland verið líkt við Ísland en hér má sjá að þessar þjóðir eiga margt sameiginlegt. Aðgengi að vinnuafli er nokkuð jafnt ásamt kostnaði við vinnuafl. En meiri munur er á losun CO<sub>2</sub> og öryggi á vinnustað. Þá stendur Nýja-Sjáland betur í viðmiði súrals og aðgegni að kolum en Ísland hefur sterkari stöðu í orku, en þessir þættir vega upp á móti hvor öðrum.

## 4.2 Vægi viðmiða

Þeir þættir sem valdir voru til samanburðar voru orka, súrál, aðgengi að kolum, launakostnaður, losun CO<sub>2</sub>, lokaafurð, aðgengi að vinnuafli, öryggi á vinnustað.

Hér að neðan má sjá þá þætti sem notaðir voru til samanburðar og vægi þeirra. Val á þáttum til samanburðar og vægi þeirra voru metin í samvinnu við sérfræðinga úr íslenskum áliðnaði. Auk þess að stuðst var við samantekt CRU á hlutfalli kostnaðarliða, sjá kafla 3.4. Einkunnagjöf viðmiðanna og niðurstaða vogtalna má finna í viðauka C töflu C-9.



Mynd 4.1 Skipting vægi viðmiða.

Af mynd 4.1 má sjá að vægi orku er hærra en vægi súrals og þar með ekki í samræmi við greiningu CRU. Ástæðan er sú að sérfræðingar innan áliðnaðarins mátu sem svo að orka væri mikilvægasta viðmiðið. Þrátt fyrir það var einkunnagjöf á vægi orku sett jafnt súráli. Hinsvegar vógu öll önnur viðmið minna gagnvart orkunni og fékk orkan því hærri einkunn en súrálið.

Tafla 4-2 Vægi viðmiða eins og sérfræðingar mátu þau ásamt hlutfallslegu vægi CRU á helstu kostnaðarliðum til álframleiðslu.

Viðmið	Vægi	Vægi CRU
Orka	0,3	0,27
Súrál	0,25	0,44
Aðgengi að kolum	0,14	0,09
Launakostnaður	0,12	0,1
Losun CO <sub>2</sub>	0,09	-
Lokaafurð	0,05	-
Aðgengi að vinnuafli	0,02	-
Öryggi á vinnustað	0,03	-
Annar kostnaður	-	0,1

Í Töflu 4.2. má sjá niðurstöður á vægi viðmiðanna miðað við álit sérfræðinganna ásamt vægi kostnaðarliða eins og CRU gefur, sjá kafla 3.4. Sjá má að vægi viðmiða ber nokkuð vel saman í viðmiðum orku og launakonstnaði. Súrál fær mun lægra vægi að mati sérfræðinga en vægi CRU en er þó með næst hæðsta vægið. Aðgengi að kolum gefa sérfræðingar hærra vægi en CRU.

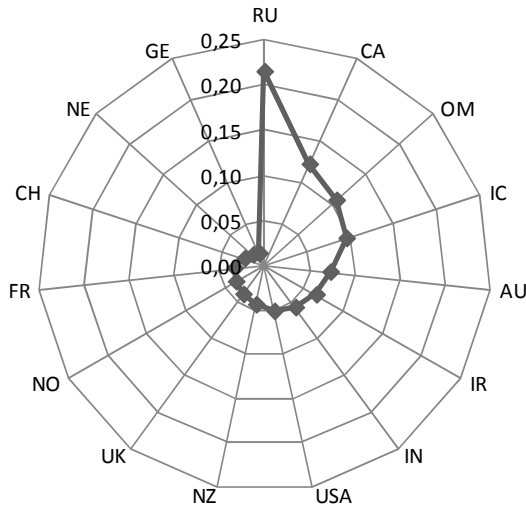
Athuga þarf að vægi þátta getur verið breytilegt eftir álitsgjafa. Hér á Íslandi er líklegt að meira vægi sé á orku en annarsstaðar en annars staðar gæti meira vægi verið á súrál, aðgengi að kolum eða vinnuafli. Í kafla 4.4 verða skoðuð fjögur tilvik af breyttu vægi.

### 4.3 Niðurstöður viðmiða

Hér á eftir verða einkunnir landanna í hverju viðmiði skoðað. Í viðauka C má finna öll samanburðarfylki sem innihalda einkunnagjöf á samanburði landanna í hverju viðmiði.

### 4.3.1 Orka

Notast var við orkuverð samkvæmt gögnum frá CRU og þá var einungis notast við gögn frá álverum sem notast eingöngu við PB tækni. Einkunnagjöf fór eftir hlutfallslegum mun á orkuverði milli landa. Í viðauka A, töflu A-1 má sjá meðal orkuverð landanna.



Mynd 4.2 Einkunn fyrir orku milli landa.

Á mynd 4.2 má sjá að orkuverð í Rússlandi fær hæstu einkunn eða 21,5% sem þýðir að þar í landi er orkan ódýrust. Ísland lendir í fjórða sæti með einkunnina 9,5% og Þýskaland í því síðasta með einungis 1,4 %. Einkunnir má sjá í viðauka C, töflu C-1.

Það er áhugavert að skoða orkugjafa þessara álvera miðað við orkuverð og athuga hvort tengsl séu þar á milli, en í töflu A-2, viðauka A, má finna upplýsingar um orkugjafa áveranna.

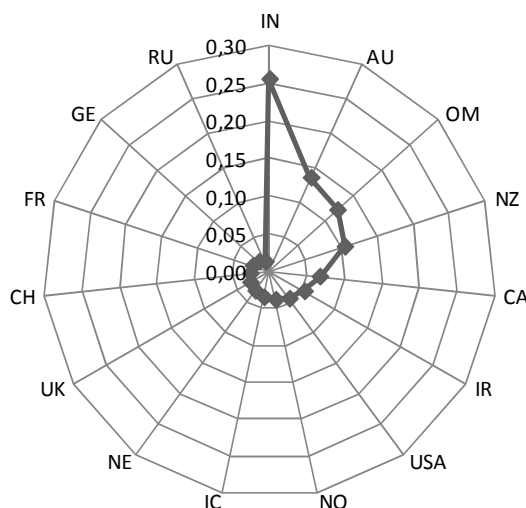
Rússland fær hæstu einkunn eða 21,5%, en álverin þar sem notast við PB tækni eru rekin með vatnsaflsorku. Í Kanada er álframleiðslan einnig rekin með vatnsaflsorku en landið fær næst hæstu einkunn eða 12,2%. Þau lönd sem aðeins eru rekin með vatnsaflsorku auk Kanada eru Ísland, Noregur og Nýja-Sjáland. Ísland fær mun hærri einkunn en Nýja-Sjáland sem fær 4,5% og Noregur sem fær 3,7%. Oman fær 10,7%, sem er þriðja hæsta einkunnin, en þar er eingöngu notast við gasorku. Oman er olíuríki og ætti orkan þar að vera heldur ódýr. Indland fær 5,8% í einkunn sem þykir heldur hátt, en þar eru öll álver rekin með kolaorku. Svo háa einkunn þar má hugsanlega rekja til þess að ein af mestu kolaframleiðslum í heiminum fer þar fram og vinnuaflið þar er heldur ódýrt miðað við hin viðmiðunarlöndin. Kína, Holland og Þýskaland fá öll einkunn undir 3%. En öll þessi lönd reka álverin að meirihluta með kolaorku, gasorku og kjarnorku. Þýskaland fær lægstu einkunn af öllum löndum, eða um 1,4%, en þar eru öll álver einungis rekin með kolaorku. Miðað við þessa rýningu virðist orkuverð frá vatnsaflsvirkjun vera lægra.

Hafa ber í huga að orkuverð getur verið mjög breytilegt milli álfyrirtækja sem gerir allan samanburð milli landa erfiðan.

### 4.3.2 Súrál

Í þessum samanburði voru skoðuð bæði álver sem notast við PB-tækni og Söderberg.

Ástralía, Kína, Bandaríkin, Rússland, Indland, Kanada, Þýskaland, Frakkland og Íran eru þau lönd sem hafa það umfram önnur að hafa aðgengi að súrálsværksmiðjum. Sjá töflu um súrálsværksmiðjendur í viðauka B, töflu B-1.



Mynd 4.3 Einkunn fyrir súrál milli landa

Ísland lendir í níunda sæti og fær 4% einkunn ásamt Noregi. Staðsetning álveranna er hagstæð því hægt er að flytja súrálið beint úr skipum í síló sem staðsett er við höfn. Einnig er staðsetning landanna í Norður-Atlantshafi hagstæð hvað varðar flutninga.

Indland fær hæðstu einkunn eða 25%. Það má líklega rekja til þess að Indverjar eru með stærstu súrálsværksmiðjum heims en þeir framleiða um 3.000 þúsund tonn á ári af súráli. Auk þess er mikið af ódýru vinnuafli svo kostnaður súrálsværksmiðja til álveranna verður minni. Flest álver þar staðsett við baxíðnámur og því lítill sem enginn flutningakostnaður.

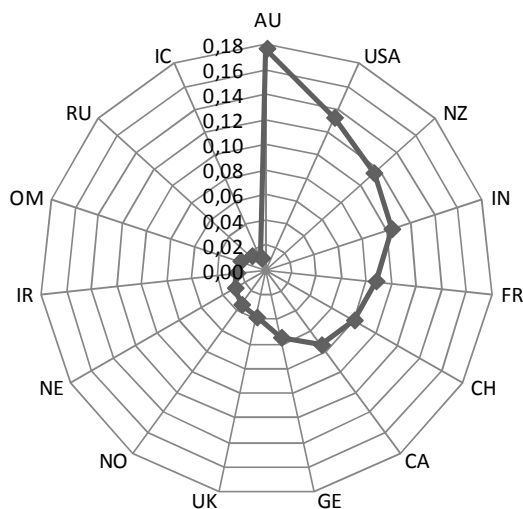
Rússland fær aðeins 1% þrátt fyrir að þeir framleiði yfir 3.000 þúsund tonn af súráli á ári. Sú framleiðsla dugar ekki fyrir álframléiðslunni og þarf því að flytja hluta af súrálinu inn. Margar álverksmiðjur eru staðsettar inn í landi og þar af leiðandi leggst hærri flutningakostnaður ofan á verðið.

Nýja-Sjáland fær 10% en þar er ekki staðsett súrálsværksmiðja. Nálægustu verksmiðjur eru í Ástralíu sem er með eina stærstu súrálsværksmiðjuna. Líklegt er að súrálið þurfi einungis að flytja með sjó og því ódýr kostur fyrir Nýja-Sjáland.

Kína fær aðeins 3% þrátt fyrir að þar séu miklil súrálsværksmiðsla, sem er nálægt 13.000 þúsund tonn á ári. Það má skýra með því að heildar álframléiðsla Kínverja á ári er mun meiri en afkastageta súrálsværksmiðja og þurfa þeir því að flytja inn súrál. Staðsetning álveranna þar er einnig mjög óhagstæð gagnvart flutningi en mörg þeirra eru staðsett inn í landi.

Frakkland fær 2%. Hér dugur framleiðsla súrálsværksmiðja ekki fyrir álframléiðslunni en þó ekki í jafn miklum mæli. Líkleg skýring þess að súrálið sé svo dýrt er að vinnuafli er dýrara í Frakklandi en þekkt annarsstaðar þar sem súrál er framleitt.

### 4.3.3 Aðgengi að kolum



Mynd 4.4 Einkunn fyrir aðgengi að kolum milli landa

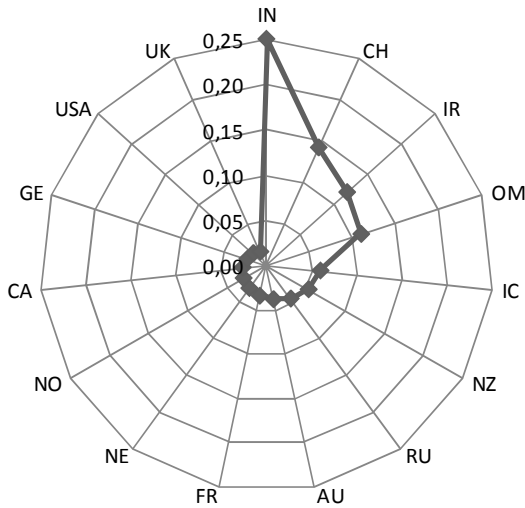
Hér fær Ísland lægstu einkunn, eða einungis 1%. Kolavinnsla fer fram í nánast öllum löndum nema í Hollandi, Noregi, Íran, Óman og á Íslandi, sjá töflu B-2 í viðauka B. Staðsetning Íslands er óhagstæð miðað við önnur lönd sem þurfa á innfluttum kolum að halda og fylgir því hæsta verðið.

Kína, Bandaríkin, Indland, Ástralía auk Rússlands eru með stærstu kolaframleiðendum í heiminum. Ástralía fær þar hæstu einkunn eða 18% og fylgja Bandaríkin og Nýja-Sjáland þar fast á eftir. Rússland fær ekki nema 2% í einkunn þó svo að mikil kolaframleiðsla sé þar.

Ekki er líklegt að Ísland geti bætt stöðu sína vegna kostnað kola við álframleiðslu. En þó er möguleiki á að lækka kostnað séu skautin búin til hér á landi. Einnig eru vonir bundnar við að olía finnist hér á landi og verði af því má vera að staða Íslands hér lagist. Einnig eru hugmyndir uppi um þróun á svokölluð óvirkum skautum og takist það er líklegt að staða Íslands bætist.

#### 4.3.4 Launakostnaður

Talið er að kostnaður við vinnuafli sé um 10% af heildarkostnaði af rekstri álvera. Indland og Kína eru með ódýrasta vinnuaflið en Óman og Íran fylgja þar fast á eftir. Önnur lönd fá öll vægi undir 6%, en þar er munurinn ekki jafn mikill eins og miðað við Indland og Kína.

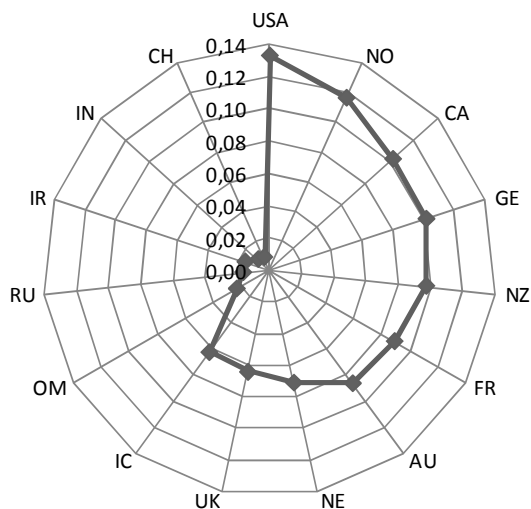


Mynd 4.5 Einkunn fyrir launakostnað milli landa.

Hér er Ísland frekar ofarlega á lista og fær um 6% í einkunn. CRU reiknar allan launakostnað yfir í dollara og geta launatölur sveiflast mikið ef laun eru greidd í öðrum gjaldmiðli en dollar. Ætla mætti að kostnaður vinnuafli hér sé sambærilegur og á Norðurlöndunum en svo virðist ekki vera heldur er hann lægri samkvæmt þessum niðurstöðum.

Vegna breytinga bæði á álverði og gengi mynta er áhugavert að skoða mismun launakostnaðar milli ára. Sé miðað við að laun í íslenskum krónum hækki samkvæmt vísitölu launa má finna út breytingu á launakostnaði milli ára 2006 og 2009. Þar fer launakostnaður úr því að vera 168 US\$/tonn niður í 121 US\$/tonn, miðað við að skráð gengi USDISK árið 2006 sé 69 kr/US\$ og 120 kr/US\$ árið 2009. Sé miðað við að meðalverð á áli árið 2006 sé 2.592 US\$ og frá 1. jan til 5.maí árið 2009 sé meðalverð 1.414 US\$/tonn má finna út hlutfall launakostnaðar miðað við álverð. Samkvæmt þessu hefur hlutfallslegur launakostnaður því hækkað úr 6% upp í 9% milli ára 2006 og 2009.

### 4.3.5 Öryggi á vinnustað



Mynd 4.6 Einkunn fyrir öryggi á vinnustað milli landa.

Af mynd 4.6 má sjá að Ísland fær ekki háa einkunn eða 6,3% miðað við nágranna þjóðirnar. Líkleg skýring er sú að Ísland er frekar nýtt í þessum geira og menn hafa því ekki nægjanlega mikla trú á öryggi álveranna hér.

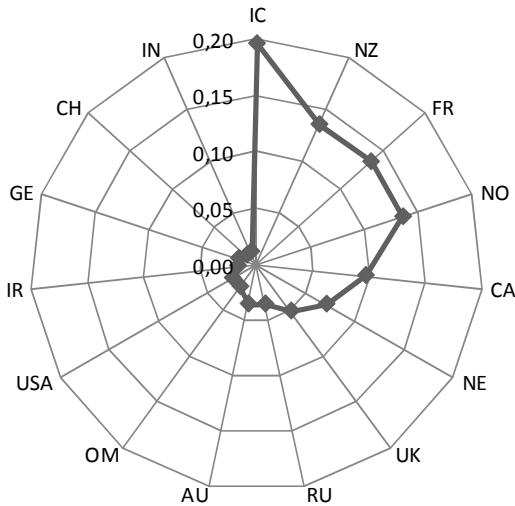
Bandaríkin koma langbest út eða fá rúmlega 13% í einkunn. Rússland, Íran, Indland og Kína koma verst út og fá öll einkunn undir 2,5%.

Velta má fyrir sér hvort hærra menntunarstig landa auki árangur fyrirtækis í öryggismálum. Samkvæmt niðurstöðum hér má sjá tengsl þess enda eru þær þjóðir sem fá háa einkunn með heldur hærra menntunarstig. Hér á landi er nokkuð hátt menntunarstig miðað við margar þjóðir sem fá háa einkunn en það virðist ekki skila sér í öryggi á vinnustað því Ísland fær lágstu einkunn af þeim þjóðum.



### 4.3.6 Losun CO<sub>2</sub>

Hér er miðað við losun CO<sub>2</sub> frá orkugjafa. Það hefur því mikil áhrif á einkunn sé álver knúið vatnsorku eða öðrum orkugjafa sem losar lítið af CO<sub>2</sub>.



Mynd 4.7 Einkunn fyrir losun CO<sub>2</sub> milli landa.

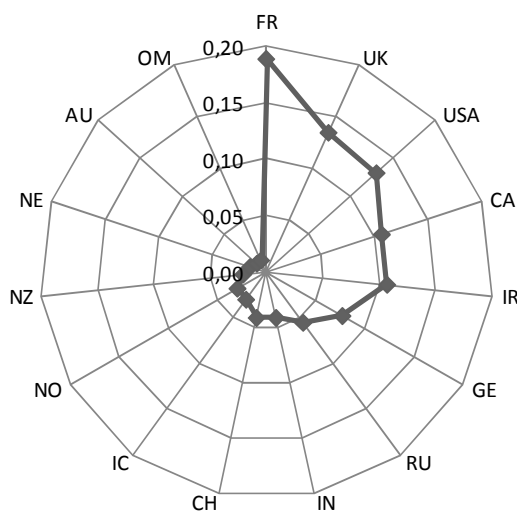
Ísland kemur mjög vel út í losun CO<sub>2</sub> og fær 20% í einkunn. Ástæðan fyrir því hversu háa einkunn Ísland fær er vegna þess að annarsvegar þá losar orkugjafinn mjög lítið af CO<sub>2</sub> miðað við annan orkugjafa og hinsvegar er losunarkvóti Íslands samkvæmt Kyoto-bókuninni mestur miðað við öll hin löndin eða um 10%.

Á eftir Íslandi koma Nýja-Sjáland, Frakkland, Noregur og Kanada en orkugjafi þessara álvera er fenginn með vatnsaflsorku eða kjarnaorku. Losun CO<sub>2</sub> frá orkugjafanum er því hverfandi miðað við aðra orkugjafa. Þessi lönd eru einnig bundin losun gróðurhúsalofttegunda samkvæmt Kyoto-bókuninni og þurfa Nýja-Sjáland og Frakkland ekki að draga úr losun.

Indland og Kína fá lægstu einkunn en þar er mestmegnis notast við kol sem orkugjafa. Einnig eru þessi lönd ekki aðilar að Kyoto-bókuninni og má álykta út frá því að ekki sé verið að vinna í að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda og þeim gefið lægri einkunn fyrir það. Þýskaland fylgir fast á eftir en þeir nota einungis kolaorku til að knýja álverin sín. Einnig eru þeir búnir að skuldbinda sig um að draga 21% úr losun gróðurhúsalofttegunda samkvæmt Kyoto-bókuninni og því er álframleiðsla ekki ákjósanlegur kostur fyrir landið.

### 4.3.7 Aðgengi að vinnuafli

Aðgengi að vinnuafli fær ekki hátt vægi miðað við önnur viðmið eða rúmlega 3%.



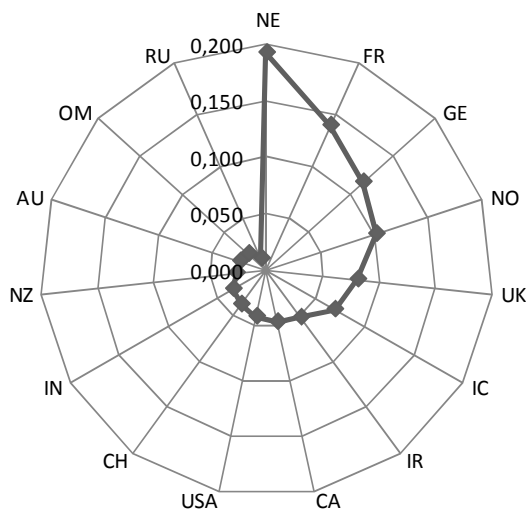
Mynd 4.8 Einkunn fyrir aðgengi að vinnuafli milli landa.

Ísland lendir frekar neðarlega á lista og fær 3% í einkunn, enda hefur atvinnuleysið hér verið með því minnsta sem þekktist í heiminum á síðastliðnum árum. Hér á landi er einnig mikið lagt í menntun af heildarþjóðarframleiðslu miðað við önnur lönd og því er hér stórt hlutfall af vel menntuðum einstaklingum. Frakkland fær hæstu einkunn eða 19% en þar er atvinnuleysi meira en hér og þar hefur einnig miklum fjármunum verið eytt í menntun.

Hér verður þó að hafa í huga að þessar tölur hafa mikið breyst á einu ári og atvinnuleysi hefur aukist mikið bæði hér á landi og erlendis árið 2009. Því var þessi liður skoðaður sérstaklega fyrir og eftir fjármálakreppu. Eins og sjá má í töflu 3.5 í kafla 3.3.7 hefur atvinnuleysið breyst mikið og hefur Ísland farið úr því að vera með minnsta atvinnuleysið í að vera með eitt af því mesta. Ef notast er við gögn um atvinnuleysi eftir kreppu, það er samkvæmt töflu 3.5, fæst að Ísland skorar hér mun hærra eða fær 15% í einkunn og færir sig þar með upp um átta sæti. Þetta hefur einnig mikil áhrif á heildarniðurstöðuna en þá stekkur Ísland upp í fjórða sæti, þrátt fyrir að vægi þessa viðmiðs sé mjög lágt. Í viðauka D má finna gögn um einkunnagjöf miðað við tölur eftir hrun. Hér er dæmi um hversu næm einkunnagjöfin er fyrir breytingum. Það eru ekki einungis atvinnuleysistöður sem hafa breyst. Einkunna viðmiðsins tekur einnig mið af hversu mikið hlutfall af þjóðartekjum er lagt í menntun, en í dag eru breytingar í gangi í þeim málum til dæmis hér á landi. Þar sem tölur hafa mikið verið að breytast verður notast við þær tölur sem voru til staðar þegar þetta verkefni er unnið.

Hér ber að muna að hér er einungis reynt að draga upp mynd af notkun aðferðarinnar og ber því að taka niðurstöðum með fyrirvara.

### 4.3.8 Nálægð við markað



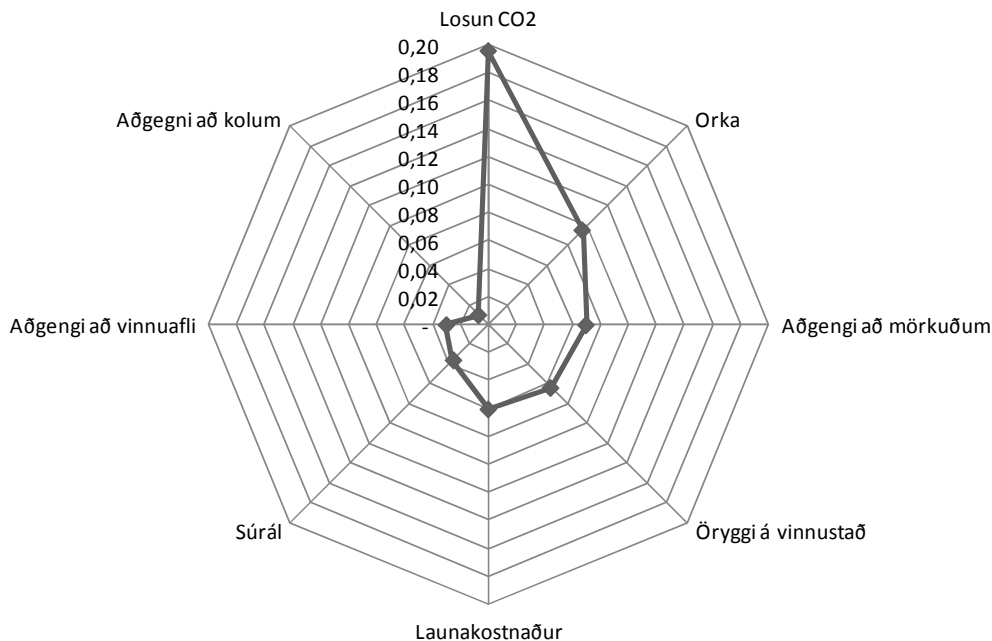
Mynd 4.9 Einkunn fyrir nálægð við markað milli landa.

Á mynd 4.9 má sjá að Ísland kemur nokkuð vel út þrátt fyrir að vera staðsett í Norður Atlantshafi. Það fær 7% í einkunn og lendir í sjötta sæti. Kostirnir við það að vera eyja í miðju Atlantshafi eru þeir að stutt er í næsta markað beggja megin við Ísland. Einnig þarf ekki að flytja álið langleiðina áður en það er flutt úr landi. Holland fær hæstu einkunn en aðal verslunarhöfnin í Evrópu, Rotterdam, er staðsett í Hollandi og því lítill flutningur til næsta kaupanda. Þetta á einnig við um Frakkland, Þýskaland, Noreg og Bretland.

Rússland fær lægstu einkunn því flest álver eru staðsett inn í miðju landi og því þarf að flytja álið langa leið til næsta kaupanda. Kínverjar þurfa einnig að flytja álið langleiðina á landi, en skýra má hærri einkunn hugsanlega með því að mikið af álinu fer í framleiðslu innanlands.

### 4.3.9 Samantekt á einkunnum Íslands í hverju viðmiði

Á mynd 4.10 má sjá samantekt á einkunnum Íslands í hverju viðmiði fyrir sig. Hér er aðeins verið að skoða samanburð á hverri einkunn sem Ísland fær í hverju viðmiði og því skal athuga að summa einkunna verður ekki einn.



Mynd 4.10 Einkunn Íslands í hverju viðmiði.

Ísland fær hæðstu einkunn fyrir losun CO<sub>2</sub>, eða 19,5%, en þar er staða Íslands sterkust gagnvart hinum þjóðunum. Næst kemur orkuverð með 9,5%, en Ísland er þar á meðal fjórum efstu þjóðum. Þriðja stærsta viðmiðið er aðgengi að mörkuðum sem fær 7,0% og er Ísland þar á meðal sex efstu þjóða sem listuð eru. Ísland kemur ekkert sérstaklega vel út í öryggi á vinnustað viðmiðinu þrátt fyrir að það sé fjórða hæsta viðmiðið og fær slakasta vægið af hinum Evrópuþjóðunum. Launakostnaður fær 6,0% og er í fimmta sæti. Þetta viðmið getur rokkað mikið til eins og nefnt var í kafla 4.3.4. Viðmið Súráls fær 3,5% sem setur Ísland í níunda sæti. Aðgengi að vinnuafli er heldur ekki sterkur þáttur en Ísland lendir þar neðarlega í sæti með 6,0%. Þessi þáttur hefur þó breyst mikið eins og kom fram í kafla 4.3.7. Ísland kemur loks einna verst út í aðgengi að kolum sem gefur aðeins 1,0% í einkunn.

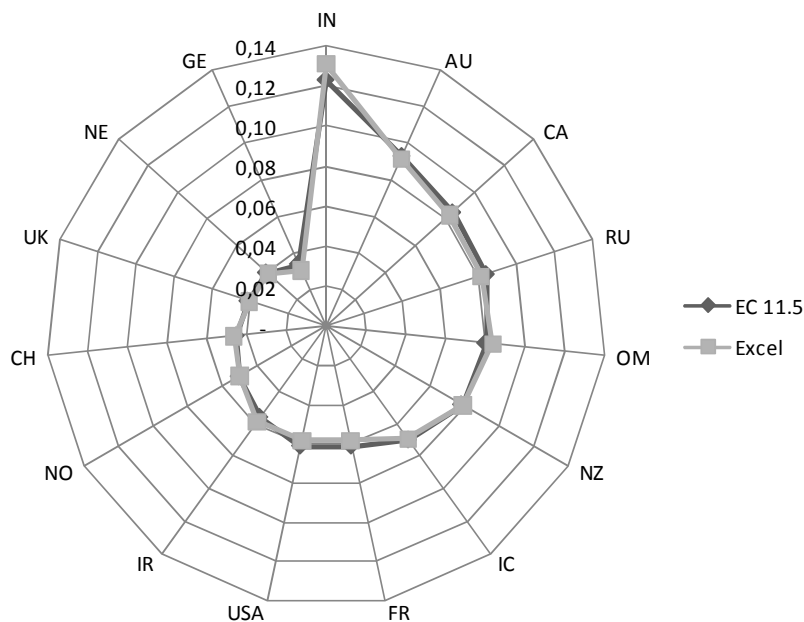
## 4.4 Breyting á vægi viðmiðanna

Finna má fyrirtæki sem byggja á AHP aðferðinni og aðgengileg forrit á netinu. Sem dæmi má nefna:

- Expert Choice (<http://www.expertchoice.com>)
- SuperDecision (<http://www.superdecisions.com>)
- DecisionLens (<http://decisionlens.com>)
- Online CGI (<http://www.isc.senshu-u.ac.jp/~thc0456/EAHP/AHPweb.html>)

Ekki verður fjallað nánar um hvert forriti heldur verður það lesandanum látið eftir að kynna sér þau nánar. Notast var við forrit frá Expert Choice, EC 11.5, til að bera saman niðurstöður úr Excel auk þess verða skoðuð fjögur tilvik með mismunandi vægi viðmiða með hjálp EC 11.5. En sé vægi viðmiða breytt getur niðurstaðan auðveldlega breyst.

Eftirfarandi niðurstaða fékkst þar sem notast var við sama vægi viðmiða og gefið var í kafla 4.2.



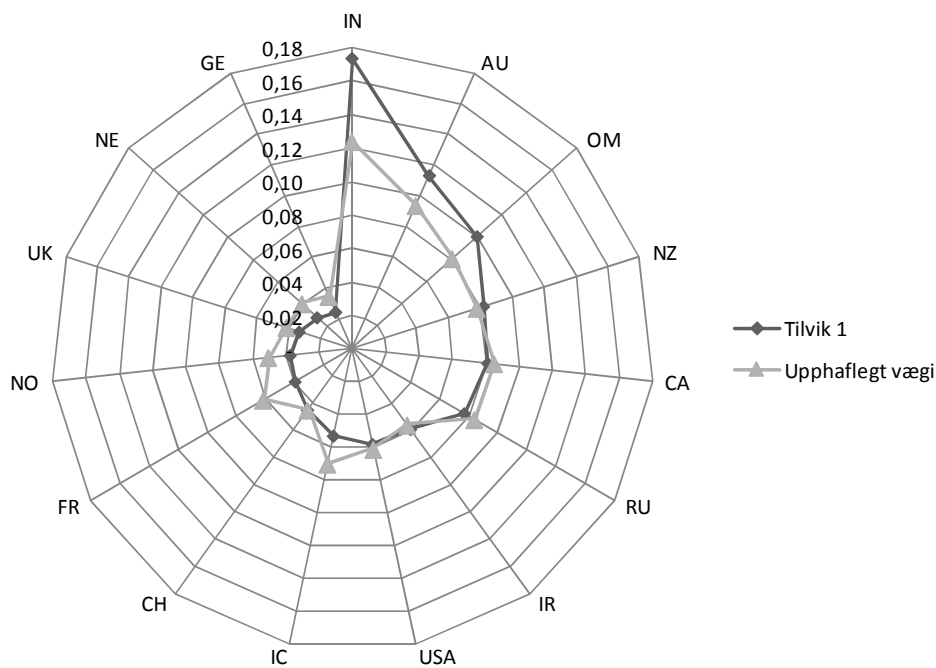
Mynd 4.11 Niðurstaða úr forritinu EC 11.5 borin saman við niðurstöðu úr Excel.

Á mynd 4.11 má sjá að niðurstöður úr EC 11.5 og Excel eru þær sömu. Kostir við EC 11.5 er að hægt er að breyta vægi hvers viðmiðs. Hér á eftir verða skoðuð fjögur tilvik.

Tilvik 1: Vægi kostnaðarliða gilda samkvæmt CRU, sjá kafla 3.4. Annar kostnaður sem var 10% var deilt niður á hina fjóra þættina. Aðrir þættir veða núll.

Tafla 4-3 Vægi viðmiða í tilviki 1.

Viðmið	Vægi
Súrál	47%
Orka	29%
Aðgengi að kolum	12%
Launakostnaður	12%
Losun CO2	0%
Lokaafurð	0%
Aðgegni að vinnuafli	0%
Öryggi á vinnustöða	0%
Alls	100%



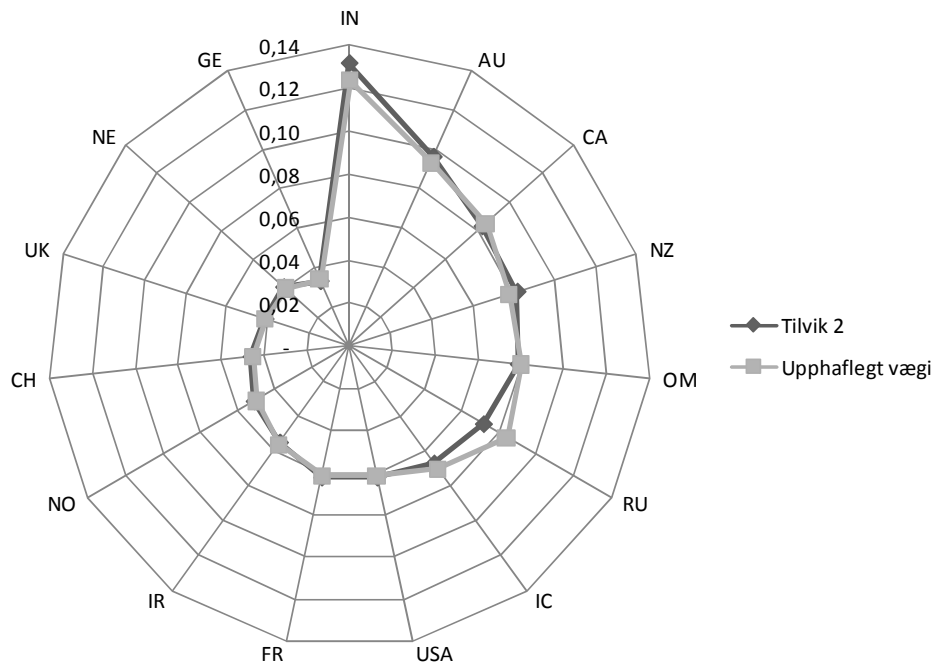
Mynd 4.12 Niðurstöður á tilviki 1 ásamt upphaflegu vægi

Á mynd 4.12 má sjá að Ísland lækkar upphaflegt vægi og fellur um tvö sæti. Indland hækkar vægið sitt og heldur áfram efsta sætinu. Vægi Þýskalands, Hollands og Bretlands lækkar en öll halda þau sömu sætum.

Tilvik 2: Súrál látið gilda meira en Orka. Aðrir þættir vega saman og í upphafi.

Tafla 4-4 Vægi viðmiða í tilviki 2.

Viðmið	Vægi
Orka	25%
Súrál	30%
Aðgengi að kolum	14%
Launakostnaður	12%
Losun CO2	9%
Lokaafurð	5%
Aðgegni að vinnuafli	3%
Öryggi á vinnustöða	2%
Alls	100%



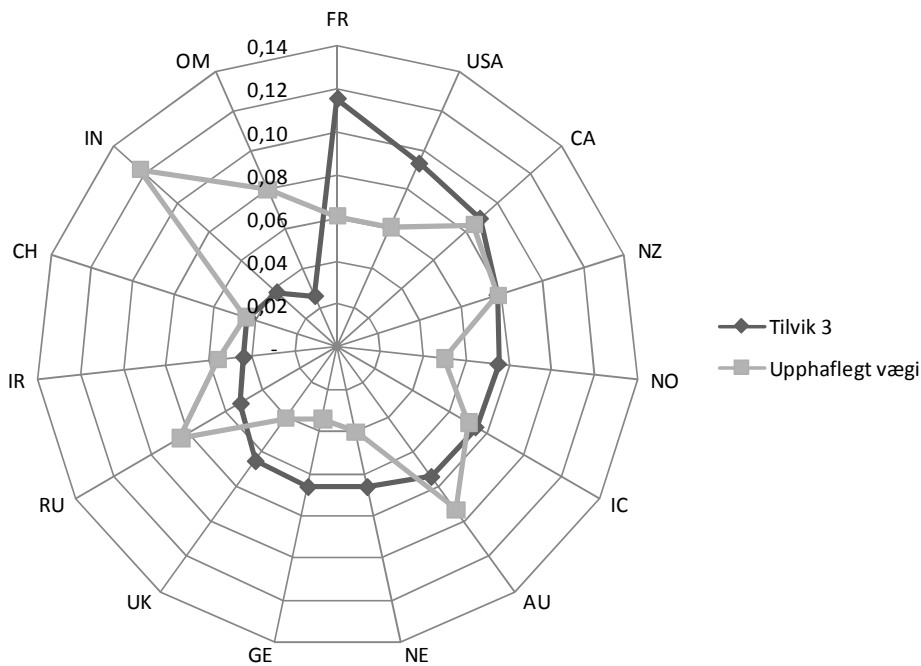
Mynd 4.13 Niðurstöður á tilviki 2 ásamt upphaflegu vægi.

Af mynd 4.12 má sjá að Ísland heldur sama sæti miðað við upphaflegu niðurstöðuna og aukning á vægi súrálts umfram orku virðist ekki breyta miklu. Helsta breytingin á röðinni er nú að Rússland dettur um tvö sæti og Nýja-Sjáland fer upp um tvö sæti. Einnig lækkar Frakkland um eitt sæti og Bandaríkin fer upp um eitt.

Tilvik 3: Öll viðmið vega jafnt.

Tafla 4-5 Vægi viðmiða í tilviki 3.

Viðmið	Vægi
Orka	12,6%
Súrál	12,1%
Aðgengi að kolum	12,9%
Launakostnaður	12,5%
Losun CO2	12,4%
Lokaafurð	12,4%
Aðgegni að vinnuafli	12,3%
Öryggi á vinnustöða	12,7%
Alls	100%



Mynd 4.14 Niðurstöður á tilviki 3 ásamt upphaflegu vægi.

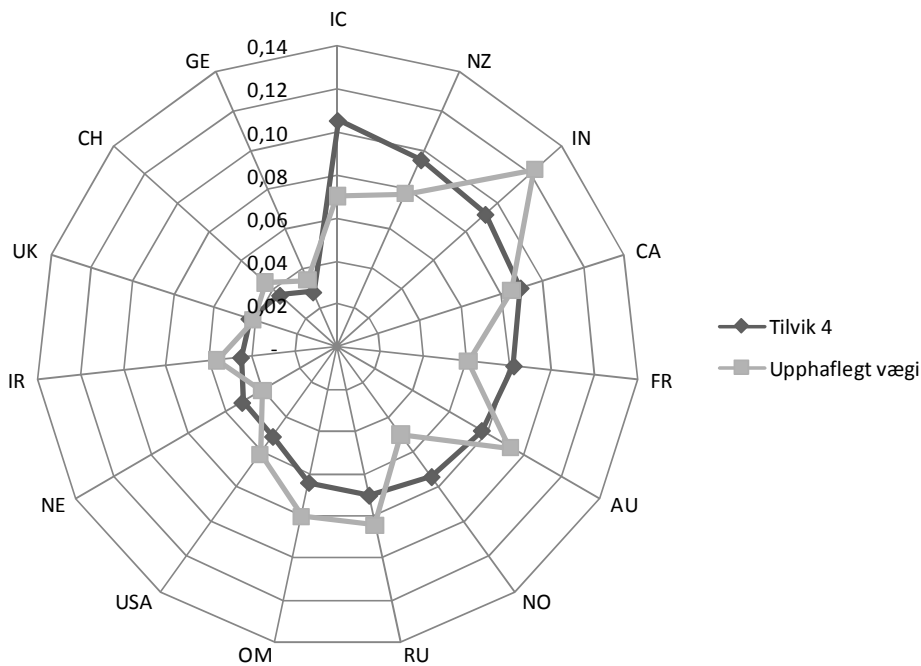
Séu öll viðmið sett jöfn breytist röðin verulega. Á mynd 4.14 má sjá að Ísland fer í sjötta sæti og Frakkland fær hæstu einkunn og Bandaríkin þar á eftir. Einnig má sjá að allar Vestur-Evrópuþjóðirnar ásamt Bandaríkjunum, Kanada, Nýja-Sjálandi og Ástralíu fá öll efstu sætin en hinar lenda í neðstu sætunum. Sérstaklega athyglisvert er að Indland fer úr því að vera með efsta sætið í að vera í því næst neðsta.



Tilvik 4: Losun CO<sub>2</sub> látið gilda meira

Tafla 4-6 Vægi viðmiða í tilviki 4.

Viðmð	Vægi
Orka	22,4%
Súrál	18,6%
Aðgengi að kolum	9,6%
Launakostnaður	8,9%
Losun CO <sub>2</sub>	34,2%
Lokaafurð	3,2%
Aðgegni að vinnuafli	1,8%
Öryggi á vinnustöða	1,3%
Alls	100%



Mynd 4.15 Niðurstöður á tilviki 4 ásamt upphaflegu vægi.

Sé vægi á viðmiðinu losun CO<sub>2</sub> látið gilda meira en önnur lendar Ísland í efsta sæti, sjá mynd 4.15. Það má skýra með því að vægið á losun CO<sub>2</sub> er mjög hátt miðað við bæði önnur lönd innan viðmiðsins og einnig er Ísland að fá hæðstu einkunn í því viðmiði miðað við hin sjö viðmiðin.



## 5 LOKAORÐ

Fundin hefur verið hentug aðferð til að sýna fram á sérstöðu Íslands í álframleiðslu með einföldum hætti sem tekur saman þekkingu á helstu þáttum álvera. Notast var við AHP aðferðina til að bera saman fimmtán lönd og eftirfarandi átta viðmið: orka, súrál, aðgengi að kolum, launakostnað, losun CO<sub>2</sub>, öryggi á vinnustað, aðgengi að vinnuafli og nálægð við markaði. Séu öll viðmið og vægi þeirra tekin saman fæst að Ísland lendir í sjöunda sæti af þeim fimmtán löndum sem borin eru saman. Séu hvert og eitt viðmið skoðað kemur í ljós að staðan er sterkust hvað varðar orku og losun CO<sub>2</sub>.

Í orku viðmiðinu lendir Ísland í fjórða sæti af þeim fimmtán löndum sem borin eru saman og hvað varðar losun gróðurhúsalofttegunda þá lendir Ísland í efsta sæti þar sem losunarheimildir eru töluverðar. Mikil umræða hefur verið hér á landi um það á hvaða verði orka er seld til álfyrirtækja en samkvæmt niðurstöðum er íslenska orkan með þeim ódýrari. Hér vega þó upp á móti önnur viðmið eins og kostnaður við kol og súrál en Ísland fær þar heldur lága einkunn miðað við hin löndin.

Viðmið á launakostnaði sýnir að hér eru ekki há laun þar sem Ísland fær heldur háa einkunn en hærri einkunn gefur til kynna lægri launakostnað. Stefna hér á landi í launamálum hefur almennt verið sú að hér eigi að vera í boði samkeppnishæf laun og að almennt eiga lífsgæði að vera góð, en þau kjör virðast ekki endurspeglast í niðurstöðunum.

Fyrir samanburð af þessu tagi má segja að AHP aðferðin hafa hentað vel. Helsti kostur þess að nota aðferðina við úrlausn þessa verkefnis er að hægt er að bera saman valkosti í einstökum viðmiðum og einnig að hægt sé að bera þau saman yfir allt vandamálið. Hægt var að gefa einkunn fyrir öll viðmið hvort sem þau voru huglæg eða eftir tölulegum gögnum. Helstu gallar voru þeir að heldur margir valkostir voru fyrir hendi og hefði mátt fækka þeim.

Önnur lönd gætu þótt áhugaverð til samanburðar og einnig hefði mátt velja önnur viðmið eða sleppa einstöku. Til dæmis hefði mátt bæta inn viðmiði um stöðugt stjórn málaumhverfi, trygg orka til lengri tíma eða öðrum þáttum sem hefðu áhrif á einkunnagjöf. Í viðmiðinu losun CO<sub>2</sub> er einungis skoðuð losun koldíoxíðs frá orkugjafa. Hér hefði til dæmis mátt gefa álverum einkunn eftir losun þeirra á CO<sub>2</sub> og öðrum skaðlegum efnum. Sé einkunnagjöf skoðuð með tilliti til fleiri þátta eins og til dæmis vægi orku í samhengi við aðgengi að henni og öryggi þá er hætta á að tölulegt mat víki fyrir huglægu mati og niðurstöður verða ekki jafn áreiðanlegar. En allt byggir þetta á mati hvers og eins.

Öll kostnaðarviðmið eru breytileg sem gerir samanburð erfiðan. Til dæmis getur kostnaður orku verið mjög breytilegur þar sem verð er oft háð álverði eða olíuverði sem geta sveiflast mikið. Einnig má nefna launakostnað en hann getur haft mikil áhrif séu laun reiknuð úr einu gengi í annað vegna gengisbreytinga. Þá má einnig nefna aðgengi að vinnuafli en það hefur breyst talsvert á einu ári í kjölfar fjármálakreppunnar. Því getur það haft áhrif á niðurstöður eftir því á hvaða tíma einkunnagjöfin er byggð.

Hér hefur verið þróuð aðferð sem nýtist til að bera saman álframleiðslu milli landa. Hver og einn getur aðlagð viðmið og valkosti aðferðarinnar eftir þörfum og þannig fengið fram nýjar niðurstöður en það gæti reynst áhugavert framhald á verkefninu. Þessi aðferð gæti

meðal annars nýst álfyrirtækjum, matsfyrirtækjum sem og öðrum sem þurfa á slíkum samanburði að halda.

Við upphaf þessa verkefnis voru settar fram tvær rannsóknarspurningar. Þær voru hvort íslensk álver séu samkeppnishæf og hver sé sérstaða álvera hér á landi.

*Eru íslensk álver samkeppnishæf?*

Til að svara fyrri spurningunni má nefna að há einkunn á orku vegur upp á móti lágum einkunnum sem Ísland fær fyrir vegna flutningskostnaðar súrúls og kola sem setur Ísland í miðjusæti þeirra landa sem borin eru saman. Fyrir Ísland að lenda í sjöunda sæti er nokkuð gott þar sem borið er saman við lönd sem eru með háa framleiðslugetu og eru framarlega í álfframleiðslu. Því má líta svo á að álfframleiðsla hér á landi sé samkeppnishæf.

*Hver er sérstaða íslenskra álvera?*

Til að svara spurningunni um sérstöðu íslenskra álvera má nefna að hér er gott aðgengi að orku og á samkeppnishæfu verði miðað við önnur lönd. Einnig er losun gróðurhúsalofttegunda frá orkugjöfum íslenskra álvera með þeirri minnstu sem þekkist í heiminum en Ísland fær hæstu einkunn allra landa. Þá hafa umhverfissjónarmið breyst mikið undanfarin ár og hafa auknar kröfur um að draga úr mengun frá álverum skilað sér til íslensku álveranna. Staðsetning Íslands hefur einnig þau áhrif að aðgengi að mörkuðum fær háa einkunn eins og nefnt var hér að ofan. Hér er hátt menntunarstig miðað við hin samanburðarlöndin og mikið af hæfu fólki til að starfa í álverum. Hinsvegar er fólksfjöldinn lágur sem hefur þau áhrif að aðgengi að vinnuafli er minna.

## HEIMILDIR

### Bækur og skýrslur

- Alcoa, HRV Engineering. Október 2009. *Mat á umhverfisáhrifum: Álver Alcoa á Bakka við Húsavík í Norðurþingi.*
- C.J. McNair, CMA and Kathleen H.J. Leibfried, 1992, *Benchmarking: A tool for continuous Improvement*, Útg. Oliver Wright Publications, Inc.
- CRU Analysis. Ágúst 2007. *Primary Aluminium Smelting Cost 2007 Edition; Analysis report.* Útg. CRU Analysis.
- CRU Analysis. September 2007. *The Long Term Outlook for Aluminium, 2007 Edition; A forecast to 2030 using the CRU Compass model.* Útg. CRU Analysis.
- CRU Analysis. Febrúar 2008. *Aluminium Smelter Power Tariffs to 2010, 2008 Edition.* Útg. CRU Analysis.
- Hans Kr. Guðmundsson, Ásbjörn Einarsson, 1992, *Álbókin*, Bókaútgáfa. Iðntæknistofnun Íslands
- Harpa Birgisdóttir, Ragnheiður Ólafsdóttir. Júní 2008. *Umhverfisskýrsla raforkuvinnslu Landsvirkjunar 2007.* Útg. Landsvirkjun.
- HRV Engineering. 2006. *Aluminium Plant In North Iceland: Comparison Study.* Reykjavík.
- Jón Hjaltalín Stefánsson, 1997, *Rafgreiningarkverið*, 4.útg. Útgefandi: Íslenska álfélagið hf.
- L.E. Hetherington, T.H. Brown, A.J. Benham, T. Bide, P.A.J. Lusty, V.L. Hards, S.D. Hannis, N.E. Idoine. 2008. *World Mineral Production 2002-2006.* Útg. British Geological Survey.
- Light Metals Committee, 1986, *Hall-Heroult: 100 first century of aluminum process technology*, Útg. The Metallurgical Society, Inc.
- Robert C. Camp. 1989. *Benchmarking: The search for industry best practices that lead 2 superior performance.* Milwaukee, WI; Quality Press.
- Thomas L. Saaty, Luis G. Vargas, 2001, *Models, methods, concepts & application of the Analytic Hierarchy Porcess*, Kluwer Academic Publishers.
- Verkefnastjórn starfsnáms/fagnáms í stóriðju. 1999. *Rafgreining.* Iðntæknistofnun Íslands.
- Wayne L. Winston, 1994, *Operations Research: Application and Algorithms*, Útg. International Thomson Publishing.

### Greinar og ritgerðir

- Ágúst Þorgeirsson. 2002. *Mat á umhverfisáhrifum: aðferðafræði.* Reykjavík.
- Júlíus Sólnes. 2002. *Environmental quality indexing of large industrial development alternatives using AHP.* Enviromental Impact Assessment Review. Rev. 23 (2003) 283-303.

### Tímaritsgrein:

- Alton Tabereaux. 2000. *Prebake Cell Technology: A Global Review.* JOM. Bls. 23-29.
- Hal Turton. Janúar 2002. *The Aluminium Smelting Industry: Structure, market power, subsidies and greenhouse gas emission.* The Australian Institute.
- Jeff Keniry. Maí 2001. *The Economics of Inert Anodes and Wetttable Cathodes for Aluminum Reduction Cells.* JOM. Bls. 43-47.
- Joe Flower. January-February 1993. *We can do better.* The Healthcare Forum Journal. Vol. 36, #1, as "The Source."
- M. Ataei. 2005. *Selection of alumina-cement plant location with application of multicriteria estimation method.* Journal of Mining Science. Vol. 41. No 2: 185-194.

Juan Aguarón og José María Moreno-Jiménez, 2003. *The geometric consistency index: Approximated thresholds*. European Journal of Operational Research 147 (2003) 137–145

Heimasíður:

Alcan á Íslandi hf. 2009, 20.maí. <http://www.riotintoalcan.is/>

Alcoa Fjarðaál sf. 2009, 20.maí. <http://www.alcoa.com/iceland/ic/home.asp>

Alcor b.v. 2009, 20.maí. *Global Operation Data: Smelters*. <http://www.alcortechnology.com/smeltng.html>

All Buisness. 2009, 20.maí. *As Planned, Alcoa Curtails Production from 3 to 2 Potlines at ABI Facility During Strike*. <http://www.allbusiness.com>

Alur, álvinnsla hf. 2009, 20.maí. <http://www.alur.is/drupal/>

Ásgrímur Ingi Arngrímsson. 2009, 8.janúar. *13 mánuðir í Alcoa-árinu*. <http://www.ruv.is/heim/frettir/frett/store64/item245266/>

BP Statistical Review of World Energy June 2008. 2008, 20.maí. <http://www.bp.com>

Clean Development Mechanism. 2009, 20.maí. *About CDM*. <http://cdm.unfccc.int/about/index.html>

Emirates Aluminium. 2009, 20.maí. Facts & Figures. <http://www.emal.ae/>

International Aluminium Institute (IAI). 2009, 20.maí. *Story of Aluminium*. <http://www.world-aluminium.org>

International Aluminium Institute (IAI). 2009, 20.maí. *Historical IAI Statistics*. <http://www.world-aluminium.org>

International Aluminium Institute (IAI). 2009, 20.maí. *Applications & products*. <http://www.world-aluminium.org>

International Aluminium Institute (IAI). 2009, 20.maí. *Smelter emissions*. <http://www.world-aluminium.org>

Landvernd. 2009, 20.maí. *BÍs 46-47*. [http://www.landvernd.is/natturuafli/skyrsla/skyrsla\\_5\\_kafli.pdf](http://www.landvernd.is/natturuafli/skyrsla/skyrsla_5_kafli.pdf)

MapCrow. 20.mái, 2009. <http://www.mapcrow.info/>

Norðurál ehf. 2009, 20.maí. <http://www.nordural.is>

Orkusetrið. 2009, 20.maí. *Mótvægisáðgerðir*. <http://co2.is/Apps/WebObjects/Orkustofnun.woa/wa/dp?id=6458>

Qatalum. 2009, 20.maí. Facts and figures. <http://www.qatalum.com>

Seðlabanki Íslands. 2009, 20.maí. *Fundargerð peningastefnufndar Seðlabanka Íslands, maí 2009*. <http://www.seðlabanki.is>

The World Factbook 2008. 2009, 20.maí. <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/index.html>

Umhverfisskrifstofa norræna áliðnaðarins. 2009, 20.maí. *Útgefin Talnagögn: Slys á fólki*. <http://www.ams-aluminium.no>

Umhverfisstofnun. 2009, 20.maí. *Álver, Gildandi starfsleyfi*. <http://ust.is>

UNFCCC. 2009, 20.maí. *Kyoto Protocol base year data*. [http://unfccc.int/ghg\\_data/kp\\_data\\_unfccc/base\\_year\\_data/items/4354.php](http://unfccc.int/ghg_data/kp_data_unfccc/base_year_data/items/4354.php)

Umhverfisráðuneytið. 2009, 02.október. *Ísland verði þátttakandi í loftslagskerfi ESB*. <http://www.umhverfisraduneyti.is/frettir/nr/1465-2009-10-02>

Umhverfisráðuneytið. 2009, 02.október. *Miklir möguleikar á að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda*. <http://www.umhverfisraduneyti.is/frettir/nr/1442-2009-10-02>

Umhverfisstofnun. 2009, 02.október. *Loftslagssamningur SP og Kyoto-bókunin*. <http://www.ust.is/Mengunarvarnir/Hnattranmengun/Grodurhusaahrifin/Kyoto-bokunin/>

Viðmælendur. Viðtöl. Munnlegar heimildir.

Ágúst F Hafberg. Framkvæmdastjóri viðskiptaþróunar og samskipta Viðtal 20.apríl 2009.

Bjarni Bjarnason. Forstjóri Landsvirkjun Power ehf. Símaviðtal 24.apríl 2009.

Tómas Sigurðsson. Forstjóri Alcoa Fjarðaáls sf. Viðtal 3.apríl 2009.

## VIÐAUKI A

*Tafla A-1 Gögn um meðalkostnað fjögurra viðmiða ásamt meðal losun CO<sub>2</sub> hvers lands árið 2006. Heimild: Aluminium Smelter Power Tariffs to 2010, 2008 Edition.*

Land	Orka - PB tækni (US\$/tonn)	Súrál (US\$/tonn)	Kol (US\$/tonn)	Vinnuafli (US\$/tonn)	Losun CO <sub>2</sub> (kg/tonn)
Indland	\$ 446	\$ 560	\$ 136	\$ 52	16
Rússland	\$ 192	\$ 755	\$ 197	\$ 204	8
Frakkland	\$ 492	\$ 721	\$ 140	\$ 250	0
Þýskaland	\$ 893	\$ 731	\$ 152	\$ 292	15
Ísland	\$ 314	\$ 715	\$ 233	\$ 168	0
Holland	\$ 820	\$ 716	\$ 175	\$ 254	3
Noregur	\$ 489	\$ 711	\$ 167	\$ 256	0
Bretland	\$ 483	\$ 717	\$ 167	\$ 375	6
Oman	\$ 307	\$ 626	\$ 185	\$ 104	6
Íran	\$ 411	\$ 688	\$ 185	\$ 104	8
Kanada	\$ 290	\$ 677	\$ 141	\$ 256	0
Bandaríkin	\$ 452	\$ 696	\$ 136	\$ 320	9
Ástralía	\$ 374	\$ 625	\$ 124	\$ 235	12
Nýja-Sjáland	\$ 467	\$ 635	\$ 136	\$ 174	0
Kína	\$ 678	\$ 720	\$ 141	\$ 88	13



**Tafla A-2** Tækni álvera og framleiðsugeta þeirra. Gögn fengin úr grein um Prebake Cell Technology: A Global Review, (JOM, Febrúar 2000) og af eftirfarandi heimasíðu: <http://www.genisim.com/aluminum/smelter.htm> (Smelter List, 20. Apríl 2009)

Land	Álver	Framl.	Tækni	Orkugjafi
Indland	Alupuram	0	Söderberg	Kol
Indland	Hirakud	143	Söderberg	Kol
Indland	Korba	355	Söderberg	Kol
Indland	Mettur	50	Söderberg	Kol
Indland	Angul (Orissa)	469	PB	Kol
Indland	Renukoot	364	PB	Kol
Rússland	Bogoslovsk	192	Söderberg	Kol
Rússland	Bratsk	1010	Söderberg	Vatns/Kol
Rússland	Irkutsk	450	Söderberg	Vatns/Kol
Rússland	Kandalaksha	75	Söderberg	Kjarna/Vatns
Rússland	Krasnoyarsk	1010	Söderberg /PB	Vatns
Rússland	Nadvoitsy	82	Söderberg /PB	Vatns
Rússland	Novokuznetsk	321	Söderberg	Kol
Rússland	Sayansk	830	PB	Vatns
Rússland	Uralsky	135	Söderberg /PB	Kol
Rússland	Volgograd	155	Söderberg	Vatns
Rússland	Volkhov	26	PB	Vatns
Frakkland	Dunkirk	259	PB	Kjarna/Vatns
Frakkland	Lannemezan	0	PB	Kjarna/Vatns
Frakkland	St. Jean	135	PB	Kjarna/Vatns
Þýskaland	Essen	162	PB	Kol
Þýskaland	Hamburg	132	PB	Kol
Þýskaland	Norf	228	PB	Kol
Þýskaland	Stade	0	PB	Kol
Þýskaland	Voerde	93	PB	Kol
Ísland	Fjarðaal	346	PB	Vatns
Ísland	Straumsvik	179	PB	Vatns
Ísland	Nordural	260	PB	Vatns
Holland	Delfzijl	118	PB	Gas
Holland	Vlissingen	213	PB	Kjarna
Noregur	AardalA	204	Söderberg /PB	Vatns
Noregur	Hoyanger	55	PB	Vatns
Noregur	Husnes	168	PB	Vatns
Noregur	Karmoy	285	PB	Vatns
Noregur	Lista	94	Söderberg	Vatns
Noregur	Mosjoen	189	Söderberg /PB	Vatns
Noregur	Sunnalsora	400	Söderberg /PB	Vatns
Bretland	Holyhead	145	PB	Kjana
Bretland	Lochaber	48	PB	Vatns
Bretland	Lynemouth	178	PB	Kol

Óman	Sohar	350	PB	Gas
Íran	Arak	160	PB	Gas
Íran	Bandar Abbas	185	PB	Gas
Kanada	Alma	415	PB	Vatns
Kanada	Alouette	575	PB	Vatns
Kanada	Arvida	166	PB	Vatns
Kanada	Baie Comeau	438	Söderberg /PB	Vatns
Kanada	Beauharnois	52	Söderberg	Vatns
Kanada	Becancour	408	PB	Vatns
Kanada	Deschambault	254	PB	Vatns
Kanada	Grande Baie	207	PB	Vatns
Kanada	Kitimat	245	Söderberg	Vatns
Kanada	Laterriere	228	PB	Vatns
Kanada	Shawinigan Falls	99	Söderberg	Vatns
Bandaríkin	Massena West	130	PB	Vatns/Kjarna
Bandaríkin	Alcoa Tennessee	219	PB	Vatns
Bandaríkin	Badin	0	PB	Vatns/Kjarna
Bandaríkin	Columbia Falls	67	Söderberg	Vatns
Bandaríkin	Ferndale	187	PB	Vatns
Bandaríkin	Frederick	0	PB	Kol
Bandaríkin	Goldendale	0	Söderberg	Vatns
Bandaríkin	Hannibal	270	PB	Ópekkt
Bandaríkin	Hawesville	246	PB	Kol
Bandaríkin	Longview	0	Closed	Vatns
Bandaríkin	Mead	0	PB	Vatns
Bandaríkin	Mount Holly	229	PB	Gas/Kol
Bandaríkin	New Madrid	259	PB	Kol
Bandaríkin	Ravenswood	173	PB	Kol
Bandaríkin	Massena East	125	Söderberg	Vatns/Kjarna
Bandaríkin	Rockdale	268	PB	Kol
Bandaríkin	Sebree	196	PB	Kol
Bandaríkin	Troutdale	0	PB	Vatns
Bandaríkin	Vancouver	0	PB	Vatns
Bandaríkin	Warrick	272	PB	Kol
Bandaríkin	Wenatchee	100	PB	Vatns
Ástralía	Bell Bay	178	PB	Vatns
Ástralía	Boyne Island	554	PB	Kol
Ástralía	Kurri Kurri	170	PB	Kol
Ástralía	Point Henry	195	PB	Kol
Ástralía	Portland	353	PB	Kol
Ástralía	Tomago	525	PB	Kol
Nýja Sjáland	Tiwai Point	351	PB	Vatns
Kína	Fushun	300	PB	Kol
Kína	Baiyin	178	PB	Kol/Vatns
Kína	Guizhou	415	PB	Vatns/Kol/Gas
Kína	Pingguo	367	PB	Kol /Vatns

Kína	Qinghai	396	PB	Vatns
Kína	Qingyang Qing'oa	230	PB	Kol
Kína	Zhengzhou	60	PB	Kol/Vatns
Kína	Baotou	300	PB	Kol
Kína	Baotou East Hope	500	PB	Kol
Kína	Chuangyuan	300	PB	Kol
Kína	Danjiangkou	110	PB	Vatns
Kína	Lanzhou	430	PB	Kol/Vatns
Kína	Nanshan	335	PB	Kol
Kína	Qiaotou	310	PB	Kol
Kína	Sichuan Meishan	274	PB	Kol
Kína	Var. Guizhou	388	PB	Óþekkt
Kína	Var. Qinghai	210	PB	Óþekkt
Kína	Weiqiao	494	PB	Kol
Kína	Önnur álver	11960	PB	Ýmist

**Tafla A-3** Heildar losun  $CO_2$  við framleiðslu á einu tonni af áli

Tegund orku	Áframleilsa	Orkuvinnsla	Alls
Kol	1,7	12	13,7
Jarðgas	1,7	6,45	8,15
Jarðgufa	1,7	1,41	3,11
Vatnsafl	1,7	0,06	1,76

**Tafla A-4** Hermd  $RI(n)$ -gildi fyrir  $n = 3, \dots, 16$

Gildi á  $RI(n)$  fyrir  $n = 3; \dots; 16$

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$RI(n)$	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404	1.452	1.484	1.513	1.535	1.555	1.570	1.583	1.595

## VIÐAUKI B

*Tafla B-1 Yfirlit yfir stærstu súralsframleiðendur heims ásamt framleiðslu þeirra árið 2009. Gögn frá World Mineral Production*

Land	Súralsframleiðsla árið 2006 (x 1.000 tonn)
Ástralía	18.312.000
Kína	13.696.000
Braselía	6.720.200
Bandaríkin	5.012.000
Jamaica	4.099.548
Rússland	3.265.250
Indland	3.080.000
Suriname	2.151.148
Venezuela	1.920.000
Íralnd	1.800.000
Úkraína	1.671.620
Kazakhstan	1.514.509
Kanada	1.476.959
Spánn	1.400.000
Ítalía	1.090.000
Þýskaland	830.000
Japan	780.000
Rúmenía	621.973
Guinea	555.000
Grikkland	510.000
Frakkland	500.000
Azerbajjan	352.665
Ungverjaland	300.000
Montenegro	236.740
Tyrkland	140.089
Íran	130.000

**Tafla B-2** *Yfirlit yfir helstu kolaframleiðendur heims ásamt kolaframleiðslu árið 2007.  
Gögn frá BP Statistical Review of World Energy June 2008*

Land	(x 1.000.000 tonn/ár)
Kína	2.380,00
Bandaríkin	1.053,64
Indland	447,31
Ástralía	373,78
Rússland	309,18
Suður Afríka	256,9
Þýskaland	197,18
Indónesía	195
Pólland	156,06
Kazakhstan	96,32
Úkraína	80,51
Grikkland	70,55
Kólumbía	65,64
Tyrkland	63,42
Kanada	62,93
Tékkland	62,45
Víetnam	38,9
Rúmenía	35,07
Búlgaría	27,5
Tæland	19,37
Bretland	18,59
Spánn	18,4
Mexíkó	11,13
Ungverjaland	9,95
Venesúela	8,05
Brasilía	6,32
Nýja-Sjáland	5,8
Pakistan	4,29
Zimbabwe	2,86
Suður Kórea	2,81
Japan	1,34
Frakkland	0,5

## VIÐAUKI C

Hér má finna einkunnagjöf samkvæmt AHP aðferðinni ásamt niðurstöðu vogtalna hvers viðmið fyrir sig og samanburð viðmiðanna sjálfra.

**Tafla C-1** Einkunnagjöf og vogtölur orku viðmiðs. Samkvæmni = 0,03.

		j															Einkunn
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
i		RU	CA	OM	IC	AU	IR	IN	USA	NZ	UK	NO	FR	CH	NE	GE	
1	RU	1	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5	7	9	9	0,21
2	CA	1/3	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	6	6	0,12
3	OM	1/3	1/2	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	5	6	0,11
4	IC	1/3	1/2	1/2	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	5	6	0,10
5	AU	1/4	1/2	1/2	1/2	1	2	2	2	2	2	2	2	3	4	5	0,07
6	IR	1/4	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	2	2	2	2	2	3	4	4	0,07
7	IN	1/4	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	2	2	2	2	3	3	4	0,06
8	USA	1/4	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	2	2	2	3	3	4	0,05
9	NZ	1/5	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	2	2	2	3	4	0,05
10	UK	1/5	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	2	2	3	3	0,04
11	NO	1/5	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	2	3	3	0,04
12	FR	1/5	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	3	3	0,03
13	CH	1/7	1/4	1/4	1/4	1/3	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	2	0,02
14	NE	1/9	1/6	1/5	1/5	1/4	1/4	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/2	1	2	0,02
15	GE	1/9	1/6	1/6	1/6	1/5	1/4	1/4	1/4	1/4	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	1	0,01

**Tafla C-2** Einkunnagjöf og vogtölur súrals viðmiðs. Samkvæmni = 0,04.

		j															Einkunn
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
i		IN	AU	OM	NZ	CA	IR	USA	NO	IC	NE	UK	CH	FR	GE	RU	
1	IN	1	4	4	4	6	6	6	7	7	7	7	7	7	8	9	0,25
2	AU	1/4	1	2	2	3	4	4	4	4	5	5	5	5	5	6	0,14
3	OM	1/4	1/2	1	2	3	4	4	4	4	4	4	5	5	5	6	0,12
4	NZ	1/4	1/2	1/2	1	3	3	4	4	4	4	4	4	4	5	5	0,11
5	CA	1/6	1/3	1/3	1/3	1	2	2	3	3	3	3	3	3	3	4	0,07
6	IR	1/6	1/4	1/4	1/3	1/2	1	2	2	2	2	2	3	3	3	4	0,05
7	USA	1/6	1/4	1/4	1/3	1/2	1/2	1	2	2	2	2	2	2	3	3	0,05
8	NO	1/7	1/4	1/4	1/4	1/3	1/2	1/2	1	2	2	2	2	2	2	3	0,04
9	IC	1/7	1/4	1/4	1/4	1/3	1/2	1/2	1/2	1	2	2	2	2	2	3	0,04
10	NE	1/7	1/5	1/4	1/4	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	2	2	2	3	0,03
11	UK	1/7	1/5	1/4	1/4	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	2	2	3	0,03
12	CH	1/7	1/5	1/5	1/4	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	2	3	0,03
13	FR	1/7	1/5	1/5	1/4	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	3	0,02
14	GE	1/8	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	0,02
15	RU	1/9	1/6	1/6	1/5	1/4	1/4	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/2	1	0,01

**Tafla C-3** Einkunnagjöf og vogtölur kola viðmiðs. Samkvæmni = 0,03.

		j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Einkunn
i		AU	USA	NZ	IN	FR	CH	CA	GE	UK	NO	NE	IR	OM	RU	IC		
1	AU	1	2	2	2	3	3	3	4	5	5	5	6	6	7	9	0,18	
2	USA	1/2	1	2	2	2	2	2	3	4	4	4	5	5	6	8	0,13	
3	NZ	1/2	1/2	1	2	2	2	2	2	3	4	4	5	5	6	8	0,11	
4	IN	1/2	1/2	1/2	1	2	2	2	2	3	4	4	5	5	6	8	0,10	
5	FR	1/3	1/2	1/2	1/2	1	2	2	2	3	3	4	4	4	5	7	0,09	
6	CH	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	2	3	3	4	4	4	5	7	0,08	
7	CA	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	3	3	4	4	4	5	7	0,07	
8	GE	1/4	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	2	3	3	3	4	6	0,06	
9	UK	1/5	1/4	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/2	1	2	2	2	2	3	5	0,04	
10	NO	1/5	1/4	1/4	1/4	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	1	2	2	2	3	5	0,03	
11	NE	1/5	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/3	1/2	1/2	1	2	2	3	4	0,03	
12	IR	1/6	1/5	1/5	1/5	1/4	1/4	1/4	1/3	1/2	1/2	1/2	1	2	2	4	0,02	
13	OM	1/6	1/5	1/5	1/5	1/4	1/4	1/4	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	4	0,02	
14	RU	1/7	1/6	1/6	1/6	1/5	1/5	1/5	1/4	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	1	3	0,02	
15	IC	1/9	1/8	1/8	1/8	1/7	1/7	1/7	1/6	1/5	1/5	1/4	1/4	1/4	1/3	1	0,01	



**Tafla C-4** Einkunnagjöf og vogtölur viðmiðs launakostnaðar. Samkvæmni = 0,03.

		j															Einkunn
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
i		IN	CH	IR	OM	IC	NZ	RU	AU	FR	NE	NO	CA	GE	USA	UK	
1	IN	1	3	3	3	5	5	6	7	8	8	8	8	9	9	9	0,25
2	CH	1/3	1	2	2	3	3	3	4	5	5	5	5	5	6	7	0,14
3	IR	1/3	1/2	1	2	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	6	0,12
4	OM	1/3	1/2	1/2	1	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	6	0,11
5	IC	1/5	1/3	1/3	1/3	1	2	2	2	2	2	2	2	3	3	4	0,06
6	NZ	1/5	1/3	1/3	1/3	1/2	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	0,05
7	RU	1/6	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	1	2	2	2	2	2	2	2	3	0,05
8	AU	1/7	1/4	1/4	1/4	1/2	1/2	1/2	1	2	2	2	2	2	2	2	0,04
9	FR	1/8	1/5	1/4	1/4	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	2	2	2	2	2	0,03
10	NE	1/8	1/5	1/4	1/4	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	2	2	2	2	0,03
11	NO	1/8	1/5	1/4	1/4	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	2	2	2	0,03
12	CA	1/8	1/5	1/4	1/4	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	2	2	0,03
13	GE	1/9	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	2	0,02
14	USA	1/9	1/6	1/5	1/5	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	0,02
15	UK	1/9	1/7	1/6	1/6	1/4	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	0,02

**Tafla C-5** Einkunnagjöf og vogtölur viðmiðsins öryggi á vinnustað. Samkvæmni = 0,05.

		j															Einkunn
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
i		AU	RU	IN	GE	USA	CH	UK	NE	FR	IR	NO	OM	IC	CA	NZ	
1	AU	1	7	8	1	1/2	9	2	1	1	7	1/2	5	3	1/2	1	0,09
2	RU	1/7	1	4	1/7	1/8	4	1/6	1/7	1/7	2	1/8	1/3	1/6	1/8	1/7	0,02
3	IN	1/8	1/4	1	1/9	1/9	2	1/9	1/8	1/9	1/4	1/9	1/5	1/9	1/8	1/9	0,01
4	GE	1	7	9	1	1/2	9	2	2	1	8	1	6	3	1	1	0,10
5	USA	2	8	9	2	1	9	2	2	2	8	1	7	3	2	1	0,13
6	CH	1/9	1/4	1/2	1/9	1/9	1	1/9	1/9	1/9	1/4	1/9	1/5	1/8	1/8	1/9	0,01
7	UK	1/2	6	9	1/2	1/2	9	1	1	1/2	6	1/2	6	1	1/2	1/2	0,06
8	NE	1	7	8	1/2	1/2	9	1	1	1	5	1/2	5	1	1	1/2	0,07
9	FR	1	7	9	1	1/2	9	2	1	1	7	1/2	6	2	1	1	0,09
10	IR	1/7	1/2	4	1/8	1/8	4	1/6	1/5	1/7	1	1/6	1/3	1/7	1/7	1/6	0,02
11	NO	2	8	9	1	1	9	2	2	2	6	1	6	1	2	1	0,12
12	OM	1/5	3	5	1/6	1/7	5	1/6	1/5	1/6	3	1/6	1	1/5	1/5	1/5	0,02
13	IC	1/3	6	9	1/3	1/3	8	1	1	1/2	7	1	5	1	1/3	1/2	0,06
14	CA	2	8	8	1	1/2	8	2	1	1	7	1/2	5	3	1	2	0,10
15	NZ	1	7	9	1	1	9	2	2	1	6	1	5	2	1/2	1	0,10

**Tafla C-6** Einkunnagjöf og vogtölur viðmiðs losun CO<sub>2</sub>. Samkvæmni = 0,03.

		j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Einkunn
i		IC	NZ	FR	NO	CA	NE	UK	RU	AU	OM	USA	IR	GE	CH	IN		
1	IC	1	2	2	2	3	4	5	6	6	7	7	9	9	9	9	9	0,20
2	NZ	1/2	1	1	1	2	3	4	5	5	6	6	7	7	8	8	8	0,14
3	FR	1/2	1	1	1	2	3	4	5	5	6	6	7	7	8	8	8	0,14
4	NO	1/2	1	1	1	2	3	4	5	5	6	6	7	7	8	8	8	0,14
5	CA	1/3	1/2	1/2	1/2	1	2	3	4	4	5	5	6	6	7	7	7	0,10
6	NE	1/4	1/3	1/3	1/3	1/2	1	2	3	3	4	4	5	5	6	6	6	0,07
7	UK	1/5	1/4	1/4	1/4	1/3	1/2	1	2	2	3	3	4	4	5	5	5	0,05
8	RU	1/6	1/5	1/5	1/5	1/4	1/3	1/2	1	1	2	2	3	3	4	4	4	0,04
9	AU	1/6	1/5	1/5	1/5	1/4	1/3	1/2	1	1	2	2	3	3	4	4	4	0,04
10	OM	1/7	1/6	1/6	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1/2	1	1	2	2	3	3	3	0,02
11	USA	1/7	1/6	1/6	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1/2	1	1	2	2	3	3	3	0,02
12	IR	1/9	1/7	1/7	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/3	1/2	1/2	1	1	2	2	2	0,02
13	GE	1/9	1/7	1/7	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/3	1/2	1/2	1	1	2	2	2	0,02
14	CH	1/9	1/8	1/8	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/4	1/3	1/3	1/2	1/2	1	1	1	0,01
15	IN	1/9	1/8	1/8	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/4	1/3	1/3	1/2	1/2	1	1	1	0,01

**Tafla C-7** Einkunnagjöf og vogtölur viðmiðs aðgegni að vinnuafli. Samkvæmni = 0,04.

		j															Einkunn
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
i		FR	UK	USA	CA	IR	GE	RU	IN	CH	IC	NO	NZ	NE	AU	OM	
1	FR	1	2	2	3	3	4	4	5	5	5	6	7	8	8	8	0,19
2	UK	1/2	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	7	8	8	0,13
3	USA	1/2	1	1	2	2	2	3	4	4	5	5	6	7	8	8	0,13
4	CA	1/3	1/2	1/2	1	1	2	3	4	4	5	5	6	7	8	8	0,11
5	IR	1/3	1/2	1/2	1	1	2	3	4	4	5	5	6	7	8	8	0,11
6	GE	1/4	1/3	1/2	1/2	1/2	1	2	3	3	3	4	5	6	7	7	0,08
7	RU	1/4	1/3	1/3	1/3	1/3	1/2	1	2	2	2	2	4	5	6	6	0,06
8	IN	1/5	1/4	1/4	1/4	1/4	1/3	1/2	1	1	2	2	3	4	5	5	0,04
9	CH	1/5	1/4	1/4	1/4	1/4	1/3	1/2	1	1	2	2	3	4	5	5	0,04
10	IC	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/3	1/2	1/2	1/2	1	1	2	3	4	4	0,03
11	NO	1/6	1/5	1/5	1/5	1/5	1/4	1/2	1/2	1/2	1	1	2	3	4	4	0,03
12	NZ	1/7	1/6	1/6	1/6	1/6	1/5	1/4	1/3	1/3	1/2	1/2	1	2	3	3	0,02
13	NE	1/8	1/7	1/7	1/7	1/7	1/6	1/5	1/4	1/4	1/3	1/3	1/2	1	2	2	0,01
14	AU	1/8	1/8	1/8	1/8	1/8	1/7	1/6	1/5	1/5	1/4	1/4	1/3	1/2	1	1	0,01
15	OM	1/8	1/8	1/8	1/8	1/8	1/7	1/6	1/5	1/5	1/4	1/4	1/3	1/2	1	1	0,01

**Tafla C-8** Einkunnagjöf og vogtölur viðmiðs aðgengi að mörkuðum. Samkvæmni = 0,03

		j															Einkunn
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
i		NE	FR	GE	NO	UK	IC	IR	CA	USA	CH	IN	NZ	AU	OM	RU	
1	NE	1	1	2	3	3	3	4	5	5	5	5	8	8	9	9	0,19
2	FR	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	5	5	6	9	0,14
3	GE	1/2	1/2	1	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	5	9	0,12
4	NO	1/3	1/2	1/2	1	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	9	0,10
5	UK	1/3	1/2	1/2	1/2	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	9	0,08
6	IC	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	2	2	2	3	3	3	3	6	0,07
7	IR	1/4	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	1	2	2	2	2	2	2	2	5	0,05
8	CA	1/5	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1	2	2	2	2	2	2	5	0,05
9	USA	1/5	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	2	2	2	2	4	0,04
10	CH	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	2	2	2	4	0,04
11	IN	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	2	2	4	0,03
12	NZ	1/8	1/5	1/4	1/4	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	2	3	0,03
13	AU	1/8	1/5	1/4	1/4	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	3	0,02
14	OM	1/9	1/6	1/5	1/4	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	3	0,02
15	RU	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/6	1/5	1/5	1/4	1/4	1/4	1/3	1/3	1/3	1	0,01

**Tafla C-9** Einkunnagjöf og vogtölur viðmiða. Samkvæmni = 0,03

		j								Einkunn
		1	2	3	4	5	6	7	8	
i		O	S	K	V	C	L	A	H	
1	O	1	1	3	5	5	7	8	9	0,30
2	S	1	1	2	4	4	5	7	9	0,25
3	K	1/3	1/2	1	1	2	5	6	7	0,14
4	V	1/5	1/4	1	1	3	4	5	7	0,12
5	C	1/5	1/4	1/2	1/3	1	4	5	7	0,09
6	L	1/7	1/5	1/5	1/4	1/4	1	4	4	0,05
7	A	1/8	1/7	1/6	1/5	1/5	1/4	1	2	0,03
8	H	1/9	1/9	1/7	1/7	1/7	1/4	1/2	1	0,02

### Útskýring tákna viðmiða

Tákn	Viðmið
O	orka
S	súrál
K	Aðgengi að kolum
V	kostnaður vinnuafls
C	CO2
L	Aðgengi að markaði
A	Aðgengi að vinnuafli
H	Öryggi á vinnustað

## VIÐAUKI D

Eftirfarandi töflur sýna niðurstöður úr breytingum á aðgegni að vinnuafli viðmiðinu.

Tafla D-1 Einkunnagjöf og vogtölur fyrir menntun og atvinnuleysis.

### Menntun

i	j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Einkunn
		IC	NO	NZ	FR	UK	USA	NE	CA	IR	GE	AU	OM	RU	IN	CH	
1	IC	1	2	3	4	4	5	5	5	6	7	7	8	8	9	9	0,22
2	NO	1/2	1	2	4	4	4	4	5	5	6	6	7	7	8	9	0,18
3	NZ	1/3	1/2	1	2	2	2	2	3	3	4	4	5	5	6	9	0,11
4	FR	1/4	1/4	1/2	1	2	2	2	2	2	3	3	4	4	6	8	0,08
5	UK	1/4	1/4	1/2	1/2	1	2	2	2	2	3	3	4	4	5	8	0,07
6	USA	1/5	1/4	1/2	1/2	1/2	1	2	2	2	2	2	3	4	5	7	0,06
7	NE	1/5	1/4	1/2	1/2	1/2	1	1	2	2	2	2	3	4	5	7	0,06
8	CA	1/5	1/5	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	2	2	3	3	4	7	0,05
9	IR	1/6	1/5	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	2	3	3	4	7	0,04
10	GE	1/7	1/6	1/4	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	2	2	3	6	0,03
11	AU	1/7	1/6	1/4	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	2	3	6	0,03
12	OM	1/8	1/7	1/5	1/4	1/4	1/3	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	1	2	2	5	0,02
13	RU	1/8	1/7	1/5	1/4	1/4	1/4	1/4	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1	2	4	0,02
14	IN	1/9	1/8	1/6	1/6	1/5	1/5	1/5	1/4	1/4	1/3	1/3	1/2	1/2	1	3	0,01
15	CH	1/9	1/9	1/9	1/8	1/8	1/7	1/7	1/7	1/7	1/6	1/6	1/5	1/4	1/3	1	0,01

### Atvinnuleysi

i	j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Einkunn
		NO	NE	OM	AU	NZ	IN	IC	UK	CA	CH	GE	FR	USA	RU	IR	
1	NO	1	2	2	3	3	5	5	5	6	6	7	7	7	7	9	0,20
2	NE	1/2	1	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7	7	7	9	0,18
3	OM	1/2	1/2	1	2	2	3	3	3	4	5	5	5	5	5	8	0,12
4	AU	1/3	1/3	1/2	1	2	2	2	3	3	4	4	4	4	5	7	0,09
5	NZ	1/3	1/3	1/2	1/2	1	2	2	2	3	3	4	4	4	4	7	0,08
6	IN	1/5	1/4	1/3	1/2	1/2	1	2	2	2	2	3	3	3	3	6	0,06
7	IC	1/5	1/5	1/3	1/2	1/2	1/2	1	2	2	2	2	2	2	3	5	0,05
8	UK	1/5	1/5	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1	2	2	2	2	2	2	5	0,04
9	CA	1/6	1/6	1/4	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1	2	2	2	2	2	4	0,04
10	CH	1/6	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	2	2	2	4	0,03
11	GE	1/7	1/6	1/5	1/4	1/4	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	2	2	4	0,03
12	FR	1/7	1/7	1/5	1/4	1/4	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	2	4	0,03
13	USA	1/7	1/7	1/5	1/4	1/4	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	3	0,02
14	RU	1/7	1/7	1/5	1/5	1/4	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	3	0,02
15	IR	1/9	1/9	1/8	1/7	1/7	1/6	1/5	1/5	1/4	1/4	1/4	1/4	1/3	1/3	1	0,01

Tafla D-1 Niðurstæðir úr meðaleinkunn menntun og atvinnuleysis ásamt lokaniðurstöðu.

Land	Einkunn
NO	0,19
IC	0,15
NE	0,11
NZ	0,10
OM	0,06
UK	0,06
FR	0,06
AU	0,06
USA	0,04
CA	0,04
IN	0,03
GE	0,03
IR	0,03
RU	0,02
CH	0,02

Land	Einkunn
1 Canada	13%
2 India	12%
3 Russia	10%
4 Iceland	7%
5 Australia	7%
6 Oman	7%
7 France	7%
8 New Zealand	7%
9 Norway	6%
10 Iran	5%
11 USA	5%
12 Netherlands	4%
13 China	4%
14 UK	4%
15 Germany	3%

