

LECH WIERZBOWSKI, JANUSZ BYRCZEK
Tavrida Electric Polska sp. z o.o.

**SYSTEM IDENTYFIKACJI ZWARĆ I REKONFIGURACJI SIECI
SN PO WYSTĄPIENIU ZAKŁÓCENIA
– WDROŻENIE PILOTAŻOWE SYSTEMU REZIP[®] W SPÓŁCE
TAURON DYSTRYBUCJA SA**

***Streszczenie:** Artykuł przedstawia autonomiczny system odbudowy zasilania w sieci średniego napięcia REZIP[®] zrealizowany na obszarze Spółki Tauron Dystrybucja S.A. Automatyka REZIP[®] to zbiór funkcji zaimplementowanych w reklozerach KTR27 firmy TAVRIDA ELECTRIC. Automatyka realizuje wszystkie funkcje system FDIR. Algorytm wykrywa zwarcie, wyizolowuje miejsce uszkodzenia oraz automatycznie rekonfiguruje sieć w celu przywrócenia zasilania dla jak największej liczby odbiorców. System zbudowany w oparciu o 29 reklozerów został przekazany do eksploatacji w kwietniu 2018 roku. Na przestrzeni od kwietnia do września miało miejsce pięciokrotne zadziałanie automatyki. We wszystkich sytuacjach system zadziałał zgodnie z założonym scenariuszem.*

WPROWADZENIE

Na przestrzeni ostatnich czterech lat w polskiej energetyce w sieciach średnich napięcie zostało wdrożonych i przetestowanych kilkanaście układów automatycznego przywracania zasilania po wystąpieniu awarii. Układy wykrywają zwarcie, separują miejsce zwarcia i odbudowują zasilanie na obszarze nie objętym awarią [1-3]. W roku 2017 spółka Tauron Dystrybucja na obszarze Oddziału Bielsko-Biała uruchomiła we własnym zakresie dwa lokalne układy restytucji zasilania wykorzystując możliwości jakie w tym zakresie dają reklozery firmy Tavrida Electric. Natomiast na przełomie 2017 i 2018 roku Spółka Tauron Dystrybucja SA wspólnie z firmą Tavrida Electric Polska na obszarze Oddziału Kraków uruchomiły system restytucji zasilania REZIP[®] działający w oparciu o 29 reklozerów .

Aktualnie w Polsce wdrażane są dwie koncepcje tego typu układów. Firmy Tavrida Electric Polska oraz Schneider Electric proponują systemy autonomiczne z automatyką zaimplementowaną w urządzeniach instalowanych w głębi sieci. Natomiast firma Mikronika i Apator Elkomtech proponują systemy odbudowy zasilania działające z poziomu systemów sterowania i nadzoru SCADA. Większy udział systemów scentralizowanych w tych instalacjach jest oczywisty gdyż pierwsze wdrożenia w tym zakresie zostały

zrealizowane przez firmy, których systemy sterowania i nadzoru SCADA są wykorzystywane przez energetykę. Autorzy tych rozwiązań, mniej lub bardziej oficjalnie przyznają, że prawidłowe działanie systemów realizowanych według tej koncepcji zależy od stabilności łączności. Mając na uwadze ogromną ilość informacji przekazywanych z głębi sieci do centrów zarządzania i odwrotnie, problem jest kluczowy z punktu widzenia niezawodności. Lokalne, obszarowe systemy restytucji zasilania tego problemu nie mają, są autonomiczne.

Rozpowszechniona w Polsce nazwa „FDIR” dla systemów odbudowy zasilania, będąca de facto skrótowcem nazwy angielskiej tego typu systemów, jest właściwa dla wszystkich przedstawionych wcześniej układów, nie mniej kojarzona jest generalnie z rozwiązaniami opierającymi się na architekturze scentralizowanej. Mówiąc zatem o systemie FDIR nie należy zapominać o systemie REZIP[®], budowanym na bazie urządzeń firmy Tavrida Electric oraz SHD (Self Healing Grid) budowanym na bazie urządzeń firmy Schneider Electric, które realizują te same funkcje.

AUTOMATYKA REZIP[®]

Automatyka REZIP[®] to zbiór funkcji zaimplementowanych w reklozerach KTR27 (oznaczenie fabryczne Rec25_A1) firmy TAVRIDA ELECTRIC umożliwiających stworzenie autonomicznego systemu odbudowy zasilania dla wybranego obszaru sieci SN. Automatyka realizuje wszystkie funkcje systemu FDIR. Algorytm wykrywa zwarcie, wyizolowuje uszkodzenie oraz automatycznie rekonfiguruje sieć w celu przywrócenia zasilania dla jak największej liczby odbiorców. Odpowiednie rozmieszczenie wyłączników z aktywną funkcją REZIP (sekcjonizerów REZIP) umożliwia wyłączenie prądów zwarcia maksymalnie blisko miejsca wystąpienia awarii. W proces analize stanu sieci i jej rekonfiguracji łączność nie jest zaangażowana.

System REZIP[®] zapewnia selektywne działanie dowolnej ilości wyłączników. Dowolna jest ilość instalowanych sekcjonizerów REZIP. Natomiast nadal należy przestrzegać zasady, że na odcinku od GPZ do końca linii promieniowej, ze względu na potrzebę selektywnego działania, nie powinno się instalować więcej niż dwa reklozery. W każdym momencie jest możliwe zwiększenie ilości łączników przez zabudowę kolejnych sekcjonizerów REZIP. Reklozer KTR27 może być skonfigurowany do pracy jako reklozer lub sekcjonizer REZIP. Tryb działania ustawiany jest programowo.

AUTONOMIA FUNKCJONOWANIA.

Reklozer KTR27 (Rec25_A1), zgodnie z koncepcją działania inteligentnych sieci elektroenergetycznych, jest konstrukcyjnie i funkcjonalnie urządzeniem kompletnym. Jest wyłącznikiem, z czego jednoznacznie wynika, że może wyłączać bezpośrednio prądy zwarcia. Posiada rozbudowaną automatykę i działa autonomicznie w oparciu o własne, bieżące pomiary parametrów sieci. Najwyższej klasy układ pomiarowy każdego z aparatów mierzy poziom

napięcia przed i za reklozerem, wartości prądów w każdej fazie oraz składową zerową prądu zwarcia. Jest niezależny, a konfiguracja EAZ jest możliwa zarówno lokalnie jak i zdalnie. Działa poprawnie niezależnie od sposobu pracy punktu zerowego sieci.

Mając na bieżąco pełny obraz stanu sieci system REZIP[®] nie wymaga komunikowania się z otoczeniem, tym samym łączność z systemem SCADA nie determinuje działania systemu. Algorytm funkcjonowania wynika wyłącznie z aktualnego, zidentyfikowanego przez układy pomiarowe stanu sieci oraz wprowadzonych wcześniej parametrów determinujących działanie systemu. Dla działania automatyki REZIP[®] nie jest również wymagana łączność między poszczególnymi wyłącznikami. W tym rozwiązaniu rolą telemechaniki jest wyłącznie bieżące informowanie dyspozytora o działaniu wyłączników oraz przekazywanie danych o parametrach i stanie sieci. Natomiast dyspozytor i system nadrzędny zachowują w pełni kontrolę nad działaniem automatyki REZIP[®]. W każdym momencie jest możliwa ingerencja w realizowane procedury.

DYNAMICZNA ZMIANA NASTAW

Ważnym narzędziem zastosowanym w reklozerach KTR27 (Rec25_A1) zapewniającym poprawną pracę w układzie z kilkoma źródłami zasilania jest możliwość dynamicznej zmiany nastaw w zależności od kierunku przepływu mocy. Rozwiązanie to umożliwia dopasowanie nastaw do źródeł o różnych mocach zwarciovych. Ponadto pozwala na zdefiniowanie nowego czasu działania zabezpieczeń, co gwarantuje zachowanie selektywności działania zabezpieczeń przy zmianie konfiguracji sieci. Zmiany nastaw odbywają się automatycznie bez udziału dyspozytora.

BEZPIECZEŃSTWO DZIAŁANIA SYSTEMU

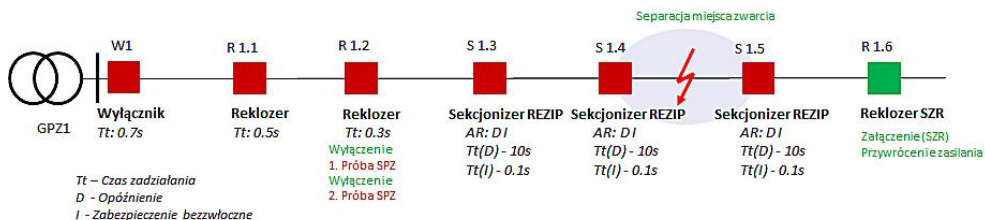
System REZIP[®] zbudowany jest w oparciu o reklozery KTR, co oznacza, że każdy przedstawiony w opisie punkt jest wyłącznikiem. Informacja o zidentyfikowaniu prądu zwarcia jest generowana i przekazywana do systemu SCADA przez automatykę zabezpieczeniową zarówno reklozerów jak i sekcjonizerów. Tym samym działanie systemu jest pod kontrolą i łatwe do przewidzenia. Decyzję o podaniu napięcia na wyłączony odcinek sieci po usunięciu awarii podejmuje zawsze dyspozytor i osobiście dokonuje odpowiednich przełączeń.

Przy wyłączeniach planowanych fragmenty sieci pod napięciem są chronione według standardowych zasad. Podobna sytuacja występuje w każdym fragmencie sieci, któremu w wyniku działania systemu REZIP[®] po wykryciu awarii zostało przywrócone zasilanie.

ZASADA DZIAŁANIA SYSTEMU REZIP[®]

Reklozery działające w systemie REZIP[®] zawsze mają przypisaną jedną z dwóch funkcji, reklozera lub sekcjonizera REZIP. W zależności od przypisanej funkcji są odpowiednio skonfigurowane. Podobnie w zależności od miejsca usytuowania w sieci są zaprogramowane do pracy w linii pierścieniowej, promieniowej lub jako reklozery w punkcie podziału sieci.

Przykład prezentujący działanie systemu REZIP[®]



Rys. 1. Schemat działania systemu REZIP[®]

W momencie wystąpienia zwarcia na linii w miejscu zaznaczonym na rys. 1 automatyki zabezpieczeniowe reklozów R 1.1 i R 1.2 oraz wyłącznika W1 w GPZ, czyli aparatów znajdujących się „powyżej” miejsca zwarcia, rozpoznają awarię. Otwiera się jednak tylko reklozer R 1.2. Wynika to z selektywnego działania zabezpieczeń w linii. Reklozer R 1.2 ma najkrótszy czas zadziałania. Otwierając się wykonuje równocześnie pierwsze wyłączenie w cyklu SPZ. Sieć „poniżej” reklozera zostaje pozbawiona zasilania. Odbiorcy energii na odcinku sieci pomiędzy GPZ a reklozorem R 1.2 nie doświadczają awarii. Jeśli zwarcie ma charakter nieprzemijający reklozer R 1.2 wykonuje drugie wyłączenie w cyklu SPZ.

Sekcjonizery REZIP S 1.3 i S 1.4 rozpoznają zanik napięcia, który ma miejsce na tym odcinku sieci w pierwszym i drugim cyklu SPZ. Odmierzają czas zaniku napięcia. Przedłużający się ponad 2s stan beznapięciowy (druga przerwa beznapięciowa) powoduje, że wszystkie sekcjonizery REZIP „poniżej” reklozera otwierają się. Równocześnie aktywowana jest funkcja bezzwłocznego otwarcia się sekcjonizera w sytuacji jego załączenia na zwarcie. Po wykonaniu drugiego załączenia w cyklu SPZ (w przedstawionym przykładzie 10s) reklozer R 1.2 pozostaje w stanie zamkniętym. Jest odseparowany od miejsca zwarcia przez sekcjonizery. Sekcjonizer S 1.3 wykrywa obecność napięcia od strony zasilania i po czasie 1s zamyka się. Wszystkie kolejne sekcjonizery działają identycznie.

Sekcjonizer S 1.4 po zamknięciu na zwarcie bezzwłocznie otwiera się. Jest to otwarcie definitywne, odseparowujące miejsce zwarcia od zasilania z kierunku GPZ 1.

Zamknięcie reklozera R1.6 w punkcie podziału sieci, po okresie wynikającym z zaprogramowanego z góry czasu, powoduje podanie napięcia na linię z drugiego kierunku. Sekcjonizer S1.5 wykrywa podane napięcie i zamyka się. Po zamknięciu na zwarcie, w identyczny sposób jak S1.4, bezzwłocznie otwiera się odseparowując miejsce zwarcia od drugiej strony. Fragmentem sieci pozbawionym napięcia w wyniku zwarcia pozostaje wyłącznie odcinek między sekcjonizerami REZIP S1.4 i S1.5. W opisanym przykładzie, równocześnie z zamknięciem punktu podziału następuje dynamiczna zmiana nastaw tego reklozera wynikająca ze zmiany kierunku przepływu mocy. Nastawy odpowiadają mocy zwarciowej aktualnego źródła. Przy zmianie konfiguracji sieci następuje także zmiana parametru określającego czas działania zabezpieczeń tak, aby zachowana została selektywność ich działania w nowych warunkach. Zmiany nastaw odbywają się automatycznie bez udziału dyspozytora.

INSTALACJA PILOTAŻOWA SYSTEMU REZIP[®] W SPÓŁCE TAURON DYSTRYBUCJA S.A.

Topografia sieci dla instalacji pilotażowej została przedstawiona na rys. 2.

System obejmuje trzy linie SN:

- Linia SN-15kV – GPZ (1) pole nr 28,
- Linia SN-15kV – GPZ (2) pole nr 26,
- Linia SN-15kV – GPZ (2) pole nr 28.

Wyżej wymienione linie powiązane są w dwóch miejscach, w których zabudowano reklozery pracujące jako normalnie otwarte wyłączniki z aktywną funkcją SZR. Na etapie opracowywania koncepcji układu zdecydowano o zmianie dotychczasowego miejsca podziału sieci. Nowy punkt podziału pozwolił na zminimalizowanie potencjalnych obszarów wyłączeń.

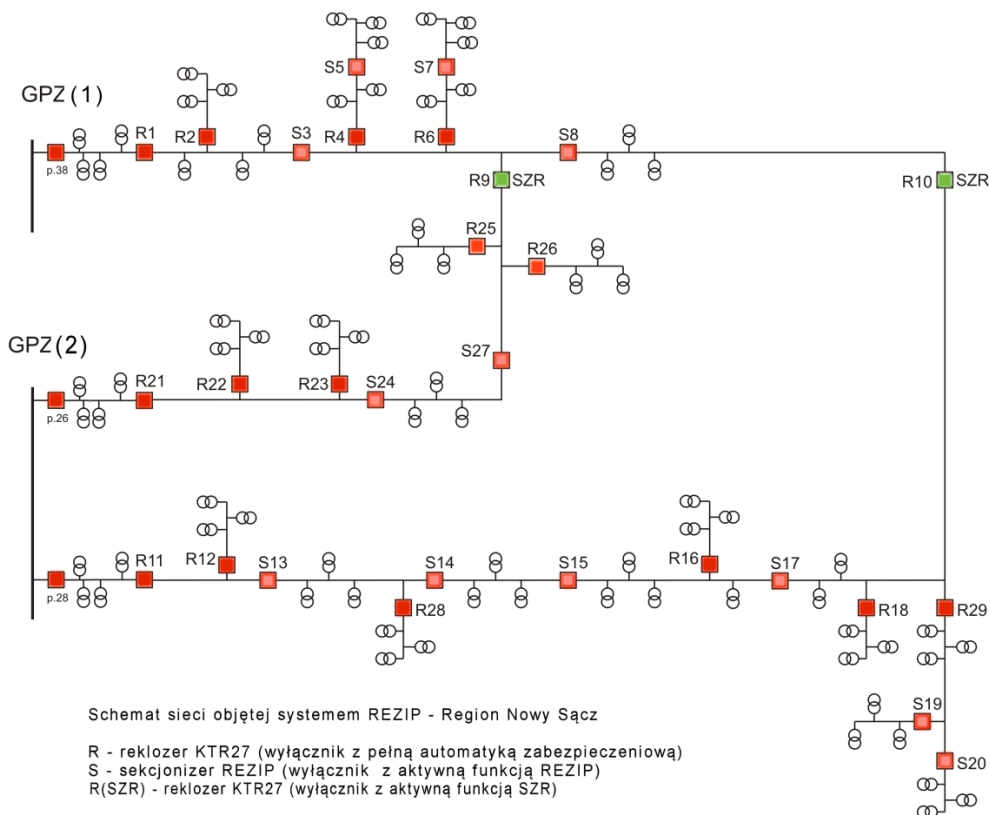
W ramach systemu współdziała 29 reklozerów, w tym:

- 15 reklozerów KTR27 pełni funkcję reklozerów (wyłączników z pełną automatyką zabezpieczeniową),
- 12 reklozerów KTR27 pełni funkcję sekcjonizerów REZIP (wyłączników z aktywną funkcją REZIP),
- 2 reklozery KTR27 umieszczone są w punktach podziału sieci (reklozery z aktywną funkcją SZR).

Czasy odbudowy zasilania w automatyce SZR reklozerów są różne. W prezentowanym systemie czas odbudowy zasilania reklozera R9 wynosi 18s i jest krótszy od czasu nastawionego w reklozerze R10 wynoszącego 25s.

System został przekazany do eksploatacji w kwietniu 2018 roku po ostatecznym skonfigurowaniu wszystkich reklozerów i przeprowadzeniu serii szkoleń dla służb dyspozytorskich.

Dla zaprezentowania systemu, poniżej przedstawiono zachowanie się układu w sytuacji rzeczywistego zadziałania, które miało miejsce 25 czerwca bieżącego roku.



Rys. 2 Schemat sieci dla układu pilotażowego

Zakłócenie wystąpiło w GPZ(1) o godzinie 6:56:11. Zadziałało zabezpieczenie różnicowe transformatora powodując jego wyłączenie. Zanik zasilania w polu 38 został wykryty przez reklozer R1 i sekcjonizery S3, S5, S7, S8 oraz reklozery w punktach podziału sieci R9 i R10. Ponieważ automatyka SZR reklozera R9 ma krótszy czas działania, po 18 sekundach o godzinie 6:56:29 reklozer zamknął się podając napięcie na sekcjonizer S3, S8 oraz odgałęzienia z sekcjonizerami S5 i S7. Po kolejnych 3 sekundach o godzinie 6:56:32 sekcjonizery te zamknęły się. Sekcjonizer S8 zamykając się podał napięcie na reklozer R10. Reklozer R10 wykrywa napięcie, kasuje licznik automatyki SZR i pozostaje otwarty. Zamknięcie sekcjonizera S3 powoduje podanie napięcia w kierunku reklozerów R1 i R2. Zostaje przywrócone zasilanie w odgałęzieniu

poniżej reklozera R2. Natomiast w wyniku podania napięcia z kierunku zapasowego na szyny w GPZ(1) reklozer R1 po 200ms wyłączył się od zabezpieczenia nadprądowego. W efekcie działanie systemu REZIP[®] odbiorcy poniżej reklozera R1, zasilani normalnie z pola 38 rozdzielni GPZ(1), mają przywrócone zasilanie z kierunku GPZ(2) po 21s od awarii. Pozostałym odbiorcom zasilanym z tego pola dyspozytor przywrócił zasilanie po 8 minutach załączając sprzęgło w GPZ(1). Normalny stan linii został przywrócony po 23 minutach.

Tabela 1. Zbiorcze dane o działaniu systemu na przestrzeni od kwietnia – do września 2018 roku.

	Miejsce awarii	Data	Łączny czas ¹	Komentarz
1	Linia zasilana z GPZ(2) pole 28. Zakłócenie poniżej reklozera R11 w czasie burzy. Otwarcie definitywne reklozera R11 od zabezpieczenia nadprądowego wysoko-nastawialnego.	2018-06-12	36s	System przywraca zasilanie wszystkim odbiorcom poniżej reklozera R11. Jest to informacja jednoznaczna dla dyspozytora, że zdarzenie miało charakter przemijający. Dyspozytor zamyka reklozer R11 i przywraca normalny stan linii.
2	Linia zasilana z GPZ(1) pole 38. Zanik napięcia na szynach GPZ(1) w wyniku zadziałania zabezpieczenia różnicowego transformatora.	2018-06-25	21s	System przywraca zasilanie z kierunku zapasowego wszystkim odbiorców poniżej reklozera R1. Po 8 minutach dyspozytor załącza sprzęgło w GPZ(1) i przywraca zasilanie pozostałym odbiorcom.

¹ Łączny czas przywrócenia zasilania i odseparowania miejsca wystąpienia awarii.

	Miejsce awarii	Data	Łączny czas	Komentarz
3	Linia zasilana z GPZ(2) pole 28. Zakłócenie na odcinku wyłącznik w GPZ(2) - reklozer R11. Otwarcie definitywne wyłącznika w polu 28 od zabezpieczenia nadprądowego wysoko-nastawialnego.	2018-07-16	36s	System przywraca zasilanie z kierunku zapasowego wszystkim odbiorców poniżej reklozera R11. Przywrócenie stanu normalnego linii po 21 min.
4	Linia zasilana z GPZ(2) pole 28. Zakłócenie bezpośrednio poniżej reklozer R11. Zakłócenie wyłączył reklozer R11 od zabezpieczenia ziemnozwarciowego.	2018-08-31	22s	Zwarcie o charakterze przemijającym. Zanika w drugim cyklu SPZ. Odbudowa zasilania przez sekcjonizery S13, S14, S15, S17 od strony GPZ(2) pole 28. Przywrócenie zasilania wszystkim odbiorcom bez udziału dyspozytora.
5	Linia zasilana z GPZ(2) pole 26. Zakłócenie między sekcjonizerami S24 i S27. Zakłócenie wyłączył reklozer R21 od zabezpieczenia nadprądowego.	2018-09-02	25s	System przywraca zasilanie odbiorcom do sekcjonizer S24 z kierunku GPZ(2), odbiorcom pomiędzy reklozerm R9 a sekcjonizerem S27 z kierunku zapasowego. Przywrócenie stanu normalnego sieci po 2 godzinach (po usunięciu awarii).

PODSUMOWANIE

Pierwsze pięć miesięcy eksploatacji systemu w Oddziale Kraków Spółki Tauron Dystrybucja S.A. pozwoliły zaobserwować działanie automatyki REZIP[®] po wystąpieniu 5 bardzo różnych zakłóceń. We wszystkich sytuacjach system zadziałał zgodnie z założonym scenariuszem.

Układy automatyki lokalnej oparte na automatyce REZIP[®] zrealizował wszystkie funkcje opisujące standardowy system odbudowy zasilania działający z poziomu SCADA.

Łączne rzeczywiste czasy przywracania zasilania i odseparowania miejsca zwarcia mieściły się w granicach od 21s do 36s. Istotnym elementem tego parametru jest czas działania automatyki SZR w reklozerach R9 i R10 ustawiony na etapie uruchamiania systemu. Uznano przyjęte wielkości 18s i 25s za optymalne.

Zalety autonomicznego działania systemu i niezależność od stabilności systemów łączności zostały potwierdzone w zdarzeniu 2 z dnia 25 czerwca. System podał napięcie na linię z kierunku zapasowego po 18s, natomiast informacja o zamknięci wyłącznika w punkcie podziału dotarła do dyspozytora po kolejnych 20s.

Analiza działania systemu, już na etapie opracowywania koncepcji, pozwala na zaprojektowanie punktów podziału z uwzględnieniem właściwych proporcji między potencjalnymi obszarami wyłączeń.

Automatyka REZIP[®] jest standardowym wyposażeniem reklozerów KTR27 firmy Tavrida Electric i nie stanowi dodatkowego kosztu przy tworzeniu układów automatyki lokalnej. Systemy można budować wykorzystując już posiadane reklozery.

Układy automatyki lokalnej mogą być naturalną podstawą budowy większych systemów. W żadnym przypadku nie ograniczają możliwości budowy systemów obejmujących duże obszary sieci, realizowanych z poziomu systemów centralnych. Algorytmy działania systemów restytucji są stosunkowo proste. Opisywana instalacja pilotażowa udowodniła skuteczność działania systemu. Doświadczenia wskazują na potrzebę nowego zdefiniowania ról systemów lokalnych i centralnych w zaawansowanej automatyce sieciowej.

Literatura:

[1] Grabarczyk Bogdan, 2018. „Doświadczenia z automatyczną izolacją zwarć w sieciach SN przy zastosowaniu systemu restytucyjnego Self Healing Grid”. Wiadomości Elektrotechniczne 2018 nr 9.

[2] Kalusiński Krzysztof, 2018. „FDIR – system odbudowy zasilania w sieciach dystrybucyjnych”. Wiadomości Elektrotechniczne 2018 nr 6.

[3] Mikronika S.A., 2017. Wdrożenia Systemu FDIR, Polski Przemysł – portal przemysłowy, 09.01.2017.