



ANALYSIS OF ENERGY PRICING AND WORKLOAD ALLOCATION STRATEGIES IN THE SMARTGRID IN GEO-DISTRIBUTED DATA CENTERS

Ignacio Penas Fernández



Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación
Universidad Politécnica de Madrid
2016

ANALISYS OF ENERGY PRICING AND WORKLOAD ALLOCATION STRATEGIES IN THE SMARTGRID IN GEO-DISTRIBUTED DATA CENTERS

Ignacio Penas Fernández

XX ECTS thesis submitted in partial fulfillment of a
Magister Scientiarum degree in XX

Advisor
XXNN1
XXNN2

Faculty Representative
XXNN3

M.Sc. committee
XXNN4
XXNN5

Faculty of Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación
University of Iceland

Reykjavik, 06 2016

ANALISYS OF ENERGY PRICING AND WORKLOAD ALLOCATION STRATEGIES IN
THE SMARTGRID IN GEO-DISTRIBUTED DATA CENTERS

XXShort title (50 characters including spaces)

XX ECTS thesis submitted in partial fulfillment of a M.Sc. degree in XX

Copyright © 2016 Ignacio Penas Fernández
All rights reserved

Faculty of Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación
University of Iceland
XXFaculty street address
XXFaculty postal code, Reykjavik, Reykjavik
Iceland

Telephone: 525 4000

Bibliographic information:

Ignacio Penas Fernández, 2016, ANALISYS OF ENERGY PRICING AND WORKLOAD
ALLOCATION STRATEGIES IN THE SMARTGRID IN GEO-DISTRIBUTED DATA
CENTERS, M.Sc. thesis, Faculty of Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Teleco-
municación, University of Iceland.

ISBN XX

Printing: Háskólaprent, Fálkagata 2, 107 Reykjavík
Reykjavik, Iceland, 06 2016

Dedication

Abstract

The work departs from a real problem in data centers, energy costs. These costs are about (algún porcentaje orientativo pls)% of the whole data center costs. So what we are trying to improve are those costs taking advantage of the new laws about energy in Spain. Since September in Spain we have been changed the way we pay; we used to pay the energy consumed over an established price for over two months; now you can claim a different way of billing, hourly pricing. Thus, we have 24 different prices along the day and it fluctuates pretty much. So what we pretend is to adapt data centers energy consumption to the cheaper energy price of each day.

As said before, our objective is to minimize costs adapting the consumption of the data center. To cover this objective we are going to adapt the workload requests on the data center considering the price of the time the workload is submitted and it last.

The first part of the work is a model of the energy pricing in Spain extracted from the database given by the OMIE (company in charge of the diary energy bidding in Spain) of last five years energy pricing. We can split up the modeling in three different traces: first, averaging the hourly price in order to adapt the workload; second, tracing the average of each week day in order to consider the trend of the weeks; and third, in order to consider the evolution of the prices along the year we have traced the evolution of the prices along the weeks in a year divided by months.

The second is a study of the energy pricing in UK and USA to be able to adapt the workload depending on the price in the three countries. So, we would shift the workload, not only in time, but also in space giving a better service to the users and reducing costs in the data center.

The third part is an analysis, similar to that performed in Spain for pricing, of the real workload of the data center CEA Curie which we need in order to adapt the workload submitted to the hourly energy pricing.

Our strategy is to shift the workload in time or space, depending on the pricing in the different countries.

Útdráttur

Preface

Formála má sleppa og skal þá fjarlægja þessa blaðsíðu. Formáli skal hefjast á odd-atölu blaðsíðu og nota skal Section Break (Odd Page).

Ekki birtist blaðsíðutal á þessum fyrstu síðum ritgerðarinnar en blaðsíðurnar teljast með og hafa áhrif á blaðsíðutal sem birtist með rómverskum tölum fyrst á efnisyfirliti.

Contents

List of Figures	xi
List of Tables	xiii
Abbreviations	xv
Acknowledgments	xvii
1. General Information	1
1.1. Heading 2	2
1.1.1. Heading 3	2
1.2. Title page, spine, and back page	3
1.3. Thesis and Dissertation Authoring	4
1.4. Doctoral Dissertation: Monograph or Paper Collection	4
2. Lists	5
3. Figures and tables	7
3.1. Figures	7
3.2. Tables	8
4. Conclusions	9
5. References	11
A. Annað	13

List of Figures

3.1. Dæmi um myndatexta (fyrir neðan mynd).	7
---	---

List of Tables

3.1. Dæmi um töflutexta (fyrir ofan töflu).	8
---	---

Abbreviations

Í þessum kafla mega koma fram listar yfir skammstafanir og/eða breytuheiti. Gefið kaflanum nafn við hæfi, t.d. Skammstafanir eða Breytuheiti. Þessum kafla má sleppa ef hans er ekki þörf.

The section could be titled: Glossary, Variable Names, etc.

Acknowledgments

Í þessum kafla koma fram þakkir til þeirra sem hafa styrkt rannsóknina með fjárframlögum, aðstöðu eða vinnu. T.d. styrktarsjóðir, fyrirtæki, leiðbeinendur, og aðrir aðilar sem hafa á einhvern hátt aðstoðað við gerð verkefnisins, þ.m.t. vinir og fjölskylda ef við á. Þakkir byrja á oddatölusíðu (hægri síðu).

1. General Information

Fyrirsögn 1 er kaflaheiti. Feitletrið fyrirsögn 1 í 20 pt Verdana. Hafið 54 pt loftun yfir og byrjið nýja oddatölusíðu (hægri síðu). Hafið 12 pt loftun undir á undan texta og 24 pt loftun undir (samtals) ef beint á undan fyrirsögn 2.

Í stað Verdana má velja sambærilegt steinskriftar (sans serif) letur í allar fyrirsagnir en allar fyrirsagnir skulu þó vera ritaðar með sömu leturgerð.

Meginmálstexti skal skrifaður í Times New Roman, með leturstærð 12 og einföldu línubili. Málgreinar skulu loftaðar með 0 pt bili að ofan og 12 pt bili að neðan, þar sem fyrirsagnir stilla loftun fyrir neðan sig (og þar með fyrir ofan texta).

Leita skal að XX sem hluta af orði, þar sem það merkir atriði sem höfundur þarf að breyta.

Í stað Times New Roman má velja sambærilegt prentletur (serif). Allt meginmál skal þó ritað með sömu leturgerð.

Allur texti ritgerðar skal ritaður með einum lit, svörtum. Undantekningar eru leyfðar innan mynda. Ekki nota “hyperlinks” í texta, sem þá verður blár og/eða með undirlínu.

Notast skal við 2,5 cm spássíu fyrir ofan og á ytri hlið (ekki kjalmegin). Við kjölin skal bæta 0,5 cm (Gutter) til að hafa samtals 3,0 cm spássíu. Neðst á blaðsíðu skulu vera 1,5 cm frá neðri brún í blaðsíðutal og spássían skal vera 3,0 cm frá neðri brún blaðsíðu að texta.

Blaðsíður meginmáls byrja að númerast á 1 á fyrstu blaðsíðu fyrsta kaffa með arabískum stíl. Blaðsíðutalið er still við ytri brún og neðst á blaðsíðu. Heimildir og viðaukar númerast einnig með sama hætti. Fjöldi blaðsíðna í ritgerð skráist sem blaðsíðunúmer öftustu prentuðu síðu.

Byrja skal fyrirsögn 1 efst á hægri síðu. Hér má hugsa sér að setja stuttan texta sem inngang að kaflanum áður en fyrsti undirkaffi byrjar. Það getur hjálpað lesanda að átta sig á inntaki kaffans.

1. General Information

Nota má skáletur í hófi til að draga athygli að texta. Notið feitletur enn sjaldnar. Ekki nota undirstrikaðan texta í ritgerðinni.

Farið sparlega í notkun footnote. Þær skulu vera númeraðar og birtast neðst á þeirri síðu sem fyrst vitnar í þær eða fljótlega þar á eftir.

Númerið og vísið í formúlur eftir venjum fagsviðs.

Velja má inndrátt fyrstu línu málsgreinar um 1 cm í stað 12 pt loftunar á milli málsgreina, en þá þarf að bæta 12 pt við loftun yfir fyrirsögnum sem gera ráð fyrir að 12 pt loftun komi frá lokum málsgreinar. Ekki skal nota bæði inndrátt og loftun.

1.1. Heading 2

Fyrirsögn 2 er undirfyrirsögn. Feitletrið fyrirsögn 2 í 16 pt Verdana. Hafið samtals 24 pt loftun yfir fyrirsögn 2. Notið 12 pt loftun fyrir neðan fyrirsögn 2.

1.1.1. Heading 3

Fyrirsögn 3 er síðasta númeraða undirfyrirsögnin. Feitletrið fyrirsögn 3 í 12 pt Verdana með 18 pt loftun yfir samtals þegar texti er fyrir ofan eða fyrirsögn 2.

Heading 4

12 pt Verdana, engin kaflanúmer, birtist ekki í efnisyfirliti, 12 pt loftun yfir og 6 pt undir

Fyrirsögn 4 skal ekki númera. Fyrirsögn 4 er rituð í venjulegu 12 pt Verdana og hefur minnst 12 pt loftun yfir ef hún er undir texta, en meiri loftun undir hærri fyrirsögnum sem stýrist af neðri loftunum þeirra fyrirsagna. Notið 6 pt loftun undir fyrirsögn 4. Ekki nota fyrirsagnir á lægra útlínu stigi en fyrirsögn 4.

1.2. Title page, spine, and back page

Ekki skal nota búmerki/logó fyrirtækja, samstarfsaðila eða styrktaraðila á forsíðu/baksíðu eða annars staðar í ritgerð. Ekki skal setja mynd á forsíðu ritgerðar.

Í texta er hins vegar skylt og rétt að geta samstarfsaðila og styrktaraðila, það skal gert í kaflanum Þakkir (Acknowledgments) eða í formála.

Á baksíðu er heimilt að setja nafn prentsmiðju, þá miðjað hægri-vinstri á blaðsíðu og miðjað upp-niður innan litaborðans. Nafn prentsmiðju skal ritað með stærst 10 pt Verdana í venjulegu hvítu lettri.

Merki Háskóla Íslands á forsíðu skal hafa 4,2 cm þvermál. Það skal staðsetja merkið 4,2 cm frá efri brún. Frá neðri brún merkis skulu minnst vera 3,0 cm í titil ritgerðar.

Loftun fyrir neðan nafn höfundar skal vera 1 cm niður að efstu brún litaborðans.

Megin hluti litaborðans neðst á forsíðu skal spanna 7,7 cm frá neðri brún blaðsíðu í A4-formi, en þó spannar hann lengra bil þar sem táknmynd aðalbyggingar kemur fyrir.

Litaborðinn skal ná yfir kjölinn og baksíðuna, og þar spanna 7,7 cm frá neðri brún blaðsíðu.

Litaborði BS ritgerða er grár litur Háskóla Íslands. Litakóðar litarins eru: CMYK: 0 : 0 : 0 : 70; Pantone: Cool Gray 11 C; RGB: 90 : 91 : 94.

Litaborði meistararitgerða er litur Verkfræði- og náttúruvísindasviðs Háskóla Íslands, appelsínugulur. Litakóðar litarins eru: CMYK: 0 : 75 : 100 : 0; Pantone: 158 C; RGB: 236 : 78 : 34.

Litaborði doktorsritgerða er litur Háskóla Íslands, dökk blár. Litakóðar litarins eru: CMYK: 100 : 57 : 0 : 40; Pantone: 295 C; RGB: 0 : 46 : 85.

Á kjöl ritgerðar skal rita nafn höfundar, stuttan titil ritgerðar (mest 50 slög með bilum) og ártal ritgerðar í einni línu með Verdana lettri. Nafn höfundar og stuttur titill ritgerðar koma á hvíta flötinn, en ártalið kemur í hvítu lettri á litaborðann.

1.3. Thesis and Dissertation Authoring

Gæði ritgerðar endurspegla ekki einungis gæði rannsóknarinnar (hermana, líkana, greininga, o.fl.), heldur einnig gæði ritgerðasmíðar. Í síðara samhenginu skipta margir þættir máli, t.d. uppbygging og söguflæði, framsetning á hugmyndum og niðurstöðum, málfar og heimildavinna. Því er mikilvægt að nemendur kynni sér hvernig best sé að standa að undirbúningi og skrifum ritgerðar. Nemendur verða að tileinka sér fagmannleg vinnubrögð í heimildaskráningu og tilvísunum í samráði við leiðbeinanda. Hér eru dæmi um tvær bækur sem nemendur geta stuðst við:

- Friðrík H. Jónsson og Sigurður J. Grétarsson (2007). *Gagnfræðikver fyrir háskólanema*, Háskólaútgáfan, Reykjavík.
- Ingibjörg Axelsdóttir og Þórunn Blöndal (2006). *Handbók um ritun og frágang*, Mál og menning, Reykjavík.

1.4. Doctoral Dissertation: Monograph or Paper Collection

Doktorsritgerð getur verið hvort sem er í formi ritgerðar eða safns greina sem hafa birst eða er áætlað að birtist í ritrýndum ritum.

Ef doktorsritgerðin er greinasafn skal ávallt fylgja inngangur sem setur fram heildstæð markmið, ítarlegt yfirlit og samantekt á verkinu. Mælt er með að í lok ritgerðar, á undan viðaukum, fylgi samantekinn listi yfir heimildir verksins.

Ef einhver greinanna í ritgerðinni hafa meðhöfunda skal framlag doktorsnemans útskýrt sérstaklega í inngangi, sér í lagi krefst það útskýringa ef doktorsneminn er ekki aðalhöfundur greinarinnar.

Ráðlagt er að greinar þær sem birtast í safninu séu settar í þeim stíl sem hér er lýst fyrir doktorsritgerðir, en séu ekki bein afrit birtra greina, þar sem setning og útlit slíkra greina getur fallið undir vernd höfundarréttar útgáfuaðila. Útgáfuaðilar leyfa almennt að texti greina birtist bæði í grein og doktorsritgerð. Það er á ábyrgð nemanda að kanna slíkt og framfylgja þeim samþykktum sem nemandi hefur fallist á við birtingu greina.

2. Lists

Bullet list Hér á eftir er dæmi um upptalningarlista. Listinn má vera þéttari, þ.e. að aðeins sé 0 pt bil á milli atriða, en þó skal hafa 12 pt bil á undan fyrsta atriði listans.

- Númer 1
- Númer 2
- Númer 3

Ef fyrsta lína eftir upptalningu er framhald sömu málsgreinar og fyrir ofan skal ekki setja inn viðbótarloftun (eða ef inndráttur er notaður, skal ekki nota inndrátt á slíkri línu).

3. Figures and tables

Þessi kafli sýnir dæmi um notkun mynda, taflna og vísun í þær.

3.1. Figures

Myndatexti skal staðsetja undir myndum og skrifast með skáletri. Setja skal auða aukalínu fyrir ofan myndir. Mikilvægt er að skilgreina myndir með „paragraph for-



Figure 3.1: Dæmi um myndatexta (fyrir neðan mynd)

mat”: “keep with next” til að rjúfa ekki tengsl á milli myndar og myndtexta. Mynd má vera miðjuð og skal þá einnig miðja myndartextann. Letur innan myndar skal vera í steinskrift (sans serif), t.d. Verdana, og ekki minna en 10 pt. Tryggið að letur, tákn og línur sjáist skýrt eftir útprentun.

Hægt er að láta númera og merkja myndir sjálfvirkt með því að gera Insert – Reference – Caption – Mynd eða Tafla. Varist að velja hyperlink.

Vísa má í mynd með því að velja Insert – Reference – Cross-Reference – Mynd eða

3. Figures and tables

Tafla. Varist að velja hyperlink og veljið að eins Label og Number. T.d. sjá þessa tilvísun í Mynd 3.1 sem dæmi.

3.2. Tables

Einnig má númera töflur sjálfkrafa svipað og myndir. Nota skal skáletur í töflutitil. Textinn skal standa fyrir ofan töflu og fylgja töflunni. Ekki nota tvöfalt línubil eða hafa space before í töflum. Meginreglan við töflugerð er að hafa þær einfaldar og eins fá strík og mögulegt er. Tafla má vera miðjuð á blaðsíðu og skal þá láta töflutitil byrja við vinstri brún töflu.

Table 3.1: Dæmi um töflutexta (fyrir ofan töflu).

Taflan	Er	Eins
Og	Hún	gæti
Litið	Út	í ritgerð

Almennt skal ekki nota loftun fyrir neðan texta í töflu, og stylla loftun fyrir neðan á 0 pt. Mikilvægt er að skilgreina töflutexta með „format paragraph: keep with next og keep lines together” til að rjúfa ekki tengsl á milli töflutexta og töflu. Ef tafla er mjög löng má kljúfa hana á milli blaðsíðna og þá verður að setja (*Framhald*) í aukalínu beint fyrir neðan töfluna, hægri stillt við hægri brún töflu.

Dæmi um sjálfvirka tilvísun í töflu, bara nota Label and Number, ekki nota hyperlink eða caption text. T.d. Tafla 3.1 sýnir dæmi um töflu.

4. Conclusions

5. References

A. Annað

Gagnlegir punktar og ábendingar

- BS ritgerðir skulu prentaðar í A4.
- Meistararitgerðir skulu prentaðar í A4.
- Útgáfustærð doktorsritgerða er B5.
 - Iðulega er doktorsritgerð unnin í A4 en svo smækkuð við prentun. Mikilvægt er að tryggja að allur texti, m.a. í myndum og töflum, sjáist skýrt eftir smækkun í B5. Því verður að skoða drög af ritgerð eftir smækkun í B5 áður en ritgerðin er prentuð í fjölda eintaka.
- Miða skal við að ritgerð sé prentuð báðu megin á blaðsíður og byrja skal alla kafla á hægri síðu opnu.
- Hafa skal samband við prentsmiðju áður en handriti er skilað. Oft vilja þessir aðilar fá ritgerðina á PDF-formi. Hafa skal í huga að litprentun er mun dýrari en svart/hvít prentun.
- Til eru mismunandi gæði/upplausn á PDF-skjölum. Prentsmiðjur biðja gjarman um hágæða upplausn / prentunarupplausn sem er meiri en „venjuleg” PDF-upplausn sem notuð er við skjöl sem vistað eru á netinu. Þetta er stillingaratriði áður en PDF-skjal er búið til. Almennt vilja prentsmiðjur hæstu mögulegu upplausn. Einnig vilja prentsmiðjur almennt að allt letur og myndir séu skilgreindar (“Embedded”) innan í PDF skjalinu.