

HILP-tutkimusprojekti – HILP: High Impact Low Probability

1 Yleistä projektista

Fingrid oli vuosina 2016–2020 mukana 4-vuotisessa pohjoismaisessa HILP-tutkimusprojektissa. Lyhenne HILP tulee sanoista 'High Impact Low Probability' ja nimensä mukaisesti projektissa käsiteltiin poikkeuksellisia tapahtumia, joiden todennäköisyys on hyvin pieni, mutta vaikutukset suuria.

Fingridin lisäksi projektiin osallistui Norjasta Statnett, Norjan energiaviranomainen Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) ja tutkimusosapuolina Norjan teknillis-luonnontieteellinen yliopisto NTNU (Norwegian University of Science and Technology) ja SINTEF-tutkimuslaitos.

Projekti oli norjalainen niin kutsuttu 'Knowledge-building' projekti, jonka kokonaiskustannukset 4 vuoden aikana olivat 11,75 miljoonaa Norjan kruunua. Päärahoittaja oli Norjan Forskningsrådet (The Research Council of Norway). Statnett ja Fingrid rahoittivat projektia pienemmillä osuuksilla. Fingridin rahoitus oli neljän vuoden aikana yhteensä 80 000 euroa. Lisäksi Fingrid osallistui projektin johtoryhmään ja antoi tietoja yhteen tapaustutkimukseen. Projektin julkaisulista ja muuta tietoa löytyy SINTEF-verkkosivuilta: <https://www.sintef.no/en/projects/hilp/> ja Forskningsrådetin sivuilta: <https://prosjektbanken.forskningsradet.no/#/project/NFR/255226/Sprak=en>

Lisätietoja hankkeesta: Liisa Haarla, puh. 030 395 5296, liisa.haarla@fingrid.fi

2 Projektin tavoitteet ja tulokset lyhyesti

2.1 Tavoitteet

Projektin tavoite oli kehittää menetelmiä ja työkaluja, joilla analysoidaan voimajärjestelmän poikkeuksellisiin tapahtumiin liittyviä riskejä ja haavoittuvuuksia. Projektin neljän työpaketin tavoitteet vapaasti suomennettuina olivat

1. WP1. Tunnistetaan ja ymmärretään poikkeuksellisten tilanteita ja kehitetään niiden laadullista arviointia.
2. WP2. Kehitetään määrällinen menetelmä poikkeuksellisten tilanteiden analysointiin. Menetelmä sisältää kriittiset tapahtumat (kontingenssit) ja kriittiset käyttötilanteet. Menetelmällä arvioidaan seurauksia sähkön toimitusvarmuudelle.
3. WP3. Kehitetään menetelmiä, joilla voidaan käsitellä ja määrällisesti arvioida poikkeuksellisiin tilanteisiin liittyviä epävarmuuksia.
4. WP4. Varmistetaan, että kehitetyt menetelmät ovat käyttökelpoisia oikeassa voimajärjestelmässä. Tämä tehdään tapaustutkimuksin, joiden lähtötiedot saadaan projektissa mukana olevilta verkkoyhtiöiltä.

2.2 Tulokset

WP1-työpaketissa edelleen kehitettiin poikkeuksellisten tilanteiden analyysikehikkoa, jota SINTEF on jo aiemmin kehittänyt. HILP-projektin kehikkoa on kuvailtu Reliability Engineering & System Safety -lehdessä julkaistussa artikkelissa (Sperstad et al. 2020) ja ESREL-konferenssissa julkaistussa artikkelissa (Sperstad & Kiel 2018a).

Pääkomponentit analyysikehikossa ovat: 1) käsitteellinen kehikko, jossa on määritelmiä, joiden avulla voidaan luetella voimajärjestelmän haavoittuvuuksia, 2) arviointimenetelmä, jonka avulla voidaan tunnistaa poikkeuksellisiin tapahtumiin liittyviä haavoittuvuuksia ja suojauskeinoja, joilla haavoittuvuuksia voidaan lieventää ja 3) haavoittuvuusindikaattoreita, joilla voidaan arvioida määrällisesti haavoittuvuuksia ja joilla voidaan tarkkailla niitä.

WP2-työpaketissa kehitettyä määrällistä menetelmää poikkeuksellisten tilanteiden analysointiin on julkaistu PMAPS-konferenssissa vuonna 2016 (Solheim et al. 2016) ja vuonna 2018 (Sperstad, I. B. (2018), kolmessa muussa konferenssissa vuonna 2019 (Kiel & Kjølle, 2019a, Kiel & Kjølle, 2019b) (Solvang et al. 2019) ja tieteellisessä lehtijulkaisussa (Sperstad et al. 2021). Tuloksena on myös ohjelmakoodeja, joilla voidaan arvioida monimutkaisia tapahtumaketjuja, jotka voivat johtaa kriittisiin seurauksiin.

WP3-työpaketissa on kehitetty HILP-tapahtumiin liittyvien epävarmuuksien analysointimenetelmää. Menetelmässä epävarmuus jaetaan kahteen osaan. Ensimmäinen epävarmuus on normaalia satunaisvaihtelusta tulevaa epävarmuutta (aleatory uncertainty, stochastic uncertainty). Toinen osa on tiedon puutteesta aiheutuvaa epävarmuutta (epistemic uncertainty). Tätä tiedon puutteesta aiheutuvaa epävarmuutta on sekä käytettävissä malleissa että datassa. Projektissa on kehitetty riskianalyysimalli, jossa näiden epävarmuuksien jakaumat yhdistetään ja jossa on mukana syiden ja seurausten analyysi. Esimerkkitapauksessa on tuloksena kolmion muotoinen jakauma, jossa on vaaka-akselilla määrällinen arvio seurauksista (esim. kansantaloudelliset kustannukset) minimi- ja maksimiarvoineen ja pystyakselilla on esitetty mahdollisuusjakauma samaan tapaan kuin todennäköisyysjakauma tavataan esittää.

WP3-työpaketin tuloksista kerrotaan konferenssisjulkaisuissa (Kiel & Kjølle 2019c) ja (Kiel & Kjølle 2020).

WP4-työpaketissa oli tapaustutkimuksia, joiden avulla testattiin kehitettyjen menetelmien soveltumista oikeisiin ongelmiin. Yhdessä tapauksessa selvitettiin, mitä vaikutuksia olisi, jos tuontitilanteessa useampi pohjoismaiseen voimajärjestelmään liitetty suurjännitteinen tasasähköyhteys vikaantuisi yhtä aikaa. Arvio oli laadullinen ja siitä on kerrottu vuoden 2018 CIGRE-yleiskokouksen julkaisussa (Sperstad et al. 2018b) ja tieteellisen lehden julkaisussa (Sperstad et al. 2020). Espen Solvangin diplomityössä (Solvang 2018) simuloitiin dynaamisella verkkomallilla tasasähköyhteyksien samanaikaisten vikaantumisten vaikutuksia voimajärjestelmään.

3 Julkaisut

Projektin tuloksia on julkaistu varsinaisten projektiraporttien lisäksi tieteellisissä julkaisuissa ja opinnäytetöissä. Osa julkaisuista on vielä vertaisarvioinnissa, joten

julkaisuja tulee lisää SINTEFin ja Forsknngsrådetin verkkosivuille. NTNU-yliopistossa on valmisteilla väitöskirja.

3.1 Tieteelliset lehtiartikkelit ja konferenssijulkaisut, jotka on julkaistu 20.8.2020 mennessä.

Kiel, E. S.; Kjølle, G. H. (2019a) *The impact of protection system failures and weather exposure on power system reliability*. IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering, June 2019, Genova, Italy. Saatavilla: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8783388>

Kiel, E. S.; Kjølle, G. H. (2019b) *Transmission line unavailability due to correlated threat exposure*. IEEE Milan PowerTech, Milan, Italy, June 2019. Saatavilla: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8810845>

Kiel, E. S.; Kjølle, G. H. (2019c) *Identification, visualization and reduction of risk related to HILP events in power systems*. 54th International Universities Power Engineering Conference (UPEC), Sept. 2019, Bucharest, Romania. Saatavilla: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8893553>

Kiel, E. S.; Kjølle, G. H. (2020) *A Bayesian Network approach to predicting transmission line down times*. Accepted to be published in Proceedings of the 30th European Safety and Reliability Conference and the 15th Probabilistic Safety Assessment and Management Conference. ESREL2020 PSAM 15. Saatavilla: <https://www.rpsonline.com.sg/proceedings/esrel2020/html/3776.xml>

Solheim, Ø.R.; Trötscher, T.; Kjølle, G. H. (2016) *Wind Dependent Failure Rates for Overhead Transmission Lines Using Reanalysis Data and a Bayesian Updating Scheme*. International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS), Oct. 2016, Beijing, China. Saatavilla: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7764104>

Solvang, E. H.; Sperstad, I. B.; Jakobsen, S. H.; Uhlen, K. (2019) *Dynamic simulation of simultaneous HVDC contingencies relevant for vulnerability assessment of the Nordic power system*. IEEE Milan PowerTech, June 2019, Milan, Italy. Saatavilla: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8810863>

Sperstad, I. B. (2018) *Identifying high-impact operating states in power system reliability analysis*. Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS), 2018, IEEE International Conference on, Boise, ID, USA, IEEE. Saatavilla: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8893553>

Sperstad, I. B.; Kiel, E. S. (2018a) *Development of a Qualitative Framework for Analysing High-Impact Low-Probability Events in Power Systems*. European Safety & Reliability Conference (ESREL), 2018, Trondheim, Norway. Saatavilla ESREL-konferenssin verkkosivuilta, (Chapter 20): <https://www.taylorfrancis.com/books/e/9781351174664>

Sperstad, I. B.; Kjølle, G. H.; Gjerde, O.; Vrana, T. K.; Jakobsen, S. H.; Turunen, J.; Haarla, L. (2018b). *Vulnerability Analysis of HVDC Contingencies in the Nordic Power System*. Report no. C2-132, CIGRE Session, 2018, Paris, France. Saatavilla: <https://e-cigre.org/publication/SESSION2018> _ja <https://sintef.brage.unit.no/sintef->

[xmlui/bitstream/handle/11250/2616412/Sperstad2018HVDC_contingencies_CIGRE_2018_open_access_version.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832019307008?via%3Dihub)

Sperstad, I. B.; Kjølle, G. H.; Gjerde, O. (2020) *A Comprehensive Framework for Vulnerability Analysis of Extraordinary Events in Power Systems*. Reliability Engineering & System Safety, Vol. 196, April 2020. Saatavilla:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832019307008?via%3Dihub>

Sperstad, I. B.; Solvang, E. H.; Jakobsen, S. H. (2021) *A graph-based modelling framework for vulnerability analysis of critical sequences of events in power systems*.

International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 125, February

2021. Saatavilla: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142061519335811>

Vrana, T.K.; Sperstad, I. B.: (2018) *Transmission line length estimation based on electrical parameters*. In MedPower 2018, Dubrovnik, Croatia, Nov. 2018. Available at:

<https://ieeexplore.ieee.org/document/9128181>

3.2

Diplomityöt

Berg, Trygve Vesseltun (2019) *Combining analytical power system reliability assessment methods with Monte Carlo simulation*. Saatavilla: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2625901>

Jensen, Amalie Gjerdingen (2019). *Weather Models for Capturing Wind Related Failures in Probabilistic Reliability Analysis*. Saatavilla: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2622375>

Moreno, Sebastian Schoder (2019). *Statistisk Mekaniske Tilnærminger til Analyse av Blackouts*. Saatavilla: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2639897>

Nordhagen, Sindre Winsnes (2017). *Reliability Analysis of the Nordic44 Model and modelling of corrective Actions in OPAL*. Saatavilla: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2440582>

Solvang, Espen Hafstad (2018). *Dynamic Simulations of Simultaneous HVDC Contingencies in the Nordic Power System Considering System Integrity Protection Schemes*. Saatavilla: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2561568>