Konwersatorium Inteligentna Energetyka
Gliwice, 28 październik 2025 roku

Metrologia systemowa – dobry pomiar jako warunek świadomości w energetyce rozproszonej

Grzegorz Grzegorzyca
ZPBE Energopomiar-Elektryka
Gliwice

ELEKTRYKA

TYTUŁEM WSTĘPU

Ksiądz Bronisław Bozowski - *„Nie ma przypadków, są znaki”*

Ten cytat towarzyszy mi od bardzo wielu lat.
Ksiądz Bronisław Bozowski był Kapłanem Akademickim i niezwykłym człowiekiem, który łączył duchowość z codziennością, sacrum z uśmiechem i mówił do ludzi prostych i uczonych, do inżynierów i studentów również.
Ja znaki staram się dostrzegać w świecie techniki, w pomiarach, w danych, w systemach, w zjawiskach, które inni często traktują jak rutynę.
Dla mnie te zjawiska mają sens.

GENEZA DZIAŁAŃ ORAZ INSPIRACJE TECHNICZNE

Mój Dziadek Wilchelm pracował jako Elektryk na kolei, był dobrze wyedukowany między innymi w Śląskich Technicznych Zakładach Naukowych i jeszcze przed II wojną światową zbudował na wsi, w której mieszkał pierwszą pralkę elektryczną.
Zrobił to nie po to, by zadziwić sąsiadów, ale by ulżyć pracy ludziom.
Dzadek miał intuicję, że energia i technika mogą być służbą człowiekowi**.**
To był jego znak świadomości technicznej zrodzonej z empatii.
Mój Ojciec Teodor pracował w Energopomiarze jako Inżynier automatyk elektroenergetyk, był wynalazcą i autorem patentów oraz myślał kategoriami systemów i stabilności. Ojciec nauczył mnie, że prawdziwe systemy nie tylko działają, ale w pewnym sensie „muszą rozumieć" co robią.
Przekazał mi, że inżynieria bez refleksji staje się tylko rzemiosłem, a Inżynier z refleksją współtwórcą sensu. Ojciec przekazał mi, że dobry Inżynier to ten, który nie tylko steruje, ale rozumie przyczyny i skutki.
A ja, przez czterdzieści lat pracy w Energopomiarze jako automatyk, elektroenergetyk i informatyk przemysłowy, utwierdzałem się w przekonaniu, że pomiar nie jest przypadkiem, lecz znakiem. Znakiem rozumienia świata i znakiem świadomości. Dlatego nie przypadkiem dziś rozmawiamy o metrologii systemowej bo właśnie w niej spotykają się technika, świadomość i człowiek**.**
Bo świadomość systemu zaczyna się nie od danych, lecz od zrozumienia tego, co dane *znaczą*.

TYTUŁEM WSTĘPU

I pewno nie jest przypadkiem, że podczas poprzedniego Konwersatorium tak głębokie i inspirujące wystąpienie przedstawił Ksiądz Korneliusz Matouszek Technik elektronik, który mówił nam tak profesjonalnie i świadomie o budowie kryzysowej odporności elektroprosumenckiej dla osłony kontrolnej kościelnej.
To było wystąpienie o tym, jak technika może chronić wspólnotę, służyć duchowi i dawać bezpieczeństwo.

A ja dziś chciałbym, żebyśmy ten wątek pociągnęli dalej ponieważ dobry pomiar to również akt troski o wspólnotę energetyczną i o samego człowieka. Bo jak mówił Ksiądz Bozowski *„znaki są po to, byśmy zobaczyli kierunek”*. A kierunek, który dziś widzę, prowadzi od techniki do świadomości, od pomiaru do zrozumienia, od danych do sensu.

Kilka faktów z historii Energopomiaru w dziedzinie metrologii elektroenergetycznej

- ZPBE Energopomiar posiada ponad siedemdziesięcioletnie doświadczenia w zakresie uruchamiania układów elektroenergetycznych,
- w prowadzonych pracach istotna rola zawsze przypadała i dalej przypada systemom pomiarowym,
- naturalną koleją losu było wprowadzenie już 40 lat temu technologii cyfrowej rejestracji i kompleksowej analizy przebiegów elektrycznych,
- wprowadzenie nowych technologii było możliwe dzięki analizie potrzeb, konsekwencji działania, zgromadzonej wiedzy Specjalistów, obserwacji tendencji światowych w zakresie technik pomiarowych i informatyki przemysłowej,
- komputerowe systemy pomiarowe są w Firmie sukcesywnie modernizowane i udoskonalane, tak aby nadążać za rozwijającą się techniką oraz potrzebami.

Specyfika pomiarów w elektroenergetyce

- ocena pracy układów wymaga wykonania szeregu specjalistycznych pomiarów, a dedykowane systemy pomiarowe mierzą i przetwarzają zarówno podstawowe wielkości elektryczne jak i wybrane parametry pochodne,
- specyfiką pomiarów w elektroenergetyce jest konieczność zapewnienia równoczesnego i skorelowanego pomiaru zarówno wolno jak i szybko zmiennych wielkości w długim oknie czasowym. Wszystkie rejestracje powinny być poddane wspólnej i syntetycznej analizie w dziedzinie czasu oraz częstotliwości,
- bez przemyślanego zgodnego z zasadami zaprojektowania strony informatycznej systemu pomiarowego nie ma mowy o poprawności pracy całego układu,
- podobne skutki budzi zaniedbywanie poprawności metrologicznej systemów pomiarowych.

Własności metrologiczne i wzorcowanie systemów pomiarowych

- tradycyjne rozwiązania bardzo często nie są w pełni weryfikowane metrologicznie,
- nowoczesne systemy pomiarowe powinny charakteryzować się poprawnością, wiarygodnością oraz stabilnością metrologiczną,
- wymagania dla układów rozproszonych powinny być ostrzejsze niż dla autonomicznych rozwiązań, ponieważ w układzie rozproszonym wynik działania jednego podsystemu jest wykorzystywany w innych miejscach szeroko rozumianego całego systemu pomiarowego,
- każdy skomplikowany system pomiarowy powinien być poddawany procedurze sprawdzania i okresowego wzorcowania poprzez specjalistyczne, posiadające odpowiednie doświadczenie, wyposażone we właściwe wzorce, specjalistyczne oprzyrządowanie oraz uprawnienia Instytucje metrologiczne.

EWOLUCJA POMIARU – OD REJESTRATORA DO SYSTEMU

Kiedy zaczynałem swoją drogę zawodową, pomiar wyglądał zupełnie inaczej niż dziś. Nie było sieci komputerowych, nie było systemów chmurowych ani rejestratorów cyfrowych w nowoczesnym sensie. A mimo to tamte systemy były niezwykle nowatorskie, dokładne, wiarygodne i ekscytujące.

W latach 80. korzystaliśmy z zaawansowanych magnetyczno-cyfrowych rejestratorów Bell & Howell, które potrafiły bardzo wiernie odwzorować dynamiczne zjawiska w paśmie od DC do 1MHz oraz autorskiego oprogramowania SAS do kompleksowych analiz przebiegów czasowych,

Do dziś mam ogromny szacunek do tamtej technologii, bo dawała poczucie kontaktu z rzeczywistym procesem fizycznym, w zakresie obecnie niemożliwym do zrealizowania.

Tamte czasy to była droga budowy świadomości pomiarowej, której elementem było gruntowne poznawanie zjawisk elektrycznych oraz zróżnicowanych dynamik pracy układów.

EWOLUCJA POMIARU – OD REJESTRATORA DO SYSTEMU

- w tym pionierskim okresie byłem Twórcą oprogramowania Systemu Akwizycji Sygnałów SAS, które w 1986 roku było czymś całkowicie nowatorskim. SAS był system w pełni graficznym, z ekranowym przedstawieniem przebiegów czasowych i miał funkcjonalność wirtualnych przyrządów pomiarowych, która wówczas nie istniała w świadomości,
- SAS pozwalał na symulację mierników, analizatorów i rejestratorów w środowisku komputerowym. Dziś powiedzielibyśmy, że to była wczesna forma *virtual instrumentation*, na długo przed tym, zanim National Instruments wprowadziło tę koncepcję na rynek.
- to była autentyczna innowacja zrodzona z pasji i potrzeby. Chciałem, aby inżynier miał narzędzie, które nie tylko mierzy, ale też wizualizuje, analizuje i uczy zrozumienia zjawisk.
- w tamtych latach zrozumienie było równie ważne jak sam pomiar.

EWOLUCJA POMIARU – OD REJESTRATORA DO SYSTEMU

- zrealizowałem wtedy bardzo wiele unikalnych i zróżnicowanych tematycznie pomiarów. Przykładem mogą być unikalne w skali światowej rejestracje zwarć na linii 750kV, dynamiczne stany przejściowe w sieciach przesyłowych, pomiary napięć i prądów o ogromnych wartościach chwilowych,
- to były prawdziwe doświadczenia inżynierskie polegające połączeniu ryzyka, odpowiedzialności i precyzji,
- dziś, z przyczyn techniczno-organizacyjnych, finansowych i formalnych, takie pomiary są rzadkością, a praktycznie wręcz niemożliwe do wykonania. Dlatego te dawne rejestracje mają unikalną wartość historyczną i poznawczą tym bardziej, że są bardzo dobre jakościowo oraz kompleksowe,
- wskazane pomiary były świadectwem czasów, gdy metrologia miała twarz człowieka – inżyniera, który wiedział i miał świadomość, co mierzy, dlaczego i z jakim skutkiem.

EWOLUCJA POMIARU – OD REJESTRATORA DO SYSTEMU

- z perspektywy 40 lat widzę, że tamta epoka nauczyła mnie szacunku do pomiaru jako aktu odpowiedzialności. Każda wartość, każdy trend, każda nieciągłość sygnału miała znaczenie, bo niosła informację o stanie realnego systemu,
- właśnie z tej szkoły, z tej „metrologii dotykalnej" narodziło się później myślenie systemowe, że pomiar nie jest pojedynczym aktem rejestracji, lecz częścią większego organizmu poznawczego,
- dziś mówimy o inteligentnych czujnikach, edge computingu, IoT, FPGA i RTOS. Ale idea jest ta sama: uchwycić rzeczywistość w sposób wiarygodny, spójny i znaczący. A tego nauczyły mnie właśnie „stare", magnetyczne rejestratory. Można więc powiedzieć, że tamte urządzenia były jak prymitywne, lecz niezwykle wierne zmysły systemu i na bazie tamtych doświadczeń zrodziła się dzisiejsza metrologia systemowa.

KONKLUZJA

I właśnie dlatego, gdy dziś mówimy o energetyce rozproszonej, warto pamiętać, że każda nowoczesna sieć zaczyna się od dobrej metrologii.

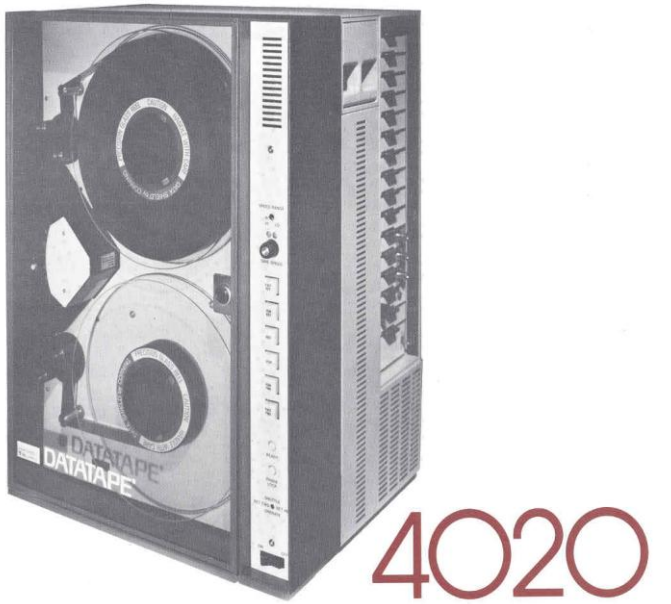
A dobra metrologia zaczyna się od świadomości tego, co się mierzy.

Przykład systemu rejestracji magnetyczno-cyfrowej

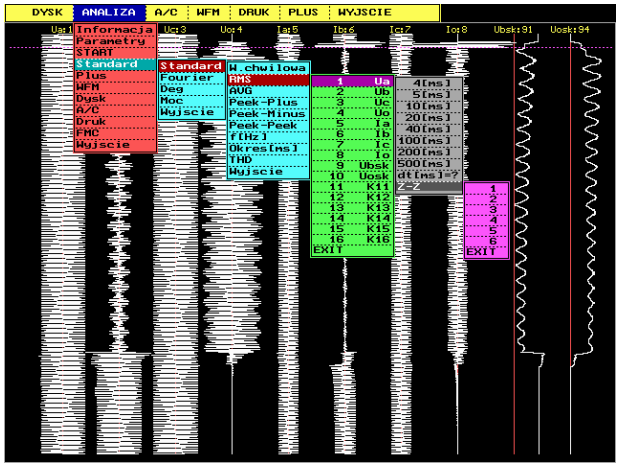
- magnetofon pomiarowy 4020A firmy BELL & HOWELL wraz z wielokanałowym systemem szerokopasmowych wzmacniaczy pomiarowych oraz filtrów,
- przetworniki A/C K1180 firmy KAYSER,
- komputer IBM PC z zestawem interfejsów zapewniających współpracę z K1180,
- specjalistyczne autorskie oprogramowanie SAS do akwizycji i analizy przebiegów.

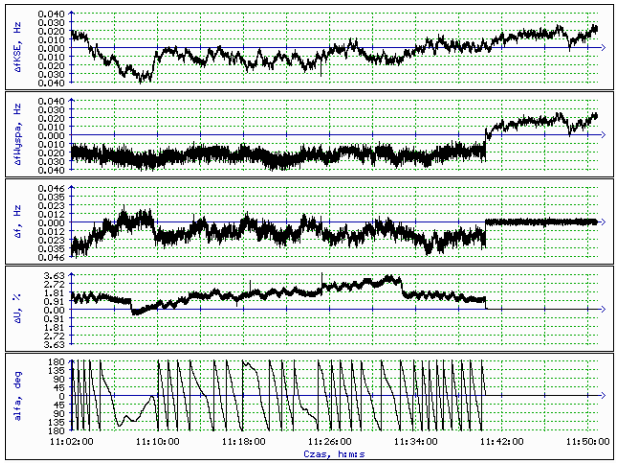
Parametry techniczne systemu rejestracji magnetyczno-cyfrowej

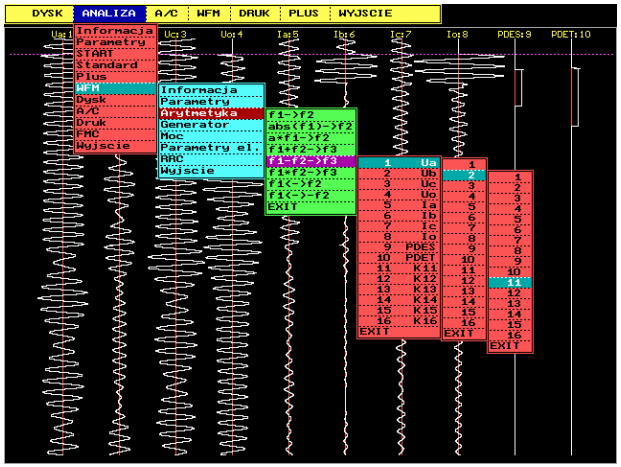
- 14 kanałów analogowych (pasmo przenoszenia 0…80kHz dla zapisu w modulacji FM, 400Hz…1MHz dla zapisu w modulacji AM),
- 2 kanały cyfrowe PCM po 2560 kBit/s (cyfrowy zapis dodatkowych wielkości analogowych, dwustanowych z przetworników K1180).

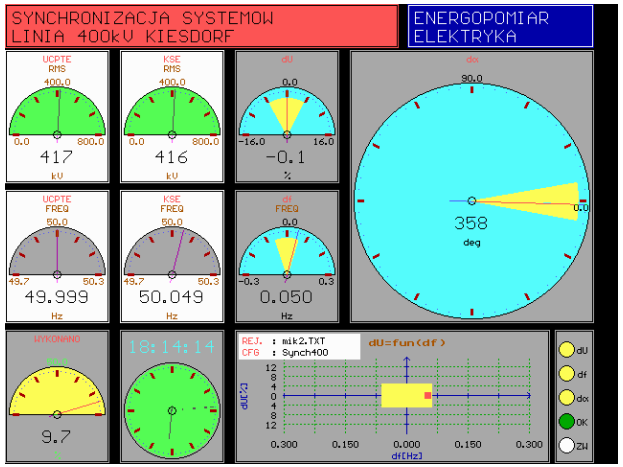


Przykłady oprogramowania pomiarowego

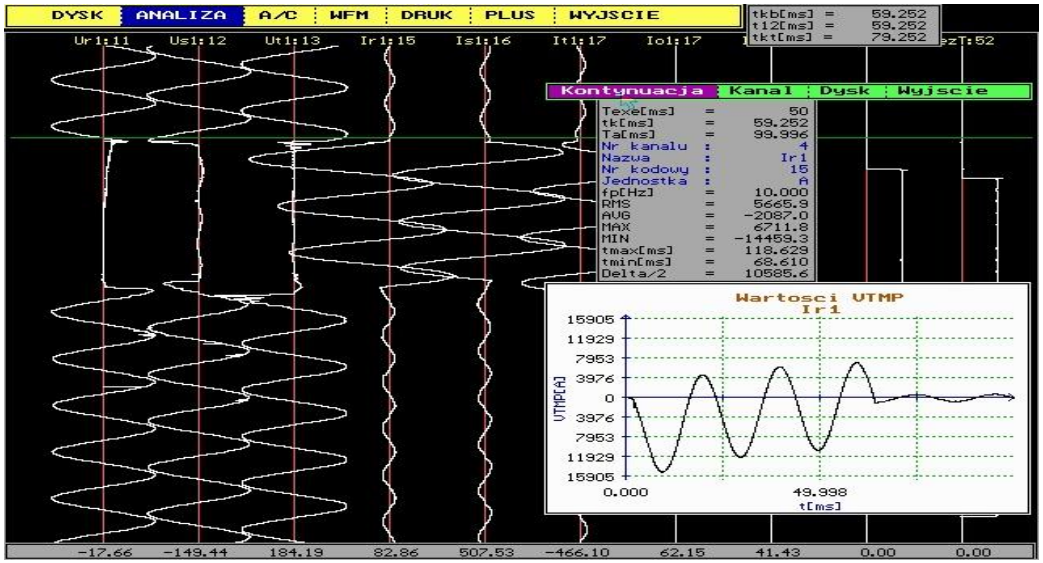


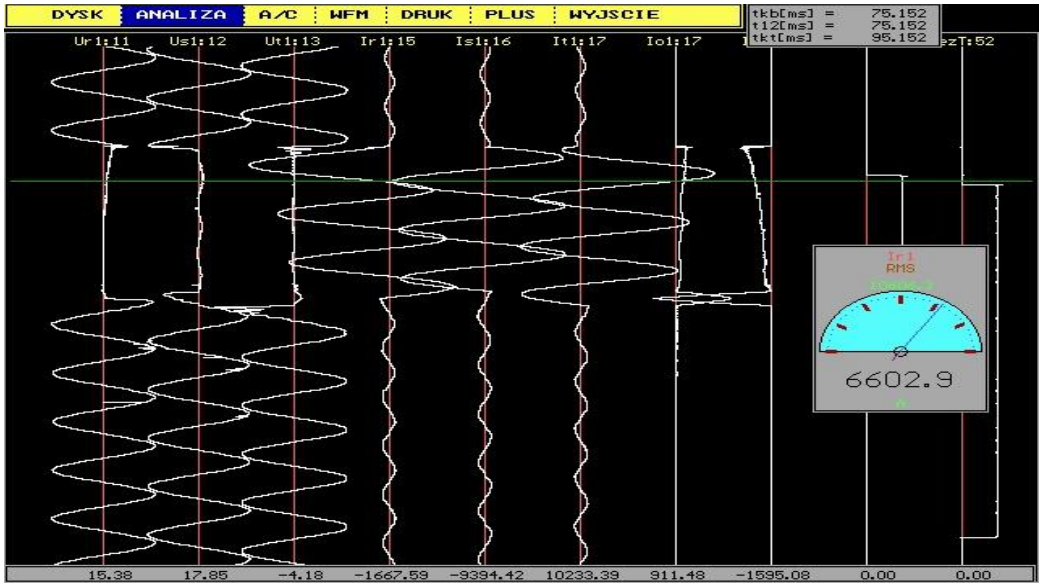






Przykłady oprogramowania pomiarowego

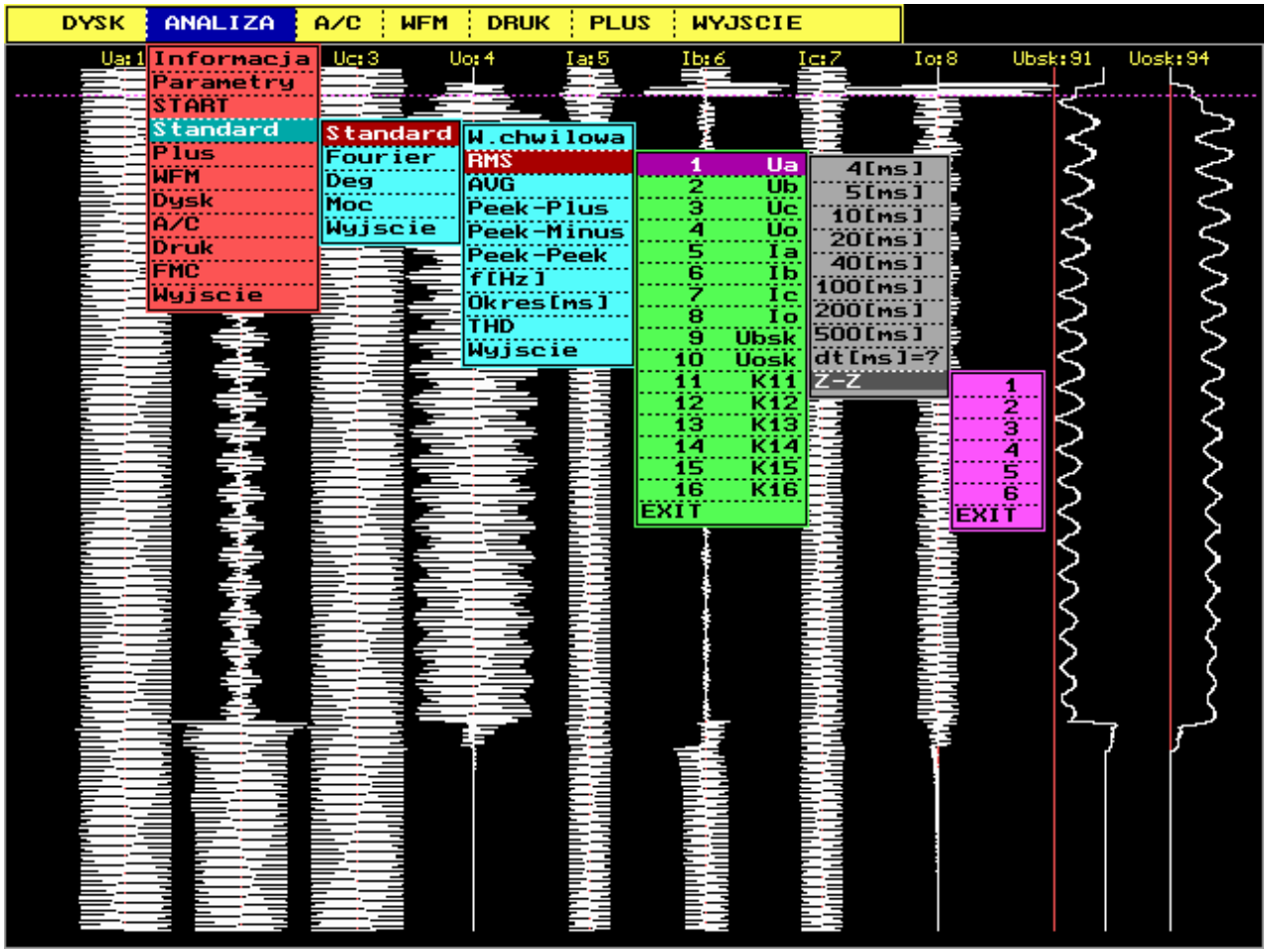




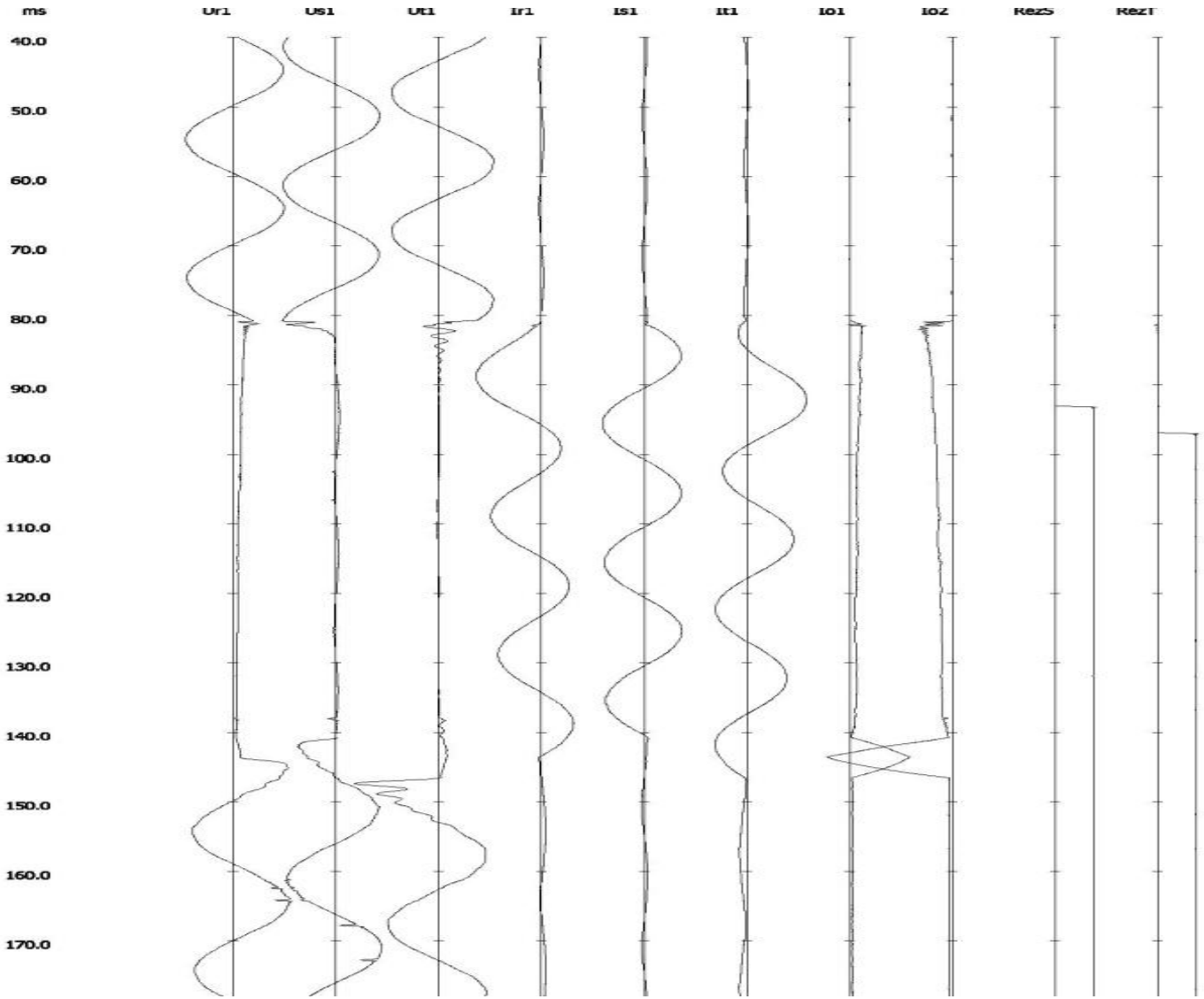
Przykłady zrealizowanych pomiarów

- specyfiką pomiarów w elektroenergetyce jest bardzo szeroki i wieloaspektowy zakres badań. Konieczne jest zapewnienie równoczesnego pomiaru zarówno wolno jak i szybko zmiennych wielkości w długim oknie czasowym,
- w dalszej części przedstawiono wybrane przykłady pomiarów zarejestrowane podczas prób zrealizowanych w SEE.

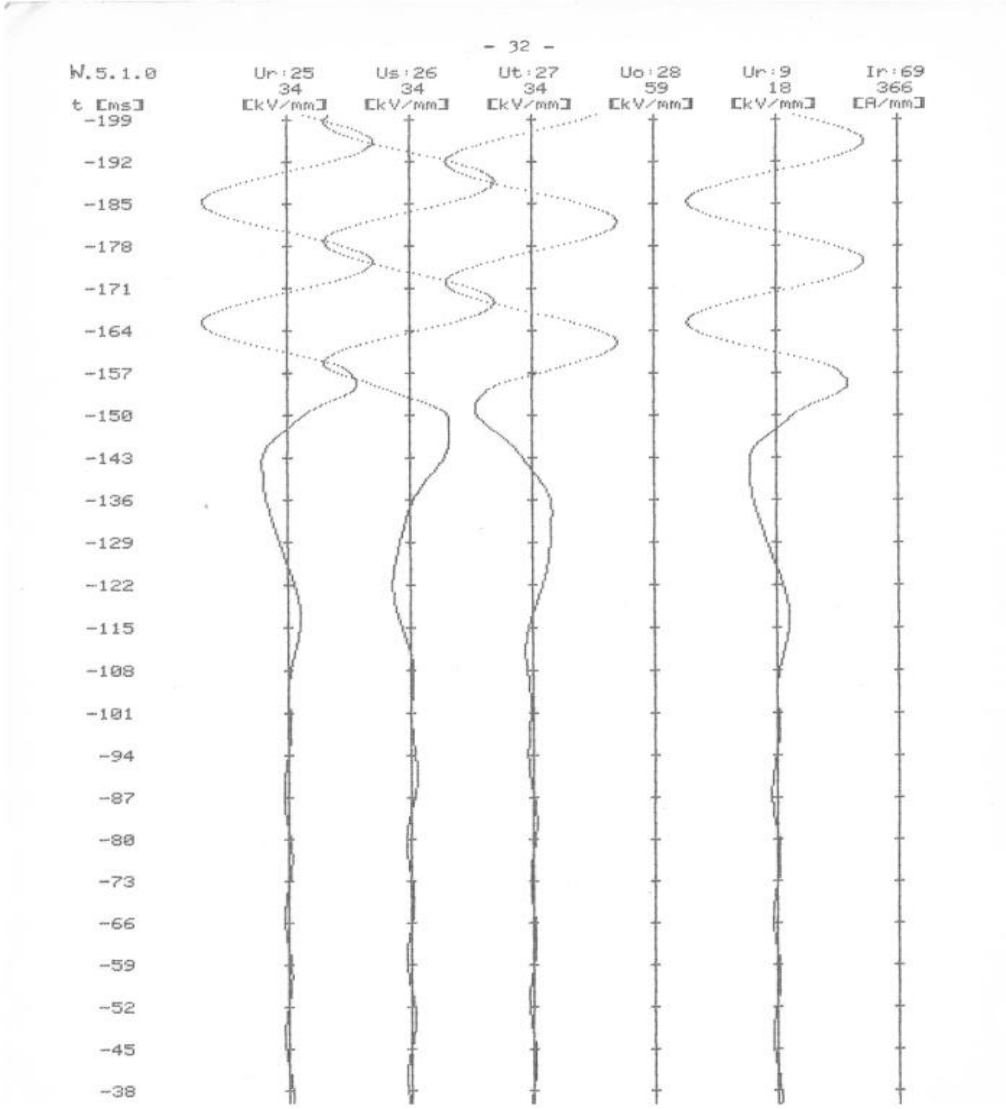
Rejestracja przebiegów zwarciowych (zwarcie jednofazowe linii 750kV, 1991 rok)



Rejestracja przebiegów zwarciowych (zwarcie trójfazowe linii 220kV, 1987 rok)



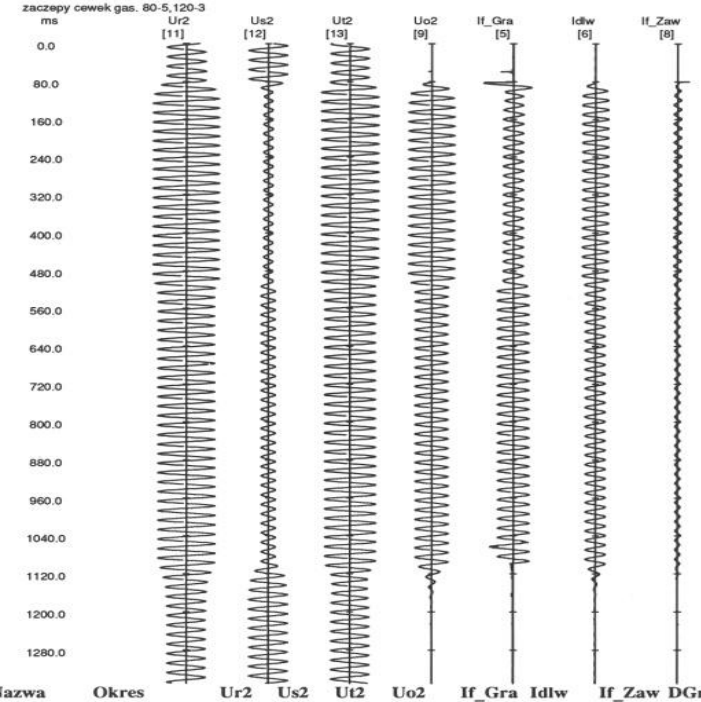
Rejestracja przebiegów łączeniowych 400kV (Tucznawa, Rzeszów, Tarnów, 1986 rok)



Rejestracja przebiegów ziemnozwarciowych sieci 15kV (1995 rok)

8.2.5 Próba nr 9 (powtórzenie próby nr 8).

Numer proby : 1.7b
18/01/1995 # 09:29:11
ZE Opole, rozdz.15kV Zakrzow
doziemiana linia Gracze, p.30
Proby ziemnozwarciowe 15kV
Linia Gracze na systemie II
zwarcie metaliczne, kp=-10.3%
zaczepy cewek gas. 80-5,120-3

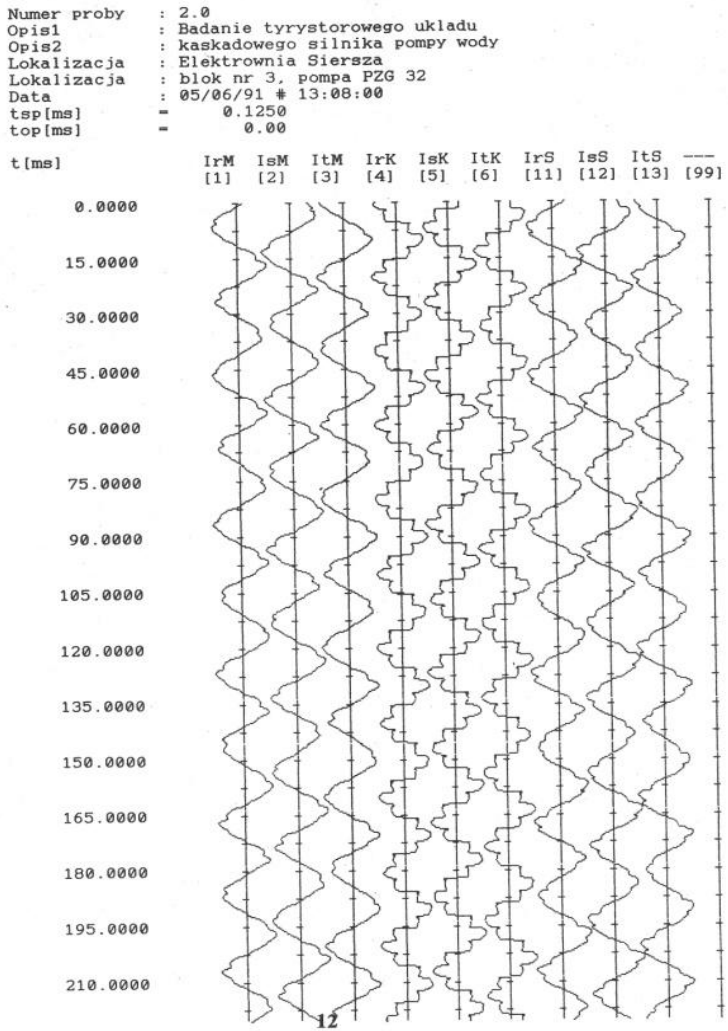


Nazwa wielkości	Okres analizy	Ur2 [V]	Us2 [V]	Ut2 [V]	Uo2 [V]	If_Gra [A]	Idlw [A]	If_Zaw [A]	DGra [deg]	DZaw [deg]
RMS_AVG	przed doz.	9225	9156	9139	#	#	#	#	#	#
RMS_AVG	doz. bez wym.	16239	2227	14162	8535	16.1	113.6	5.3	271	75
RMS_AVG	doz. z wym.	13797	3345	12696	6086	25.1	85.3	3.8	326	75

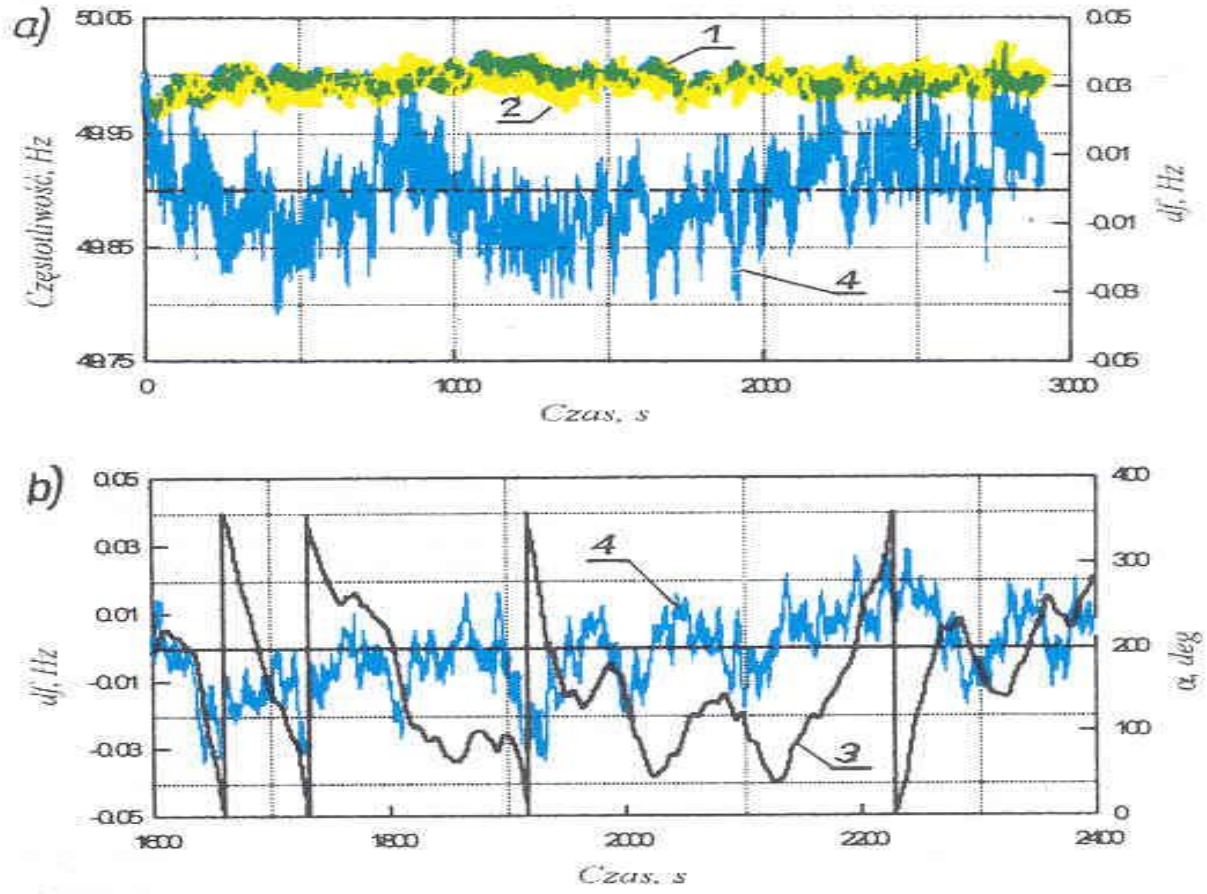
t_AWSC - (421 - 1038)[ms]

ENERGOPOMIAR ELEKTRYKA

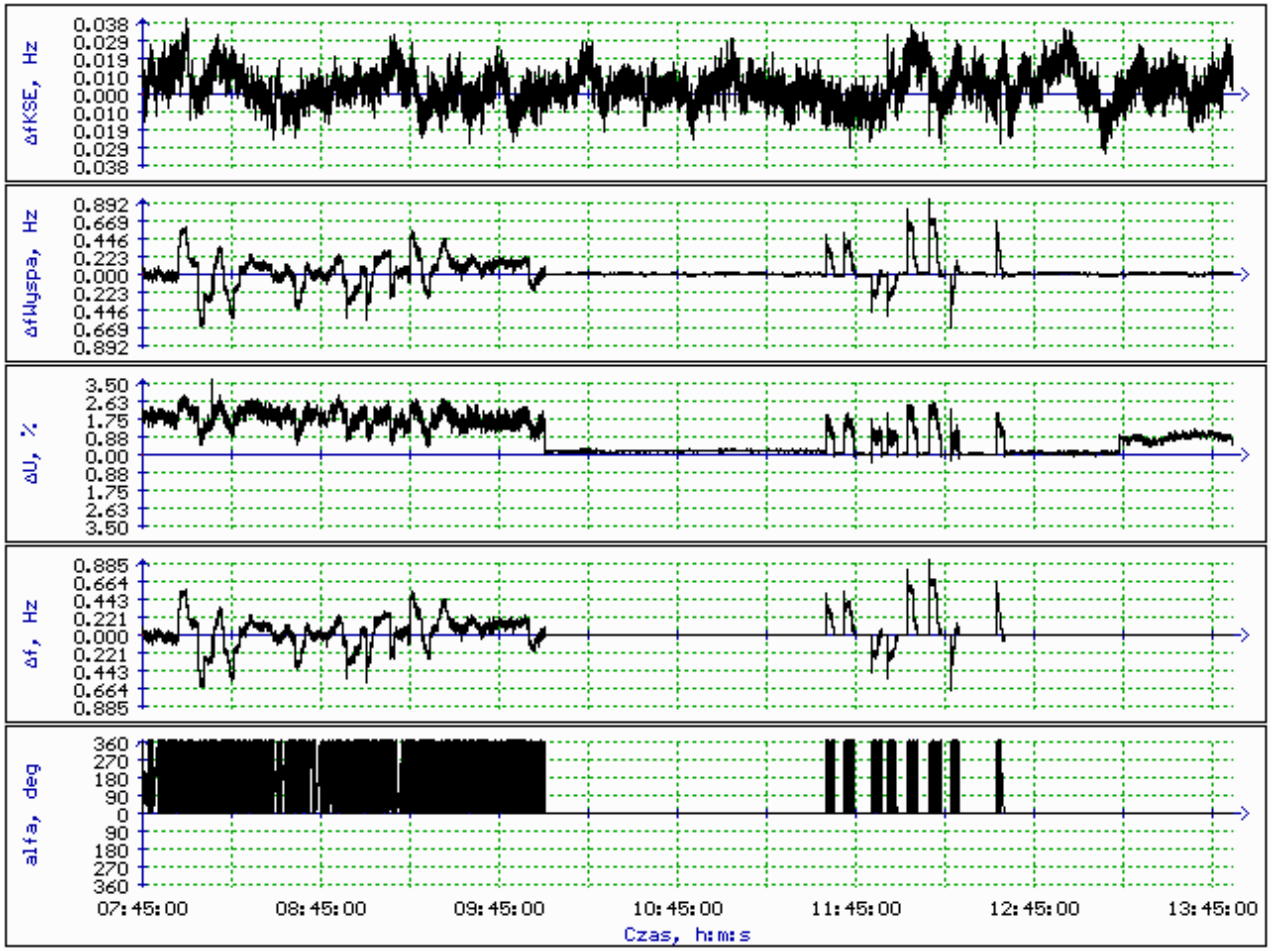
Przebiegi z kaskadowego układu regulacji silnika pompy wody 3.15MW (1991 rok)



Rejestracja parametrów kryterialnych procesów łączeniowych przed synchronizacją CENTREL i UCPTE (1995 rok)



Rejestracja parametrów kryterialnych procesów łączeniowych dla pracy wyspowej (1997 rok)

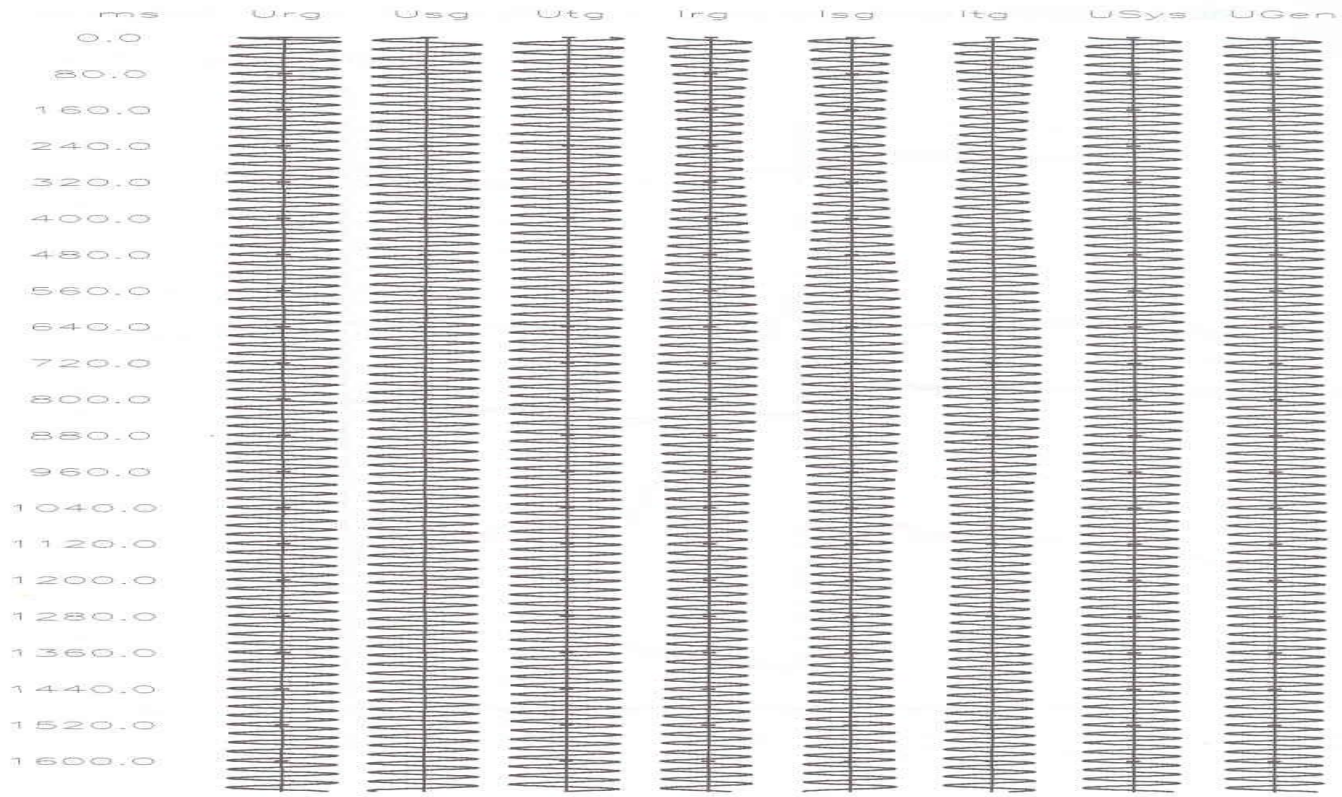


Rejestracja parametrów kryterialnych oraz wybranych wielkości generatora (1996 rok)

W trakcie próby zarejestrowano następujące przebiegi czasowe parametrów kryterialnych procesu łączeniowego oraz wybranych wielkości generatora nr 1.

Stany nieustalone w obrębie synchronizacji układu wyspowego z KSE (rok 1996)

Kolejny rysunek prezentuje przebiegi stanów nieustalonych w obrębie momentu zamknięcia wyłącznika sprzęgła.



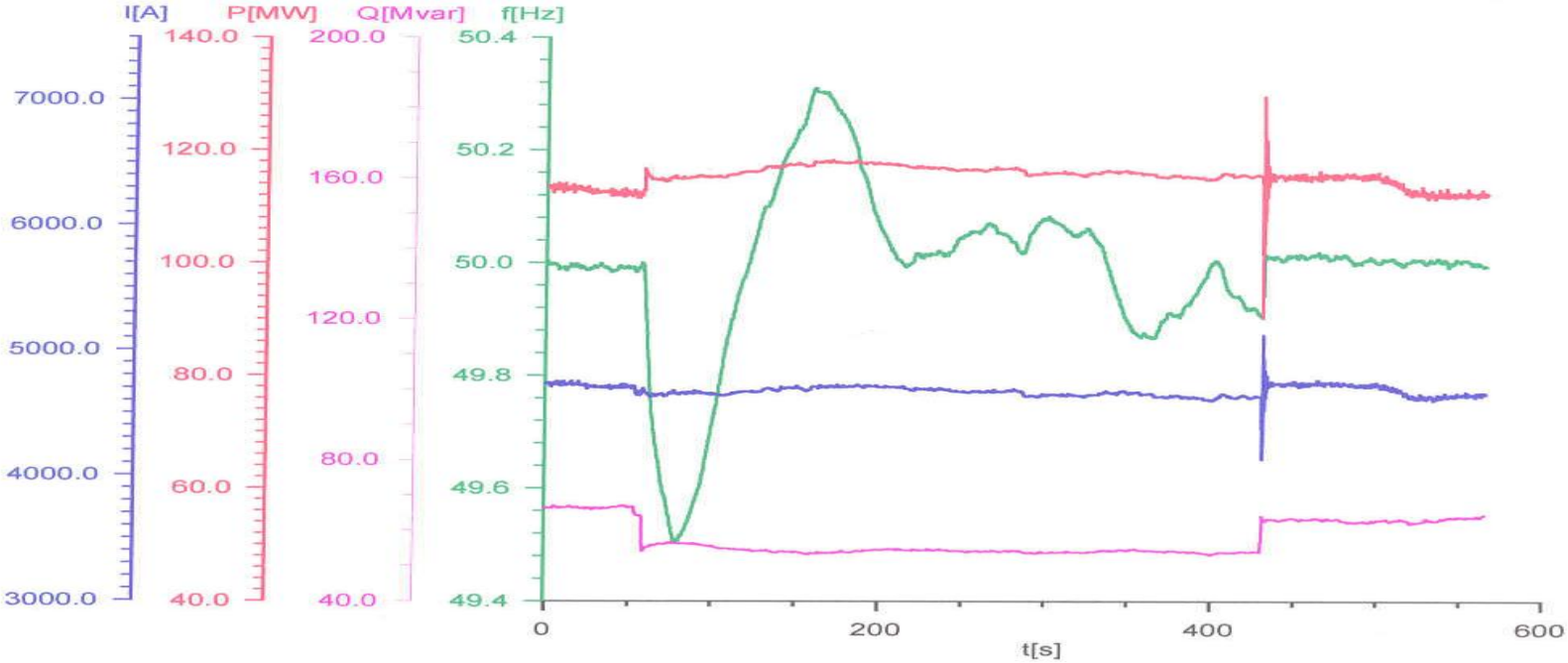
Stan nieustalony charakteryzuje się nieznacznym zwiększeniem wartości prądów oraz krótkotrwałą oscylacją przebiegów.

Wydzielenie i synchronizacji z KSE układu wyspowego (1996 rok)

Próba nr 12, wydzielanie układu wyspowego i ponowna synchronizacja z KSE

Wydzielanie układu wyspowego (godz. 12:16) przy przepływie przez sprzęgło mocy 3.0 MW od KSE do wyspy i ponowna synchronizacja wyspy z KSE (godz. 12:22).

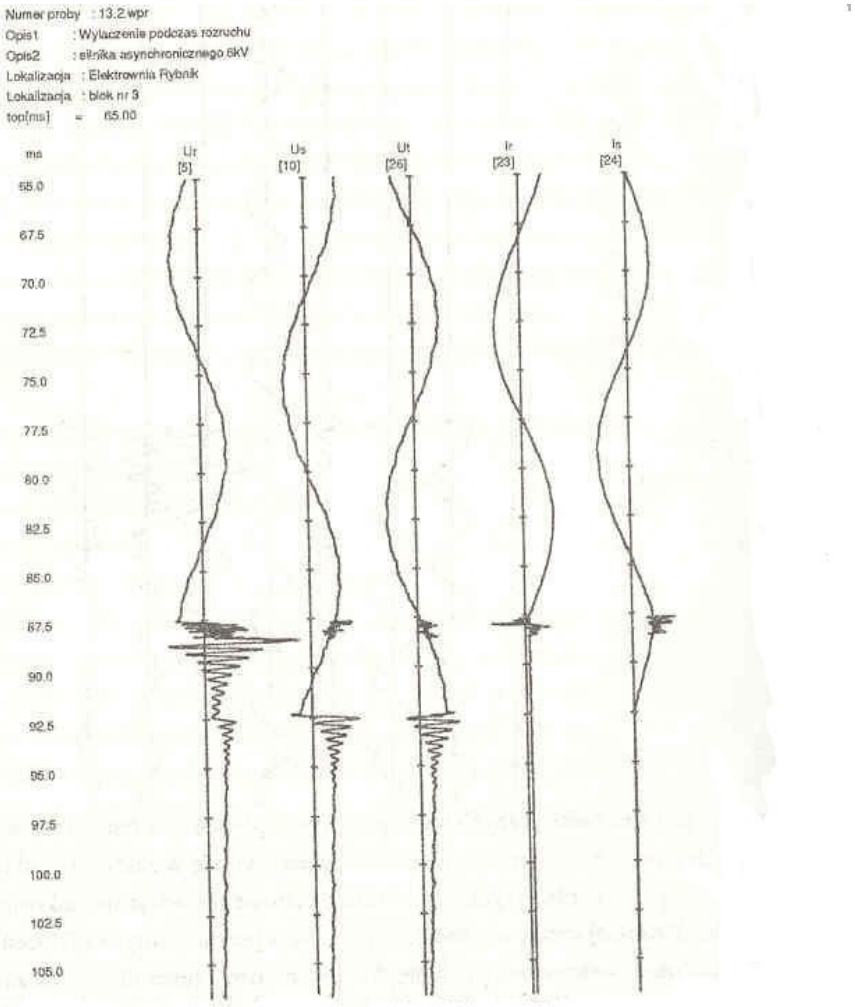
Przebiegi czasowe parametrów I, P, Q, f generatora przedstawiono na poniższym rysunku.



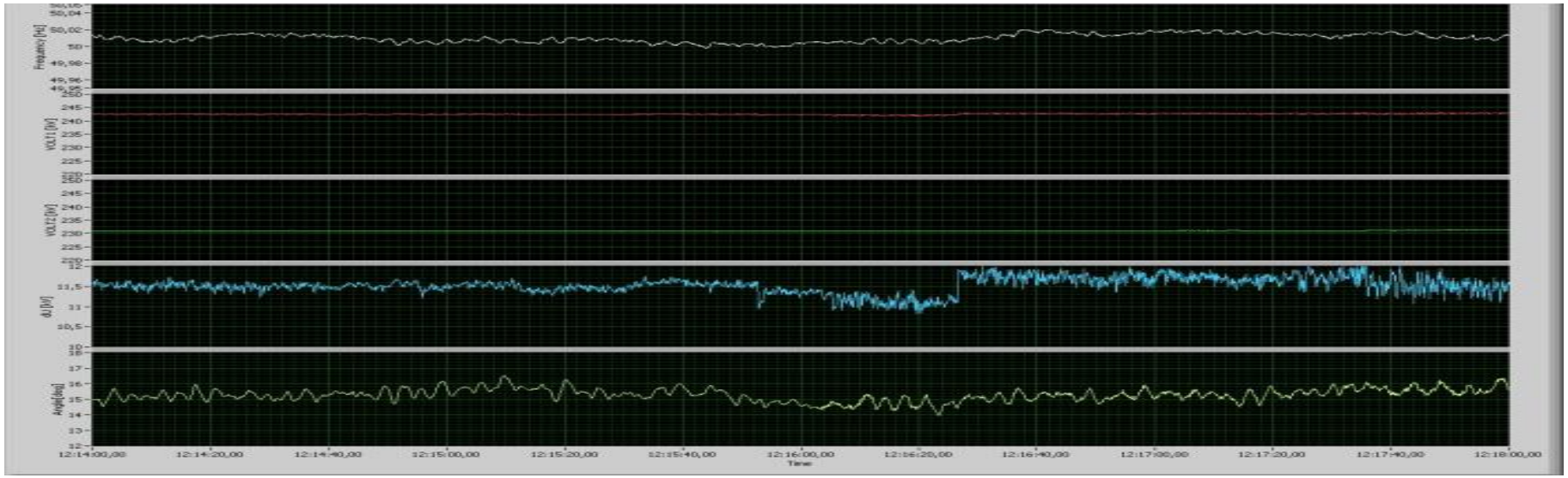
Wyznaczono następujące charakterystyczne parametry :

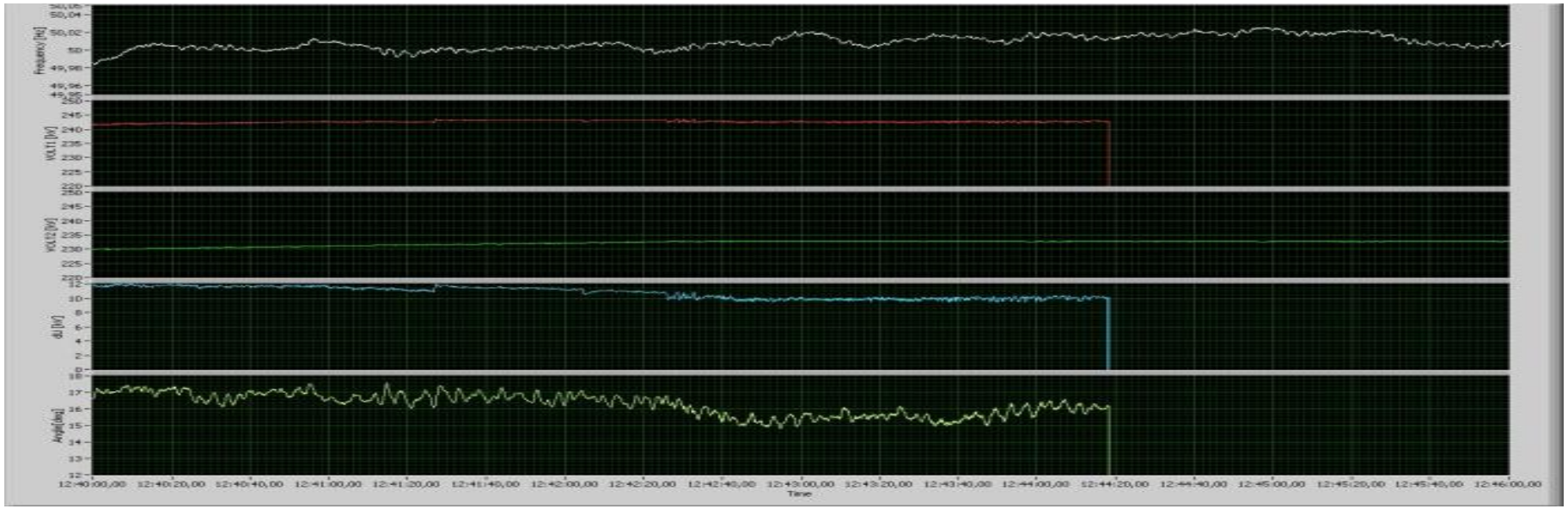
- czas trwania pracy wyspowej: 6min.5s.
- największą i najmniejszą częstotliwość w czasie ustalania się pracy generatora po otwarciu sprzęgła: f_{max}=50.33Hz, f_{min}=49.52Hz,
- największą i najmniejszą moc czynną w czasie ustalania się pracy generatora po otwarciu sprzęgła: P_{max}=118.0MW, P_{min}=116.0MW,
- różnicę częstotliwości Δf bezpośrednio przed momentem synchronizacji : Δf=-0.108Hz,
- różnicę napięć ΔU bezpośrednio przed momentem synchronizacji: ΔU=1.3%,
- największą i najmniejszą moc czynną w momencie synchronizacji: P_{max}=129.0MW, P_{min}=91.0MW.

Rejestracja przepięć
(sieć 6kV elektrowni, 1988 rok)



Oddziaływania regulacyjne i zamykanie pierścienia sieciowego 220kV (2007 rok)





KONTYNUACJA – OD REJESTRATORA DO SYSTEMÓW INTELIGENTNYCH

- z biegiem lat, pojawiły się kolejne rozwiązania, coraz bardziej złożone i zintegrowane,
- to był czas, gdy metrologia zaczęła się łączyć z informatyką przemysłową.
- zaczęliśmy dostrzegać, że kluczem nie jest już tylko precyzja pomiaru, ale także spójność metrologiczna, wiarygodność, synchronizacja i przepływ informacji,
- pojawiły się systemy cyfrowe nowej generacji oparte na deterministycznych środowiskach czasu rzeczywistego (RTOS), na modułowych platformach VME, VXI i PXI, a później na programowalnych układach FPGA, które pozwalały analizować dane już w momencie ich pozyskiwania,
- to była ogromna zmiana jakościowa ponieważ <u>pomiar przestał być końcem, a stał się początkiem procesu poznawczego</u>.

KONTYNUACJA – OD REJESTRATORA DO SYSTEMÓW INTELIGENTNYCH

To był też czas, w którym zaczęliśmy myśleć o rozproszeniu pomiarów dążąc do tego aby system składał się z wielu węzłów rejestrujących, rozsianych po różnych obiektach i połączonych wspólną synchronizacją czasu. Wtedy po raz pierwszy pojawiły się koncepcje, które dziś nazwalibyśmy architekturą edge czyli przetwarzaniem danych *blisko źródła*, z minimalnymi opóźnieniami.

KONTYNUACJA – OD REJESTRATORA DO SYSTEMÓW INTELIGENTNYCH

W mojej praktyce inżynierskiej zacząłem stosować rozwiązania, które łączyły w sobie cechy klasycznej metrologii z nowoczesną infrastrukturą przemysłowego IT:

- deterministyczny czas reakcji,
- redundantną akwizycję danych,
- kontrolowaną niepewność pomiaru,
- i możliwość analizy predykcyjnej.

Zaczęliśmy mówić o systemach z rozszerzoną funkcjonalnością, a więc o takich, które nie tylko mierzą, ale także rozumieją kontekst zjawisk i potrafią zareagować.

KONTYNUACJA – OD REJESTRATORA DO SYSTEMÓW INTELIGENTNYCH

- z perspektywy czasu mogę powiedzieć, że to właśnie wtedy narodziła się w mojej głowie idea, którą dziś określam mianem metrologii systemowej,
- zrozumiałem, że pomiar nie jest już tylko aktem technicznym, ale elementem systemu poznania, który łączy człowieka, technologię i energię w jeden organizm,
- i właśnie w tym miejscu naturalnie pojawia się pytanie: jeśli pomiar stał się systemem, a system stał się rozproszony to czy możemy powiedzieć, że taka energetyka staje się świadoma samej siebie?,
- na to pytanie chciałbym odpowiedzieć w kolejnej części, mówiąc o metrologii systemowej jako nowym języku energetyki rozproszonej.

METROLOGIA SYSTEMOWA – NOWY JĘZYK ENERGETYKI ROZPROSZONEJ

- dziś mówimy bardzo dużo o energetyce rozproszonej. Mamy już w miarę ugruntowaną wiedzę o panelach fotowoltaicznych, magazynach energii, stacjach ładowania, mikrosieciach oraz o innych elementach nowych rozwiązań,
- to słowa, które już weszły do języka publicznego ale wciąż zbyt rzadko zadajemy sobie pytanie: jak taki system w ogóle „wie”, co się w nim dzieje?
- bo jeśli źródeł jest wiele, odbiorów wiele, przepływy są dynamiczne, a stany chwilowe nieustannie się zmieniają, to jedynym sposobem utrzymania równowagi jest świadomość systemu.

NIE MA ŚWIADOMOŚCI BEZ POMIARU

Świadomość to zdolność poznania i reagowania. W biologii to rola układu nerwowego. W technice to właśnie rola metrologii systemowej.

Tradycyjny pomiar dawał wynik: 230V, 5A, 50Hz. Dziś pomiar musi dawać sens:

- co poszczególne wartości znaczą w kontekście całego systemu?
- czy to normalny stan, czy symptom zbliżającej się awarii?
- czy energia przepływa właściwym kierunkiem, w odpowiednim czasie, między właściwymi węzłami?

NIE MA ŚWIADOMOŚCI BEZ POMIARU

Metrologia systemowa nie jest już zbiorem punktowych pomiarów. To spójny organizm poznawczy, który:

- synchronizuje dane z wielu źródeł w czasie rzeczywistym,
- nadaje im kontekst i wagę,
- zapewnia ich integralność i wiarygodność,
- a następnie dostarcza systemowi i człowiekowi informacji, na podstawie której można podjąć decyzję.

NIE MA ŚWIADOMOŚCI BEZ POMIARU

- przez lata nauczyłem się, że każdy system pomiarowy ma w sobie coś z żywego organizmu. Przyrządy to jego zmysły, transmisja danych to jego układ nerwowy, a analiza to jego świadomość,
- w klasycznej automatyce pomiar był narzędziem kontroli, a w metrologii systemowej pomiar staje się formą komunikacji,
- to fundamentalna zmiana polegająca na tym, że pomiar nie „informuje”, lecz rozmawia z człowiekiem, z algorytmem, z innymi węzłami sieci.

ŚWIADOMOŚĆ ZACZYNA SIĘ OD OBSERWACJI

- w metrologii, tak jak w życiu, świadomość zaczyna się od pomiaru, od umiejętności obserwowania, zapisywania, analizowania, a potem interpretowania znaków,
- od wielu lat jako sportowiec amator stosuję tę zasadę również wobec siebie. Codziennie monitoruję wagę, ciśnienie, tętno, PWV, skład ciała, jakość snu. Mam dane pozyskiwane z wagi oraz innych urządzeń Withings, zegarków Polar, liczników Wahoo, systemów Strava. Rejestruję trendy, korelacje, fluktuacje. Ale to nie jest obsesja danych. To praktyka świadomości, dokładnie taka sama, jak ta, którą stosujemy w energetyce rozproszonej,
- bo zarówno system energetyczny, jak i człowiek, funkcjonują w oparciu o sprzężenie zwrotne. Kiedy coś zmieniam np. dietę, trening, rytm dnia to system (czyli organizm) reaguje. I ta reakcja jest informacją zwrotną, którą można zinterpretować.

ENERGETYKA ROZPROSZONA JAKO METAFORA LUDZKIEGO SYSTEMU

- Energetyka rozproszona to w gruncie rzeczy **model świadomości zbiorowej**. Każdy węzeł czy to Elektroprosument, transformator, czy odbiorca lub każdy inny element całości ma swoją lokalną percepcję i autonomię, ale wszyscy razem tworzymy całość, która musi zachować równowagę,
- podobnie jest w człowieku. Każdy organ, każda komórka ma swoje lokalne zadania, ale całość utrzymuje równowagę tylko wtedy, gdy istnieje <u>świadoma komunikacja</u> między częściami,
- w tym sensie energetyka rozproszona jest lustrzanym odbiciem organizmu ludzkiego, a pomiar to jej-jego zmysł.

HETEROGENICZNOŚĆ – NOWY WYMIAR POMIARU

Dzisiejszy system energetyczny to nie tylko napięcie, prąd i moc.

To także:

- dane pogodowe i środowiskowe,
- dane ekonomiczne (ceny energii, taryfy dynamiczne),
- dane społeczne i behawioralne (profil Elektroprosumenta, wzorce zużycia),
- dane diagnostyczne (stan techniczny urządzeń, predykcja awarii).

Każdy typ danych ma inną naturę, czas, niepewność i wagę.

To wymusza nową metrologię – *metrologię kontekstową*.

HETEROGENICZNOŚĆ = NOWY WYMIAR ŚWIADOMOŚCI

Każda klasa danych to inny „zmysł” systemu. Pomiar heterogeniczny czyni system pełniejszym poznawczo:

- daje mu percepcję czasu, przestrzeni i kontekstu,
- pozwala na *kros-korelacje* (np. między pogodą, obciążeniem, a stanem zdrowia urządzeń),
- umożliwia predykcję opartą o rzeczywistość, nie tylko sygnał.

ŚWIADOMOŚĆ SYSTEMU

- Proszę Państwa, każdy z nas ma świadomość swojego ciała. Wiemy, że kiedy spada nam ciśnienie to czujemy osłabienie, a kiedy brakuje tlenu to organizm natychmiast reaguje,
- System elektroenergetyczny też ma swoje ciśnienie to napięcie, częstotliwość, przepływ mocy,
- ale czy on *wie*, co się z nim dzieje? Czy potrafi rozpoznać własny stan tak, jak człowiek rozpoznaje siebie?
- jeśli tak to możemy mówić o jego <u>świadomości systemowej</u>.

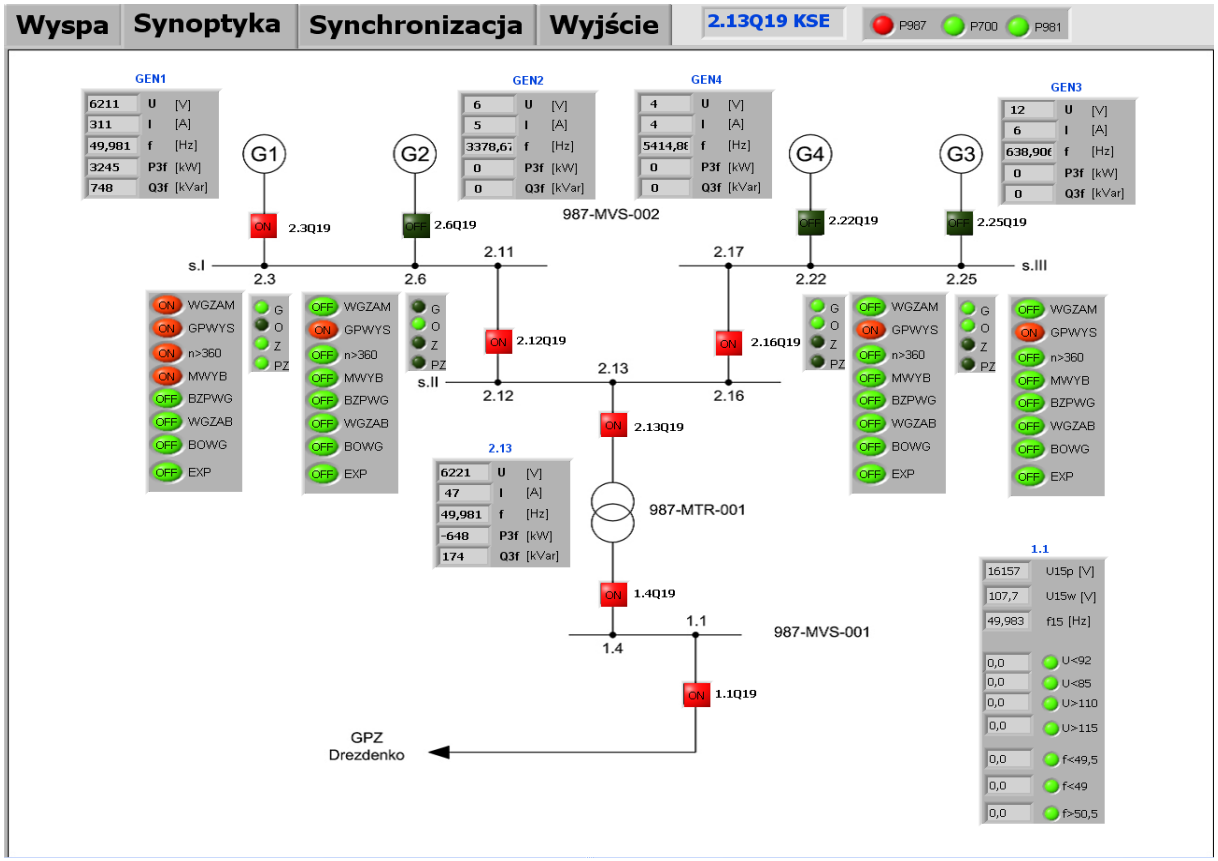
ŚWIADOMOŚĆ SYSTEMU

- świadomość systemu to zdolność do rozpoznawania, interpretacji i reagowania na własny stan w kontekście otoczenia.
- nie chodzi o świadomość filozoficzną, ale o *funkcjonalną zdolność do samoobserwacji i adaptacji,*
- System świadomy to taki, który:
  - mierzy siebie (metrologia wewnętrzna),
  - rozumie relacje (modelowanie i korelacja danych),
  - przewiduje (analiza trendów, AI),
  - i reaguje (autonomiczna decyzja w granicach sensu ustalonego przez człowieka).

System MUW-AWIS (automatyka dedykowana do STD)

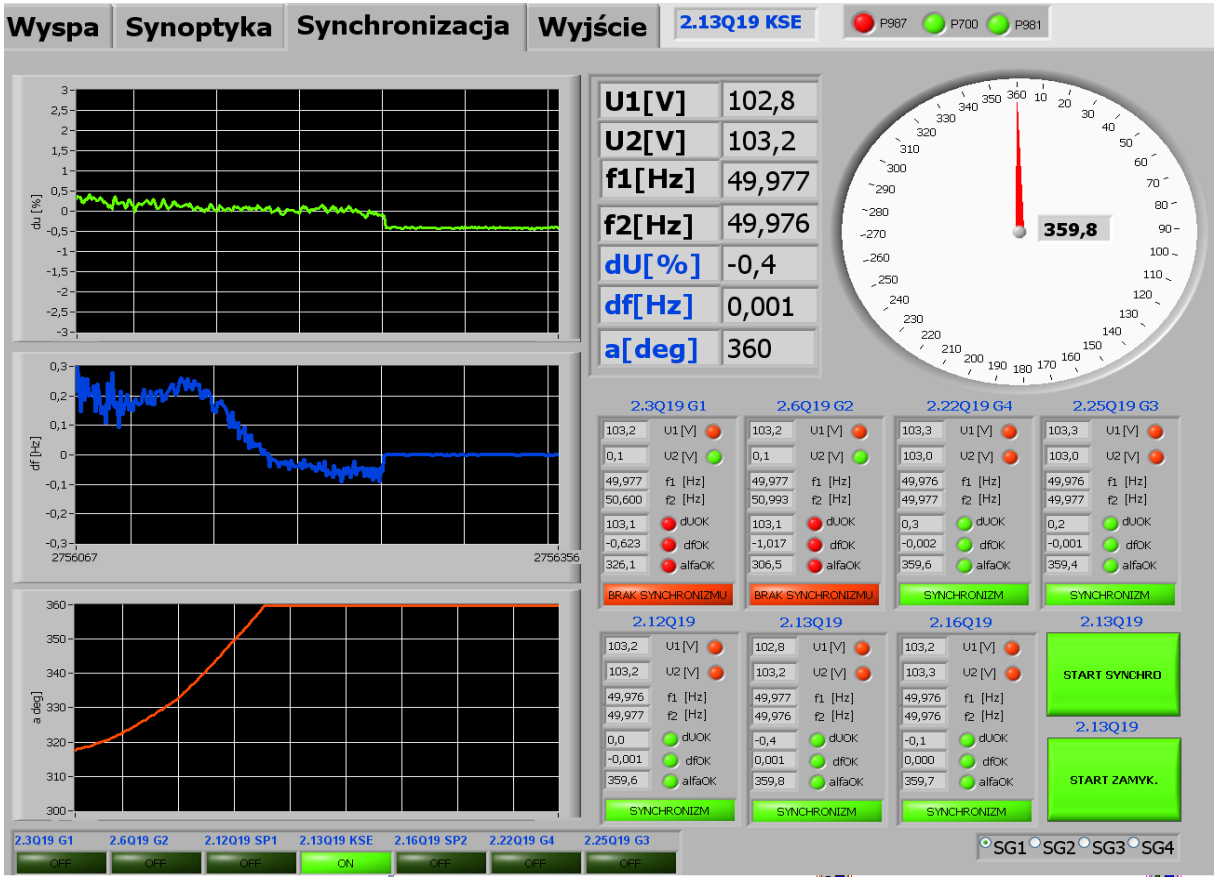
- ZPBE Energopomiar-Elektryka od wielu lat zajmował się problemami pewności zasilania elektrycznego określonych elementów pracujących w układzie elektroenergetycznym,
- konsekwencją rozwoju było powstanie systemu MUW-AWiS dedykowanego do wydzielania i nadzoru pracy układów wyspowych oraz realizacji operacji łączeniowych w UEE,
- MUW-AWiS posiadający rozszerzoną funkcjonalność PMU realizuje kompleksowo zadania wspomagania pracy UEE np. zakładu przemysłowego lub prosumenta nieprzemysłowego i może być istotnym elementem sieciowego terminala dostępowego STD.

UKŁAD ELEKTROENERGETYCZNY UEE ZAKŁADU PRZEMYSŁOWEGO



AUTOMATYKA WYDZIELANIA UEE ZAKŁADU PRZEMYSŁOWEGO

AUTOMATYKA SYNCHRONIZACJI UEE ZAKŁADU PRZEMYSŁOWEGO



SKUTKI ENERGETYCZNE ŁĄCZEŃ DLA UEE ZAKŁADU PRZEMYSŁOWEGO

Rozszerzona funkcjonalność Systemu pomiarowego

- system automatycznego bilansowania w czasie rzeczywistym mocy i energii współpracujący z systemem wydzielania, prowadzenia pracy układu wyspowego oraz resynchronizacji z KSE,
- automatyczna redukcja mocy instalacji Prosumentów realizowana w czasie rzeczywistym wymagana z punktu widzenia bezpieczeństwa KSE traktowana jako usługa systemowa dodatkowo gratyfikowana,
- realizacja w czasie rzeczywistym optymalnych technicznie i ekonomicznie dla Użytkowników i KSE wolumenów i kierunków przepływów energii elektrycznej w poszczególnych PPE,

Rozszerzona funkcjonalność Systemu pomiarowego

- sprzętowy, bardzo szybki obliczeniowy system rozpływowy i estymator stanu (oparty o model fizyczny obiektu, obliczeniową strukturę sprzętową FPGA oraz bieżące wielokanałowe pomiary wielkości elektrycznych i dwustanowych konfiguracji układu) zapewniający analizę N-1 oraz predykcję możliwych do wystąpienia konsekwencji realizowanych potencjalnie niebezpiecznych lub nieoptymalnych operacji np. łączeniowych, regulacyjnych itd.,
- automatyczne wykonywanie uzasadnionych i akceptowanych przez Elektroprosumentów oddziaływań proefektywnościowych.

Podsumowanie

- warto przybliżyć ewolucję podejścia do realizacji pomiarów oraz technik szerszemu gronu Odbiorców,
- absolutna wiarygodność i przewidywalność systemów pomiarowych to warunek *sine qua non* energetyki rozproszonej,
- wiarygodność pomiaru stanowi fundament zaufania, a zaufanie jest podstawą każdej decyzji w systemie energetyki rozproszonej
- historyczne wyniki mogą w dalszym ciągu stanowić bardzo cenny materiał badawczy oraz być bazą do budowy współczesnej metrologii systemowej oraz trenowania modeli predykcyjnych w ramach metodologii AI/ML,

Podsumowanie

- tylko działania zakorzenione w kulturze technicznej, standaryzacji i wzorcowaniu mogą tworzyć rozproszone systemy pomiarowe, które dorastają do wyzwań nowej energetyki elektroprosumenckiej.

Dziękuję za uwagę