

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Łukasza Staszewskiego

Podstawą opracowania niniejszej recenzji jest uchwała Rady Wydziału Elektrycznego Politechniki Wrocławskiej oraz pismo Dziekana Wydziału prof. Waldemara Rebizanta z dnia 27.07.2015 r.

Tytuł rozprawy

„Adaptacyjne zabezpieczenie przeciążeniowe linii przesyłowych”

1. Wybór tematu rozprawy

Problemy przeciążeniowe przewodów linii przesyłowych jeszcze 20 lat temu wydawały się w Polsce problemem egzotycznym. Większe problemy wiązały się ze słabym obciążeniem linii i towarzyszącemu im wzrostowi napięcia zagrażającemu izolacji linii i transformatorów. Autor recenzji może przytoczyć sytuacje, w których linie 110 kV na wschodzie Polski, w szczycie letnim (bardziej dokuczliwym w sensie obciążeniowym od zimowego) pracowały przy obciążeniu poniżej 10% wartości znamionowej. Sytuacja obecnie zmieniła się jednak istotnie. Wzrost zapotrzebowania na moc odczuwany jest właśnie szczególnie w miesiącach letnich. Ograniczenia ekonomiczne i środowiskowe uniemożliwiają budowę nowych linii, a modernizacje polegające na zwiększeniu przekroju przewodów także wymagają wielu zabiegów formalnoprawnych i są kosztowne. Z pewnością energetyka OZE zarówno w ujęciu dużych źródeł jak też energetyki rozproszonej oraz obowiązek odbioru energii produkowanej przez te źródła, przyczynia się także do przekraczania przez prądy płynące liniami napowietrznymi wartości uznawanych za krytyczne. Kwestia krytycznego charakteru tych prądów może i powinna być dokładniej rozstrzygnięta i temu służy pojęcie dynamicznej obciążalności linii (Autor w rozprawie używa skrótu DOL). Operatorzy sieci powinni jako podstawę swoich decyzji przyjmować obciążalność dynamiczną linii, wynikającą z aktualnych warunków pogody i stanu jej obciążenia. Gdzie powinna być umiejscowiona fizycznie analiza DOL (czy w dedykowanym urządzeniu, czy w systemie SCADA) jest inną kwestią choć to drugie rozwiązanie wydaje się bardziej logiczne.

Kwestie wymienione wyżej nie są może nowe, ale nie jest to też tematyka dogłębnie rozpracowana. Warto także zwrócić uwagę, że zbyt restrykcyjne oraz statyczne podejście do dopuszczalnej wartości płynącego linią prądu może mieć negatywny wpływ na pracę układów zabezpieczeniowych, jako konsekwencja niewłaściwego (choć formalnie poprawnego) doboru nastawionych parametrów prądowych. Jest to, jak się wydaje problem, słabiej zauważany, a jego istotą jest zapobieganie zbędnym wyłączeniom, które nie mają fizycznego uzasadnienia.

Operatorzy OSP i OSD podchodzą do kwestii DOL dość nieufnie, choć zauważają tę problematykę. Uruchamiane były eksperymentalne programy instalowania urządzeń czujnikowych na wybranych liniach 220 i 110 kV. Przez konsorcjum jednostek badawczych i jednostek energetyki realizowany jest obecnie projekt SDZP (System Dynamicznego Zarządzania Przesyłem) wyłoniony w ramach konkursu NCBiR Gekon. Problem ograniczonej termicznie przepustowości linii pojawia się szczególnie w lecie i dotyczy częściej linii 110 kV niż linii przesyłowych o napięciu 400 i 220 kV (choć tu z kolei występują problemy na liniach powiązanych z przesyłem międzynarodowym). W centrach dyspozytorskich pojawiły się sygnały ze stacji pogodowych, a w instrukcjach ruchu linii (system informatyczny BW Bieżące Wytyczne) zamieszczone są nie tylko dwie wartości prądu dopuszczalnego (lato, zima), ale bardziej rozbudowane „tabelki obciążeniowe”

Na etapie planowania rozwoju pojęcie obciążalności dynamicznej nie jest stosowane, stąd planowanie inwestycji, których pewno dałoby się uniknąć, ograniczając koszty, które w końcu i tak poniosą odbiorcy.

Jak widać z powyższych wywodów, które autor recenzji celowo organiczna, tematyka pracy wpisuje się doskonale w jeden z najbardziej istotnych dla współczesnej elektroenergetyki obszarów badawczych. Rozprawa podejmuje problematykę zarówno lepiej znaną (DOL) jak też słabiej rozpoznaną – adaptacyjne nastawienia zabezpieczeń. Tym samym oceniam bardzo wysoko wybór tematu, zarówno w sensie poznawczym – naukowym jak też praktycznym, aczkolwiek sama kwestia jego brzmienia może być przedmiotem dyskusji. Chodzi bowiem o to, że „zabezpieczenie”, którego działanie wiąże się z dynamiczną oceną stanu linii nie koniecznie musi być autonomiczną „skrzynką” (jak powszechnie rozumie się urządzenie zabezpieczające), ale tylko programem działającym w środowisku informatycznym dyspozytora (np. Windex).

2. Ogólna ocena rozprawy

Opiniowana rozprawa zawiera 118 stron tekstu wraz z ilustracjami i wzorami oraz spisem literatury obejmującym 93 pozycje.

Cel pracy jest jak sądzę szerszy, niż wynikający z jej tytułu. Autor szczegółowo omawia bowiem kwestie DOL, przenosząc następnie sam fakt zmieniającej się dynamicznie dopuszczalnej obciążalności przewodów do problematyki zabezpieczeniowej.

Co do **tezy pracy** sądzę, że została ona udowodniona, ale możliwe jest inne jej sformułowanie, dla którego przedstawione w pracy badania także stanowiłyby wystarczający dowód.

Pozycje literatury zostały zestawione prawidłowo, co więcej są one Autorowi znane ponieważ cytuje je bardzo obszernie i w odpowiednich miejscach swojej rozprawy.

Praca jest napisana w sposób staranny, prostym technicznym językiem, łatwym do zrozumienia. Być może w niektórych miejscach ta prostota jest zbyt duża, a Autor zbyt powierzchownie odnosi się do tematów trudnych i niejednoznacznych. Czasami przedstawione informacje mają charakter nieco zbyt dydaktyczny, który nie powinien, lub raczej nie musi, charakteryzować rozpraw naukowych. Wydaje się jednak, że Autor decydując się np. na podręcznikową prezentację zasad działania zabezpieczenia odległościowego chciał utrzymać spójność wywodów dotyczących roli DOL w zapewnieniu jego prawidłowego działania. Obliczenia symulacyjne za pomocą których Doktorant weryfikował poprawność postawionych też były prowadzone dla sieci testowej, której postać i parametry nie zostały niestety ujawnione. Zestawienie najważniejszych awarii systemowych (wielkoobszarowych) ostatnich lat być może wykonane zostało skrótowo, ale stanowi właściwie dobrany wstęp do pracy i wykazanie, że istotną rolę w ich powstaniu i przebiegu miały kwestie przeciążeniowe elementów sieci.

Bez wątpliwości rozprawa wskazuje na istotny wpływ wielkości, którą jest dynamiczna obciążalność linii elektroenergetycznej na bezpieczeństwo pracy systemu. Autor dowodzi, że zastosowanie zaproponowanego przez niego algorytmu może zmniejszyć ryzyka towarzyszące pracy linii w ekstremalnych warunkach. Tym ryzykiem jest bez wątpienia wyłączenie linii, które okaże się zbędne i nieuzasadnione. Z drugiej jednak strony nieopanowane konsekwencje niekontrolowanego przeciążenia linii napowietrzanej to oprócz wydłużenia zwisowego skutkującego zwarciem doziemnym, niebezpieczeństwo trwałej awarii wynikające ze wzrostu temperatury przewodu. Wszystkie te kwestie zostały w pracy poruszone, a zaproponowany prosty algorytm mogący zostać zaimplementowany

w urządzeniach zabezpieczeniowych lub w systemie SCADA (o czym Autor nie wspomina) może znaleźć zastosowanie praktyczne.

Ponieważ Autor wykonał duże zadanie badawcze, opis tego zadania wymagał bez wątpienia umiejętności redagowania rozpraw naukowych i raportów. Tę umiejętność Autor opanował w dobrym stopniu i trudno mu postawić w tym zakresie zarzuty. Lektura pracy jest ciekawa, można ją polecać nie tylko specjalistom – i nie jest to także postrzegane przez recenzenta jako wada.

Podsumowując, ogólna ocena rozprawy, jest w bardzo pozytywna.

3. Uwagi szczegółowe i krytyczne

Oceniając pozytywnie przedmiot rozprawy i uzyskane wyniki, pragnę także zwrócić uwagę na jej mankamenty i kwestie dyskusyjne.

W sensie merytorycznym moje wątpliwości (i prośbę o komentarz Autora) budzą wymamione niżej elementy pracy (przedstawiam je częściowo także w formie pytań).

1. Co prawda Autor na stronie 45 podaje prawidłowo standardowe wyposażenie linii przesyłowych 400 i 220 kV oraz linii 110 kV, które nie obejmuje zabezpieczeń nadprądowych (nie licząc nadprądowych na $3I_0$), ale w dalszej części pracy pisze sporo o tych zabezpieczeniach wskazując możliwość udoskonalenia ich pracy adaptacyjnym algorytmem uzupełniającym. Czy nie byłoby lepszym podejściem potraktowanie tych zabezpieczeń zgodnie z przeznaczeniem, czyli dla linii średniego napięcia, gdzie są standardowym wyposażeniem. Algorytm uzupełniający mógłby być z łatwością zaimplantowany w terminalach połowych ważnych linii (magistral), jednakże te linie mają na ogół przekroje 50, 70 i 95 mm². Czy Autor podziela ten pogląd ?
2. Zasadniczym elementem algorytmu uzupełniającego (str. 55, 58, 59) jest odczytanie parametrów wejściowych, do których Autor zalicza oprócz danych przewodu także dane pogodowe (temperatura powietrza, prędkość wiatru, kierunek wiatru, nasłonecznienie). Pozyskanie danych pogodowych nie jest jednak tak proste i oczywiste. Jak już stwierdzono wcześniej operatorzy posiadają już stacje pogodowe na wybranych rozdzielniach, ale dla długich linii (np. 100 km) zastosowanie ich (szczególnie w odniesieniu do prędkości i kierunku wiatru) nie daje praktycznie żadnej wiarygodności. Istnieją źródła danych pogodowych wraz z prognozami z kwadratów terenu o boku 5 km (ICM) ale ich wykorzystanie też nie

jest łatwe, a dane mają charakter próbek niedostępnych w sposób ciągły. W tym zakresie proszę Doktoranta o komentarz.

3. Kontynuując ten wątek należy wspomnieć o czujnikach różnego rodzaju, które pozwalają na pomiar temperatury i naprężenia przewodów, montowanych na sekcjach odciągowych linii. Myślę, że omawiając kwestie DOL Autor powinien takim układom poświęcić trochę miejsca i wskazać stosowną literaturę. Obróbka danych z tych czujników pozwala prawdopodobnie na stworzenie algorytmu uzupełniającego podobnego, ale jednak innego od zaproponowanego w rozprawie, Czy Autor rozważał wykorzystanie danych z tego typu układów ?
4. Mając na uwadze dążenie do porządkowania terminologii zwarciowej należy zwrócić uwagę, że pojęcia zabezpieczenia odległościowego i podimpedancyjnego nie są tożsame (str. 50). Klasyczne zabezpieczenie podimpedancyjne ma charakterystykę kołową położoną symetrycznie w środku układu współrzędnych (R,X) i nie ma charakterystycznej kierunkowości, którą wykazuje zabezpieczenie odległościowe.
5. Szereg nowoczesnych terminali zabezpieczeniowych linii 110 kV posiada moduły zabezpieczeń od przeciążeń. W warunkach krajowych nie są one najczęściej uaktywniane. Po pierwsze dlatego, że nie muszą być (wg standardów energetyki), po drugie nie wiadomo jak je nastawiać. Czy Autor rozważał te zabezpieczenia (ich charakterystyka jest charakterystyką zależną typu „time – inverse”) jako elementów współpracujących z zaproponowanymi w rozprawie algorytmami uzupełniającymi ?
6. Kilkakrotnie Autor rozprawy używa terminu „wstrzymanie zadziałania” (zabezpieczenia). Wydaje się, że powszechnie stosowanym terminem jest „blokowanie zabezpieczenia”, czy Autor zgadza się tym poglądem ?
7. Nie podzielam opinii Autora ze strony 56 o słabym opomiarowaniu linii w Polsce. Sieć przesyłowa jest w pełni obserwowalna, w sieciach 110 kV działają systemy dyspozytorskie we wszystkich oddziałach spółek operatorskich. Zawodzi raczej komunikacja i przekazywanie danych na wyższy poziom (do ODM) oraz hermetyczny charakter oprogramowania nie uwzględniający kwestii DOL oraz innych problemów, których akurat producent tych systemów nie uznaje za ważne.

8. Autor ma rację pisząc o problemie blokowania działania zabezpieczenia odległościowego w warunkach kołysań mocy. Generalna zasada jest taka, że generator synchroniczny posiada zabezpieczenie od poślizgu biegunów, które powinno identyfikować ruch asynchroniczny i likwidować go po 1-3 obrotów. Kołysania synchroniczne nie powinny powodować wyłączeń generatorów ani innych elementów systemu. Inne zabezpieczenia (odległościowe linii, transformatorów) powinny być w trakcie kołysań (obydwu rodzajów) blokowane. Skuteczność tego blokowania poprawiona poprzez zastosowanie zaproponowanego w pracy algorytmu DOL (str.112 i dalej) to bardzo istotne osiągnięcie pracy. Chciałbym zapytać Autora o inne algorytmy blokowania zabezpieczeń odległościowych linii w czasie kołysań 400 i 220 kV i o pogląd na kwestie nastawiania czasu deblokady T_{DB} .
9. Nie ujmując nic zawartości i zakresowi rozprawy należy zwrócić na pewne rozczarowanie wynikające z jej lektury. Być może czytelnik sugerując się tytułem może oczekiwać od zabezpieczeń przeciążeniowych innego sposobu likwidacji przeciążenia niż wyłączenie linii (które albo pozbawi odbiorców zasilania, albo przeniesie przeciążenie na inne linie). Tymczasem rozprawa w minimalnym stopniu rozważa kwestię co zrobić by przeciążenie (nawet rozumiane dynamicznie) zlikwidować. Tymczasem mamy tu szereg możliwości – na liniach promieniowych z elektrowni zmniejszenie generacji, na liniach odbiorczych zmniejszenie mocy odbieranej, w sieciach przesyłowych i 110 kV zmiana rozkładu generacji pomiędzy pracujące jednostki zapewniająca odciążenie (rozumiana jako zadanie optymalizacyjne rozwiązywane on line). Wreszcie dość kontrowersyjny zabieg polegający na zmianie topologii sieci. Kontrowersje wynikają z faktu, że odciążenie następuje po osłabieniu stopnia powiązania sieci zamkniętej, czego operatorzy sieci bardzo nie lubią. Także w tym przypadku moje pytanie dotyczy poglądu Autora w przedstawionej kwestii, nie naświetlił go bowiem w odpowiedni sposób w rozprawie.
10. Mając przekonanie co do słuszności wprowadzenia algorytmów uzupełniających do zabezpieczeń nadprądowych dotyczy tego czy Doktorant zbadał wstępnie gotowość ich producentów do wprowadzenia takich zmian, gdyż konieczność uwzględniania danych pogodowych może być postrzegana jak dość istotne

utrudnienie i komplikacja związana z ich zaimplementowaniem w konstrukcji przekaźnika ?

4. Uwagi końcowe, podsumowanie, spełnienie wymogów ustawowych

Ustawa o stopniach i tytule naukowym (art.13) wymaga aby rozprawa doktorska stanowiła oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. To wymaganie opiniowana rozprawa bez wątplenia spełnia, a sposób rozwiązania problemu przedstawiony w pracy jest obiecujący i dający możliwość praktycznego wykorzystania. Ustawa formułuje pod adresem doktoranta oczekiwanie, aby wykazał się on wiedzą w danej dyscyplinie, umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej oraz umiejętnością przedstawienia jej wyników. Te wszystkie cechy i umiejętności mgr inż. Łukasz Staszewski niewątpliwie posiada, co udowodnił w rozprawie i w wykonanych w ramach tej rozprawy obliczeniach komputerowych.

Lista istotnych osiągnięć rozprawy, które powinny być uznane za jej i Doktoranta oryginalny dorobek zawiera elementy wymienione na stronach 116-117. Ja bym te wymienione skromnie przez Doktoranta osiągnięcia rozszerzył. Osiągnięciem rozprawy jest bowiem także kompleksowe opanowanie przez Autora problematyki bezpieczeństwa pracy systemu elektroenergetycznego. Jest to istotne gdyż obecnie termin „bezpieczeństwo” jest nadużywany przez osoby nie zawsze kompetentne, a wiedza zdobyta przez Doktoranta, jego badania i sposób formułowania wniosków wskazują na duży potencjał twórczy w obszarze energetyki. Mam nadzieję, że ten potencjał zostanie w przyszłości wykorzystany, co więcej, wykorzystany dla dobra energetyki naszego kraju.

Pragnę podkreślić, że Doktorant od początku do końca pracy konsekwentnie realizuje jej cel, „panuje” nad jej tekstem, pomimo drobnych potknięć w jasny i zrozumiały sposób pokazuje wszystkie istotne elementy pracy: genezę, tezę, zakres, przegląd wiedzy istniejącej, sformułowania problemu, rozwiązanie problemu, testy, podsumowanie i literaturę.

Biorąc przedstawioną wyżej ocenę pod uwagę stwierdzam, że opiniowana rozprawa mgr inż. Łukasza Staszewskiego odpowiada wymaganiom ustawowym stawianym przed rozprawami doktorskimi (Ustawa o stopniach i tytule naukowym z dnia 14 marca 2003 r.) i wnoszę o dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.

Piotr Kaczyński