



Znanstveni posjet Sveučilištu u Manchesteru

Izvještaj s usavršavanja



Zagreb, 2018.

Projekt: Integracija vjetroelektrana u elektroenergetski sustava sa smanjenom tromostti

WIND energy integration in Low Inertia Power System - WINDLIPS

Dokument: Znanstveni posjet Sveučilištu u Manchesteru—izvještaj s usavršavanja

Isporuka:

Partneri:



Autori:

Matej Krpan, mag.ing.

IZVJEŠTAJ

Sažetak

Ovo je kratki izvještaj sa 10-odnevnog stručnog posjeta i znanstvenog usavršavanja na The University of Manchester.

Sadržaj

1	Sveučilište u Manchesteru.....	5
2	Posjet University of Manchester, School of Electrical and Electronic Engineering.....	8
3	Inercijski odziv vjetroelektrana.....	16
4	Literatura	19

1 Sveučilište u Manchesteru

Današnje Sveučilište u Manchesteru (The University of Manchester) službeno je nastalo 2004. godine spajanjem dva sveučilišta: University of Manchester Institute of Science and Technology (UMIST) i Victoria University of Manchester. Sveučilište u Manchesteru javno je istraživačko sveučilište. U ak.god. 2016./2017. imalo je 40.490 studenata i 10.400 zaposlenika čineći ga drugim najvećim sveučilištem u Ujedinjenom Kraljevstvu (od ukupno 167 sveučilišta). Sveučilište u Manchesteru je svjetski prestižno sveučilište koje je za 2018. godinu na QS rang-listi najboljih sveučilišta kao i na Šangajskoj listi bilo na 34. mjestu u svijetu i 6. u Ujedinjenom Kraljevstvu. Prema QS rang-listi za 2019. godinu, Sveučilište u Manchesteru nalazi se na 29. mjestu u svijetu i 6. mjestu u Ujedinjenom Kraljevstvu. 25 dobitnika Nobelove nagrade je došlo sa Sveučilišta u Manchesteru, dok su 4 dobitnika trenutno među zaposlenima. U godini 2017./2018. prihodi Sveučilišta u Manchesteru iznosili su oko 1 milijardu britanskih funti od kojih je blizu 300 milijuna funti došlo od znanstvenih projekata i ostalih ugovora.



The University of Manchester

Sveučilište u Manchesteru sastoji se od 3 fakulteta: Fakultet biologije, medicine i zdravstva, Fakultet društvenih znanosti, Fakultet znanosti i tehnologije. Fakulteti su dalje podijeljeni u niz škola i instituta.

Istraživački rad na Sveučilištu u Manchesteru je multidisciplinaran. Podijeljen je u 5 glavnih područja: napredni materijali, istraživanje raka, energetika, globalne nejednakosti te industrijska biotehnologija. Unutar područja energetike, istraživački smjerovi su:

- Bioenergija, gradska i urbana uporaba energija,
- klimatske promjene,

- energetske mreže,
- spremnici energije,
- multi-energijski sustavi,
- nuklearna energetika,
- pučinski (*offshore*) obnovljivi izvori energije,
- nafta i plin,
- solarna energija.

Moj znanstveni posjet bio je na Fakultetu znanosti i tehnologije u školi elektrotehničkog i elektroničkog inženjerstva (*School of Electrical and Electronic Engineering*). 5 glavnih istraživačkih područja (koja se međusobno preklapaju i podržavaju) su:

- napredni funkcionalni materijali i uređaji,
- elektroničko inženjerstvo za poljoprivrednu,
- otporni energetski sustavi,
- robotika za ekstremna okruženja i
- senzorske tehnologije za sigurnost.

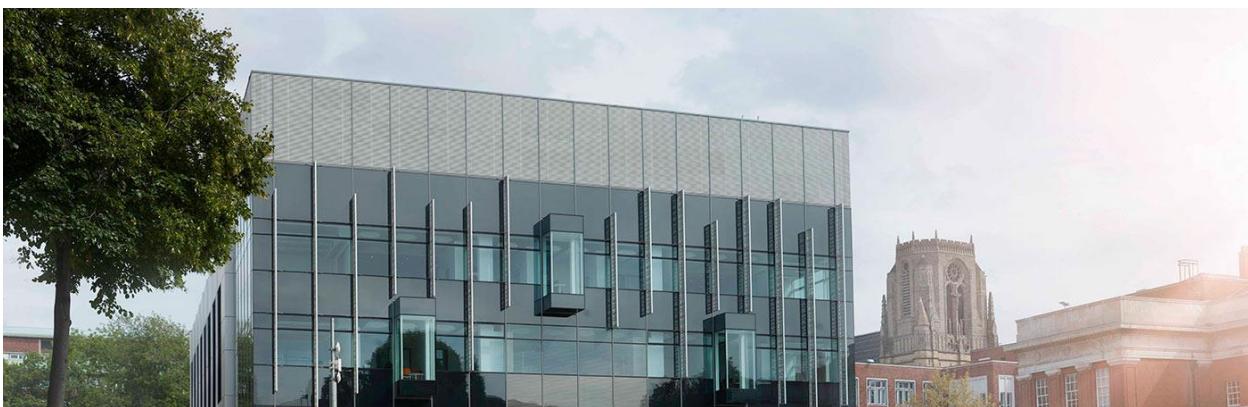
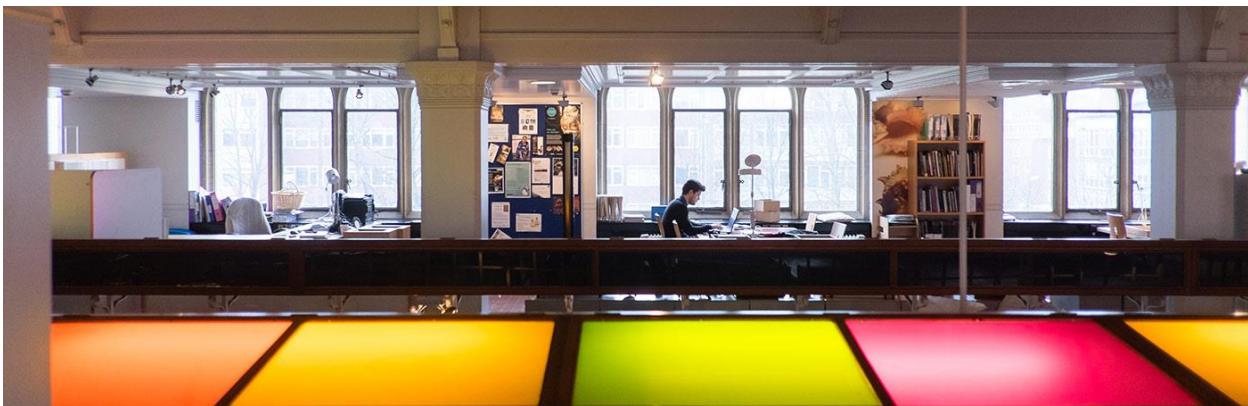
Unutar područja otpornih energetskih sustava, glavne teme su:

- električna energija u ekstremnim uvjetima,
- visokonaponski prijenos i ispitivanje i
- multi-energijski sustavi,

Područja ekspertize istraživača u ovom području su u domenama:

- upravljačkih sustava,
- digitalne obradbe signala,
- električnih materijala, e
- energetskih mreža,
- visokonaponske tehnologije,
- pretvorbe energije,
- energetske elektronike,
- senzorskih tehnologija i
- integracije sustava.

Glavni istraživači u području energetskih sustava na Sveučilištu u Manchesteru na *School of Electrical and Electronic Engineering* su: Mike Barnes, Ian Cotton, Jovica Milanović, Alexander Smith, Vladimir Terzija i Zhongdong Wang.



2 Posjet University of Manchester, School of Electrical and Electronic Engineering

Trajanje kratkog znanstvenog posjeta iznosilo je 9 dana, od 13. prosinca 2018. do 21. prosinca 2018.

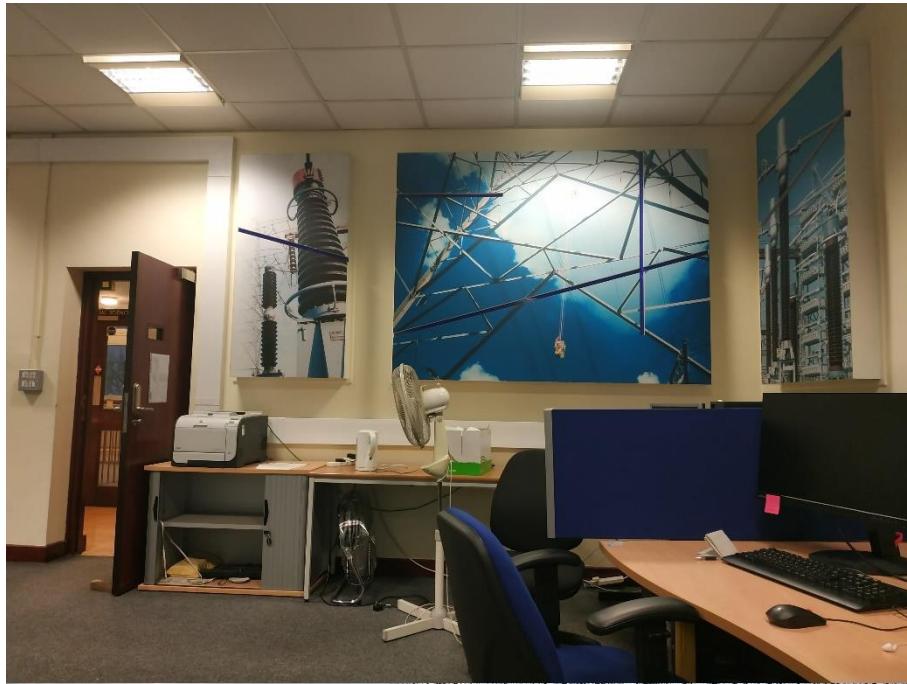
Tijekom tih 9 dana, sastao sam se sa nekoliko profesora te nekoliko istraživača i doktoranada s kojima sam pričao i razmijenio iskustva o istraživačkom radu u elektroenergetici i zajedničkim projektima. Stekao sam uvid u vrhunska istraživanja i život na renomiranom međunarodnom sveučilištu. Također smo razmatrali mogućnosti suradnje i objavljivanja zajedničkih znanstvenih radova u časopisima i na konferencijama.

Nadalje, razmijenili smo iskustva na istraživanjima vezanim uz inercijski odziv vjetroelektrana i sudjelovanje vjetroelektrana u regulaciji frekvencije kao jedno od produktivnijih i aktivnijih istraživačkih tema u području naprednih elektroenergetskih mreža. Također smo razgovarali i razmijenili iskustva o modeliranju, upravljanju i koordinaciji naprednih elektroenergetskih tehnologija koje komplementiraju integraciju vjetroelektrana u sustave sa smanjenom konstantom tromosti, odnosno sustave s velikom penetracijom energetske elektronike. Te napredne tehnologije uključuju superkondenzatore i ultrakondenzatore, baterije i zamašnjake u kontekstu istraživanja dinamike i upravljanja elektroenergetskih sustava smanjene konstante tromosti i koordinacija s vjetroelektranama. Brzi spremnici energije kao što su baterije i ultrakondenzatori bit će iznimno važne tehnologije u elektroenergetskim sustavima smanjene konstante tromosti za održavanje frekvencijske stabilnosti sustava, a te tehnologije odlično komplementiraju stohastičke OIE poput vjetra i sunca, te se mogu koordinirati s vjetroelektranama koje također sudjeluju u inercijskom odzivu i primarnoj regulaciji frekvencije.

Rezultat ovog kratkog znanstvenog posjeta su bolje razumijevanje naprednog modeliranja elektroenergetskih elemenata i sudjelovanja vjetroelektrana u regulaciji frekvencije te koordinacija s spremnicima energije. Nadalje, upoznao sam se s radom vrhunskog svjetskog sveučilišta i stekao kontakte za potencijalnu buduću suradnju.









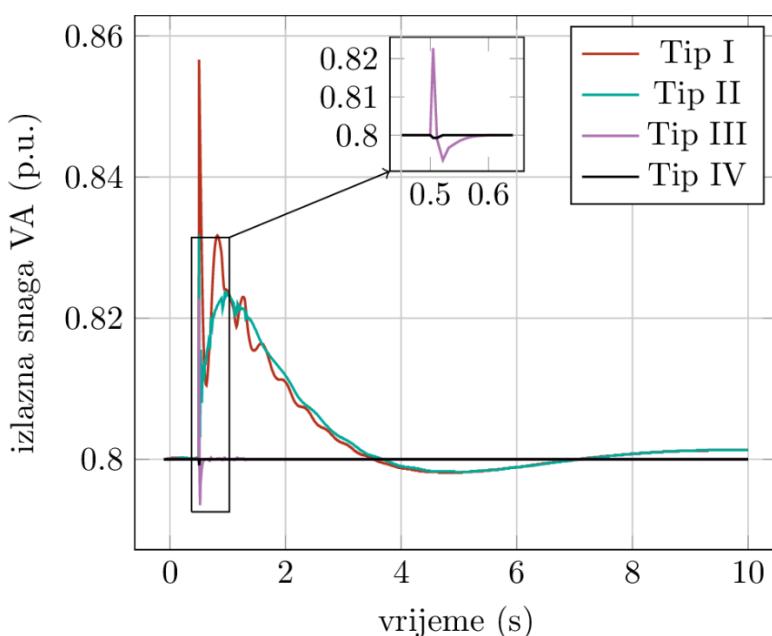






3 Inercijski odziv vjetroelektrana

U posljednjih desetak godina, vrlo značajan porast udjela VE diljem svijeta motivirao je brojna istraživanja utjecaja VE na frekvencijski odziv EES-a te istraživanja mogućnosti sudjelovanja VE u regulaciji frekvencije EES-a. Razvoj energetskih elektroničkih pretvarača i povećanje broja izvora energije koji se preko njihovog sučelja spajaju s mrežom za posljedicu ima smanjenje konstante tromosti sustava i povećanje zahtjeva na konvencionalne izvore da reguliraju frekvenciju. Ovo je problem koji nije vezan isključivo za VE, stoga uloga VE predstavlja podskup u ovom glavnom problemu. No, s obzirom da VE imaju najveći udio u instaliranoj snazi OIE izuzev hidroelektrana, njihov utjecaj je najznačajniji.



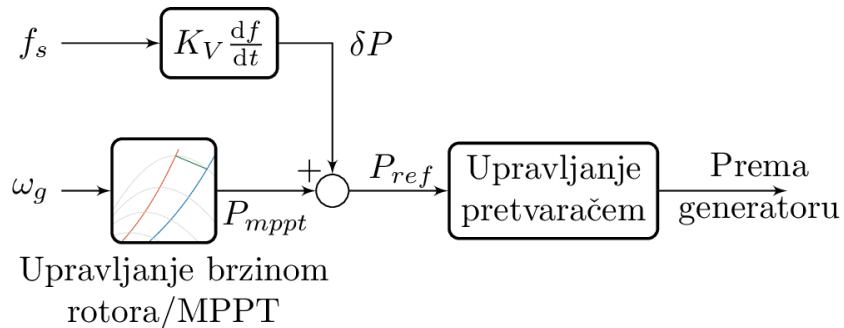
Slika 1: Inercijski odziv različitih vrsta vjetroagregata

Tipovi I i II su izravno spojeni na mrežu te je njihovo ponašanje prilikom pada mrežne frekvencije tipično za asinkroni stroj. Tip I radi u uskom nadsinkronom području te je promjena brzine reda veličine 1% zbog čega se pojavljuju velika mehanička naprezanja zbog amplitude snage prilikom inercijskog odziva. Ovo je manje izraženo, ali svejedno značajno u slučaju tipa II gdje će upravljanje rotorskim otpornikom ipak omogućiti da se kinetička energija disipira na otporniku. S druge strane, inercijski odziv tipova III i IV nije značajan zbog djelovanja energetske elektronike. U slučaju tipa III, frekvencijski pretvarač odvaja mehaničku frekvenciju rotora od mrežne frekvencije, no stator je i dalje spojen na mrežu izravno te će stoga postojati određena injekcija radne snage u mrežu neposredno nakon poremećaja. Međutim, na slici Slika 1 može se vidjeti da je ta amplituda snage svega nekoliko postotaka početne vrijednosti, a cijela prijelazna pojавa

završava unutar 100 ms te je oslobođena kinetička energija zanemariva. Generator tipa IV je u potpunosti odvojen od mreže preko pretvarača te je inercijski odziv nepostojeći jer je ponašanje VA u potpunosti određeno pretvaračem: sa slike Slika 1 vidljivo je da nema injekcije radne snage u mrežu, odnosno da VA tipa 4 ne osjeti promjenu mrežne frekvencije i snaga ostaje konstantna.

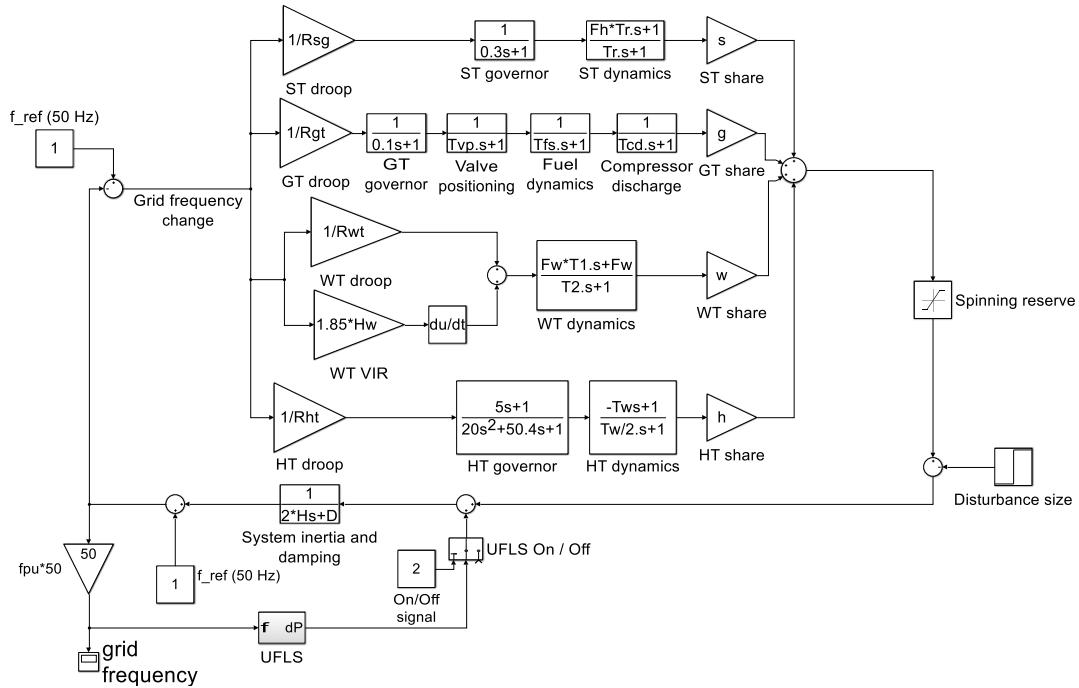
Dakle, VA tipa I i II imaju inherentni inercijski odziv kojim se ne može upravljati te u literaturi nije od pretjeranog interesa. Nadalje, to su agregati starije izvedbe te je njihova zastupljenost u sustavima vrlo mala. S druge strane, VA tipa III i IV danas su na tržištu najzastupljeniji jer omogućuju maksimalnu aerodinamičku učinkovitost u velikom rasponu brzina vjetra, no s druge strane njihova integracija u sustav smanjuje konstantu tromosti sustava jer VA tipa III i IV imaju smanjen, odnosno nemaju inercijski odziv zbog razdvajajućeg učinka frekvencijskih pretvarača. Međutim, mogućnost fleksibilnog upravljanja VA s promjenjivom brzinom vrtnje omogućuje dodavanje umjetnog inercijskog odziva pomoću sekundarnih upravljačkih krugova osjetljivih na ROCOF, što se u literaturi naziva virtualni/sintetički inercijski odziv (*virtual/synthetic inertia*) ili brzi frekvencijski odziv (*fast frequency response*).

Koncept upravljanja VA s uključenim virtualnim inercijskim odzivom prikazan je na slici Slika 2. Dodatna regulacijska petlja mjeri mrežnu frekvenciju f_s te na temelju ROCOF-a df/dt i pojačanja K_V injektira dodatni signal δP koji zbrojen sa signalom optimalne snage P_{mppt} iz normalne petlje upravljanja brzinom rotora daje novu referentnu snagu koja se propagira u upravljački sustav pretvarača. K_V se naziva virtualnom konstantnom tromosti te ne posjeduje nikakvo fizičko značenje kao što to predstavlja stvarna konstanta tromosti. K_V se teorijski može postaviti na bilo koju vrijednost, te je virtualni inercijski odziv, za razliku od stvarnog, u potpunosti upravljiv: to znači da VA tipa III/IV mogu pružiti čak i veći inercijski odziv nego konvencionalne jedinice. Međutim, stvarne mogućnosti ovise o fizičkim ograničenjima aggregata te autori u argumentiraju da se pojačanje K_V postavi na maksimalno $1,85H_{wtg}$ čime se sprječava smanjenje brzine rotora ispod minimalne što može dovesti do zaustavljanja turbine.

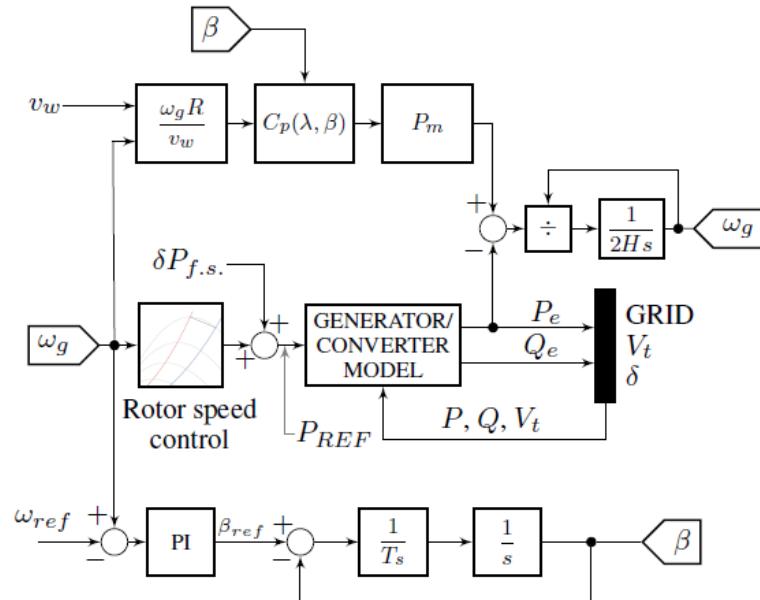


Slika 2: Koncept virtualnog inercijskog odziva za tip III/IV

Na slici Slika 2 prikazan je algoritam tzv. "prirodnog" inercijskog odziva (*natural inertial response*). Naziva se "prirodnim" jer je proporcionalan ROCOF-u što je analogno stvarnom inercijskom odzivu.



Slika 3. Jednostavni linearizirani jednostrojni model niskog reda za promatranje mrežne frekvencije s uključenim doprinosom iz vjetroelektrana [1]



Slika 4. Nelinearni model vjetroagregata s dodatnom petljom za regulaciju frekvencije [2]

4 Literatura

- [1] M. Krpan and I. Kuzle, "Inertial And Primary Frequency Response Model Of Variable-Speed Wind Turbines," *The Journal of Engineering*, vol. 2017, pp. 844-848, 1 2017.
- [2] M. Krpan and I. Kuzle, "Introducing low-order system frequency response modelling of a future power system with high penetration of wind power plants with frequency support capabilities," *IET Renewable Power Generation*, vol. 12, no. 13, pp. 1453-1461(8), 10 2018.

<https://www.manchester.ac.uk/>

<https://www.manchester.ac.uk/research/>

https://en.wikipedia.org/wiki/University_of_Manchester

<https://www.topuniversities.com/university-rankings>

<http://www.shanghairanking.com/>

<https://www.eee.manchester.ac.uk/research/themes/resilient-energy-systems/>

<https://www.eee.manchester.ac.uk/>

Short academic visit to The University of Manchester, School of Electrical and Electronic Engineering

Report of the visit

Duration of visit: 13-Dec-2018 – 21-Dec-2018

During the course of the visit, I have met with several professors and researchers with whom I have discussed about power systems research and exchanged experiences. I have gained insight into the postgraduate research life of a renowned international university and the cutting-edge research done at The University of Manchester.

Specifically, I have talked with professors and researchers about the modelling and control of advanced power system technologies such as wind power plants with inertial response capabilities, batteries and ultracapacitors and other power electronics-based energy sources and storage solutions for power system dynamics studies. Fast response storage devices such as batteries and ultracapacitors will be especially important in low-inertia power systems and for wind energy integration. Possibilities of joint research as well as joint conference and journal publications have been discussed.

The outcomes of the visit are a better understanding of advanced power system modelling, insight into the workings of a top international university and making academic contacts for potential future collaboration.

Visitor:
Matej Krpan
Research assistant
University of Zagreb, Faculty of Electrical
Engineering and Computing
Department of Energy and Power Systems

Jovica
Host:
Prof. Jovica V. Milanović, Dipl.Ing., MSc, PhD, DSc,
FIET, FIEEE
Deputy Head of School & Director of External Affairs
School of Electrical and Electronic Engineering
The University of Manchester

