



Aalto-yliopisto
Perustieteiden
korkeakoulu

The effect of carbon caps and renewable share targets on the European energy system using capacity expansion modeling (valmiin työn esittely)

Vesa Ranta-aho

19.1.2021

Instructor: *Fabricio Oliveira*

Supervisor: *Fabricio Oliveira*

Työn saa tallentaa ja julkistaa Aalto-yliopiston avoimilla verkkosivuilla. Muilta osin kaikki oikeudet pidätetään.

Työn taustaa

- Euroopan komissio on asettanut ilmastotavoitteet vuodelle 2030 ja pitkäaikaisen strategian vuodelle 2050
 - 2030: 55% vähennys CO2 päästöissä vuoteen 1990 verrattuna ja 32% energiasta uusiutuvaa
 - 2050: EU ilmastoneutraali, käytännössä 80%-95% vähennys CO2 päästöissä
- Uusiutuvan energian tavoitteen tarpeellisuudesta ja vaikutuksista kiistaa
 - Parantaa kestävyyttä
 - Vaikuttaa päästöihin vain välillisesti
 - Saattaa lisätä päästöjen vähentämisen kustannuksia
 - Saattaa suosia saastuttavimpia energiantuotantomuotoja
 - Toisaalta haittavaikutukset mahdollista välttää suunnittelulla ja yhteistyöllä

Työn taustaa

- Energiajärjestelmien käyttäytymistä ja rajoitteiden vaikutusta voidaan tutkia optimointi- ja simulaatiomalleilla
- Optimointimalleilla tarkastellaan järjestelmää mahdollisissa tulevaisuuden skenaarioissa
- Simulaatiomalleilla ennustetaan järjestelmän kehittymistä nykytilasta

Työn tavoite

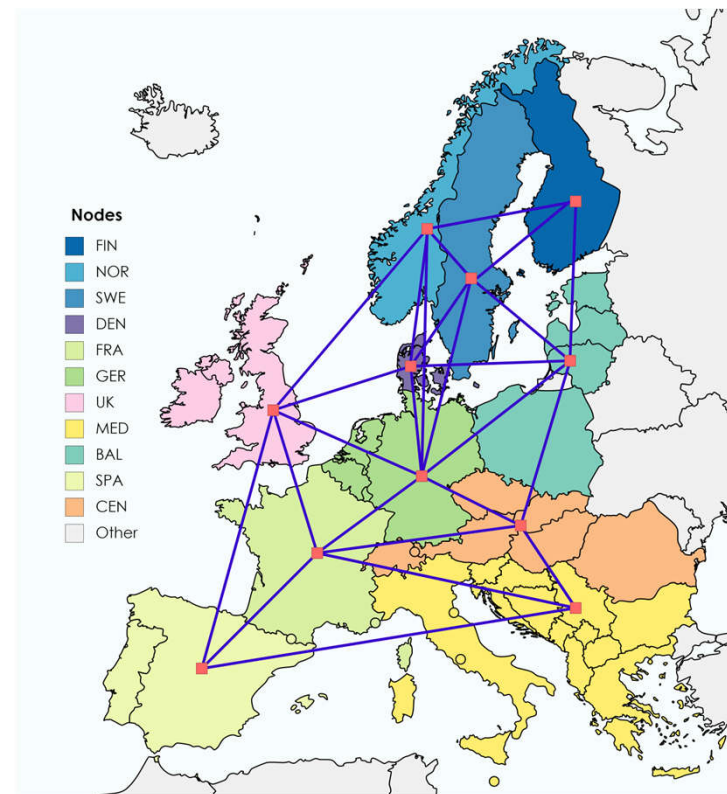
- Rakennetaan energiajärjestelmän optimointimalli
- Tutkitaan, miten päästörajoitteet ja uusiutuvan energian tavoitteet vaikuttavat Euroopan energiajärjestelmään
 - Hinta, tuotantomenetelmät, energian siirto ja varastointi

Menetelmät

- Lineaarinen optimointimalli, toteutettu Julialla
- Ns. tuotannonlaajennusmalli
 - Päätosmuuttujina tuotanto-, siirto-, ja varastointikapasiteetit, sekä tuotannon, siirron ja varastoinnin määrä tunneittain
- Minimoidaan systeemin kokonaishinta
 - Energiankysyntä tyydytettävä
 - CO2-rajoite, uusiutuvan energian tavoite
- 9 skenaariota
 - CO2 vähennys: 55% (EU 2030), 80%, 95% (EU 2050)
 - Uusiutuvaa energiaa: 32% (EU 2030), 80%, 100%

Menetelmät

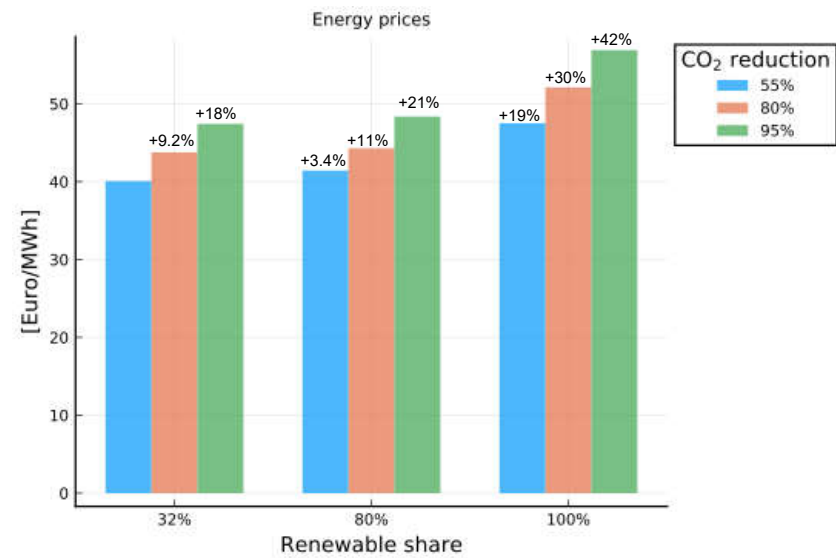
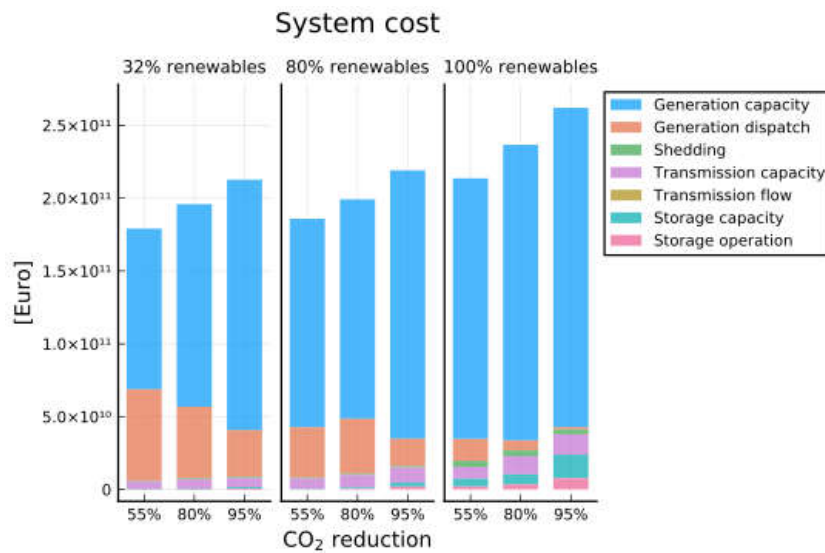
- Eurooppa jaettu 11 alueeseen
- 5 uusiutuvaa teknologiaa
 - Tuuli (maa), tuuli (meri), aurinko, biomassa, vesivoima
- 4 ei-uusiutuvaa teknologiaa
 - Ydinvoima, hiili, kaasu (CCGT), kaasu (OCGT)
- Vesivoima pidetään nykyisessä kapasiteetissa
- Energian siirto mahdollista vain Euroopan sisällä



Menetelmät

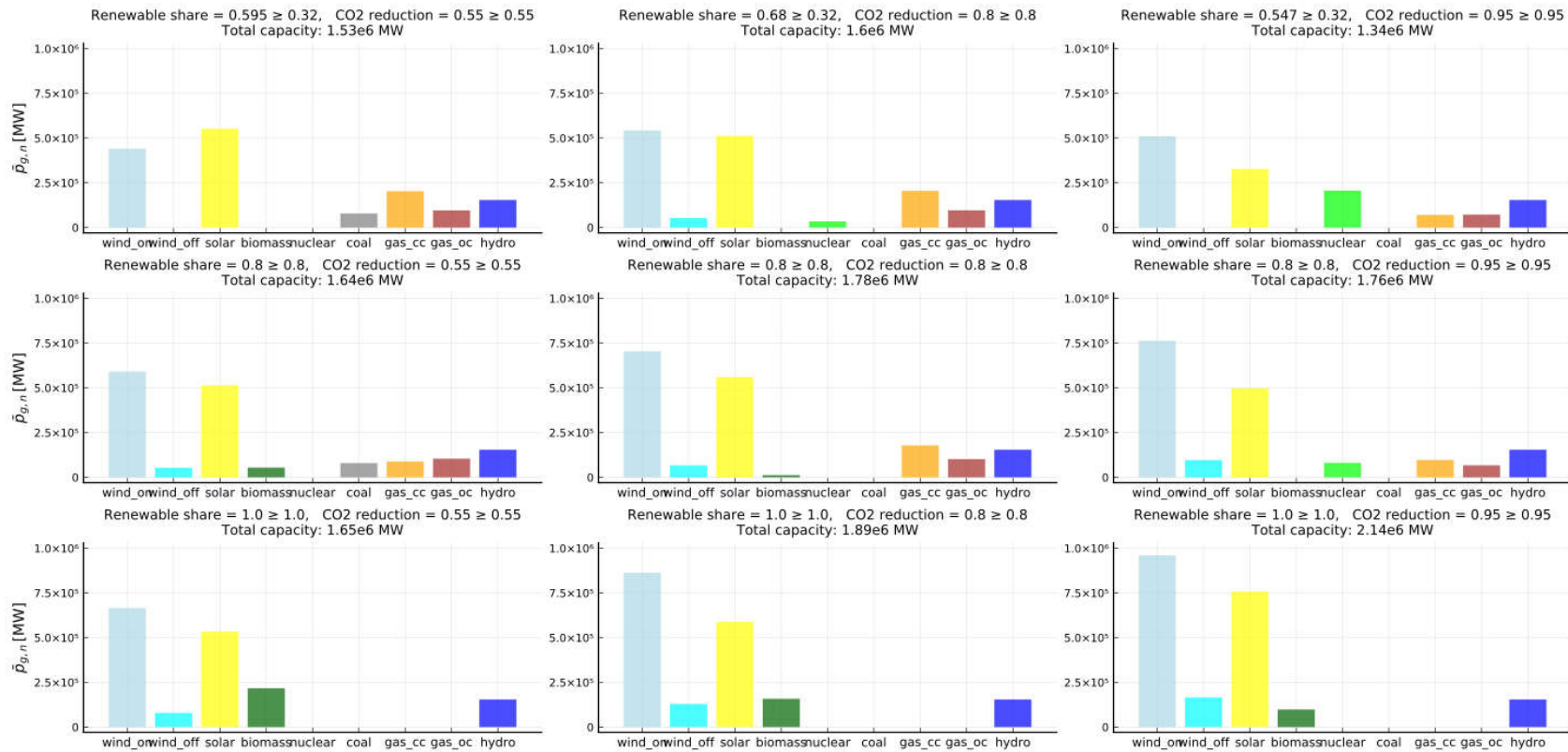
- Uusiutuvia teknologioita rajoittaa saatavuus (tuulen nopeus, auringonpaiste) sekä soveltuvan pinta-alan määrä
- Saatavuus-, pinta-ala- ja energian kysyntädata vuoden 2018 ERA5 dataseteistä käyttäen GlobalEnergyGIS kirjastoa
- Ratkaisijana Gurobi

Tulokset



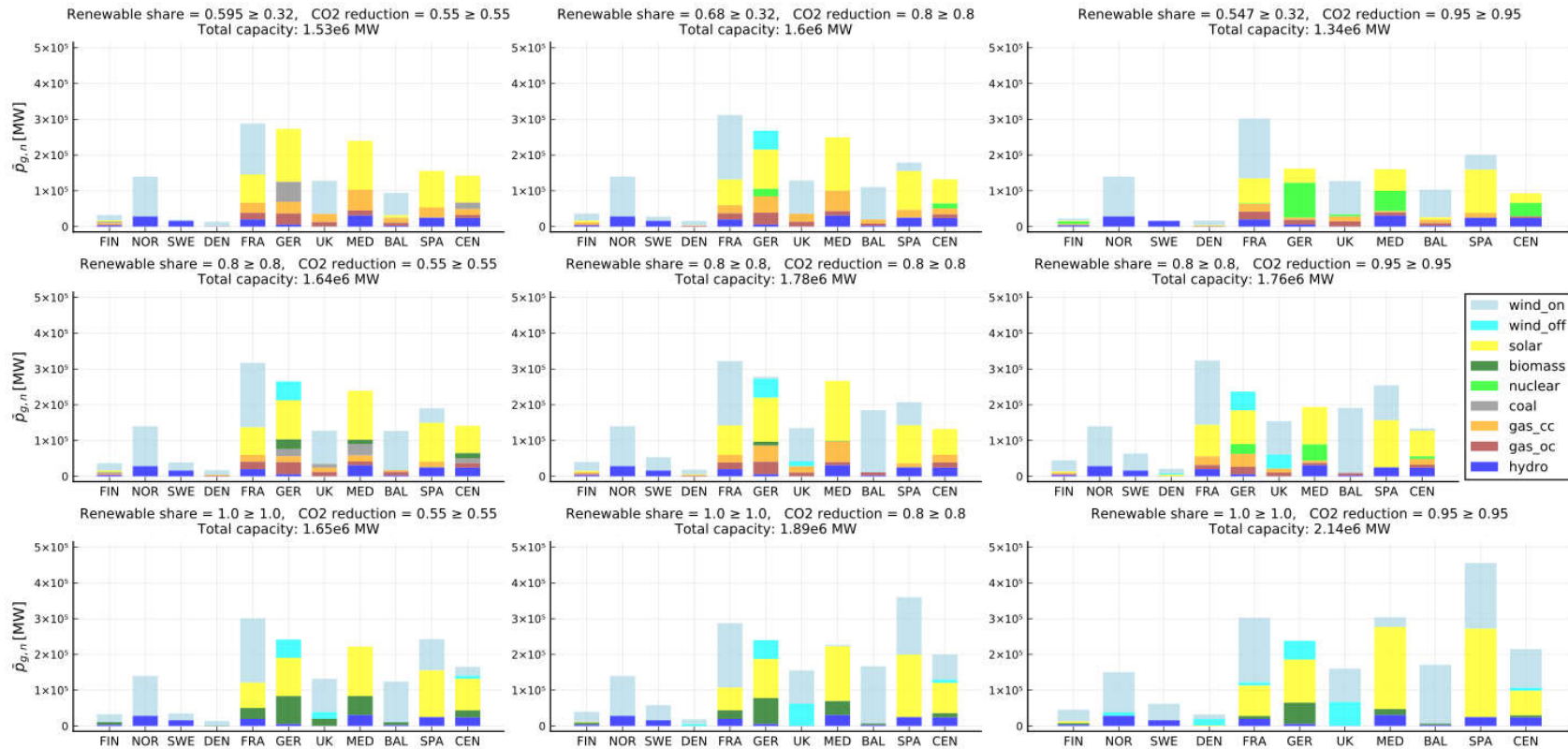
Tulokset

Generation capacity by technology



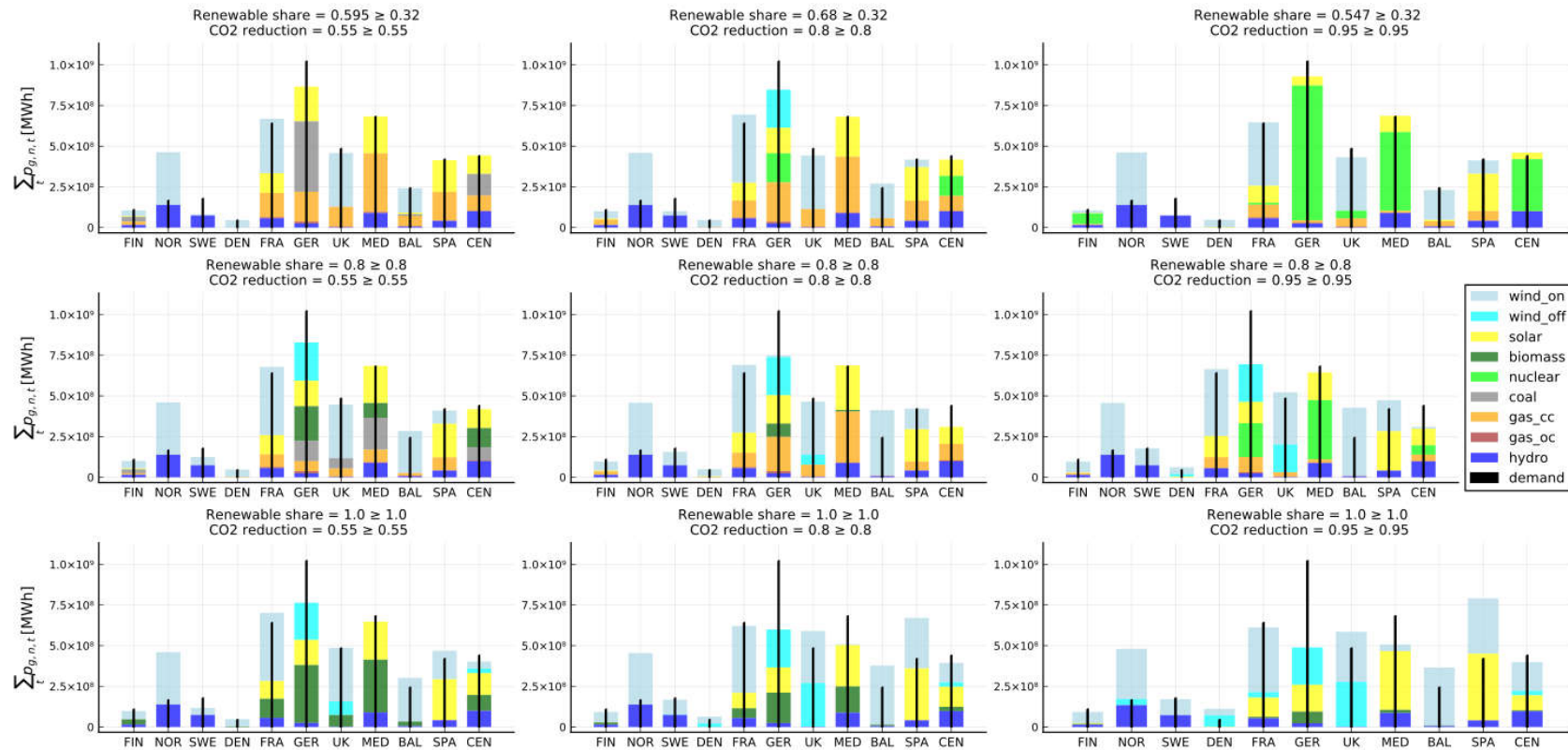
Tulokset

Generation capacity by node and technology



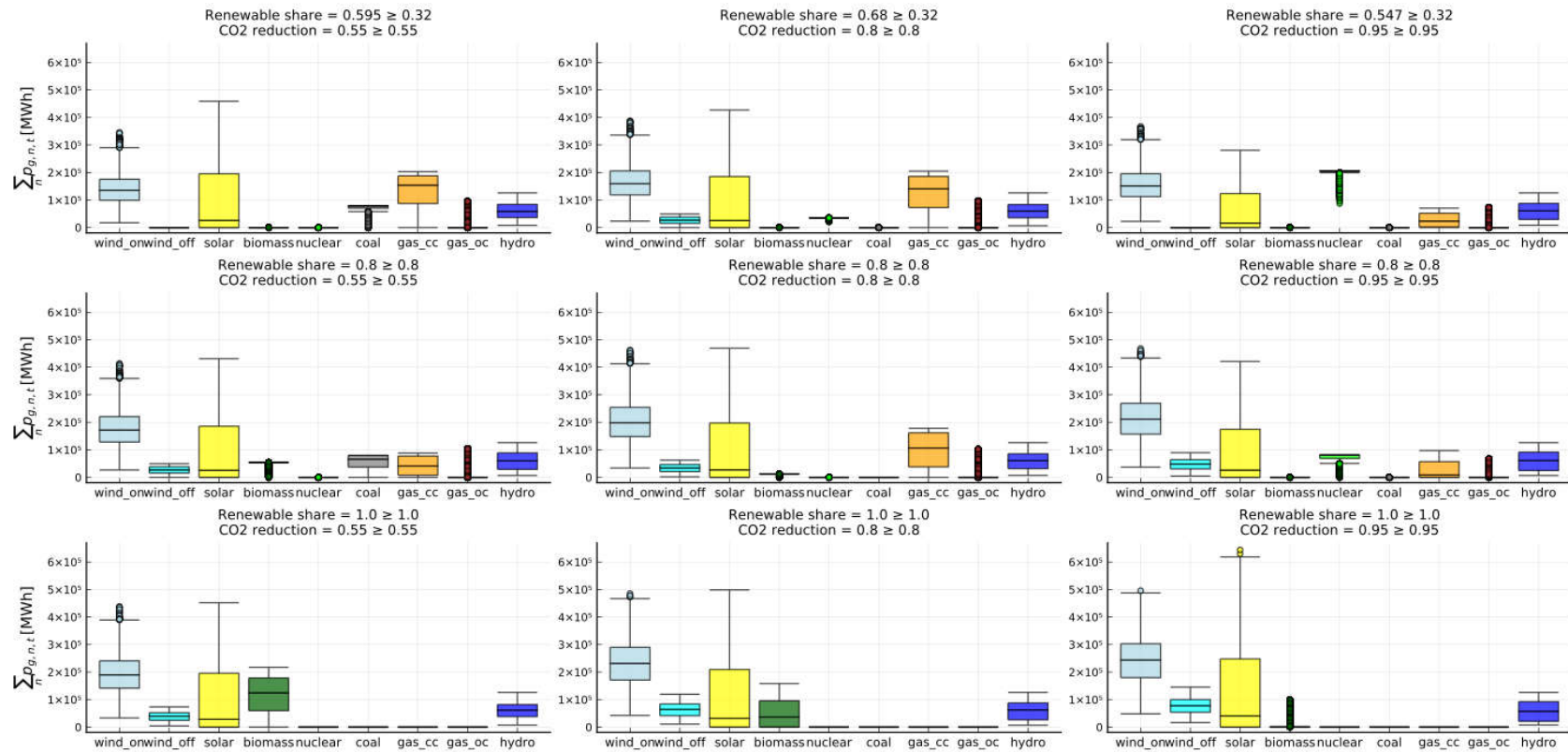
Tulokset

Generation dispatch by node and technology



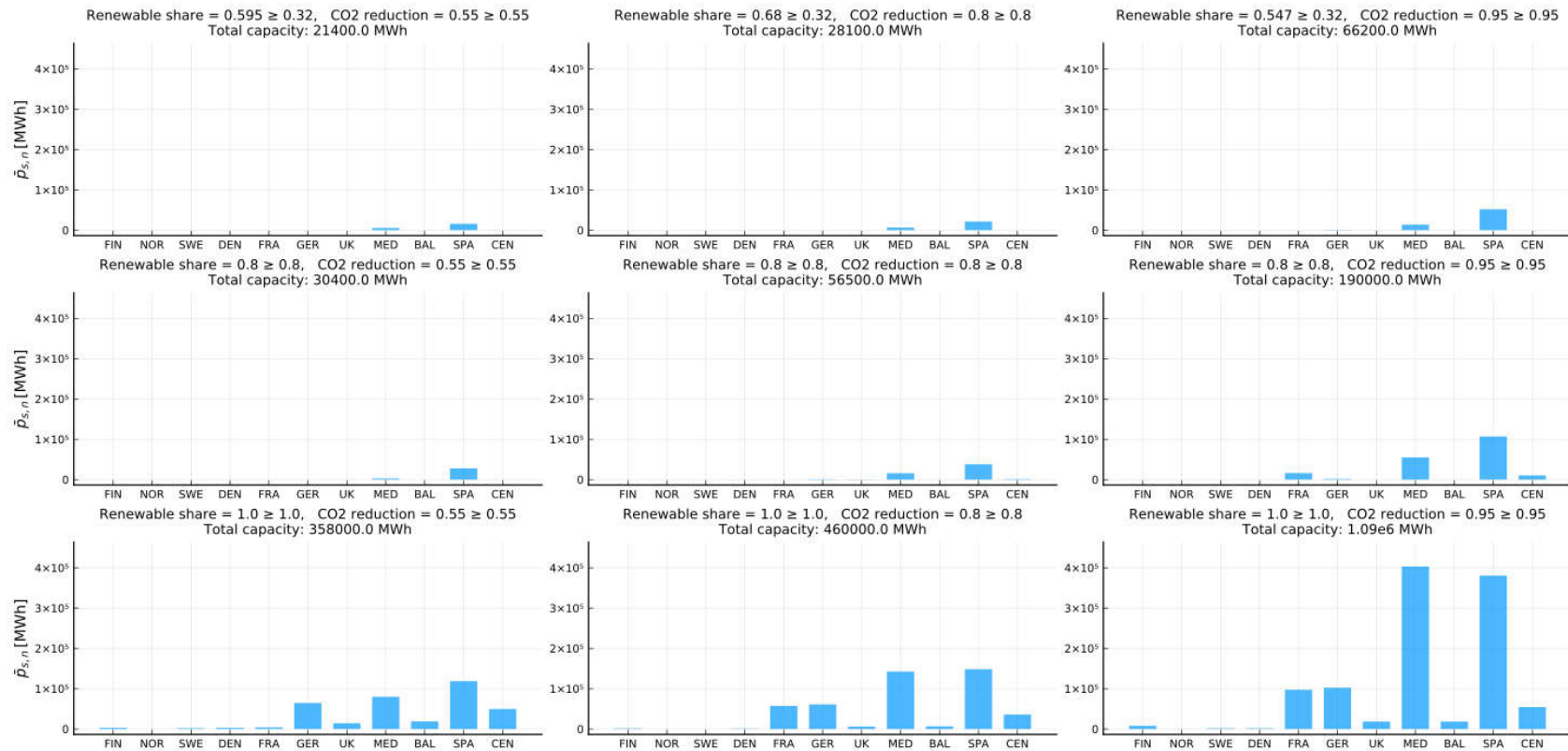
Tulokset

Hourly generation dispatch by technology



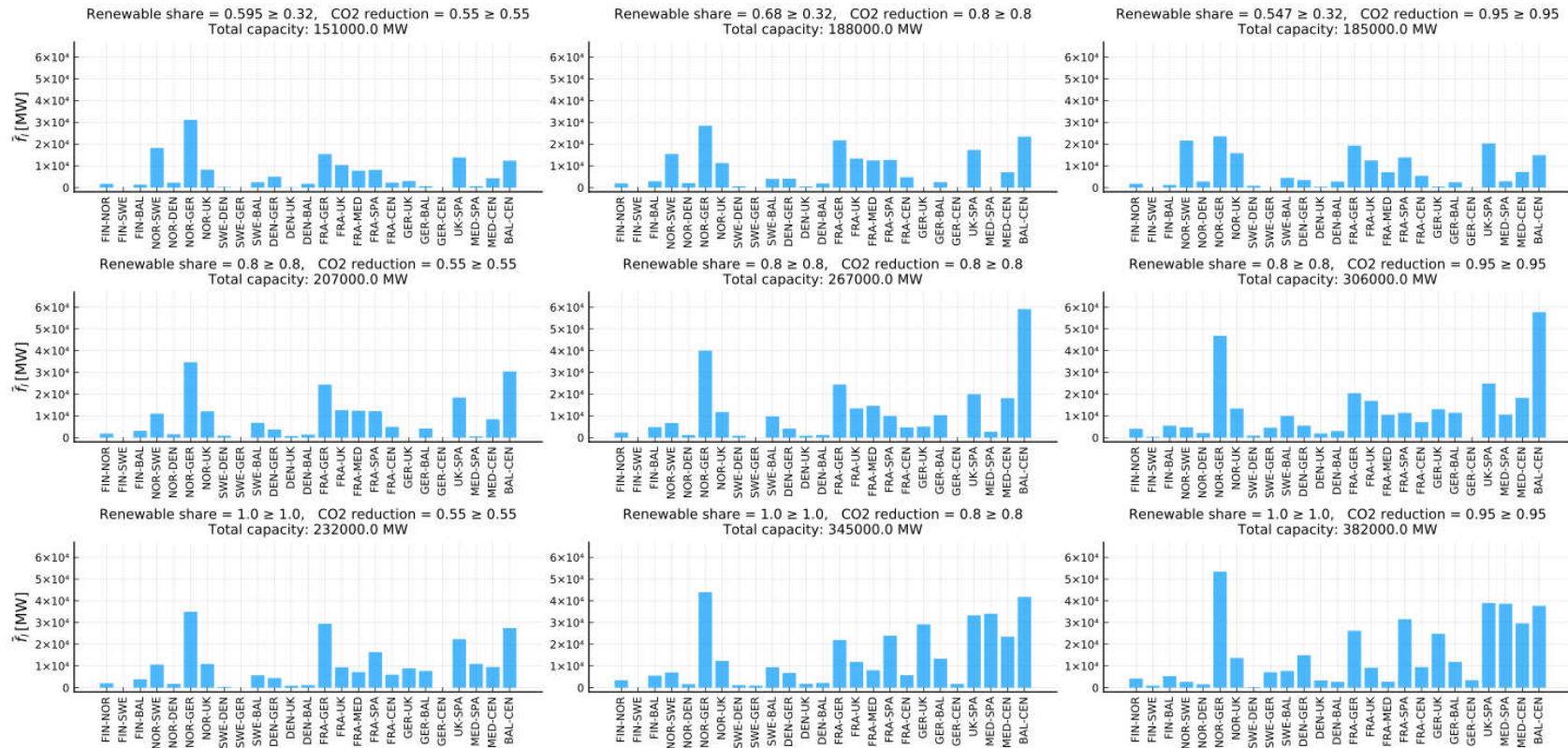
Tulokset

Storage capacity by node



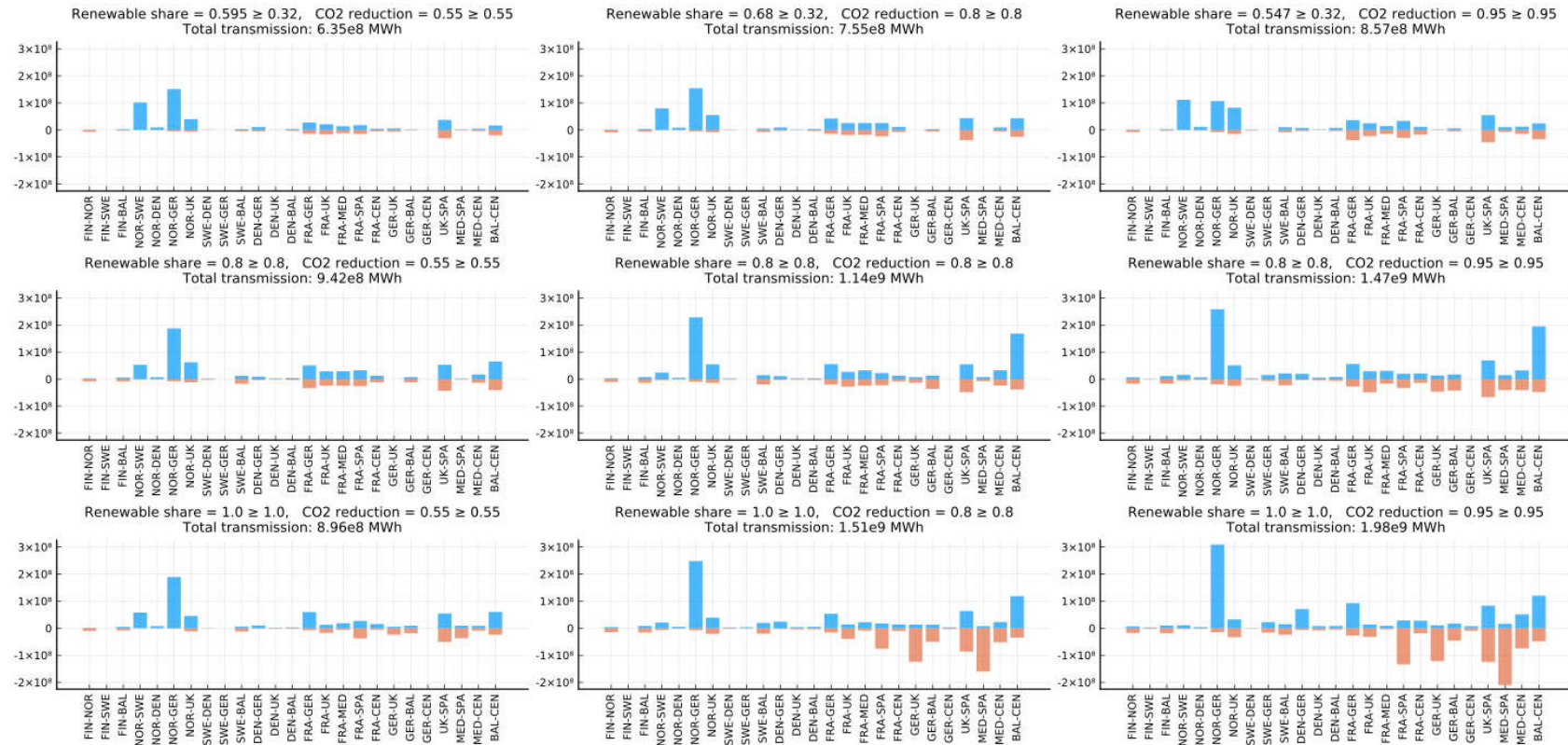
Tulokset

Transmission capacity by line



Tulokset

Transmission by line



Yhteenveto

- Korkea uusiutuvan energian osuus ei yksinään takaa CO₂ päästöjen vähenemistä, ellei saastuttavia (uusiutuvia) teknologioita rajoiteta erikseen
- CO₂ rajoite lisää ydinvoiman ja muun vähäpäästöisen energian houkuttelevuutta
- Uusiutuvan energian osuuden lisääminen CO₂ rajoitteen ohella kasvattaa kokonaiskustannusta
- Saksa, Välimeren maat sekä Keski-Euroopan maat riippuvaisia tuontisähköstä
- Norja, Baltia ja Espanja suurimmat viejät
- Aurinkoenergia vaatii energian varastointia

Lähteet

- Pfenninger, S., Hawkes, A., & Keirstead, J. (2014). Energy systems modeling for twenty-first century energy challenges. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 33, 74-86.
- Pablo del Río. (2017). Why does the combination of the European union emissions trading scheme and a renewable energy target makes economic sense? Renewable and Sustainable Energy Reviews, 74:824–834.
- European Commission. (2020). Climate strategies & targets.
https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies_en
- Mattsson et al. (2020). GlobalEnergyGIS.
<https://github.com/niclasmattsson/GlobalEnergyGIS>
- Gurobi Optimization, LLC. (2020). Gurobi Optimizer Reference Manual.
<https://www.gurobi.com>