

HYBRID ROCKET ENGINE



Carl-Emil Grøn Christensen
Department of Physics and Astronomy, Aarhus University

Supervisor:
Gorm Bruun Andresen
Department of Engineering, Aarhus University

June 2016

Abstract

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Contents

1	Introduction	1
2	Methodology	3
3	Conclusion	5
A	Additional figures	7
B	Sensitivity analysis	9
	Bibliography	11

Introduction

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.



Figure 1.1: det er nok at skrive filnavnet, for main.tex kigger efter figurer i /figures/

Methodology

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In

2. Methodology

hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

Conclusion

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

A

Additional figures

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

B

Sensitivity analysis

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Bibliography

- [1] J. Bialek. Tracing the flow of electricity. *IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution*, 143(4):313–320, Jul 1996.
- [2] D. Kirschen, R. Allan, and G. Strbac. Contributions of individual generators to loads and flows. *IEEE Transactions on Power Systems*, 12(1):52–60, Feb 1997.
- [3] D. Kirschen and G. Strbac. *Fundamentals of Power System Economics*. Wiley, 2004.
- [4] P. Wei, B. Yuan, Y. Ni, and FF. Wu. Power flow tracing for transmission open access. In *International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies*, pages 476–481. IEEE, Apr 2000.
- [5] Allen J. Wood and Bruce F. Wollenberg. *Power Generation, Operation, and Control*. John Wiley and Sons, 2nd edition, 1996.
- [6] Gerd Solem, Ivar Wangensteen, Hanne Sæle, Jørgen Bjørndalen, Kjetil Uhlen, and Frode Årdal. Transit in the european power market. Technical report, SINTEF, 2007.
- [7] Rolando A. Rodriguez. *Weather-driven power transmission in a highly renewable European electricity network*. PhD thesis, Aarhus University, 2014.
- [8] Tue Vissing Jensen. Structure modeling and renormalized power flow statistics of fully renewable energy networks. Master’s thesis, Aarhus University, 2013.
- [9] Magnus Dahl. Power-flow modeling in complex renewable electricity networks. Master’s thesis, Aarhus University, 2015.
- [10] Anders Brundt Thomsen. Flowtracing of renewable energy in complex electricity networks. Master’s thesis, Aarhus University, 2014.
- [11] Anders Aspegren Søndergaard. Development of a Renewable Energy Atlas and Extreme Event Analysis in Renewable Energy Systems. Master’s thesis, Aarhus University, 2013.
- [12] Smail Kozarcanin. Impact of nodal mismatch correlations on the power flows in renewable energy networks. Master’s thesis, Aarhus University, 2015.

- [13] McKinsey. Roadmap 2050: A practical guide to a prosperous, low-carbon europe. Technical report, European Climate Foundation, 2010.
- [14] Electricity in Europe 2014. Technical report, European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E), May 2015.
- [15] Rolando A. Rodriguez, Magnus Dahl, Sarah Becker, and Martin Greiner. Localized vs. synchronized exports across a highly renewable European transmission network. *Energy, Sustainability and Society*, 2015, in press.
- [16] Stefan Bofinger, Lüder von Bremen, Kaspar Knoor, Katharina Lesch, Kurt Rohrig, Yves-Marie Saint-Drenan, and Markus Speckmann. Raum-zeitliche Erzeugungsmuster von Wind- und Solarenergie in der UCTE-Region und deren Einfluss auf elektrische Transportnetze. Technical report, Institut für Solare Energieversorgungstechnik, ISET e.V., 2008.
- [17] Stephan Singer et.al. The Energy Report, 100% Renewable Energy by 2050. Technical report, World Wildlife Fund, 2011.
- [18] Sarah Becker, Rolando A. Rodriguez, Gorm B. Andresen, Stephan Schramm, and Martin Greiner. Transmission grid extensions during the build-up of a fully renewable pan-european electricity supply. *Energy*, 64(0):404 – 418, 2014.
- [19] Rolando A. Rodriguez, Sarah Becker, Gorm B. Andresen, Dominik Heide, and Martin Greiner. Transmission needs across a fully renewable european power system. *Renewable Energy*, 63(0):467 – 476, 2014.
- [20] D. Van Hertem, J. Verboomen, K. Purchala, R. Belmans, and W.L. Kling. Usefulness of DC power flow for active power flow analysis with flow controlling devices. *The 8th IEE International Conference on AC and DC Power Transmission*, pages 58–62, 2006.
- [21] Carlos Vázquez, Luis Olmos, and Ignacio J. Pérez-Arriaga. On the selection of the slack bus in mechanism for the transmission network cost allocation that are based in network utilization. In *14th PSCC, Sevilla, 24-28 June 2002*.
- [22] EU member countries. National renewable energy action plans. <http://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy/national-action-plans>, 2010, retrieved January 2012.
- [23] Energistyrelsen. Energiaftalen 22. marts 2012. <http://www.ens.dk>, 2012, retrieved November 2012.
- [24] Schweizerische Eidgenossenschaft – Der Bundesrat. Energieperspektiven 2050. May 2011.
- [25] A. Kirchner, F. Ess, and A. Piégss. Energieszenarien für die schweiz bis 2050. Technical report, AG Basel: prognos, May 2011.
- [26] Croatian Parliament. Energy strategy of croatia. *Official Gazette of the Croatian Parliament*, October 2009.

- [27] SINTEF (Norwegian foundation for scientific and industrial research). <http://www.sintef.no/wind>, 2012, retrieved September 2012.
- [28] Ashish Raj, Amy Kuceyeski, and Michael Weiner. A Network Diffusion Model of Disease Progression in Dementia. *Neuron*, 73(6):1204–1215, 2012.
- [29] Manuel Gomez-Rodriguez, Jure Leskovec, and Andreas Krause. Inferring networks of diffusion and influence. *ACM Trans. Knowl. Discov. Data*, 5(4):21:1–21:37, February 2012.
- [30] Zsolt Katona, Peter Pal Zubcsek, and Miklos Sarvary. Network effects and personal influences: The diffusion of an online social network. *Journal of Marketing Research*, 48(3):425–443, 2011.
- [31] Dominik Heide, Lueder von Bremen, Martin Greiner, Clemens Hoffmann, Markus Speckmann, and Stefan Bofinger. Seasonal optimal mix of wind and solar power in a future, highly renewable Europe. *Renewable Energy*, 35:2483–2489, 2010.
- [32] Morten Grud Rasmussen, Gorm Bruun Andresen, and Martin Greiner. Storage and balancing synergies in a fully or highly renewable pan-European power system. *Energy Policy*, 51:642–652, 2012.
- [33] Sarah Becker, Bethany A. Frew, Gorm B. Andresen, Mark Z. Jacobson, Stefan Schramm, and Martin Greiner. Renewable build-up pathways for the US: Generation costs are not system costs. *Energy*, 83:658–668, 2015.