

* Maciej Jarmusz,** Grzegorz Barzyk
Politechnika Szczecińska
* Instytut Automatyki Przemysłowej
** Instytut Elektrotechniki

TECHNICZNO-EKONOMICZNE I EKOLOGICZNE UWARUNKOWANIA SYNTEZY SYSTEMÓW REGULACJI I AUTOMATYCZNEGO NADZORU CIEPŁOWNI ZRĘBKOWYCH MAŁYCH I ŚREDNICH MOCY.

Streszczenie: Czynniki bezpieczeństwa ekologicznego, a także pogłębiający się deficyt surowcowy i energetyczny w coraz większym stopniu decydują o stosowaniu na skale przemysłową alternatywnych źródeł energii. Do bardziej interesujących zasobów energii odnawialnej należą w warunkach Polski i wielu krajów sąsiednich zasoby drewna opałowego, w szczególności te jego asortymenty które można poddać operacji tzw. zrębkowania. Dotychczasowe doświadczenia skandynawskie, a także coraz liczniejsze rodzime doświadczenia eksploatacyjne wskazują na celowość pełniejszego wykorzystania gospodarczego tego ważnego źródła energii. Zrębki energetyczne są korzystnym eksploatacyjnie paliwem, a systemy ich spalania można w wysokim stopniu automatyzować, aż do osiągnięcia praktycznej bezobsługowości włącznie. Wprowadzenie do systemów energetycznych wykorzystujących zrębki zaawansowanych układów automatyki realizujących zarówno funkcje nadzorcze(sterujące) jak i regulacyjne procesów produkcji energii pozwala uzyskać wysokie wskaźniki niezawodnościowe i ekonomiczne. Na obecnym etapie w Polsce energię pozyskaną ze zrębków energetycznych wykorzystuje się przede wszystkim do produkcji energii cieplnej, zwłaszcza w instalacjach rozproszonych małej i średniej mocy. Jednak przykłady siłowni zwłaszcza szwedzkich, duńskich i fińskich wskazują na realne możliwości produkcji energii cieplnej i elektrycznej w systemie skojarzonym w bardzo zróżnicowanym zakresie mocowym. W Polsce próby takie prowadzi m.in. Politechnika Poznańska. Wszystkie dotychczasowe doświadczenia eksploatacyjne zarówno krajowe jak i zagraniczne wskazują na ścisły związek pomiędzy dobrymi efektami eksploatacyjnymi siłowni zrębkowych i poziomem rozwiązań technicznych sterujących ich pracą układów automatyki. Typowe procesy regulacyjne wydają się być dla tej grupy obiektów stosunkowo dobrze rozpoznane. Nową jakość można w omawianej grupie systemów automatyki stworzyć poprzez strukturalne skojarzenie z właściwym układem regulacji sterownika strukturalnego (SSC-system status controller)opartego na regulach fuzji logic. Powstała w ten sposób struktura hybrydowa, łącząc w sobie cechy typowego sterownika PLC z niezbędnymi dla prawidłowej pracy systemu cechami wielokanałowego regulatora cyfrowego tworzy nową kategorię układów regulacji : układy regulacji z wbudowanym algorytmem diagnostyczno-decyzyjnym (control systems with built in diagnostic/decision algorithm (COSBID)). Daleko posunięta automatyzacja lokalnych procesów diagnostycznych i decyzyjnych pozwala na zblokowanie zdalnych funkcji nadzorczych dla kilku obiektów regulacji w jednym miejscu. W połączeniu z wysoką niezawodnością tworzących siłownię innych podsystemów umożliwia to uzyskanie praktycznej bezobsługowości instalacji i znaczne wydłużenie czasu pracy między znaczącymi awariami (MTBF). Prócz określonych korzyści technicznych minimalizuje to koszty wynikające z opłacania personelu i ew. przestoju systemu.

W artykule autorzy na przykładzie doświadczeń z systemem sterowania ciepłownią zrębkową średniej mocy (ok. 1 MW) rozwijają koncepcję strukturalną i algorytmiczną takiego regulatora, wskazując na zasadnicze obszary trudności technicznych i realizacyjnych. Doświadczenia praktyczne zebrano m.in. podczas 4 letniej eksploatacji pilotującej ciepłowni zrębkowej zainstalowanej w miejscowości Kliniska k. Szczecina .

Abstract: The raw materials and energetic deficiency, ecological reasons etc., makes more often -a necessity (to a industrial scale) of application of alternative sources of energy. To the one of the most interesting sources in a sphere of reproducibles in Poland and neighbouring countries, are resources of firewood. Particularly, the suitable assortments of firewoods, can be given to the operation of chips making. There is known by Scandinavian and Polish experience [5,6,7] that there is appropriate to make a greater application of this kind of energy source. Firewood energetic chips are very profitable solid fuel and their burn systems can be automatized till to achievement of full staffless. Introducing into service of energetic systems with application of chips, the advanced automatic systems (supervisors and controllers), give them a high operational reliability and economical coefficients.

This group of tasks, loaded to the control system of analyzed system, are going out of sphere of typical demands even for the advanced control systems. They create, a very complicate mosaic of tasks- typical control (installation and boiler control system), diagnostic-supervisor tasks (in power plant and storage yard) and system management. This kind of tasks make a specific functional structure of controller. It's the most important components are shown on the figure 2.

Nowadays in Poland, energy getting from energetic chips is mainly applicated to production of heat energy, especially in dissipated installations of small and medium power. Examples of Swedish, Danish and Finish plants shown to a possibilities of production of heat and electrical energy in a plant system with a different power. In Poland, research on this subject are make f.e. at the University of Technology of Poznań. As yet, exploitation experiences shown, a closely connection between well exploitations results of energetic chips plants and a level of technical solutions of automatic systems, controlled their work. Typical controlled processes for this kind of group of objects are good distinguished. A brand new quality can be created by structural connection of a specific control system with a structural controller (SSC-system status controller) leant to a fuzzy logic rules. In this case was created the hybrid structure, connected the feature of typical PLC controller with a indispensable for a right work of system the features of multicanal digital controller. It makes, in this method, a new category of control systems: control systems with built in diagnostic/decision algorithm (COSBID). Advanced automatization of local diagnostic and decision processes give a possibility of making the blocks from remotely operated supervisor functions to some of objects to be controlled, at one place. Connecting to a great operational reliability of created the plant others subsystems, it give a chance of obtain practical staffless of industrial installation. It makes also the longer time between a main failures (MTBF). Except of technical advantages it minimalize the costs of salary to the personnel and eventual shutdown the system.

Automatical control of chip plant's work of small and medium power (On the figure 1 there is shown an example of autonomic chip plant of power up to 1 MW) is nowadays an interesting subject on technical and conceptional point of view. Number of this kind of plants, small (50kW) and medium power (1-2 MW) is rising very fast. These plants represents a results of new ecological and economical quality in energy process producing from reproducibles sources [11,12]. The boilers, fired by the chips in several european countries, are applicated by the individual users to heating of houses, flats, hotels and a small industrial objects equivalent to the other kind of heating devices [7,9,10]. According to the cost of fuel and tax preferences, these heating installations are economically more profitable than installation working with other kind of fuel [16]. Only in Sweden, in last 25 years, there were created over than 2500 chips plants with power over 750 kW each [7,13]. In countries where is not so many woodfuel as in Sweden (Holland, Denmark, and even Germany), there are created a special energetic trees and shrubs plantation, being a source of reproducible fuel [3,8,10,12]. These kind of tests are making also in Poland [3,12], where potentially wood sources are estimated to the level of 16,4 mil tpu - with actually utilization at level less than 1 mil. m³ [2].

Generally, the application of boilers, fired by chips, makes a necessary of greater quality progress of simple control systems, normally useful to these and conventional devices. Fundamental tendency, awaited by the users of heating systems, there is decrease of staff and service necessities and

assurance of long period failures free. This demand is particularly important in case of energetical installations of greater power (>1 MW), have been in general, commercial character, where the service costs stayed even (in coal plants) to 25 % of whole costs [15,16]. In a chip plant, there will be a possibility of decreasing of this cost component to the level below 10% of whole costs (against to coal plants over 4 times)[4,5,16].

It have to connect with assurance of high operational reliability of plant's work. For instance of object with power of 1 MW, one hour of down-time makes for a user, production losses at level of 100 PLN per hour, without eventual costs of failure and created as a result of supplementary contract's penalty [5].

With this in mind, that the cost of typical control system (typical, with a small number of function) stay at level ca. 2 % global price of plant this power (the cost of investition of 1 MW is ca. 1,5 mil. PLN), there is simply to check, that by the demand (in period of top of the heating season) of practical non- breakdown at level of 2000-2200 hours, even a great hardware and software development of control system (with rising costs, even to 50 %), is profitable from a point of view of user.

Even in case, if the heating system being modified, is primary not so much often failed (f.e. commonly time of failure and break-down without midification, stay at level 10% of demanding by MTBF), it means the saving minimum at level of 2,0-2,2 thousand PLN in only one heating season (without eventual secondary costs of failure created as a result of supplementary contract's penalty and liquidation of results of failure)[5].

Therefore, the authors, according to experience own [5] and other admitted from exploitation of chip plants (scandinavian especially [6,7]), have been proposed a development of automatic control system controlled this heat sources in direction of rising their diagnostic and control function (reduction of system's function and eventual it's reconfiguration). The authors have been also proposed the possibility of blocks making, remote control and supervisor even several heat obiects small and medium power, on condition that there will be applicated in advanced systems of control automatics and diagnostic, and appropriated transmissions canals/ tmodems from/to the operator.

This kind of solution (primary used f.e. in Denmark [6]), in Poland need a lot of appropriated law preparations and assurances of safety of transmission canals. Proposed solutions, can be applicated also in a great part without the important modifications in a control and remote control systems of supervising to the oil and gas plants.

In a paper, the authors on the ground of experiences with a chip plant control system of medium power (ca. 1 MW), builds and develops the structural and algorithmic conception of controller, having there an application. They also shown a several fundamental problems in technical realization. Practical experience, being the ground of a paper, are aquired among others, during over 4 years of exploitation of chip plant installed in Kliniska near Szczecin.

I. WPROWADZENIE

Paliwo zrębkowe nie jest w Polsce szczególnie popularne choć rezultaty i doświadczenia eksploatacyjne zdobyte w kilkunastu istniejących w kraju instalacjach ciepłowniczych i doświadczalnych są więcej niż obiecujące [1,5]. Niewątpliwym hamulcem są stosunkowo wysokie koszty inwestycyjne siłowni zrębkowych (wynoszące np. dla produkcji ciepła ok. 1,5 mln zł / 1 MW)[4,5,12]. Koszty te są niższe o ok. 20-25% aniżeli koszty ekwiwalentne dla ciepłowni geotermalnych czy instalacji współpracujących z siłowniami wiatrowymi (tu różnica jest zdecydowanie większa i wynosi ponad 50%) [10,14]. Drugim czynnikiem ograniczającym rozwój produkcji ciepła ze zrębków jest określona i niekorzystna dla celów energetycznych struktura rynku tego surowca, kierowanego głównie do produkcji płyt wiórowych, a nie na cele energetyczne.[2,3] Trzecim czynnikiem mającym istotny wpływ na rozwój tej formy produkcji energii jest konieczność użycia zaawansowanej (a tym samym kosztownej) automatyki realizującej nadzór i sterowanie procesów produkcji energii oraz wykonania składowiska paliwa; dla instalacji małej mocy koszty te są porównywalne z ceną kotła wraz z osprzętem.[5,6].

Produkcja energii cieplnej ze zrębków jest interesującym przykładem jednego z niewielu procesów technologicznych wzorcowo wypełniającego tzw. kardynalną triadę uwarunkowań decydujących o pełnym powodzeniu inwestycji (mimo szeregu wewnętrznych sprzeczności)[5,7]:

EFEKTYWNOŚĆ EKONOMICZNA

SKUTEKZNOŚĆ EKOLOGICZNA

AKCEPTACJA SPOŁECZNA

O ile czynnik ekologiczny (jak to zostanie niżej wykazane) jest w tym przypadku niemal bezdyskusyjny, o tyle dwa pozostałe elementy układu równowagi obarczone są silną interakcją finansową i społeczną. Wynika ona m.in. ze stosunkowo wysokich kosztów inwestycyjnych [10,11].

Natomiast z punktu widzenia czysto energetycznych uwarunkowań użycia zrębków jako paliwa dla celów energetycznych można wskazać szereg dominujących cech pozytywnych [2,3,5,8].

Należy jednak pamiętać iż dla rzetelnego ich wypełnienia konieczny jest stosunkowo wysoki poziom techniczny instalacji, przez co należy rozumieć m.in. jej wysoką sprawność energetyczną, trwałość (powyżej 20 lat), proekologiczny charakter oraz taki system automatyki i nadzoru który gwarantuje wysoką jakość pracy instalacji i jej absolutne bezpieczeństwo. Systemowi automatyki przypada niezwykle ważna rola czynnika zapewniającego, a nawet gwarantującego wypełnienie wspomnianych warunków powodzenia inwestycji.

II. ZRĘBKI JAKO SZCZEGÓLNY TYP PALIWA Z PUNKTU WIDZENIA AUTOMATYZACJI PROCESÓW ENERGETYCZNYCH

Pozyskiwane metodami przemysłowymi paliwo zrębkowe jest szczególną formą odtwarzalnego surowca energetycznego pochodzącego z drewna. Zrębki mogą być pozyskiwane zarówno w warunkach typowej produkcji leśnej (z obróbki zrębkarkami niehandlowych lub gorszych jakościowo asortymentów drewna) jak i w wyniku zagospodarowania odpadów powstających przy produkcji nowych lub utylizacji wyeksploatowanych materiałów drewnopochodnych [2]. Jest to więc silnie proekologiczna cecha tego paliwa. Koncepcja pracy układu automatyki sterującego typową ciepłownią zrębkową małej lub średniej mocy jest ściśle związana ze specyficznymi właściwościami tego paliwa. Jego wartość

energetyczna waha się na poziomie: 2,5-5,5 MJ/kg przy stosunkowo dużej, przekraczającej zwykle 60-70% wilgotności [1]. Do różnego rodzaju oszacowań jako wartość porównawcza używa się zwykle równoważnika kalorycznego $R_c=0,12-0,20$ t.p.u./1 mp (a nie 1 m³!) zrębków. Kaloryczność i wilgotność poszczególnych partii paliwa zrębkowego jest na ogół silnie zróżnicowana, co zwłaszcza podczas pracy z dużym wystawieniem kotła oraz w niskich temperaturach otoczenia (a zdarzenia te zwykle się nakładają) tworzy określone utrudnienia eksploatacyjne [3,5]. Zrębki mają stosunkowo niskie właściwości kaloryczne (zasadniczo gorsze np. od słomy), co wymaga gromadzenia nawet na krótkie okresy eksploatacyjne znacznych zapasów paliwa i operowania dużymi jego ilościami w procesie produkcji energii [2,3,4,5] (są to ilości rzędu 1-1,5 m³/MWh co oznacza zapas 10 dniowy zimą na poziomie ok.300 m³, w okresie wiosna-jesień ok.60-75 m³ na 1 MW mocy [5]). Jest to zarazem paliwo o wręcz znakomitych parametrach ekologicznych. Tabela 1 pozwala porównać najbardziej interesujące użytkownika parametry zrębków na tle innych paliw ciepłowniczych [2,14,5]:

TAB 1: GŁÓWNE INFORM. O TYPOWYCH PALIWACH CIEPŁOWNICZYCH					
RODZAJ PALIWA:	WĘG.KAM.	DREW.OP.	ZRĘBKI	SŁOMA	GAZ ZIEMNY
WART.OPAŁ MJ/kg :	16-29,3	2,5-13,0	3,5-5,5	10,5-14,0	37,5-40,5
ZAWARTOŚĆ PRODUKTÓW SPALANIA w %					
POPIOŁY	10	1	<1	4	0
CHLOR	0,1	0,1	0,1	0,7	0
AZOT	1,0	0,1	0,1	0,3	0,9
SIARKA	0,8	0,1	0,1	0,16	0
WILGOĆ	12	35	45	15	0
CZEŚCI LOTNE	30	55	<50	63	0

Paliwo to wyłącznie w prawidłowo prowadzonym procesie spalania charakteryzuje się wyjątkowo korzystnymi wskaźnikami ekologicznymi. Jest to jeden z zasadniczych czynników kompensujących stosunkowo wysokie koszty podstawowe inwestycji przy budowie ciepłowni zrębkowej. Jest to zarazem zasadniczy i trudny warunek początkowy dla układu automatyki. Na tle innych popularnych paliw, zrębki energetyczne są obok gazu ziemnego najczystszym z punktu widzenia produktów spalania paliwem. Powyższe dane należy uzupełnić istotną zdaniem autorów informacją iż powstałe w procesie spalania zrębków odpady stałe w postaci popiołu drzewnego mają istotne znaczenie gospodarcze w proekologicznych procesach uprawy gruntu. Jest to bowiem nie tyle odpad po produkcji ciepła co raczej wyjątkowo cenny nawóz naturalny o składzie (na 100 kg masy popiołu): 10 kg czystego potasu (K), 4 kg czystego fosforu (P), ok. 10 kg czystego wapnia (Ca). Odpad ten jest zatem doskonałym nawozem kompleksowym, szczególnie na ziemię kwaśną a także do produkcji ekologicznie czystych warzyw i owoców. Powstaje stąd nie tylko ważny efekt ekologiczny, ale także określony dodatkowy efekt ekonomiczny. Tę jego cechę podkreślają zwłaszcza Skandynawowie, którzy operując w swych siłowniach o mocy 75-120 MW znacznymi ilościami popiołu drzewnego dalej go przetwarzają (granulowanie, wzbogacanie humusem etc.) i odsprzedają rolnictwu [5,7,13].

Do niewątpliwych zalet eksploatacyjnych paliwa zrębkowego należą :

- znaczna dostępność
- łatwość utylizacji różnego typu surowca drzewnego i drewnopochodnego na cele opałowe
- możliwość zapewnienia poprzez procesy spalania porażonych asortymentów drewna efektu sanitarnego (i to w najwyższym stopniu), istotnego dla zdrowotności lasów
- bardzo korzystne wskaźniki ekologiczne paliwa zrębkowego (prawidłowo spalane)
- względnie niska (ale tylko w niektórych ściśle zdefiniowanych sytuacjach) cena paliwa

Do zasadniczych problemów eksploatacyjnych z paliwem zrębkowym zaliczyć należy:

- * porównywalnie zdecydowanie niższa kaloryczność w stosunku do innych paliw stałych
 - ** możliwość znacznego zróżnicowania wartości opałowej w ramach jednej partii paliwa
 - ** konieczne duże kubatury składowiska opału (powinno ono najlepiej być zadaszone i wyposażone w system nadzoru oraz p.poż, co znacząco podraża jego koszty)
 - ** podatność na zawilgocenie, skutkująca obniżką kaloryczności a w określonych warunkach prowadząca nawet do tzw. zaparzenia się paliwa i ew. zagrożenia samozapłonem
 - ** podatność zasobów paliwa na zmrzanie co wymaga systemu zabezpieczeń i stosowania kotłów wielopaliwowych
 - * stosunkowo duża pracochłonność procesów przygotowania paliwa z jednoczesną praktyczną niemożliwością pełnego zmechanizowania tych prac (na obszarach o znacznym bezrobociu cecha ta, paradoksalnie, staje się zaletą)
 - * podatność ceny paliwa na zmiany cen paliw płynnych i kosztów transportu, co wymaga specyficznej lokalizacji ciepłowni w rejonach leśnych lub ich pobliżu.
- (cechy oznaczone ** mają ścisły związek z projektowaniem i eksploatacją układu sterowania)

Z powyższej analizy wynikają istotne dla procesów eksploatacyjnych (a więc i pracy układu automatyki) konstatacje iż dla prawidłowo sterowanego procesu produkcji energii cieplnej ze zrębków [1,5]:

- paliwo zrębkowe pozwala uzyskać konieczne ilości energii- pod warunkiem prawidłowej pracy źródła energii i sterującego nim układu automatyki
- wielkość ekwiwalentnego zasobu paliwa drzewnego musi być ponad 5 razy większa aniżeli np. zapasu węgla kamiennego i podlegać nadzorowi systemu sterowania
- jedynie paliwa gazowe posiadają niższy od drewna wskaźnik zawartości siarki
- z paliw stałych drewno posiada najniższy wskaźnik zawartości popiołów(które są ponadto w całości możliwe do zagospodarowania jako wysokogatunkowy nawóz naturalny),co jest swoistym ewenementem w produkcji energii cieplnej poprzez spalanie

Cechy te zdecydowanie przemawiają za szerszym wykorzystaniem tego paliwa w praktyce to zaś jest możliwe wyłącznie z użyciem rozbudowanego systemu lokalnej automatyki i nadzoru-diagnostyki [5,6,7,9].

III. CHARAKTERYSTYKA POSZCZEGÓLNYCH ELEMENTÓW PROCESU TECHNOLOGICZNEGO Z PUNKTU WIDZENIA SYNTEZY UKŁADU AUTOMATYKI

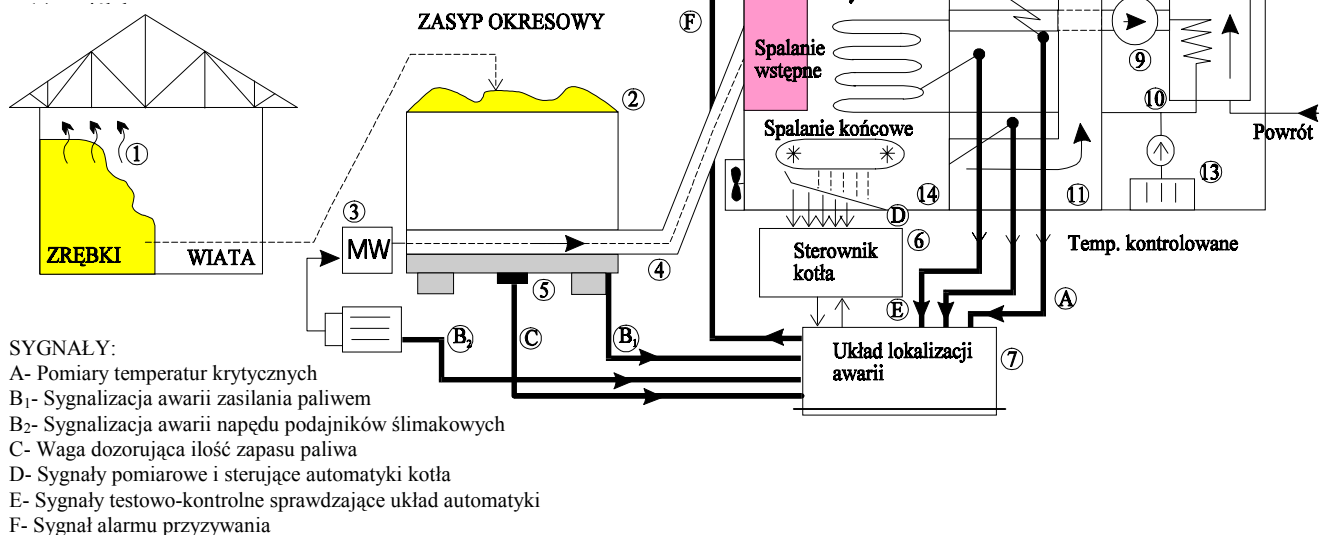
Proces produkcji energii cieplnej ze zrębków składa się z III zasadniczych etapów[1,5]:

- I. składowania paliwa i zasilania nim instalacji
- II. właściwego spalania wraz z koniecznymi operacjami pomocniczymi
- III. procesu konwersji strumienia ciepłego do parametrów sieci i jego dalszego przesyłu

Przykładowy schemat autonomicznej ciepłowni o mocy ok. 1 MW pokazuje rys.1

LEGENDA:

1. Zasadniczy skład opału + wstępne podsuszanie
2. Kontener zasobu bieżącego
3. Zespół hydrauliczny napędu ślimaków
4. Podajniki ślimakowe
5. Waga dozoru zapasu paliwa (+ew. pomiar dobowego zużycia)
6. Zespół automatyki i obsługi kotła
7. Zespół automatyki dozoru ciepłowni
8. Kocioł do spalania zrębków
9. Pompa cyrkulacyjna obiegu wewn. (krótkiego) wody kotłowej
10. Wymiennik ciepła
11. Przewód dymowy i komin
12. Nadajnik zadnego alarmowania
13. Układ uzupełniania i uzdatniania wody kotłowej



Rys. 1 Uproszczony schemat kontenerowej ciepłowni zrębkowej 1 MW mocy z pełnym układem automatyki zapewniającym jej bezobsługową pracę

Każdy z wymienionych etapów procesu jest w przypadku ciepłowni zrębkowej istotnym ogniwem łańcucha technologicznego i jak pokazują doświadczenia eksploatacyjne winien podlegać co najmniej nadzorowi i diagnostyce systemu sterującego ciepłownią [5,6,9]

III.1 SKŁADOWANIE PALIWA I ZASILANIE NIM INSTALACJI

Jak wspomniano zrębki stanowią specyficzny rodzaj paliwa odtwarzalnego. Uwaga ta dotyczy również procesów składowania i zadawania paliwa do kotła. Z uwagi na wydzielanie się w procesie składowania zrębków gazów palnych, tzw.

zaparzenie się paliwa oraz skłonność do zmrażania i zbrylania się tego paliwa przy większych temperaturach ujemnych operacja składowania i zadawania paliwa nie może odbywać się w sposób niekontrolowany, zwłaszcza jeśli siłownia ma uzyskać status co najmniej A-12. Istnieje szereg technik składowania paliwa zrębkowego- zależnych od typu siłowni i finansowych możliwości jej posiadacza. W skrócie zawierają się one od prostych technik zasypowych, poprzez zasobnie wgłębne (bunkry), aż po obiekty typu elewatorowego, z okresowym przesypywaniem zasobu paliwowego.

Niezależnie od szczegółów rozwiązania tej części łańcucha technologicznego konieczne jest wykonywanie następujących operacji diagnostyczno-analitycznych na rzecz systemu sterującego :

- ochrona przeciwwybuchowa i p.poż. (analiza składu powietrza na obecność wybuchowych stężeń gazów palnych i kontrola termiczna zasobu paliwa) z sygnalizacją alarmową i rejestracją bieżącą (data logger)
- ochrona obiektu składowiska przed osobami niepowołanymi, większymi zwierzętami i dużymi ciałami obcymi (realizowana zazwyczaj w systemie czujników pojemnościowych i (lub) ultradźwiękowych z alarmem i bieżącą rejestracją zdarzenia; szczególnie niebezpieczne są sytuacje w zasobniach typu bunkier jeśli intruz lub ciało obce dostanie się do mechanizmu stołu podawczego i podajnika- w skrajnym przypadku może to wymagać zatrzymania pracy podajnika i jeśli nie nastąpi odpowiednio szybka interwencja obsługi także zatrzymania kotła lub jego przesterowania na paliwo awaryjne
- ocena stanu paliwa zgromadzonego w składowisku (wilgotność, zlodowacenie paliwa, także ew. nadmierna zawartość ciał obcych (zwłaszcza ziemi); wynikiem tak pomyślanej całościowej lub ograniczonej analizy jest generowanie ostrzeżeń dla systemu, odnotowanie zdarzeń, a w skrajnych przypadkach realizowanie procedur blokad eksploatacyjnych
- ocena pozostającego w składowisku zasobu paliwa z raportowaniem wielkości zasobu do jednostki centralnej; czynność ta umożliwiła pośrednią ocenę wydolności systemu w krótkim horyzoncie i generowanie koniecznych ostrzeżeń dla obsługi
- sterowanie procesem zadawania paliwa do kotła (cykliczne, ciągłe lub na żądanie). Operacja ta niekiedy połączona jest z operowaniem zasobem rozchodowym paliwa który znajduje się bezpośrednio przy kotle (możliwe jest wtedy m.in. jego ew. rozmrażanie). W jej ramach realizowana jest procedura sterowania napędami (elektryczne lub elektrohydrauliczne te ostatnie dla większych strumieni paliwa) oraz ochrony tych napędów przed celowymi lub przypadkowymi zdarzeniami destrukcyjnymi, w szczególności zakleszczaniem przez bryły zlodowaczonego paliwa.
- diagnostyka urządzeń technologicznych składowiska (zwłaszcza napędów i podajników, systemu zasilania elektrycznego oraz czujników stanów krytycznych);konieczność realizacji tych funkcji potwierdziło kilka dotkliwych awarii w już eksploatowanych siłowniach szwedzkich; rezultatem działania tych procedur są ostrzeżenia i sygnały blokad oraz rejestracje zdarzeń w systemie rejestracji bieżących danych operacyjnych
- niezależna funkcja gaśnicza obszaru składowiska paliwa (w stan aktywny przechodzi gdy zachodzi zagrożenie samozapłonem lub wybuchem w obrębie składowiska, możliwe jest także doraźne uruchomienie ręczne).

Pomimo sporych doświadczeń eksploatacyjnych obserwuje się (nawet u najbardziej doświadczonych producentów skandynawskich) istotne braki w realizacji w/w funkcji kontrolnych i diagnostycznych w obrębie składowiska paliwa. Zazwyczaj w krótkim czasie prowadzą one do awaryjnych blokad pracy siłowni a nawet poważniejszych jej uszkodzeń [5,7,9].Wydaje się zasadne aby na tę część (w pewnym sensie zewnętrzną)systemu automatyki ciepłowni zrębkowych zwracać większą uwagę, zwłaszcza w części systemu odpowiedzialnej za bezpieczeństwo zasobu paliwa i sygnalizację jego stanów niepożądanych oraz prewencyjną diagnostykę w obrębie składowiska (zasobnika) paliwa.

III.2 PROCES WŁAŚCIWEGO SPALANIA WRAZ Z KONIECZNYMI OPERACJAMI POMOCNICZYMI

Regulacja kotłów w ciepłowniach zrębkowych ma na ogół charakter hierarchiczny, quasikaskadowy z wyodrębnieniem II zasadniczych pętli :

* nadrzędnej pętli ciepłowniczej, regulującej ilość i temperaturę wody wychodzącej na sieć w funkcji temperatury zewnętrznej (funkcja regulatora pogodowego);układ posiada 2-3 wejść (w tym tzw. czujnik otoczenia) i 3-4 wyjść(w tym zwykle co najmniej 1 wyjście sygnału wartości zadanej dla kotła i 1 wyjście do sterowania zaworem zmieszania)

* podporządkowanej pętli regulacji mocy cieplnej kotła(z koniecznymi funkcjami pomocniczymi)- realizującej zadanie optymalnego wytworzenia niezbędnej mocy cieplnej

Pierwsza z wymienionych pętli jest dobrze znana w literaturze i w omawianej kategorii ciepłowni nie odbiega zasadniczo od typowych rozwiązań innych regulatorów tego typu. Bardziej interesująca z uwagi na konstrukcję kotła, właściwości paliwa i uwarunkowania eksploatacyjne jest pętla druga -odpowiadająca za nadzór i regulację procesu spalania. Ta część zadania regulacyjnego jest realizowana także w obrębie jednostki centralnej sterującej pracą systemu automatyki. W ramach podsystemu wejść binarnych jednostka ta może i powinna realizować także szereg odrębnie wymienionych nieco niżej niezbędnych procedur pomocniczych i diagnostycznych.

Istotną różnicą pomiędzy systemami sterowania dla obiektów rozpatrywanej klasy i ciepłowni zrębkowych większej mocy jest podyktowane względami ekonomicznymi zablokowanie w jednej jednostce systemowej wszystkich wymienionych wyżej funkcji systemu regulacji. Ma to określone i nie zawsze pozytywne implikacje techniczne i ekonomiczne. Jednak szczególnie dla ciepłowni małych mocy (<50 kW) wydaje się być jedynym racjonalnym

rozwiązaniem z ekonomicznego punktu widzenia. Koszt sterownika wahający się w granicach 5000-10.000 zł jest porównywalny z kosztami kotła mniejszej mocy. Jego ew. rozbudowa sprzętowa jest w tym kontekście mało prawdopodobna. Nieco inaczej rzecz się ma dla obiektów o mocach wyższych. Struktura sprzętowa systemów automatyki sterującej może być w tych ciepłowniach rozbudowana nawet znacznie z uwagi na dość korzystną relację kosztów systemu sterowania do kosztów całej instalacji. Pozwala to np. na dublowanie jednostek centralnych oraz głównych ogniw funkcjonalnych systemu (np. czujników, podsystemów zasilania etc.) bez nadmiernego przedrażania kosztów instalacji. Rozwiązanie takie także pozwala w drodze odpowiedniej konfiguracji funkcjonalnej systemu znacząco podnieść jego niezawodność i zdolność przetrwania ew. stanów awaryjnych [5,7,9].

Procesy spalania zrębków realizowane są zazwyczaj w rozpatrywanej klasie siłowni w kotłach II stopniowych z przedpaleniskami zgazowującymi i fluidalną właściwą komorą spalania. Kotły podlegają klasycznym zasadom regulacyjnym tj. sterowanie ilościowo-mocowe odbywa się poprzez regulację strumienia (ilości) dawkowanego paliwa, zaś regulacja jakościowa odbywa się najczęściej poprzez regulację powietrza pierwotnego i wtórnego- zwykle (w najnowszych konstrukcjach) z użyciem sondy lambda [6,9].

Przebieg procesu produkcji ciepła (spalania zrębków) jak dowodzi tego praktyka musi być szczególnie niezawodny. W okresach największych obniżen temperatur zewn. niezawodność ta musi osiągać 100%,co np. w warunkach pogodowych Polski oznacza że okresowy średni czas pomiędzy awariami (MTBF) nie może być mniejszy aniżeli 2000-2200 godzin (okres m-cy 12-02) [4,5,9,10].

Z uwagi na możliwość wystąpienia stanów awaryjnych po stronie zasilania paliwem w tym okresie i ryzyko ew. blokady pracy siłowni, z równoczesnym ryzykiem zamarzania instalacji przesyłowej i sieciowej kotły do spalania zrębków są kotłami wielopaliwowymi (najczęściej spotykane kombinacje to olej-zrębki, LPG-zrębki lub olej-LPG-zrębki). Kombinacja taka jest także korzystna z punktu widzenia ew. początkowego rozpalania kotła i optymalizacji jego pracy w cyklu eksploatacyjnym (tzw. pochodnia postojowa lub podtrzymanie procesu palenia w stanach wyłączenia głównej mocy cieplnej -przy pracy dwustawnej) [6].

Formułując zbiór zadań koniecznych do zrealizowane przez poszczególne warstwy systemu należy pamiętać o praktycznej bezobsługowości siłowni przez okres min. 12 a nawet 24 i więcej godzin. System powinien posiadać w dużej części swego okresu eksploatacji tzw. praktyczną niezawodność (nawet w przypadku braku ingerencji wzywanej obsługi).

Biorąc to pod uwagę zadania te można scharakteryzować następująco:

I . -warstwa nadrzędna : pomiar parametrów wody sieciowej, pomiar parametrów otoczenia (optymalnie wraz z opracowaniem prognozy ich zmian w najbliższym horyzoncie),ocena globalna stanu systemu ciepłowniczego wraz z prognozą bilansu poboru ciepła, analiza stanu sprawności podsystemów technicznych, generowanie koniecznych komunikatów i ostrzeżeń systemowych, generowanie lokalnych i zdalnych alarmów dla obsługi (z jej przywołaniem na miejsce włącznie) oraz prowadzenie procesu bieżącej rejestracji danych (zwykle w ścieralnym systemie 24 godzinnym z zapamiętaniem danych zbiorczych z doby w horyzoncie miesiąca-kwartalu), kontrola ilości wody sieciowej i jej uzupełnianie w trybie doraźnym i (lub) cyklicznym, realizacja dialogu operacyjnego i systemowego z operatorem

II. -warstwa podporządkowana: pomiar zawartości tlenu w spalinach, pomiar podciśnienia w palenisku, pomiar podciśnienia w kolektorze wylotowym, pomiar pośredni strumienia paliwa pomiar temperatury we/wy i przepływu w kotle, analiza stanu sygnalizatorów ostrzegawczych i awaryjnych zainstalowanych na kotle i jego armaturze, generowanie sygnałów o stwierdzonych awariach i nieprawidłowościach do jednostki I warstwy, generowanie bezpośrednio (lokalne) alarmów konwencjonalnych, realizacja cyklicznych funkcji obsługowych w rodzaju : usuwania popiołu i osadów w multicyklonie, aktywizacja lokalnej stacji uzdatniania wody kotłowej i jej uzupełnianie w małym obiegu kotła, kontrola wymiennika w małym obiegu kotła(sprzęgającego z siecią).

III. -warstwa zarządzania systemem (dyrygent): bieżąca analiza stanu systemu jako całości (łańcuch technologiczny i system sterowania) oraz poszczególnych jego elementów, analiza mapy stanów i tworzenie map stanów awaryjnych, analiza stanów awaryjnych wybór ścieżek ew. degradacji (zwijania funkcji) systemu w stanach awaryjnych, realizacja procedur krytycznych i odstawczych. Realizacja tych funkcji systemu automatyki wydaje się być optymalna w konwencji procedur fuzzy logic wykonujących zależnie od układu uwarunkowań w tablicy decyzyjnej określone funkcje wyjścia w szczególności w postaci tzw. ścieżek rekonfiguracyjnych i procedur zwijania funkcji systemu w stanach awaryjnych. Przy pomocy tego elementu systemu możliwa jest także racjonalizacja eksploatacji poszczególnych elementów łańcucha technologicznego ciepłowni ,zwłaszcza gdy kocioł ma strukturę dwubiegową, a newralgiczne elementy systemu są dublowane.

IV. -konieczne inne funkcje pomocnicze: zapewnienie dozoru obiektu przed dostępem osób niepowołanych, kontrola prawidłowości działań operatora, ochrona p.poż. i przeciwgazowa (emisja gazów palnych, wycieki paliw pomocniczych, zadymienie otoczenia kotła, badanie i sygnalizacja nadmiaru popiołów w komorze zrzutowej kotła i pyłów w cyklonie, identyfikacja operatora i jego uprawnień, dokumentowanie czynności operatorskich, ew. obrazowanie odnotowanych stanów niepożądanych, awarii i ważniejszych zdarzeń eksploatacyjnych oraz generowanie do systemu łączności z operatorem komunikatów o statusie instalacji i kodach odnotowanych awarii. Do tej grupy działań zaliczyć należy także ew. aktywację rezerwowych źródeł zasilania energetycznego, na wypadek zaniku napięcia zasilającego instalację z podstawowego źródła.

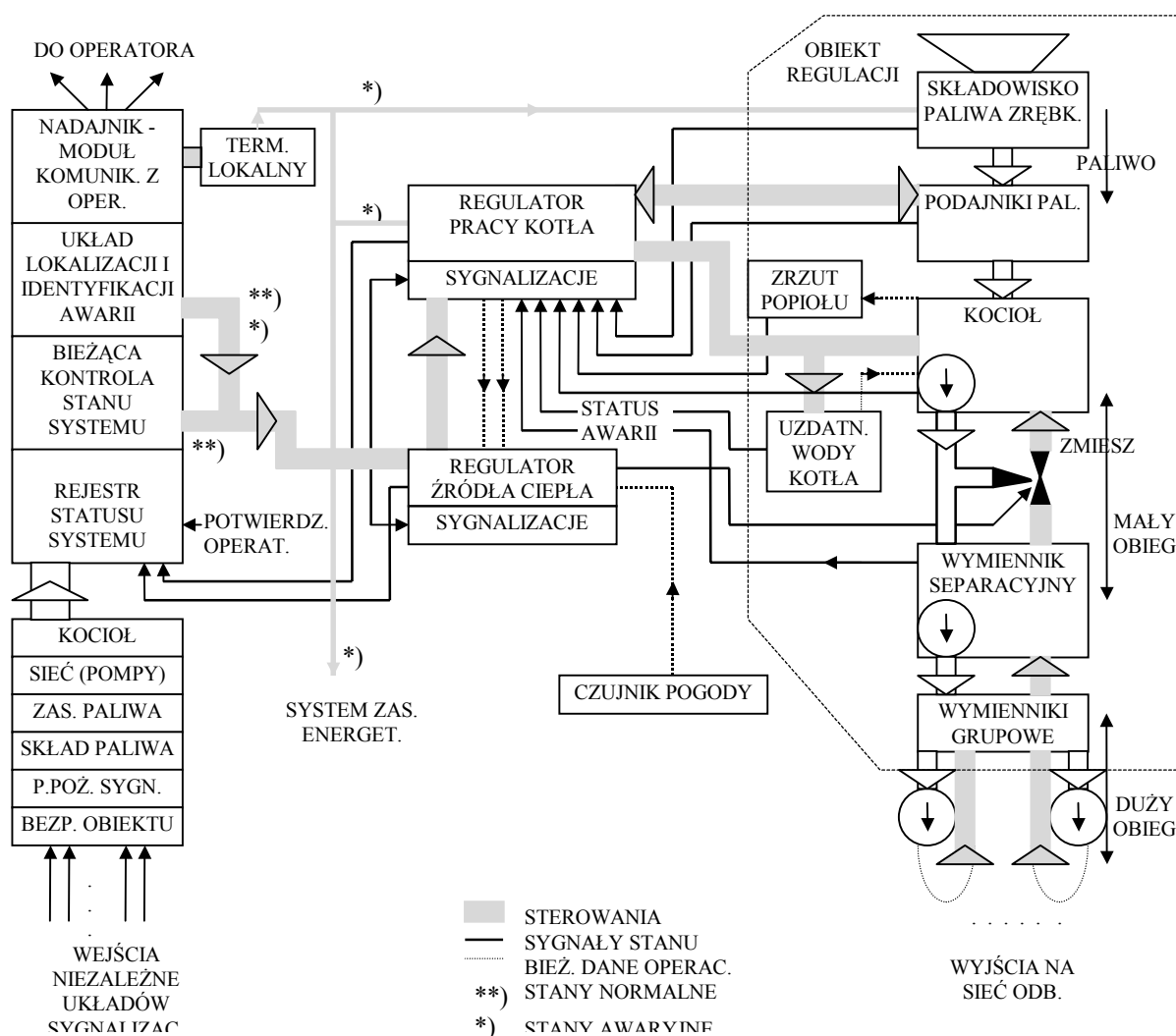
Szczególnego odniesienia wymaga problem kontaktu systemu z operatorem. Kontakt ten w rozpatrywanej wersji systemu (potwierdzonej doświadczeniami praktycznymi OC Kliniska) jest 1-2 razy na dobę, a w pozostałym czasie na ogół sporadyczny i realizowany zdalnie. Istotne jest opracowanie skutecznego systemu komunikacji operator-system i wypracowania protokołu transmisji informacji. W praktyce [6,7,9] stosowane są najczęściej dwa typy łączności:

* przewodowa - na ogólnodostępnym łączu teletechnicznym

* bezprzewodowa - przy pomocy specjalnego nadajnika pracującego w paśmie VHF lub zaadaptowanego łącza komórkowego

W obu przypadkach możliwe jest zastosowanie systemu informacji akustycznej lub znakowej (np. przy pomocy wydruku fax-u lub zapamiętania treści komunikatu na specjalnej przystawce pozwalającej ją odtworzyć i przeanalizować) [5]. Duże znaczenie ma ustalenie zasad i priorytetów dialogu z operatorem oraz możliwości ew. wtórnego kontaktu celem uzupełnienia uzyskanych informacji w trybie pogłębionej diagnostyki. Jak dotąd w żadnym ze znanych przypadków nie wykorzystano opcji zdalnego sterowania obiektem przez operatora jako jego ew. reakcji na stan awaryjny.

Niektórzy wytwórcy zrębkowych źródeł ciepła "pod klucz" także dla urządzeń małej mocy dostarczają przenośne sterowniki indywidualne, umożliwiające zdalny nadzór urządzenia z odległości nawet kilku km [9].



Rys. 2 Struktura regulatora/sterownika ciepłowni zrębkowej w systemie COSBID

Łatwo zauważyć iż w/w grupa zadań wykracza dość znacznie poza typowe wymogi stawiane nawet zaawansowanym systemom regulacyjnym. Tworzą one stosunkowo złożoną mozaikę zadań typowo regulacyjnych (system regulacji sieci i kotła), zadań diagnostyczno- nadzorczych (w siłowni i składowisku) i zarządzania systemem. Taka struktura zadań implikuje specyficzną strukturę funkcjonalną regulatora, której najistotniejsze elementy pokazuje rys.2.

Istotą proponowanego rozwiązania jest rozszerzenie funkcji regulacyjnych w obrębie wyprowadzenia mocy cieplnej na sieć i w obrębie kotła (stanowiących tradycyjne i zasadnicze zadanie systemu) o funkcje dodatkowe (sterująco-diagnostyczne). Funkcje te opierając się na :

- analizie bieżącego stanu technicznego instalacji ciepłowniczej i systemu automatyki
 - analizie wskazanych stanów i wielkości pomocniczych
 - porównaniu statusu instalacji i systemu z pożądanymi wzorcami
- dokonyją :
- wyboru optymalnej w danej sytuacji konfiguracji sprzętowej systemu automatyki (a w razie potrzeby także rekonfiguracji w obrębie instalacji produkującej ciepło)
 - generowania alarmów i ostrzeżeń dla obsługi oraz ich uproszczonego dokumentowania
 - uruchomienia procedur działań awaryjnych i procedur rozruchowo-odstawczych

IV. PODSUMOWANIE

Sterowanie automatyczne pracą ciepłowni zrębkowych małej i średniej mocy jest obecnie interesującym tematem zarówno z technicznego jak i koncepcyjnego punktu widzenia. Siłownie te, których ilość w kategorii mocy małych (<50kW) i średniej (1-2 MW) szybko wzrasta, stanowią wyraz nowej jakości ekologicznej i ekonomicznej w procesach wytwarzania energii ze źródeł odtwarzalnych [11,12]. Kotły opalane zrębkami w niektórych rejonach Europy są stosowane równie chętnie przez użytkowników indywidualnych do ogrzewania obiektów mieszkalnych, hoteli i pensjonatów oraz niewielkich obiektów produkcyjnych na równi z innymi typami urządzeń grzewczych [7,9,10]. Często relacje ekonomiczne z uwagi na cenę paliwa i preferencje podatkowe są dla tych instalacji grzewczych korzystniejsze aniżeli dla innych paliw [16]. W samej tylko Szwecji w ostatnich 25 latach powstało ponad 2500 kotłowni zrębkowych o mocy ponad 750 kW [7,13]. W krajach uboższych w paliwa drzewne (Holandia, Dania, a nawet RFN) powstają stanowiące odnawialne źródło paliwa specjalne plantacje drzew i krzewów energetycznych [3,8,10,12]. Próby takie czyni się także w Polsce [3,12], gdzie potencjalne zasoby paliwa drzewnego szacuje się na 16,4 mln tpu- przy aktualnym wykorzystaniu na poziomie poniżej 1 mln m³ [2].

Powszechniejsze zastosowanie kotłów opalanych zrębkami wywołuje potrzebę znacznego rozwoju jakościowego dotychczasowych, stosunkowo prostych systemów sterowania tymi urządzeniami. Zasadnicza tendencja jakiej oczekują użytkownicy tych systemów grzewczych to zdecydowanie zmniejszenie potrzeb obsługowych i zapewnienie długotrwałych okresów bezawaryjnej pracy. Postulat ten jest szczególnie istotny w przypadku instalacji większych mocy (>1 MW), mających na ogół charakter komercyjny, gdzie koszty obsługi stanowią nawet (w ciepłowniach węglowych) do 25% ogółu kosztów [15,16]. W ciepłowni zrębkowej rysuje się możliwość ograniczenia tego składnika kosztowego do poziomu poniżej 10% kosztów ogólnych (a w stosunku do ciepłowni węglowej ponad 4 krotnie)[4,5,16]. Jednak musi to łączyć się z zagwarantowaniem wysokiej niezawodności pracy ciepłowni. Przykładowo dla obiektu o mocy 1MW, 1 godzina przestoju generuje dla użytkownika straty produkcyjne na poziomie 100 zł na godzinę, nie licząc ew. kosztów awaryjnych i powstałych w wyniku przestoju kar umownych[5]. Biorąc pod uwagę iż koszt systemu automatyki (typowego, o stosunkowo ubogich funkcjach) wynosi ok. 2% globalnej ceny siłowni tej mocy (koszt inwest. 1MW mocy ok. 1,5 mln zł), łatwo obliczyć iż przy wymaganej w szczytowym okresie sezonu grzewczego praktycznej bezawaryjności na poziomie 2000-2200 godzin, nawet bardzo znaczna rozbudowa sprzętowa i programowa systemu sterowania (podrażająca jego koszty nawet o 50%) jest z punktu widzenia użytkownika opłacalna. Nawet w przypadku jeśli podawany tej modyfikacji jest stosunkowo mało awaryjny pierwotnie system ciepłowniczy (np. łączny czas awarii i przestojów bez modyfikacji jest rzędu 10% wymaganego MTBF), oznacza to oszczędności co najmniej na poziomie 20-22.000 zł w jednym tylko sezonie grzewczym (nie licząc ew. kosztów wtórnych wynikłych z tytułu kar umownych i likwidacji skutków awarii)[5].

Dlatego autorzy opierając się na doświadczeniach własnych[5] i dostępnych doświadczeniach eksploatacyjnych z ciepłowni zrębkowych (zwłaszcza skandynawskich [6,7]) zaproponowali zdecydowaną rozbudowę systemu automatyki sterującej tymi źródłami ciepła w kierunku wzbogacenia ich funkcji diagnostycznych i sterujących (redukcja funkcji systemu i jego ew. rekonfiguracja). Autorzy sugerują możliwość zblokowania i zdalnego sterowania oraz nadzoru nawet kilku obiektów ciepłowniczych małych i średnich mocy pod warunkiem wyposażenia ich w zaawansowane układy automatyki sterującej i diagnostycznej oraz odpowiednie kanały/modemy transmisyjne do/od operatora. Rozwiązanie takie (pilotująco stosowane np. w Danii [6]) w Polsce wymaga odpowiednich przygotowań prawnych oraz zapewnienia bezpieczeństwa kanałów transmisyjnych. Proponowane rozwiązania mogą być także zastosowane w dużej części bez poważniejszych modyfikacji w systemach kontroli i zdalnego nadzoru ciepłowni olejowych i gazowych.

Literatura :

1. Deptuła B.: Termodynamiczno-ekonomiczna analiza stosowania drewna jako paliwa. Mat. II Konferencji "Racjonalizacja użytkowania energii i środowiska", Szczyrk 1994
2. Guzenda R., Świgoń J.: Techniczne i ekologiczne aspekty energetycznego wykorzystania drewna i odpadów drzewnych. Mat. II Konferencji "Racjonalizacja użytkowania energii i środowiska", Szczyrk 1994

3. Guzenda R., Świgoń J.: Bilans oraz ocena efektywności uzyskiwania energii z drewna w szczególności z plantacji energetycznych. Mat.IV Konferencji "Racjonalizacja użytkowania energii i środowiska ", Szczyrk 1996
4. Jarmusz M.: Wykorzystanie ciepłownictwa zrębkowego jako alternatywnej technologii wytwarzania ciepła w warunkach komunalnych. Opracowanie eksperckie wykonane na zlec. Zarządu m. Szczecina , Szczecin 1994
5. Jarmusz M.: Możliwości wykorzystania paliwa zrębkowego do produkcji ciepła w warunkach gminy Police. Opracowanie eksperckie wykonane na zlec.ZMiG Police, Szczecin-Police 1996
6. JUSTSEN Energiteknik A/S oraz VOELUND Mek.Ver.AB- dokumentacja ofertowa instalacji ciepłowniczych o mocach 20-1000 kW (Aalborg-Goeteborg1994-96)
7. Landskrona Comunal Heating Plants- Annual Report 1992-96 -Part V - Economical and Operating Target;Control and Measurement Systems.Landskrona Commune Board SOSK,1996
8. Malko J.,Wojciechowski H.: Wykorzystanie biomasy jako źródła energii.Mat. IV Konferencji "Racjonalizacja użytkowania energii i środowiska ", Szczyrk 1996
9. Neue Geraten Gruppe HSK-A für Holzfeuerungsanlagen.Mat.ofertowe f-my HEIZO-MAT GmbH, Aachen 1996
10. Oettel E., Plath H.J., Haschke P: Potential realisierte Anlagen und wirtschaftliche Effekte der energetische Nutzung von Holz in der ER POMMERANIA. Mat.I Europäische Erneurbare Energien für Regionen und Stadte. Ulm 1996
11. Panek A.Duda L.: Zapotrzebowanie na ciepło do roku 2020 w wariacie ekorozwoju. Mat. Semin. pt."Problemy ciepłownictwa komunalnego", KPE PAN, Gdynia-Warszawa 1996
12. Pieczyński L. "Priorytety w finansowaniu ochrony środowiska do 2000 r." Mat. regionalnej konferencji pt."Inwestycje w ochronie środowiska w regionie szczecińskim"- Pogorzelica 17-18.10.1996
13. Reports of Energy Research and Development Commision.Report No 37 :Renewable energy sources in Sweden, Stockholm 1981
14. Rubik M.: Ciepłownictwo-Źródła ciepła. Program Restrukturyzacji i Prywatyzacji przedsiębiorstw komunalnych, Warszawa 1993
15. Wiszniewski A.: Konwersja węgla gazem i paliwami płynnymi w lokalnych kotłowniach grzewczych. Mat. Semin. pt."Problemy ciepłownictwa komunalnego", KPE PAN, Gdynia- Warszawa 1996