

Application of the TETRA Wireless Communication System in the Power Industry

Author

Anna Chłusewicz

Keywords

TETRA, power system, wireless communication system

Abstract

The article discusses the TETRA (Terrestrial Trunked Radio) wireless communication system in terms of its use in the power industry. It also discusses basic parameters of the system, its architecture, and possibilities of its application by the power company for voice communication and data transmission both for dispatch communication, direct communication between employees and in telemetry, telecontrol, and in remote control of the power network facilities.

DOI: 10.12736/issn.2300-3022.2016403

Introduction

The wireless voice communication and wireless data transfer systems are an inseparable element of the communication infrastructure in most major organizations. Every power company must provide the required quality of supplied energy and continuity of its supply, as well as maintain high quality in recipient service [2]. Even a short power supply break may mean serious consequences for the energy supplier as well as for energy recipients. A reliable data transmission system and efficient voice communication are necessary for rapid reaction in the event of minor defects, major failures, let alone crisis situations. A power network belongs to critical infrastructure, therefore an efficiently operating, reliable wireless communication system should become part of a well-prospering power company.

1. Wireless communication systems in power industry

Wireless communication systems applied in the power sector began to develop in the 1990s. In 1995, the Polish power sector started building a uniform, modern (at that time), trunking radio communication system. This system was based on an analogue standard MPT 1327. From 33 of the then distribution companies as many as 31 selected Digicom-7 system, one selected EDACS (Enhanced Digital Communication System), and one resigned from investment [14]. Systems built separately by particular power plants were supposed to be integrated into one all-Polish communication system, which, however, was not achieved. The so far applied analogue grid provided a not very satisfactory capacity of the system (number of users that may talk at the

	CDMA2000	TETRA	GSM/GPRS
Availability	Necessary expansion of infrastructure	The need to build own infrastructure	Commercial grid
Data transmission speed	up to 2.4 Mb/s	19.2 kb/s with protections	50–170 kb/s
Access to the radio channel	CDMA (Code Division Multiple Access),	TDMA (Time Division Multiple Access),	TDMA/FDMA (Time Division Multiple Access/Frequency Division Multiple Access)
Modulation	QPSK (Quadrature Phase Shift Keying),	$\pi/4$ DQPSK ($\pi/4$ Differential Quaternary Phase Shift Keying),	GMSK/8-PSK (Gaussian Minimum Shift Keying/8-Phase-Shift Keying)
Competitiveness of network infrastructure suppliers	No – limited suppliers	Yes – at least 8 different suppliers	Yes
Trunking communication mode	Yes	Yes	No
Quality of services	Variable, dependent on network load	Excellent	Variable, dependent on network load
Push-to-talk time	Unpredictable, officially approx. 0.5 s	<0,3 s	approx. 1 s
Protection against attack	Weak – hazard of open access from the Internet	Good – private network	Poor
Alarm connections	Limited possibilities of prioritisation	Yes – with the use of prioritisation and expropriation of calls	None

Tab. 1. Selected wireless communication systems [8]

same time), not to mention low possibilities of data transmission. In the days of digitalisation, power companies began to seek digital systems, which, in the first place, will enable wireless, reliable, certain communication in order to coordinate works of power engineers and intervention crews, and which then could also be used for transmission of data in telemetry and telecontrol for remote central control of the power grid. Tab. 1 presents selected characteristic of three wireless communication systems mainly taken into account.

Currently for wireless communication in the power sector, the system used most often is GSM (Global System for Mobile Communications), both for communication with the crew in the field and using packet GPRS communication (General Packet Radio Service) for remote control and monitoring of the power grid operation. The GSM system, owing to common access and developed network infrastructure provides almost 100 percent land cover of our country [4]. Therefore, it enables communication with people or objects located in remote, sometimes hardly accessible places without wire telecommunications infrastructure. In addition, there are solutions for monitoring and control systems, using the GPRS system for data transmission [3,5,6]. The system is public, therefore, the user does not have to directly invest in maintenance of the network infrastructure.

However, open-access communication system, i.e. GSM, was not designed for special purposes, such as e.g. emergency situations, hazards, i.e. situations of increased radio traffic. In such circumstances, in the GSM system, overload telecommunication network is likely to occur and access to services can be temporarily blocked. We encounter it, for instance, on New Year's Eve. Also in the event of disconnection or destruction of the base station, the public system may fail and prevent remote control over traffic in the power grid or communication between employees. Attention should also be paid to the voice and data transmission protection level in commercial networks, which is limited in the GSM system.

The above shortages of the GSM systems practically eliminate it from applications in telemetry and telecontrol systems for infrastructures of critical character, including a power system.

Use of a purpose-built, hermetic system, ensuring higher transmission safety, having its own telecommunication infrastructure, more resistant to potential hazards, seems to be the best solution. Such a system is a dispatcher system created specifically for security services, uniformed services, as well as various kinds of institutions and companies [7], i.e. TETRA (Terrestrial Trunked Radio) trunking system. Technological development of this system (in particular transmission speed) is limited in relation to the CDMA2000 system or modern public systems, such as LTE (Long Term Evolution), but it has the advantages of a system dedicated for special purposes, which gives it some advantage. Therefore, the TETRA system was selected by a team of specialists for the all-Polish dispatch communication system for the power industry [18].

2. TETRA system

The TETRA system is an open standard of digital, wireless, trunking dispatch communication. This system is standardized by ETSI (European Telecommunications Standards Institute). It was created with a view to a special group of recipients who require dedicated telecommunication services of high reliability, directed to closed subscriber groups. The main users of the system are security services, since TETRA enables communication both in conditions of everyday work as well as during hazardous situations, natural disasters, in the event of the need for mobilization of all services.

Fig. 1 presents the simplest infrastructure of TETRA system consisting of the following elements:

- commutation and management infrastructure of TETRA network
- base stations
- radio and fixed terminals (mainly for the dispatcher).

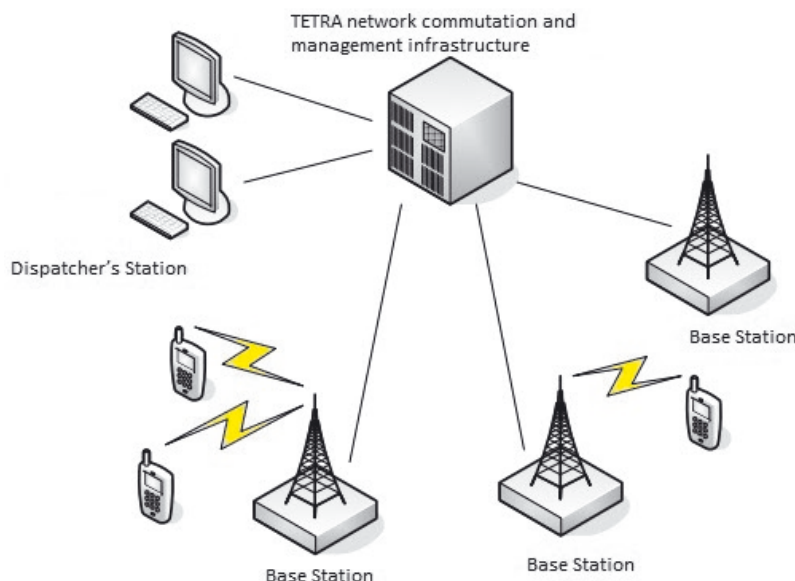


Fig. 1. TETRA system [9]

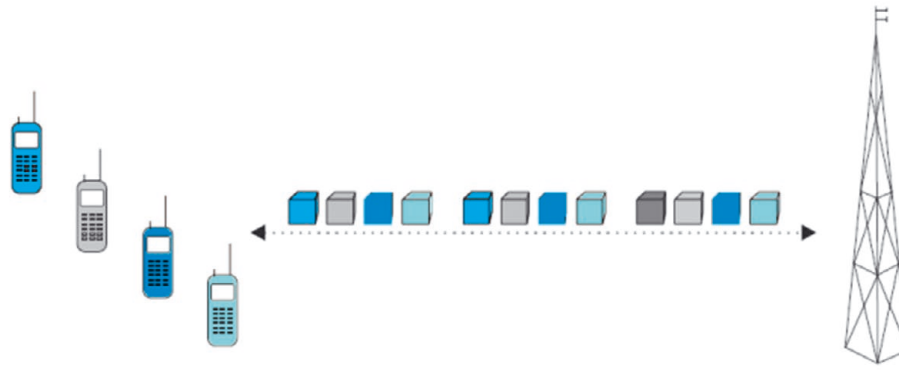


Fig. 2. Time division in the TETRA system [10]

Commutation and management infrastructure of the network consists of the main and local system central unit, with the management and maintenance centre of TETRA network, the network management and local control unit. The system, through the gateways, can cooperate with the external systems, i.e.: public phone network, ISDN network or packet data transmission system [7].

The TETRA system uses multiple access to the TDMA radio channel (Time Division Multiple Access) and modulation $\pi/4$ DQPSK ($\pi/4$ Differential Quaternary Phase Shift Keying) – quadrature, differential phase modulation. Each channel with the width of 25 kHz is split into four time slots where one time slot supports one communication channel, making it possible to make four independent calls on one carrier frequency. Additionally, one communication channel per base station is reserved and used as a control channel. Time division in the system has been schematically presented in Fig. 2. In this way, for voice communication, it is possible to reach transmission speed of 36 kb/s.

For data transmission, there is a possibility to combine time slots to achieve greater speed of transmission, and it depends on the number of slots assigned to a call and on the transfer protection applied. Tab. 2 presents specification of offered speeds.

Available throughputs are sufficient for provision of services, i.e.: WAP, sending short text messages or transmission of compressed pictures. Since these speeds are insufficient for multimedia transmission, the TETRA system has been developed, creating the TEDS system (TETRA Enhanced Data Service), fully compatible in reverse [7]. This system combines several frequency channels in the multiplicity of 25 kHz, which enables creation of channels with widths of 50, 100 and 150 kHz, using at the same time modulation $\pi/8$ DQPSK and QAM (Quadrature Amplitude Modulation).

Degree of protections and speed of transmitted data			
Number of slots	Without protections	Small protection	Large protection
1	7.2 kb/s	4.8 kb/s	2.4 kb/s
2	14.4 kb/s	9.6 kb/s	4.8 kb/s
3	21.6 kb/s	14.4 kb/s	7.2 kb/s
4	28.8 kb/s	19.2 kb/s	9.6 kb/s

Tab. 2. Data transmission speed in the TETRA system [12]

Selection of modulation and at the same time maximum possible speed of transmission, depends on the quality and capacity of the received signal that is the distance and land shaping between a mobile terminal and a base station [1]. For instance, at the channel with the width of 50 kHz, the achieved transmission speed is 150 kb/s [7]. This transmission speed is completely sufficient for the needs of the power industry sector [18].

The TETRA system offers many services, which can be widely used in the power system. Major services possible to be provided the TETRA system have been listed in Tab. 3.

3. TETRA system in the power industry

A power grid is a critical infrastructure, therefore, the radio communication system used for system management and

Services in the TETRA system	
Basic services	Voice calls
	data transmission
Teleservices	individual calls (point-to-point)
	group calls (point-to-multipoint)
	group calls with or without confirmation
	unidirectional group calls
SDS (Short Data Services)	individual messages
	messages to many subscribers
Supplementary Services	connections with different degree of confidentiality
	calling authorized prior to implementation by the dispatcher
	free creation of subscriber groups
	priorities of access in the event of the access channel overload
	priority calls with disconnection of ongoing call
	discrete tapping of calls by a person authorized without the knowledge of the user
	listening to the environment using a remotely activated terminal (without the knowledge of the user)
	dynamic allocation and change of the subscriber group
	Remote blocking of terminals
	in addition: identification of a subscriber, transfer of a call, pending calls, and many more
Location services based on GPS	

Tab. 3. Major services which may be implemented in the TETRA system

control should meet many technical and functional requirements, ensuring safe operation of the entire system.

As it has already been mentioned, the reason for the TETRA system implementation by the power company is to ensure broadly understood reliable dispatch communication with crews working in the field and ensuring direct voice communication between the users. The TETRA system, apart from the classic individual communication enables group voice communication as well as the possibility of push-to-talk. It is worth noting the possibility of data transmission during a call. Mobile devices of employees may receive, at any time, maps, diagrams, documentation and to dispatching centre may receive pictures, documentations from failures and other necessary data.

The possibility of assignment of priorities to calls is an important feature of the system. It gives the possibility of disconnection of pending calls with a lower priority for more important calls, both voice calls and data transmission. In the case of overload of telecommunication network, it is possible to configure the network in such a way that the priority will be given to calls more important at a given moment from the point of view of the distribution system operator.

An important advantage system apart from the Trunking Mode Operation (TMO) is a possibility of communication between two mobile terminals without using the system infrastructure that is Direct Mode Operation (DMO), without participation of the base station. There is also a possibility to expand the coverage of the grid without the need to set up additional base stations, which gives resistance to destruction of base stations or antenna installations. Working modes are presented in Fig. 3. TETRA enables the application of a mobile terminal as a retransmitter that mediates in connection between the base station and the terminal located beyond the range of the grid [7].

GPS system allows to set location of user terminals in the field. Remote tracking allows more control over work of teams in the field and gives the possibility of faster response in case of failure. Mobile and transportable terminals are characterized by great resistance to various weather conditions (temperature, humidity) and conditions related to the operation environment (dust, shocks).

The system, is resistant to overloads and provides push-to-talk time shorter than 0.3 s (it is shorter than in the GSM system), even in an alarm situation, with the increased number of calls.

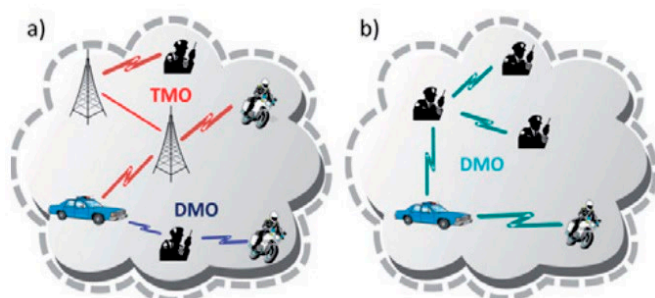


Fig. 3. TETRA system operation modes: a) TMO trunking mode and DMO direct transmission mode, b) DMO mode [7]

The TETRA system may be widely used for implementation of communication of the central units with facilities of the network infrastructure. Therefore, it can be widely used in:

- telemetry, that is in the process in which automatically collected data from measurements of various parameters of the facility are transmitted to the central units, where they are subject to processing
- telecontrol, that is in control of condition of devices or monitoring the course of the technological process at a distance from the central units
- remote control of facilities in the power grid.

The following subchapters discuss the possibility to use the TETRA system for these purposes.

3.1. Remote control and control of connector points in MV networks

In the area of the middle voltage distribution network there are many facilities, such as MV/LV power stations and network distribution points with switches to which the wire telecommunication infrastructure has not been led [3]. Lack of this infrastructure (cable or optical) usually results from high investments costs or technological constraints. As a result, remote control and control over all points are impossible. A solution is to introduce remote monitoring and control in these facilities, using wireless communication system. In practice, it is already implemented in many points based on GSM/GPRS system (Fig. 4).

However, the GSM/GPRS system in this application is not free from defects. It turns out that the controlling signals sent through this system do not always reach the receipt points within the expected time. This is associated usually with temporary higher load of the wireless communication system by commercial users. In a crisis situation, when the GSM system is overloaded with

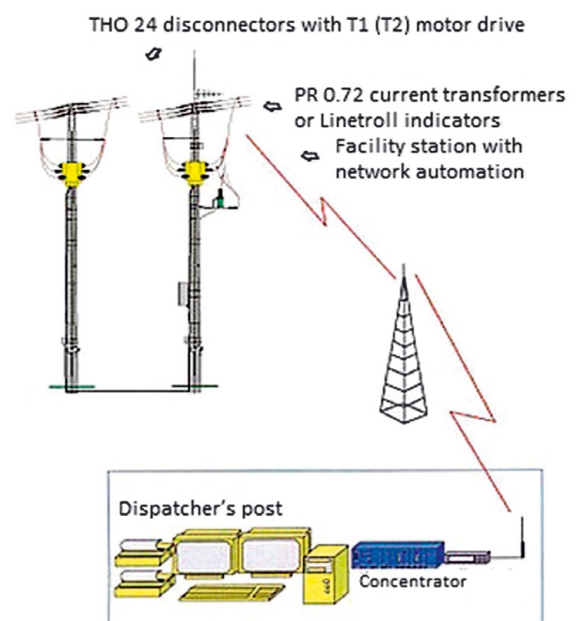


Fig. 4. Schematic diagram of remote control and supervision system in MV networks [11]

public calls, the power company will still need an efficient data transmission system, and will not be able to lose communication, which the public operator cannot provide. Therefore, a question arises as to whether a public system can provide operation reliability in the case of emergency.

In this case, an undoubtedly good solution would be the hermetic TETRA system with its own commutation and managing infrastructure, as well as base stations, with its own frequency band, with the possibility to determine priorities of connections with short time of push-to-call. At low amount of data needed for sending for monitoring operation of switches and disconnectors for their remote control, the TETRA system would fully ensure reliable and efficient supervision over the whole traffic in MV network.

Through the TETRA network, which would, on the current basis, report on the condition of the middle voltage network, in the event of occurrence of a failure, from the monitoring centre it would be possible to locate the place of failures, bypass the damaged line using an alternative connection and quickly resume current supply.

3.2. Remote monitoring and control of operation of power stations and power plants

Electric energy distribution network consists of many power stations and substations. Some of them are in the neighbourhood of cities where the wire telecommunication infrastructure is usually available. Remote monitoring and control are already implemented on the basis of the existing telecommunication infrastructure [1]. In this case, TETRA wireless communication system for transmission of control and measurement data may be used as security, an alternative data transmission system in the event of damage to the existing infrastructure.

On the other hand, stations not covered so far by remote supervision, being in remote places that are sometimes hard to reach, may be connected to the system monitoring operation of the transmission system through the TETRA wireless communication system.

Data collected in the SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) system via wire and wireless communication system allow to cover, with remote monitoring, all stations and substations of the distribution system. This allows to shorten the time of the operator's reaction in the case of defect. Failures reported in real time will then enable immediate action by using possibilities of remote control of a facility and, as a result, minimizing power supply break.

Also through the wireless network, it is possible to monitor the operation of the power plant. Maintenance-free power plants, located in places not equipped with wire telecommunication infrastructure may be covered by remote supervision through cyclic transmission of measurement data to the central SCADA system, from where it is also possible to exercise remote control of the facility without sending the service staff.

3.3. Transmission of measurement data in the SmartGrid network

SmartGrid is a smart power system, most often defined as a power system strictly integrated with the smart data transmission network. The key elements of the smart are various kinds of measurement devices (sensors, intelligent counters), used for gathering data concerning quality of transmission and supplies, as well as consumption of electric energy in real time. In the SmartGrid network collected data is subject to analysis, with prediction, as well as detection of errors, disturbances, changes in the grid or changes in the volume of supplies or consumption of electric energy, which enables fast and optimum system management [16,17]. SmartGrid is a smart power system that integrates operations of all energy market participants: producers, distributors, recipients in order to reduce costs of electric energy and provide safety, durability and effectiveness of supplies [15], reliable transmission of real-time data plays a crucial role here.

The main component of the communication infrastructure in the SmartGrid network is AMI (Advanced Metering Infrastructure), which connects, through teletransmission networks, smart counters and terminals installed at energy recipients with an IT

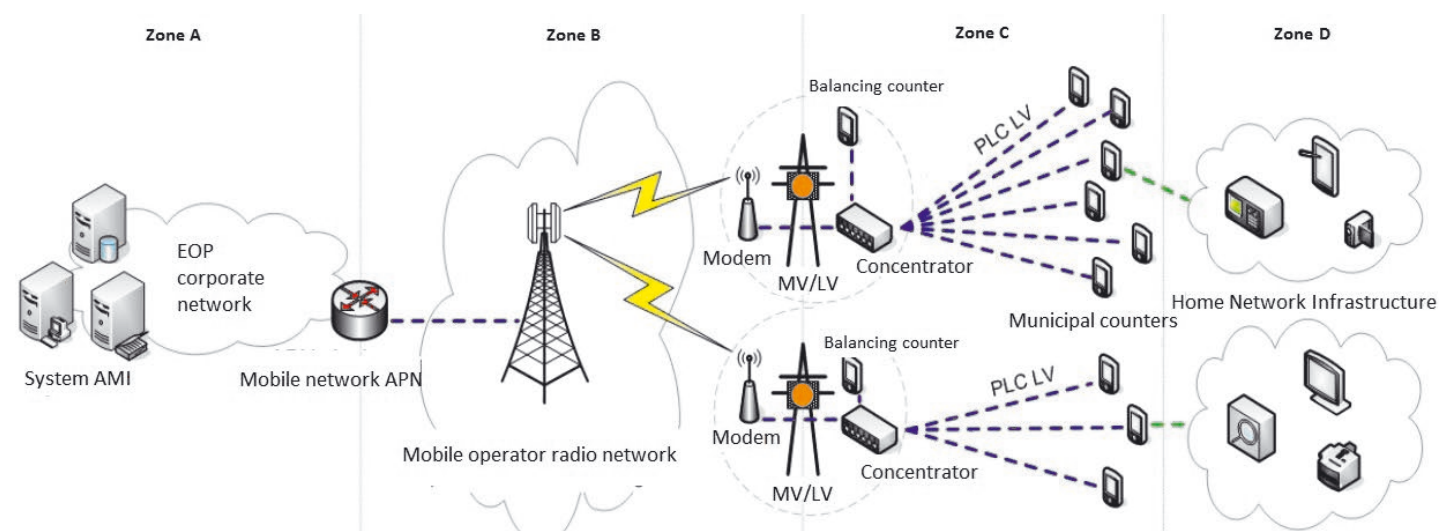


Fig. 5. Scheme of information flow between the electric power counter and the central IT system [13]

system collecting and managing the data, as well as controlling the whole system. Fig. 5 presents a scheme of information flow between the electric power counter and the central IT system. Initially, it was considered to use the TETRA wireless communication system for data transmission in Zone C of the system that is for data transmission directly from electric energy counters installed directly at each recipient.

In order to use own telecommunication infrastructure, built only for the needs of dispatch communication, control and supervision over MV grid, the TETRA system infrastructure, it would be necessary to ensure appropriate capacity of the system (the possibility of cyclical transmission of data from counters of all recipients), which would entail costly, additional expansion of networks both in cities where counters are placed irregularly, and in remote places that are hard to reach, without any telecommunication infrastructure. An additional cost would be investment in final terminals in every energy recipient. Therefore, the wireless communication systems are not an appropriate solution for measurement data transmission from many final terminals.

TETRA wireless communication system may be used in zone B (Fig. 5) of AMI infrastructure. Data from subscribers, gathered and pre-processed in concentrators in MV/LV transformer stations may be sent wirelessly to the central IT system via already implemented, own, hermetic TETRA system. This would ensure control over the data sent (priority calls), safety of transmission and its confidentiality.

4. Summary

Power companies are at the threshold of implementing the TETRA wireless communication system. The guiding principle is to use basic properties of this system, namely the dispatcher's communication, raising effectiveness of work of intervention groups in the field through many telecommunication services that the system offers. Construction of own telecommunication infrastructure allows to launch a hermetic system, managed by the power company, used only by authorized users, with a high level of safety and cryptographic security. A system more resistant (than the public systems) to unauthorised access or attack, configured specially according to the user's needs. The offered speed of data transmission system will completely fulfil the requirements the power engineering sector for the transmission of data in telemetry and telecontrol of power network facilities and in their remote control. This will enable reaching, with remote service, the places not covered so far by wire telecommunication infrastructure, application of alternative connections where wire communication already exists or will replace other wireless solutions, more expensive to operate, thus improving the power grid operation.

REFERENCES

1. I. Ozimek et al., "Using TETRA for Remote Control", Supervision and Electricity Metering in an Electric Power System, *WSEAS Transactions on Communications*, No. 4, Vol. 7, 2008.

2. K. Woliński, "TETRA – europejski system łączności" [*TETRA – European communication system*], *Wiadomości Elektrotechniczne [Electric Engineering News]*, No. 2, 2005.
3. A. Babś, J. Świderski, "Sterowanie i monitorowanie sieci elektroenergetycznej średniego napięcia z wykorzystaniem łączności bezprzewodowej GSM/GPRS" [*Control and monitoring of middle voltage power system with the use of wireless communication*], *Wiadomości Elektrotechniczne [Electric Engineering News]*, No. 2, 2005.
4. Website of the Office of Electronic Communication [online], <https://www.uke.gov.pl> [accessed on: 20.12.2016].
5. M. Sawicki, "System monitorowania i sterowania pracą obiektów rozproszonych w trybie on-line z wykorzystaniem technologii GPRS i Internetu" [*System of monitoring and control of operation of dispersed objects in on-line mode using GPRS technology and Internet*] [online], http://www.telemetria.pl/filesz/druk/profi_druk.htm [accessed on: 20.11.2016].
6. "Monitorowanie obiektów elektroenergetycznych SN i SN/nN" [*Monitoring MV and MV/LV power facilities*] [online], <http://www.elektroonline.pl/a/4586,Monitorowanie-obiektow-elektroenergetycznych-SN-i-SNnN> [accessed on: 20.11.2016].
7. S. Gajewski, "Nowe kierunki rozwoju systemów rankingowych w zastosowaniach transportowych" [*New directions in development of ranking systems in transport applications*], *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej [Scientific Works of the Warsaw Technical University]*, book 95, 2013.
8. Website tetraforum.pl [online], <http://www.tetraforum.pl> [accessed on: 20.10.2016].
9. I. Ozimek et al., "TETRA for Data Communication in a Power Distribution System", 5th WSEAS Int. Conference on Applied Electromagnetics, Wireless and Optical Communications, Tenerife, Spain, 14–16.12.2007.
10. L. Kossobudzki, "System TETRA", *Telekomunikacja i Techniki Informacyjne [Telecommunication and Information Technologies]*, No. 3–4, 2005.
11. Specialist trade magazine *Urządzenia dla energetyki [Power industry devices]* [online], http://www.urzadzeniadlaenergetyki.pl/index.php?option=com_content&task=view&id=114&Itemid=27 [accessed on: 20.11.2016].
12. I. Ozimek, G. Kandus, "SCADA System Using TETRA Communication Network", *World Scientific and Engineering Academy and Society* 2002, pp. 444–357.
13. R. Masiąg, "Korzyści z wdrożenia AMI na bazie wniosków z Etapu I" [*Benefits from AMI implementation on the basis of conclusions from Stage I*], *Energa Operator*, Warsaw, 13 May 2014.
14. Website of the Polish Association for Transmission and Distribution of Electricity [online], <http://www.ptpiree.pl/> [accessed on: 20.11.2016].
15. A. Babś, "Smart Metering. Podstawowe pojęcie i stan wdrożeń" [*Basic notion and implementation condition*], *Gdańsk Power Industry Institute*, 5 April 2014.
16. E. Ancillotti, R. Bruno, M. Conti, "The role of communication systems in smart grids: Architectures, technical solutions and research challenges", *Computer Communications*, Vol. 36, No. 17–18, 2013, pp. 1665–1697.

17. Y. Tsado, D. Lund, K.A.A. Gamage, "Resilient Communications for smart grid ubiquitous sensor network: State of the art. And prospects for next generation", *Computer Communications*, Vol. 71, 2015, pp. 34–49.
 18. M. Derengowski, H. Paluszkiewicz, M. Skoraszewski, "TETRA – Dyspozytorska sieć radiowa dla spółek energetycznych – przedsiębiorstw o strategicznym znaczeniu dla bezpieczeństwa państwa" [*TETRA – Dispatcher's radio station for power companies – enterprises of strategic importance for state security*], *Energia Elektryczna [Electric Energy]*, October 2015.
-

Anna Chłusewicz

Gdańsk University of Technology

e-mail: anna.chlusewicz@gmail.com

Graduated from the Faculty of Electronics, Telecommunication and Computer Science of Gdańsk University of Technology, where she obtained the degree of Master Engineer in radio communication systems and services (2007). Doctoral candidate at the Department of Power Engineering at the Faculty of Electric Engineering and Automatics at her alma mater. Her present scientific interests relate to using radio communication systems in the power system.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 27–33. When referring to the article please refer to the original text.

PL

Zastosowanie systemu bezprzewodowej łączności TETRA w elektroenergetyce

Autor

Anna Chłusewicz

Słowa kluczowe

TETRA, system elektroenergetyczny, system bezprzewodowej łączności

Streszczenie

W artykule omówiono system łączności bezprzewodowej TETRA (ang. *Terrestrial Trunked Radio*) pod kątem jego wykorzystywania w sektorze elektroenergetyki. Omówione zostały podstawowe parametry systemu, jego architektura oraz możliwości jego zastosowania przez przedsiębiorstwo energetyczne do komunikacji głosowej i transmisji danych zarówno w celu łączności dyspozytorskiej, komunikacji bezpośredniej między pracownikami, jak i w telemetrii, telekontroli i w zdalnym sterowaniu obiektami sieci elektroenergetycznej.

Wprowadzenie

Systemy bezprzewodowej komunikacji głosowej i bezprzewodowego transferu danych są nieodłącznym elementem infrastruktury komunikacyjnej większości dużych organizacji. Każde przedsiębiorstwo energetyczne musi zapewniać wymaganą jakość dostarczanej energii i ciągłość jej dostawy oraz zachować wysoką jakość obsługi odbiorców [2]. Skutkiem nawet krótkiej przerwy w dostawie energii mogą być poważne konsekwencje zarówno dla dostawcy energii, jak również dla jej odbiorców. Niezawodny system przesyłania danych oraz sprawna łączność głosowa są niezbędne do szybkiej reakcji w przypadku drobnych usterek, większych awarii, nie mówiąc już o sytuacjach kryzysowych. Sieć elektroenergetyczna należy do infrastruktury krytycznej, dlatego sprawnie działający, niezawodny system łączności bezprzewodowej powinien stać się częścią dobrze prosperującego przedsiębiorstwa energetycznego.

1. Systemy bezprzewodowej łączności w elektroenergetyce

Systemy łączności bezprzewodowej w zastosowaniach w energetyce zaczęły rozwijać się w latach 90. W 1995 roku polska energetyka rozpoczęła budowę jednolitego, nowoczesnego wówczas, trunkingowego systemu radiokomunikacyjnego. System ten został oparty na analogowym standardzie MPT 1327. Z 33 ówczesnych spółek dystrybucyjnych aż 31 wybrało system Digicom-7, jedna wybrała system EDACS (ang. *Enhanced Digital Communication System*), a jedna zrezygnowała z inwestycji [14]. Budowane oddzielnie przez poszczególne zakłady energetyczne systemy miały zostać zintegrowane w jeden ogólnopolski system łączności, co nie doszło do skutku. Wykorzystywana do tej pory sieć analogowa zapewniała pozostawiającą wiele do życzenia pojemność systemu (liczbę użytkowników, jaka może w tym samym czasie prowadzić rozmowę), nie mówiąc już o znikomej możliwości przesyłania danych. W dobie cyfryzacji

przedsiębiorstwa energetyczne zaczęły szukać systemów cyfrowych, które w pierwszej kolejności umożliwią bezprzewodową, niezawodną, pewną łączność w celu koordynacji prac energetyków i brygad interwencyjnych, a następnie będą również mogły być wykorzystywane do przesyłu danych w telemetrii i telesterowaniu dla zdalnego centralnego kontrolowania sieci elektroenergetycznej. W tab. 1 zestawiano wybrane cechy trzech głównie branych pod uwagę cyfrowych systemów bezprzewodowej łączności.

Obecnie do bezprzewodowej łączności w energetyce najczęściej używany jest system GSM (ang. *Global System for Mobile Communications*), zarówno do komunikacji z załogą w terenie, jak i przez wykorzystanie pakietowej łączności GPRS (ang. *General Packet Radio Service*) do zdalnej kontroli i monitorowania pracy sieci elektroenergetycznej. System GSM ze względu na powszechny dostęp i rozbudowaną infrastrukturę sieci zapewnia niemal 100-proc.

	CDMA2000	TETRA	GSM/GPRS
Dostępność	Konieczna rozbudowa infrastruktury	Konieczność budowy własnej infrastruktury	Sieć komercyjna
Szybkość transmisji danych	do 2,4 Mb/s	19,2 kb/s z zabezpieczeniami	50–170 kb/s
Dostęp do kanału radiowego	CDMA (ang. <i>Code Division Multiple Access</i>)	TDMA (ang. <i>Time Division Multiple Access</i>)	TDMA/FDMA (ang. <i>Time Division Multiple Access/ Frequency Division Multiple Access</i>)
Modulacja	QPSK (ang. <i>Quadrature Phase Shift Keying</i>)	$\pi/4$ DQPSK (ang. $\pi/4$ <i>Differential Quaternary Phase Shift Keying</i>)	GMSK/8-PSK (ang. <i>Gaussian Minimum Shift Keying/8-Phase-Shift Keying</i>)
Konkurencyjność dostawców infrastruktury sieciowej	Nie – limitowani dostawcy	Tak – co najmniej 8 różnych dostawców	Tak
Tryb komunikacji trunkingowej	Tak	Tak	Nie
Jakość usług	Zmienna, zależna od obciążenia sieci	Znakomita	Zmienna, zależna od obciążenia sieci
Czas zestawiania połączenia	Nieprzewidywalny, oficjalnie ok. 0,5s	<0,3s	ok. 1s
Zabezpieczenie przed atakiem	Słabe – niebezpieczeństwo otwartego dostępu z internetu	Dobre – prywatna sieć	Słabe
Połączenia alarmowe	Ograniczone możliwości priorytetyzacji	Tak – z wykorzystaniem priorytetyzacji i wyłączenia połączeń	Brak

Tab. 1. Wybrane systemy łączności bezprzewodowej [8]

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 27–33. When referring to the article please refer to the original text.

PL

pokrycie terenu naszego kraju [4]. Wzwiązku z tym umożliwia łączność z osobami lub obiektami znajdującymi się w odległych, czasami trudno dostępnych miejscach, które nie posiadają przewodowej infrastruktury telekomunikacyjnej. Ponadto istnieją już rozwiązania systemów monitorowania i sterowania wykorzystujące do przesyłu danych system GPRS [3,5,6]. System ma charakter publiczny, zatem użytkownik nie musi w sposób bezpośredni inwestować w utrzymanie infrastruktury sieci.

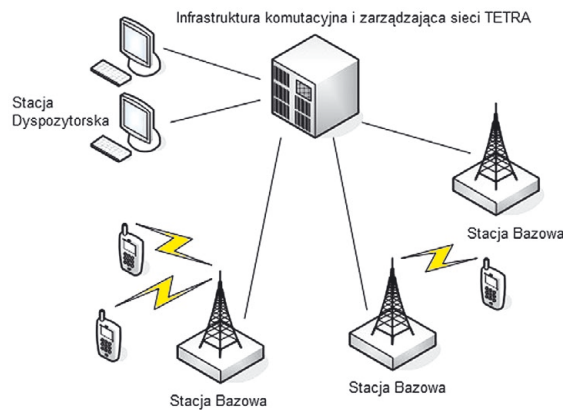
Jednak ogólnodostępny system łączności, jakim jest GSM, nie został zaprojektowany dla celów specjalnych, takich jak np. sytuacje kryzysowe, stany zagrożenia, tj. sytuacje wzmożonego ruchu radiowego. W takich okolicznościach w systemie GSM może wystąpić przeciążenie sieci telekomunikacyjnej, a dostęp do usług może zostać czasowo zablokowany. Spotykamy się z tym np. w noc sylwestrową. Również w sytuacji odłączenia lub zniszczenia stacji bazowej system publiczny może zawieść i uniemożliwić zdalną kontrolę nad ruchem w sieci elektroenergetycznej lub komunikację między pracownikami. Na uwagę należy też mieć poziom zabezpieczenia transmisji głosu i danych w sieciach komercyjnych, który w systemie GSM jest ograniczony.

Powyższe niedomagania systemu GSM praktycznie eliminują go z zastosowań w systemach telemetrii i telekontroli infrastruktur o charakterze krytycznym, jakim jest system elektroenergetyczny.

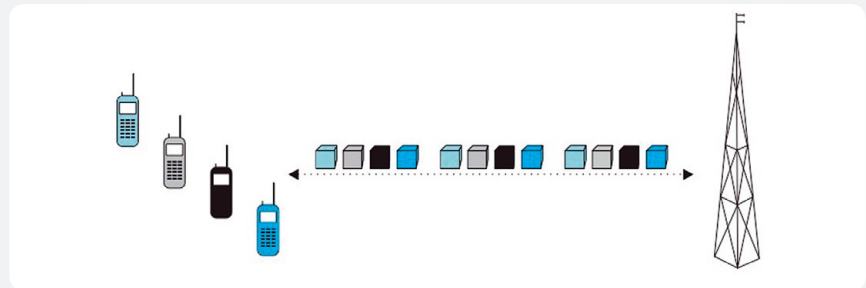
Wykorzystanie zbudowanego specjalnie na własne potrzeby, hermetycznego systemu, zapewniającego wyższe bezpieczeństwo transmisji, posiadającego własną, bardziej odporną na potencjalne zagrożenia infrastrukturę telekomunikacyjną, wydaje się najlepszym rozwiązaniem. Takim systemem jest system dyspozytorski stworzony specjalnie dla służb bezpieczeństwa, służb mundurowych i różnego rodzaju instytucji i przedsiębiorstw [7], tj. system trunkingowy TETRA (ang. *Terrestrial Trunked Radio*). Rozwój technologiczny tego systemu (w szczególności szybkość transmisji) jest ograniczony w stosunku do systemu CDMA2000 czy współczesnych systemów publicznych, jak LTE (ang. *Long Term Evolution*), ale ma on jednak zalety systemu dedykowanego dla celów specjalnych, co daje mu pewną przewagę. Dlatego to właśnie system TETRA został wybrany przez zespół specjalistów na ogólnopolski system dyspozytorskiej łączności dla energetyki [18].

1. System TETRA

System TETRA jest to otwarty standard cyfrowej, bezprzewodowej, rankingowej łączności dyspozytorskiej. System ten jest standaryzowany przez ETSI (ang. *European Telecommunications Standards Institute*). Został stworzony z myślą o specyficznej grupie odbiorców, którzy wymagają dedykowanych usług telekomunikacyjnych o wysokiej niezawodności, skierowanych do zamkniętych grup abonentów. Głównymi użytkownikami systemu są służby bezpieczeństwa, gdyż TETRA umożliwia łączność zarówno w warunkach codziennej pracy, jak i w sytuacjach zagrożenia, klęsk żywiołowych, podczas konieczności mobilizacji wszystkich służb.



Rys. 1. System TETRA [9]



Rys. 2. Podział czasowy w systemie TETRA [10]

Na rys. 1 przedstawiono najprostszą infrastrukturę systemu TETRA, na którą składają się następujące elementy:

- infrastruktura komutacyjna i zarządzająca sieci TETRA
- stacje bazowe
- terminale radiowe i stałe (głównie dla dyspozytora).

Infrastruktura komutacyjna i zarządzająca sieci składa się z głównej i lokalnej centrali systemu, z centrum zarządzania i utrzymania sieci TETRA, bloku zarządzania siecią i sterowania lokalnego. System poprzez bramy może współpracować z sieciami zewnętrznymi, tj.: publiczną siecią telefoniczną, siecią ISDN lub siecią pakietowej transmisji danych [7].

System TETRA wykorzystuje wielodostęp do kanału radiowego TDMA (ang. *Time Division Multiple Access*) i modulację $\pi/4$ DQPSK (ang. $\pi/4$ *Differential Quaternary Phase Shift Keying*) – kwadraturową, różnicową modulację fazy. Każdy kanał o szerokości 25 kHz jest dzielony na cztery szczeliny czasowe, gdzie jedna szczelina czasowa obsługuje jeden kanał komunikacyjny, co pozwala prowadzić cztery niezależne rozmowy na jednej częstotliwości nośnej. Dodatkowo jeden kanał komunikacyjny na stację bazową jest zarezerwowany i wykorzystywany jako kanał sterujący. Podział czasowy w systemie został schematycznie przedstawiony na rys. 2. W ten sposób dla przekazu głosu osiąga się szybkość transmisji rzędu 36 kb/s.

Dla transmisji danych istnieje możliwość łączenia szczelin czasowych w celu osiągnięcia większej szybkości transmisji i zależy

ona od liczby szczelin przydzielonych połączeniu oraz od zastosowanego zabezpieczenia transferu. W tab. 2 przedstawiono zestawienie oferowanych szybkości.

Dostępne przepływności są wystarczające dla realizacji usług, tj.: WAP, wysyłanie krótkich wiadomości tekstowych, czy transmisji skompresowanych zdjęć. Ponieważ prędkości te są niewystarczające do transmisji multimediów, rozwinięto system TETRA, opracowując system TEDS (ang. *TETRA Enhanced Data Service*) w pełni kompatybilny wstecz [7]. W systemie tym łączy się kilka kanałów częstotliwościowych w krotności 25 kHz, co umożliwia utworzenie kanałów o szerokościach 50, 100 i 150 kHz, wykorzystując przy tym modulację $\pi/8$ DQPSK oraz QAM (ang. *Quadrature Amplitude Modulation*). Dobór modulacji i jednocześnie maksymalnej możliwej szybkości transmisji zależy od jakości i mocy odbieranego sygnału, czyli od odległości i ukształtowania terenu między terminalem ruchomym a stacją bazową [1]. Przykładowo przy kanale o szerokości 50 kHz osiąga się szybkość transmisji 150 kb/s [7]. To szybkości transmisji w zupełności wystarczające dla potrzeb sektora elektroenergetyki [18]. System TETRA oferuje wiele usług, które mogą znaleźć szerokie zastosowanie w systemie elektroenergetycznym. Ważniejsze usługi możliwe do realizacji w system TETRA zostały zestawione w tab. 3.

3. System TETRA w elektroenergetyce

Sieć elektroenergetyczna jest infrastrukturą krytyczną, w związku z tym system

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 27–33. When referring to the article please refer to the original text.

PL

radiokomunikacyjny wykorzystywany do zarządzania i sterowania systemem powinien spełniać wiele wymogów technicznych i funkcjonalnych, zapewniających bezpieczne działanie całego systemu.

Jak już wcześniej wspomniano, powodami wdrożenia systemu TETRA przez przedsiębiorstwo energetyczne jest zapewnienie szeroko rozumianej niezawodnej łączności dyspozytorskiej z brygadami pracującymi

w terenie oraz zapewnienie bezpośredniej łączności głosowej między użytkownikami. System TETRA poza klasyczną łącznością indywidualną umożliwia grupową komunikację głosową oraz możliwość szybkiego zestawiania połączeń (*push-to-talk*). Warto zwrócić uwagę na możliwość przesyłania danych podczas trwania połączenia. Do urządzeń mobilnych pracowników mogą być przesyłane w dowolnej chwili mapy, schematy, dokumentacje, a do centrum dyspozytorskiego zdjęcia, dokumentacje z awarii i inne niezbędne dane.

Możliwość nadawania priorytetów połączeniom jest ważną cechą systemu. Daje on możliwość rozłączania trwających połączeń o niższym priorytecie na rzecz ważniejszych połączeń zarówno głosowych, jak i transmisji danych. W przypadku przeciążenia sieci telekomunikacyjnej można więc tak skonfigurować sieć, że pierwszeństwo będą miały połączenia ważniejsze w danej chwili z punktu widzenia operatora sieci dystrybucyjnej.

Ważnym atutem systemu poza transmisją trunkingową (ang. *Trunking Mode Operation, TMO*) jest możliwość komunikacji między dwoma terminalami ruchomymi bez korzystania z infrastruktury systemu, czyli tryb bezpośredni (ang. *Direct Mode Operation, DMO*), bez pośrednictwa stacji bazowej. Istnieje też możliwość poszerzania zasięgu sieci bez konieczności stawiania dodatkowych stacji bazowych, co daje odporność na zniszczenie stacji bazowych czy instalacji antenowych. Tryby pracy przedstawia rys. 3. TETRA umożliwia zastosowanie terminalu ruchomego jako retransmitera, który pośredniczy w połączeniu między stacją bazową a terminalem znajdującym się poza zasięgiem sieci [7].

System GPS umożliwia wyznaczanie położenia terminali użytkowników w terenie. Zdalne śledzenie pozwala na większą kontrolę nad pracą zespołów w terenie oraz daje możliwość szybszego reagowania w przypadku awarii.

Terminale przenośne i przewoźne charakteryzują się dużą wytrzymałością na różne warunki atmosferyczne (temperatura, wilgoć) oraz warunki związane ze środowiskiem eksploatacji (kurz, wstrząsy).

System jest odporny na przeciążenia i zapewnia czas zestawiania połączenia mniejszy niż 0,3 s (jest on krótszy niż w systemie GSM) nawet w sytuacji alarmowej, przy zwiększonej liczbie wywołań. System TETRA może być szeroko wykorzystany do realizacji łączności centrali z obiektami infrastruktury sieci. Tym samym może znaleźć szerokie zastosowanie w:

- telemetrii, czyli w procesie, w którym automatycznie gromadzone dane z pomiarów różnych parametrów obiektu są przesyłane do centrali, gdzie podlegają przetwarzaniu
- telekontroli, czyli w kontroli stanu urządzeń lub monitorowania przebiegu procesu technologicznego na odległość z centrali
- zdalnym sterowaniu obiektami w sieci elektroenergetycznej.

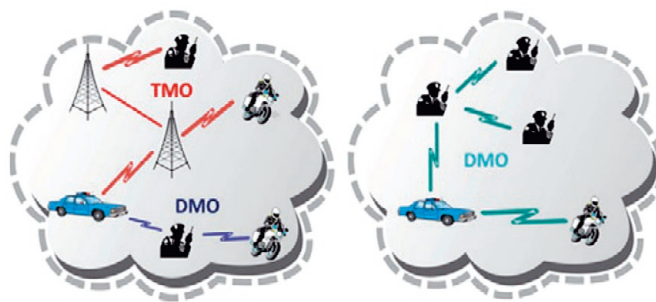
W kolejnych podrozdziałach omówiono możliwości wykorzystania dla tych celów systemu TETRA.

Stopień zabezpieczenia i szybkość transmitowanych danych			
Liczba szczelin	Bez zabezpieczeń	Małe zabezpieczenie	Duże zabezpieczenie
1	7,2 kb/s	4,8 kb/s	2,4 kb/s
2	14,4 kb/s	9,6 kb/s	4,8 kb/s
3	21,6 kb/s	14,4 kb/s	7,2 kb/s
4	28,8 kb/s	19,2 kb/s	9,6 kb/s

Tab. 2. Szybkość transmisji danych w systemie TETRA [12]

Usługi w systemie TETRA	
Usługi podstawowe (ang. <i>Basic services</i>)	połączenia głosowe
	transmisja danych
Teleusługi (ang. <i>Teleservices</i>)	połączenia indywidualne (punkt-punkt)
	grupowe (punkt-wielopunkt)
	grupowe z potwierdzeniem lub bez
	grupowe jednokierunkowe
Usługi krótkich wiadomości SDS (ang. <i>Short Data Services</i>)	wiadomości indywidualne
	wiadomości do wielu abonentów
Usługi dodatkowe (ang. <i>Supplementary services</i>)	połączenia o różnym stopniu poufności
	wywołanie autoryzowane przed realizacją przez dyspozytora
	swobodne tworzenie grup abonentów
	priorytety dostępu w razie przeciążenia kanału dostępowego
	połączenia priorytetowe z rozłączeniem trwającego połączenia
	dyskretny podsłuch prowadzonych rozmów przez osobę uprawnioną bez wiedzy użytkownika
	odsłuchiwanie otoczenia za pomocą zdalnie aktywowanego terminalu (bez wiedzy użytkownika)
	dynamiczny przydział i zmiana grupy abonenckiej
	zdalne blokowanie terminali
ponadto: identyfikacja abonenta, przenoszenie połączenia, połączenia oczekujące i wiele innych	
Usługi lokalizacyjne w oparciu o GPS	

Tab. 3. Ważniejsze usługi możliwe do realizacji w systemie TETRA



Rys. 3. Tryby pracy systemu TETRA: a) tryb trunkingowy TMO oraz transmisji bezpośredniej DMO, b) tryb DMO [7]

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 27–33. When referring to the article please refer to the original text.

PL

3.1. Zdalna kontrola i sterowanie punktami łącznikowymi w sieciach SN

Na obszarze sieci dystrybucyjnej średniego napięcia znajduje się wiele obiektów, takich jak stacje elektroenergetyczne SN/nn oraz punkty podziału sieci z rozłącznikami, do których nie została doprowadzona przewodowa infrastruktura telekomunikacyjna [3]. Brak tej infrastruktury (kablowej lub optycznej) zazwyczaj wynika z wysokich kosztów inwestycji lub ograniczeń technologicznych. W związku z tym zdalne sterowanie i kontrola nad wszystkimi punktami są niemożliwe. Rozwiązaniem jest wprowadzenie zdalnego monitoringu i sterowania w tych obiektach, przy wykorzystaniu bezprzewodowego systemu łączności. W praktyce jest on już w wielu punktach realizowany w oparciu o system GSM/GPRS (rys. 4).

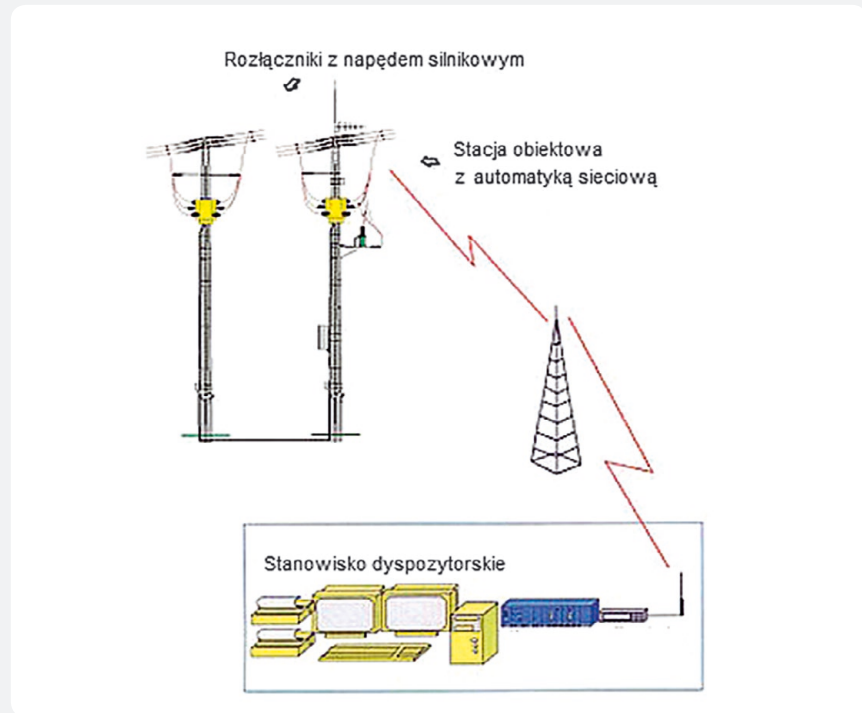
Jednak system GSM/GPRS w tym zastosowaniu nie jest wolny od wad. Okazuje się, że sygnały sterujące przesyłane poprzez ten system nie zawsze docierają do punktów odbiorczych w oczekiwanym czasie. Jest to związane zazwyczaj z czasowym większym obciążeniem systemu łączności bezprzewodowej przez użytkowników komercyjnych. W kryzysowej sytuacji, kiedy system GSM zostanie przeciążony publicznymi połączeniami, przedsiębiorstwo energetyczne nadal będzie potrzebowało sprawnego systemu przesyłu danych i nie będzie mogło sobie pozwolić na utratę łączności, czego nie będzie mógł zapewnić publiczny operator. Dlatego nasuwa się pytanie, czy publiczny system może zapewnić niezawodność działania w sytuacji awaryjnej?

W tym przypadku niewątpliwie sprawdzili by się hermetyczny system TETRA, posiadający własną infrastrukturę komutacyjną i zarządzającą oraz stacje bazowe, z własnym pasmem częstotliwościowym, z możliwością ustalania priorytetów połączeń z krótkim czasem zestawiania połączenia. Przy niewielkiej ilości danych, jakie są potrzebne do przesłania w celu monitorowania pracy wyłączników i rozłączników oraz do zdalnego sterowania nimi, system TETRA w pełni zapewniłby niezawodny i sprawny nadzór nad całym ruchem w sieci SN.

Poprzez sieć TETRA, która na bieżąco raportowałaby stan sieci średniego napięcia, w wypadku wystąpienia usterek i z centrum monitorowania można by zlokalizować miejsce awarii, obejść uszkodzoną linię połączeniem alternatywnym i w krótkim czasie wznowić dostawę prądu.

3.2. Zdalny monitoring i sterowanie pracą stacji elektroenergetycznych i elektrowni

Sieć dystrybucyjna energii elektrycznej składa się z dużej liczby stacji oraz podstacji elektroenergetycznych. Część z nich zlokalizowana jest w pobliżu miast, gdzie przewodowa infrastruktura telekomunikacyjna jest zazwyczaj dostępna. Zdalny monitoring i sterowanie są już realizowane w oparciu o istniejącą infrastrukturę telekomunikacyjną [1]. W tym przypadku bezprzewodowy system łączności TETRA do przesyłu danych sterujących i pomiarowych może być zastosowany jako zabezpieczenie, alternatywny system transmisji danych w razie uszkodzenia istniejącej już infrastruktury.



Rys. 4. Schemat ideowy systemu zdalnego sterowania i nadzoru w sieciach SN [11]

Natomiast stacje nieobjęte dotąd zdalnym nadzorem, znajdujące się w odległych, czasami trudno dostępnych miejscach, mogą zostać podłączone do systemu monitorującego pracę sieci przesyłowej poprzez system bezprzewodowej łączności TETRA. Dane gromadzone w systemie SCADA (ang. *Supervisory Control And Data Acquisition*) za pośrednictwem przewodowego i bezprzewodowego systemu łączności pozwalają na objęcie zdalnym monitoringiem wszystkich stacji i podstacji sieci dystrybucyjnej. Pozwala to skrócić czas reakcji operatora w przypadku wystąpienia usterek. Awarie raportowane w czasie rzeczywistym umożliwią wówczas natychmiastowe podjęcie działania poprzez wykorzystanie możliwości zdalnego sterowania obiektem, a w rezultacie zminimalizowanie przerwy w dostawie energii.

Również poprzez sieć bezprzewodową można monitorować pracę elektrowni. Elektrownie bezobsługowe, znajdujące się w miejscach nieuzbrojonych w przewodową infrastrukturę telekomunikacyjną, mogą zostać objęte zdalnym nadzorem poprzez cykliczny przesył danych pomiarowych do centralnego systemu SCADA, skąd również może odbywać się zdalne sterowanie obiektem bez konieczności wysyłania pracowników obsługi.

3.3. Przesył danych pomiarowych w sieci Smart Grid

Smart Grid jest to inteligentny system energetyczny, najczęściej definiowany jako system energetyczny ściśle zintegrowany z inteligentną siecią transmisji danych. Kluczowymi elementami inteligentnego systemu są różnego rodzaju urządzenia pomiarowe (czujniki, inteligentne liczniki),

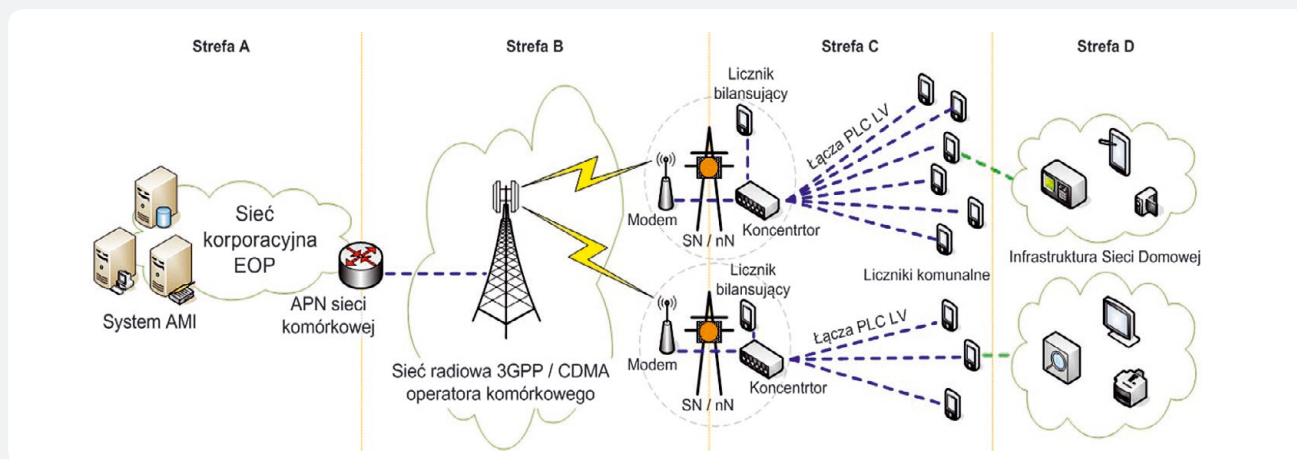
wykorzystywane do gromadzenia danych dotyczących jakości transmisji i dostaw oraz wielkości poboru energii elektrycznej w czasie rzeczywistym. W sieci Smart Grid zgromadzone dane podlegają analizie, zachodzi predykcja oraz detekcja błędów, zakłóceń, zmian w sieci, czy zmian w wielkości dostaw lub poboru energii elektrycznej, co umożliwia szybkie i optymalne zarządzanie systemem [16,17]. Smart Grid jest to inteligentny system elektroenergetyczny, który integruje działania wszystkich uczestników rynku energii: wytwórców, dystrybutorów, odbiorców w celu obniżenia kosztów energii elektrycznej oraz zapewnienia bezpieczeństwa, trwałości i efektywności dostaw [15], niezawodna transmisja danych w czasie rzeczywistym odgrywa tu kluczową rolę.

Głównym komponentem infrastruktury komunikacyjnej w sieci Smart Grid jest AMI (ang. *Advanced Metering Infrastructure*), która łączy poprzez sieci teletransmisyjne inteligentne liczniki i terminale zainstalowane u odbiorców energii z systemem informatycznym gromadzącym i zarządzającym danymi oraz kontrolującym cały system. Na rys. 5 przedstawiono schemat przepływu informacji pomiędzy licznikiem energii elektrycznej a centralnym systemem informatycznym.

Początkowo rozważano wykorzystanie systemu łączności bezprzewodowej TETRA do transmisji danych w Strefie C systemu, czyli do transmisji danych bezpośrednio z liczników energii elektrycznej zainstalowanych bezpośrednio u każdego odbiorcy. Aby wykorzystać własną, zbudowaną tylko na potrzeby łączności dyspozytorskiej, sterowania i nadzoru nad siecią SN, infrastrukturę systemu TETRA, należałoby

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 27–33. When referring to the article please refer to the original text.

PL



Rys. 5. Schemat przepływu informacji pomiędzy licznikiem energii elektrycznej a centralnym systemem informatycznym [13]

zapewnić odpowiednią pojemność systemu (możliwość cyklicznego przesyłu danych z liczników wszystkich odbiorców), co nie obyłyby się bez kosztownej, dodatkowej rozbudowy sieci zarówno w miastach, gdzie liczniki rozmieszczone są nierównomiernie, jak i w trudno dostępnych, odległych miejscach, gdzie brakuje jakiegokolwiek infrastruktury telekomunikacyjnej. Dodatkowym kosztem byłaby inwestycja w terminale końcowe u każdego odbiorcy energii. Dlatego systemy łączności bezprzewodowej nie są odpowiednim rozwiązaniem dla przesyłu danych pomiarowych od dużej liczby terminali końcowych.

Bezprzewodowy system łączności TETRA może być natomiast wykorzystany w strefie B (rys. 5) infrastruktury AMI. Dane od abonentów, zgromadzone i wstępnie przetworzone w koncentratorach w stacjach transformatorowych SN/nN, mogą być przesyłane bezprzewodowo do centralnego systemu informatycznego za pośrednictwem już wdrażanego, własnego, hermetycznego systemu TETRA. Zapewniałoby to kontrolę nad przesyłanymi danymi (połączenia priorytetowe), bezpieczeństwo transmisji i jej poufność.

4. Podsumowanie

Przedsiębiorstwa energetyczne znajdują się u progu wdrożenia systemu bezprzewodowej łączności TETRA. Myślą przewodnią jest wykorzystanie podstawowej właściwości tego systemu, jaką jest łączność dyspozytorska, podnosząca efektywność pracy grup interwencyjnych w terenie poprzez wiele usług telekomunikacyjnych, które oferuje system. Budowa własnej infrastruktury telekomunikacyjnej pozwala uruchomić zarządzany przez przedsiębiorstwo energetyczne, wykorzystywany tylko przez uprawnionych użytkowników, hermetyczny system o wysokim poziomie bezpieczeństwa i zabezpieczenia kryptograficznego. System bardziej odporny niż systemy publiczne na nieuprawniony dostęp czy atak, konfigurowany specjalnie do potrzeb użytkownika. Oferowana szybkość transmisji danych w zupełności spełni wymagania sektora energetyki na przesył danych w teledzielnicy

i telekontroli obiektów sieci elektroenergetycznej oraz w ich zdalnym sterowaniu. Umożliwi to dotarcie ze zdalną obsługą do miejsc nieobjętych do tej pory przewodową infrastrukturą telekomunikacyjną, zastosowanie połączeń alternatywnych tam, gdzie łączność przewodowa już istnieje lub zastąpi inne, droższe w eksploatacji rozwiązania bezprzewodowe, co usprawni obsługę sieci elektroenergetycznej.

Bibliografia

- Ozimek I. i in., Using TETRA for Remote Control, Supervision and Electricity Metering in an Electric Power System, *WSEAS Transactions on Communications* 2008, nr 4, t. 7.
- Woliński K., TETRA – europejski system łączności, *Wiadomości Elektrotechniczne* 2005, nr 2.
- Babś A., Świdorski J., Sterowanie i monitorowanie sieci elektroenergetycznej średniego napięcia z wykorzystaniem łączności bezprzewodowej GSM/GPRS, *Wiadomości Elektrotechniczne* 2005, nr 2.
- Serwis Urzędu Komunikacji Elektronicznej [online], <https://www.uk.gov.pl> [dostęp: 20.12.2016].
- Sawicki M., System monitorowania i sterowania pracą obiektów rozproszonych w trybie on-line z wykorzystaniem technologii GPRS i Internetu [online], http://www.telemetry.pl/filez/druk/profi_druk.htm [dostęp: 20.11.2016].
- Monitorowanie obiektów elektroenergetycznych SN i SN/nN [online], <http://www.elektroonline.pl/a/4586,Monitorowanie-obiektow-elektroenergetycznych-SN-i-SNnN> [dostęp: 20.11.2016].
- Gajewski S., Nowe kierunki rozwoju systemów rankingowych w zastosowaniach transportowych, *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej* 2013, z. 95.
- Portal tetraforum.pl [online], <http://www.tetraforum.pl> [dostęp: 20.10.2016].
- Ozimek I. i in., TETRA for Data Communication in a Power Distribution System, 5th WSEAS Int. Conference on Applied Electromagnetics, Wireless and

Optical Communications, Tenerife, Spain, 14–16.12.2007.

- Kossobudzki L., System TETRA, *Telekomunikacja i Techniki Informatyczne* 2005, nr 3–4.
- Specjalistyczny magazyn branżowy *Urządzeni dla Energetyki* [online], http://www.urzadeniadlaenergetyki.pl/index.php?option=com_content&task=view&id=114&Itemid=27 [dostęp: 20.11.2016].
- Ozimek I., Kandus G., SCADA System Using TETRA Communication Network, *World Scientific and Engineering Academy and Society* 2002, s. 444–357.
- Masiąg R., Korzyści z wdrożenia AMI na bazie wniosków z Etapu I, *Energa Operator*, Warszawa, 13 maja 2014.
- Serwis Polskie Towarzystwo Przesyłu i Rozdziału Energii Elektrycznej [online], <http://www.ptpiree.pl/> [dostęp: 20.11.2016].
- Babś A., Smart Metering. Podstawowe pojęcie i stan wdrożeń, *Instytut Energetyki w Gdańsku*, 5 kwietnia 2014.
- Ancillotti E., Bruno R., The role of communication systems in smart grids: Architectures, technical solutions and research challenges, *Computer Communications* 2013, t. 36, nr 17–18, s. 1665–1697.
- Tsado Y., Lund D., Gamage K.A.A., Resilient Communications for smart grid ubiquitous sensor network: State of the art. And prospects for next generation, *Computer Communications* 2015, t. 71, s. 34–49.
- Derengowski M., Paluszkiwicz H., Skoraszewski M., TETRA – Dyspozytorska sieć radiowa dla spółek energetycznych – przedsiębiorstw o strategicznym znaczeniu dla bezpieczeństwa państwa, *Energia Elektryczna*, październik 2015.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 27–33. When referring to the article please refer to the original text.

PL

Anna Chłusewicz

mgr inż.

Politechnika Gdańska

e-mail: anna.chlusewicz@gmail.com

Ukończyła studia na Wydziale Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej, gdzie uzyskała tytuł magistra inżyniera w zakresie systemów i usług radiokomunikacyjnych (2007). Doktorantka w Katedrze Elektroenergetyki na Wydziale Elektrotechniki i Automatyki macierzystej uczelni. Jej obecne zainteresowania naukowe dotyczą wykorzystania systemów radiokomunikacyjnych w systemie elektroenergetycznym.