

Mirosław ŻAK

Akademia Rolniczo Techniczna

Olsztyn

KONCEPCJA SYSTEMU ZDALNEGO POMIARU ZMIAN CECH GEOMETRYCZNYCH PIERWSZEJ POLSKIEJ ELEKTROWNI JĄDROWEJ

Streszczenie. W artykule omówiono koncepcję pasywnego systemu pomiarowego, który pozwalałby śledzić narastanie określonych zjawisk i tendencji geometrycznych, a zarazem stanowiłby uzupełnienie klasycznych pomiarów przemieszczeń. Prace zmierzają do stworzenia modularnego układu, składającego się z kilkuset punktów pomiarowych, w których mają być mierzone różne wielkości geometryczne i fizyczne. Układ ten ma być układem w pełni zintegrowanym, mającym na wyjściu urządzenia analizujące i finalnie wizualizujące rezultaty pomiarów.

Zgodnie z prawem atomowym i filozofią obowiązującą w krajach budujących elektrownie jądrowe bezpieczeństwo ich pracy zapewnia się przez ograniczanie środkami technicznymi i organizacyjnymi możliwości narażenia personelu eksploatacyjnego i okolicznej ludności na oddziaływanie promieniowania jonizującego.

Teoria systemu zabezpieczenia dzieli je na dwie zasadnicze grupy:

- systemy aktywne,
- systemy pasywne.

Systemy aktywne pomyślane są w taki sposób, by umożliwiały podejmowanie odpowiednich działań, likwidujących ryzyko awarii reaktora i tym samym pozwalały w sposób aktywny unikać skażenia środowiska czy uszkodzenia urządzeń.

Systemy pasywne - to głównie rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe, które tworzą skuteczne bariery uniemożliwiające rozprzestrzenianie się substancji radioaktywnych, a także rozwiązania instrumentalne, które pozwalają śledzić narastanie pewnych zjawisk mogących wywołać zagrożenie obiektu.

W przypadku pierwszej polskiej elektrowni jądrowej podjęto decyzję o konieczności stworzenia pasywnego systemu pomiarowego, który pozwoliłby śledzić narastanie określonych zjawisk i tendencji geometrycznych. System ten miałby stanowić istotne uzupełnienie systemu klasycznych pomiarów przemieszczeń przewidzianego w projekcie elektrowni.

U podstaw decyzji legło założenie, że w łańcuchu czynników decydują o niezawodności jakiegoś obiektu - jednym z ogniw jest kształt geometryczny, utrwalony w procesie budowlano-montażowym i że kształt ten winien być przez obiekt w okresie eksploatacji w określonych granicach zachowany. Uznano, że jest to element bardzo wrażliwy, dający się przy tym dość łatwo poddawać operacjom pomiarowym, w wyniku których uzyskiwać można ilościowy i jakościowy szacunek procesów, prowadzących do pogorszenia się jakości obiektu. Świadomość tego faktu, jak też trudnych warunków posadowienia elektrowni zdecydowało o tym, że postanowiono stworzyć system pomiarowy, który uczyni możliwe zdalne pomiary przemieszczeń wybranych obiektów elektrowni i dzięki temu możliwe stanie się uzyskiwanie ciągłych informacji na temat zmian cech geometrycznych tych obiektów w aspekcie ich niezawodności i bezpieczeństwa. Pozwolić ma to na wnioskowanie o związkach przyczynowo-skutkowych wywołujących pogarszanie się jakości obiektów w warunkach przejmowania określonego typu obciążeń.

Truizmem jest stwierdzenie, że wszelkiego rodzaju budowle o znacznej złożoności technicznej, o trudnych warunkach posadowienia, pracujące w trudnych reżimach lub stanowiące w przypadku uszkodzenia zagrożenie dla otoczenia poddawane być winny okresowym pomiarom przemieszczeń. Mam tu na myśli geodezyjne pomiary przemieszczeń, a więc takie pomiary, których celem wyznaczenia są pewne wielkości geometryczne, mogące w miarę potrzeby wchodzić do kompleksowych analiz jako składowe stanu odkształcenia. Bez wątplenia też geodezyjne pomiary przemieszczeń są najbardziej popularnymi sposobami oceny stanu bezpieczeństwa obiektów, szczególnie w okresie ich eksploatacji.

Trudności w prowadzeniu klasycznych pomiarów przemieszczeń pojawiają się wówczas, gdy:

- miejsca, w których znaleźć się muszą znaki pomiarowe, są trudno lub całkowicie niedostępne dla obserwatora,
- charakter obiektu narzuca potrzebę wykonywania obserwacji w możliwie krótkim czasie przy znacznej ilości punktów,
- częstotliwość wykonywania obserwacji jest duża.

Wszędzie tam, gdzie istnieją powyższe utrudnienia, a pomiary przemieszczeń uznano jednak za niezbędne, sięgnąć trzeba po rozwiązania inne. Jednym z nich jest system pomiarowy, umożliwiający zdalne ciągłe lub permanentne pomiary przemieszczeń.

System pomiarowy tego typu czynić winien zadość następującym warunkom:

- dawać możliwość dokonywania oceny stanu geometrycznego tych fragmentów budowli, które ze względu na swój charakter i funkcje uniemożliwiają wykonywanie pomiarów bezpośrednich,

- umożliwić prowadzenie ciągłych, permanentnych lub okresowych obserwacji wszystkich elementów, niezbędnych do szacowania bezpieczeństwa obiektu,
- posiadać cechy trwałości, umożliwiające niezawodne funkcjonowanie układu przez długie okresy czasu, kiedy pomieszczenia, w których zostaną zainstalowane urządzenia pomiarowe, przestaną być dostępne dla ludzi,
- posiadać cechy układu redundancyjnego, to jest dawać możliwość pomiaru każdego z wyznaczanych elementów co najmniej trzema sposobami z wykorzystaniem różnych zjawisk fizycznych,
- zapewniać szybkie przetwarzanie wyników i przedstawianie ich w czytelnej syntetycznej formie, umożliwiającej podejmowanie natychmiastowych decyzji operacyjnych,
- posiadać cechy elastycznego, modularnego, uniwersalnego układu, pozwalające na stosowanie systemu w różnego typu obiektach zarówno nowo wznoszonych, jak i eksploatowanych.

Zapotrzebowanie na elementy geometryczne, charakteryzujące stan dowolnego, badanego obiektu obejmuje następujące wielkości:

a. Zmiany różnic wysokości

Są to elementy geometryczne określające wzajemne przemieszczanie się, na ogół, grupy punktów w kierunku działania siły ciężkości. Z uwagi na szczególną wrażliwość budowli na osiadanie - w szczególności nierównomierne - ten typ informacji jest bardzo pożądanym i uważany w wielu przypadkach jako wystarczający. Stąd duża popularność pomiaru różnic wysokości i znaczne zapotrzebowanie na ten rodzaj wyznaczenia.

b. Zmiany długości

Są to najczęściej określone elementy w rozumieniu wyznaczania zmian wzajemnego położenia dwóch punktów leżących w bliskim sąsiedztwie. Najprostszym przykładem są szczelinomierze, które pozwalają określać zmiany długości w jedno-, dwu- lub trójosiowym układzie odniesienia. Stosowany jest tu często czysto jakościowy sposób wykrywania przemieszczeń przez stosowanie płytek szklanych, których pęknięcie dowodzi występowania przemieszczenia wzajemnego dwu elementów budowli, przedzielonych szczeliną lub pęknięciem. Bardziej złożone jest wyznaczanie zmian odległości między dwoma punktami odległymi od siebie o kilka lub kilkanaście metrów.

c. Zmiany pochylenia

Chodzi tu o wyznaczanie zmian położenia dwóch lub więcej punktów położonych w różnych poziomach bezpośrednio nad sobą. Przywykło się ten rodzaj informacji uzyskiwać ze wskazań wahadeł różnej konstrukcji.

d. Zmiany odległości od tzw. stałej prostej

W tym przypadku przedmiotem zainteresowania są przemieszczenia punktów obserwowanych w kierunku prostopadłym do prostej, wyznaczającej ich uszeregowanie. Chodzi więc *de facto* o kontrolę odchylenia od warunku prostoliniowości.

e. Zmiany pochylenia fragmentów budowli lub elementów maszyn

W tym przypadku chodzi o informację o pochyleniach obiektów badań opierając się na bardzo krótkiej bazie, długości od kilkudziesięciu milimetrów. Pomiaru tego typu wykonuje się instrumentami nazywanymi generalnie pochyłomierzami, bez względu na ich cechy konstrukcyjne.

W przypadku pierwszej polskiej elektrowni jądrowej zdecydowano, iż zasadnicze operacje pomiarowe prowadzone będą na górnej powierzchni płyty fundamentowej budynków reaktorowni, na poziomie -6,50.

Płyta wznoszonej aktualnie reaktorowni objęta jest okresowymi pomiarami osiadań metodą geometrycznej niwelacji precyzyjnej. Pomiary te prowadzone są od momentu rozpoczęcia robót betonowych. Prowadzone są one w odstępach 4-tygodniowych i wykonywane będą przez cały okres wznoszenia aż do momentu podjęcia eksploatacji.

W chwili obecnej, po zakończeniu robót betonowych zastabilizowanych jest na płycie 128 znaków pomiarowych (reperów) powiązanych w sieć kontrolną z reperami odniesienia. W ten sposób możliwe stało się wyznaczanie bezwzględnych wartości osiadań tych znaków, reprezentujących osiadania fundamentu w funkcji czasu. Dotyczy to również fundamentów turbozespołów.

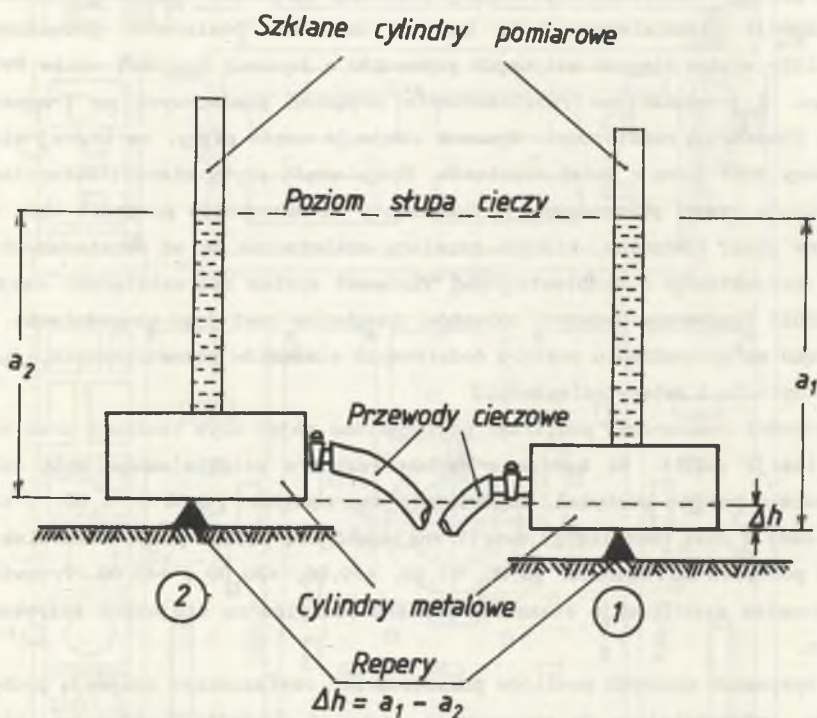
Nie ulega wątpliwości, że pomiary osiadań muszą być prowadzone również w okresie eksploatacji, obejmując co najmniej newralgiczne obiekty elektrowni. Nie zamierza się przy tym rezygnować z możliwości pomiaru osiadań z wykorzystaniem istniejącej sieci kontrolnej (wymóg projektanta). Jej obserwowanie uzależnione jest jednak możliwościami dostępu do znaków pomiarowych, rozmieszczonych na płycie fundamentu reaktorowni w okresie eksploatacji. Tego typu pomiary w eksploatowanych elektrowniach jądrowych w Czechosłowacji napotykają na zasadnicze trudności.

Punktem ciężkości zdalnych pomiarów zmian cech geometrycznych newralgicznych obiektów Elektrowni stał się w tej sytuacji system pomiaru osiadań fundamentu reaktorowni i dalej fundamentów turbozespołów. W tym drugim przypadku do maksymalnej przezorności zmuszają awarie turbozespołów w elektrowniach Dolna Odra (200 MW) i Kozienice (500 MW) a w szczególności ostatnia katastrofalna awaria w elektrowni Boxberg (500 MW). W każdym z tych przypadków przyczyn doszukuje się głównie w deformacji stołów fundamentowych turbozespołów,

co utwierdza w przekonaniu o słuszności założeń metodycznych uczynionych w stosunku do pierwszej polskiej elektrowni jądrowej.

Pomiary osiadań w automatycznych systemach pomiarowych wykonywane są metodą niwelacji hydrostatycznej, wykorzystującej zasadę naczyń połączonych, w których ciecz ustawia się na tym samym poziomie we wszystkich naczyniach pomiarowych, wchodzących w skład systemu.

Zasadę wyznaczania różnicy wysokości dwóch punktów z wykorzystaniem niwelacji hydrostatycznej ilustruje rys. 1.



Rys. 1. Zasada wyznaczania różnicy wysokości metodą niwelacji hydrostatycznej

Fig. 1. Level difference determination by the hydrostatic method

Znane hydrostatyczne systemy pomiarowe opierają się głównie na pomiarze (od góry) odległości między reperem, na którym zawieszono jest naczynie pomiarowe, a zwierciadłem cieczy w naczyniu. Ten sposób pomiaru bywa w znacznym stopniu obciążony lokalnymi wahaniami temperatury, które wywołują zmiany gęstości cieczy, a tym samym zmiany jej poziomu w poszczególnych naczyniach.

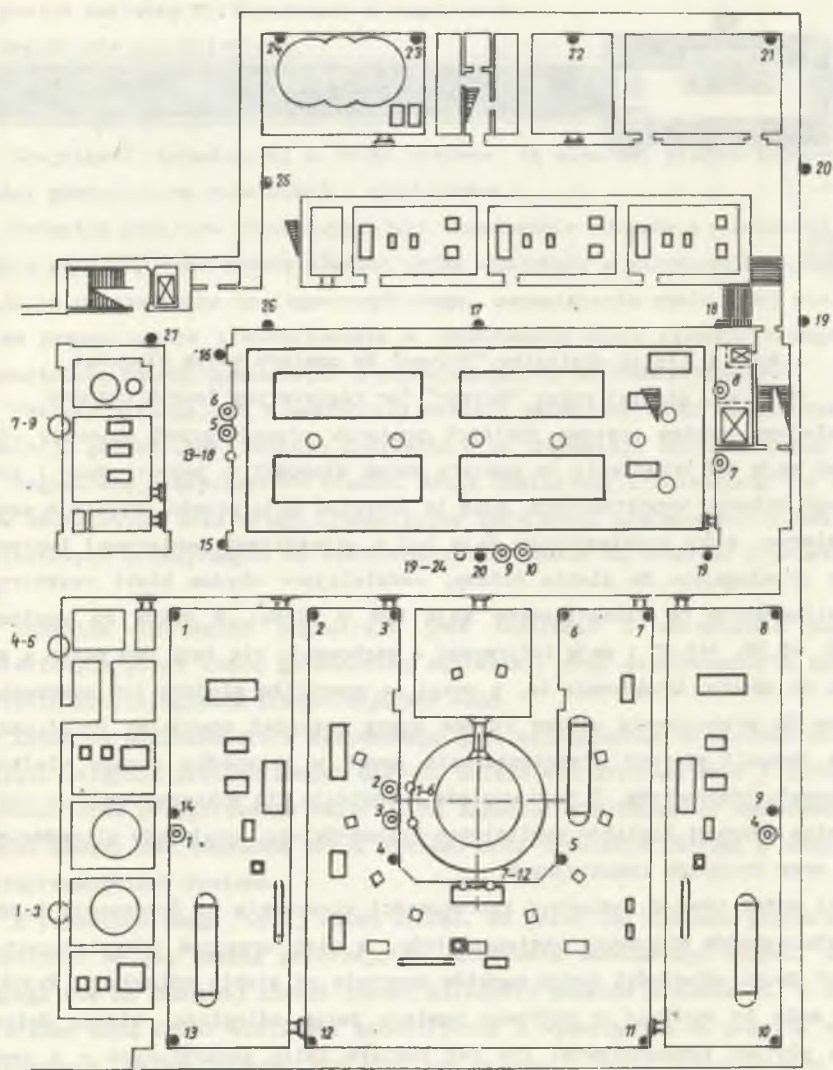
Na dokładność pomiaru mają też wpływ: wahania ciśnienia atmosferycznego, kapilarność cylindrów i przewodów, lepkość cieczy, kształt ostrza pomiarowego doprowadzanego do styku z tą cieczą, rodzaj menisku i in. Biorąc pod uwagę fakt, że pomiary położenia poziomu cieczy w każdym z naczyń pomiarowych wyko-

nywać trzeba będzie w systemie pomiarowym elektrowni co najmniej trzema różnymi sposobami, a także i okoliczność, że w polskich warunkach nie zbudowano dotąd hydrostatycznego systemu zdalnego pomiaru osiadań - podjęto decyzje o wszczęciu prac konstrukcyjnych nad urządzeniami, wykorzystującymi do pomiaru zupełnie inne od dotychczasowych a przy tym różniące się między sobą zasady. Zdecydowano się również na zrezygnowanie z tradycyjnego zastosowania wody jako cieczy-nośnika poziomu w systemie pomiarowym.

Na płycie reaktorowni w pierwszej polskiej elektrowni jądrowej (aktualnie wznoszonej) zainstalowane mają być 54 naczynia pomiarowe, połączone w jednolity system ciągami sztywnych przewodów o łącznej długości około 990 m. Na rys. 2 przedstawiono rozmieszczenie urządzeń pomiarowych na fragmencie płyty fundamentu reaktorowni. Rysunek obejmuje część płyty, na której zlokalizowany jest jeden z dwóch reaktorów. Druga część płyty stanowi zwierciadlane odbicie części prezentowanej. Fundamenty turbozespołów posiadać będą niezależne sieci kontrolne, których rozmiary uzależnione są od ostatecznych decyzji projektantów i eksploataatorów. Ponieważ system hydrostatyczny obejmuje wyłącznie fundamenty badanych obiektów, niezbędne jest jego uzupełnienie. Polega ono na wprowadzeniu pomiaru dodatkowych elementów geometrycznych, jakimi są pochylenia i zmiany odległości.

W części reaktorowej pomiarami postanowiono objąć szyb reaktora oraz wieżę lokalizacji awarii. Na każdym z szybów reaktora zainstalowane będą cztery stanowiska pomiaru pochyłeń, odpowiednio na rzędnych: $-6,00$ i $+1,00$. Z kolei na każdej z wież lokalizacji awarii znajdować się będzie po 10 stanowisk pomiaru pochyłeń na rzędnych: $-6,00$, $+1,00$, $+19,00$, $+30,00$ i $+45,00$. Przewiduje się ponadto stabilizację stanowisk pomiaru pochyłeń na stojakach łożyskowych turbin.

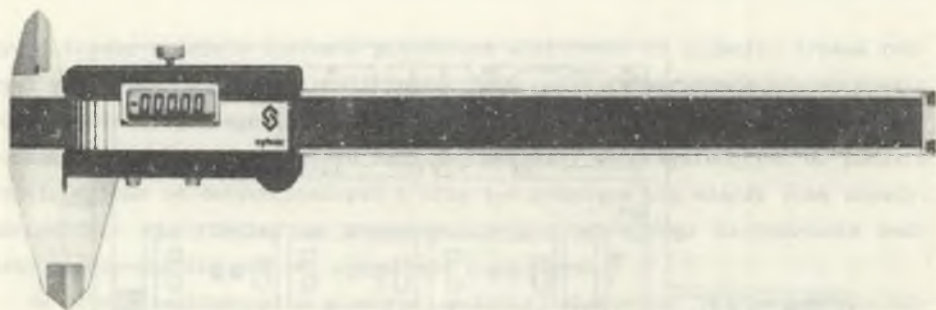
W systemach zdalnych pomiarów przemieszczeń zastosowanie znajdują pochyłomierze, wykorzystujące do wyznaczania pochyłeń czujniki indukcyjne, ultradźwiękowe, rezystancyjne, pojemnościowe, fotoelektryczne i tensometryczne. Istnieje znaczna ilość rozwiązań konstrukcyjnych w zakresie pochyłomierzy o różnych zakresach pomiarowych, czułości, dokładności odczytu. W Polsce produkowany jest seryjnie jedynie pochyłomierz strunowy (tensometryczny). Jednocześnie bardzo zaawansowane są prace nad pochyłomierzem ultradźwiękowym, który winien znaleźć zastosowanie w systemie tu opisywanym. Tym niemniej wydaje się niezbędne włączenie do systemu istniejących i sprawdzonych pod względem niezawodności rozwiązań technicznych, skonstruowanych w innych krajach. W szczególności pochyłomierze z rodziny Minilevel firmy Wyler (rys. 3) posiadają walory techniczno-eksploatacyjne każące upatrywać w tej konstrukcji instrument znakomicie przydatny do omawianych celów.



Oznaczenia:

- - szczelinomierze
- - system hydrostatyczny
- - pochylomierze
- ⊙ - termometry

Rys. 2. Rozmieszczenie urządzeń pomiarowych na płycie fundamentu reaktorowni
 Fig. 2. Location of measuring equipment on the foundation slab in the reactor building



Rys. 3. Liniał digitalny "Sylvac" do pomiaru zmian długości

Fig. 3. A digital ruler "Sylvac" for registering length changes

Kolejnym modułem systemu zdalnych pomiarów przemieszczeń obiektów elektrowni mają być urządzenia do pomiaru zmian długości w jedno-, dwu- i trójosiowym układzie współrzędnych. Rolę tę spełniać mają przede wszystkim szczelinomierze, które rozmieszczone mają być w przestrzeni pomiarowej tworzonej przez przelegające do siebie ściany, oddzielające obydwie bloki reaktorowe. Szczelinomierze te zlokalizowane mają być w ilości 9 sztuk na poziomach $-6,00$, $+5,00$, $+19,00$ i mają informować o zachowaniu się tych dwu ścian w stosunku do siebie. Urządzenia te, z uwagi na specyfikę miejsca ich osadzenia i trudny do przewidzenia zakres ruchów muszą posiadać specjalną konstrukcję, która pozwoli mierzyć przemieszczenia nawet w przypadku ruchów wielkości kilkunastu centymetrów. Z tego względu przewiduje się wykorzystanie do pomiaru zmian długości liniałów dygitalnych Trimos-Sylvac, czujników ultradźwiękowych oraz czujników indukcyjnych.

Nie można również wykluczyć konieczności stosowania na fundamencie każdego z turbozespołów drutowych ekstensometrów, a więc urządzeń pozwalających na pomiar zmian odległości dwóch punktów znacznie od siebie odległych. Przykładowo może to wynikać z potrzeby pomiaru zmian odległości między dolną i górną płytami fundamentowymi lub też pomiaru zmian gabarytowych - w szczególności - górnej płyty fundamentu. Przedstawiony tu zespół urządzeń mierzących stanie się systemem pomiarowym po włączeniu do niego odpowiedniego sprzętu elektroniczno-informatycznego. Jego zadaniem jest zbieranie danych pomiarowych, przetwarzanie tych danych i magazynowanie ich w pamięci, generowanie raportów na żądanie i samodzielne informowanie w przypadku zbliżenia się do wartości określonych jako graniczne. W systemie elektroniczno-informatycznym wyróżnić można:

- poziom czujników,
- poziom pakietów obiektowych,

- poziom pakietów sprzęgających z magistralą,
- magistralę pierścieniową,
- sterowniki magistrali,
- mikrokomputery.

Czujnikami, wchodzącymi w skład systemu, są elementy przetwarzające wielkości geometryczne na wielkości elektryczne.

Zadaniem pakietów obiektowych jest dekodowanie adresów z poleceniem wykonania pomiaru, dokonywanie włączeń wejść czujników w założonej kolejności do wejścia przetwornika analogowo-cyfrowego, zapamiętanie pomierzonej wielkości oraz przygotowanie i wyemitowanie w odpowiednim oknie czasowym telegramu z zawartością danych pomiarowych i odpowiadających im identyfikatorów.

Pakiety sprzęgające z magistralą pakiety obiektowe służą do połączenia i izolacji galwanicznej obwodów zasilania oraz transmisji danych z magistralą.

Magistrala pierścieniowa stanowi drogę zasilającą i adresującą dla pakietów obiektowych oraz drogę transmisyjną informacji uformowanych w pakietach obiektowych przesyłanych do mikrokomputerów, gdzie są zbierane i przetwarzane.

Zadaniem sterownika magistrali jest zasilanie i adresowanie pakietów obiektowych przez linię galwaniczną magistrali oraz przyjmowanie z pakietów obiektowych telegramów transmitujących dane.

Zadaniem mikrokomputera systemowego jest przejmowanie od sterownika magistrali wstępnie przetworzonych danych, dalsze ich przetworzenie i systematyzowanie oraz przygotowanie raportów na żądanie. Mikrokomputer systemowy prowadzi nadzór nad poprawną pracą systemu oraz informuje obsługę o wszystkich niesprawnościach systemu.

Z przedstawionego wyżej opisu wynika, że prace nad systemem pomiaru przebiegają metodą zdalną zmierzającą do stworzenia modularnego układu, składającego się ze znacznej ilości (nawet kilkuset) punktów pomiarowych, w których mierzone będą różne wielkości geometryczne z wykorzystaniem różnych zjawisk fizycznych. Układ ten musi być przy tym układem w pełni zintegrowanym, mającym na wyjściu urządzenia analizujące, selekcjonujące, uśredniające, przetwarzające i -finalnie- wizualizujące rezultaty pomiarów. Wszechstronne, bardzo intensywne prace nad systemem są w pełnym toku.

Recenzent: Doc. dr inż. Adam Żurawski,

Wpłynęło do Redakcji 28.12.1987 r.

**GENERAL OUTLINE OF A REMOTE MEASURING SYSTEM
FOR GEOMETRIC CHANGES AT THE FIRST POLISH
NUCLEAR POWER PLANT**

S u m m a r y

The paper presents an idea of a passive measuring system, enabling one to trace the development of certain phenomena and tendencies concerning geometry, and forming at the same time a supplement of the classic displacement survey. The work is aiming at a modular system of few hundreds of measuring points for monitoring various geometric and physical data. This system is to be a fully integrated, with output devices for analysing, selecting and finally visualizing the results.

**KONZEPTION EINES FERNMESSUNGSSYSTEMS DER ÄNDERUNGEN
VON GEOMETRISCHEN EIGENSCHAFTEN
IM ERSTEN POLNISCHEN KERNKRAFTWERKE**

Z u s a m m e n f a s s u n g

In diesem Artikel wurde die Konzeption eines passives Meßsystemes, das es erlaubt das Ansteigen bestimmter Erscheinungen und geometrischer Tendenzen zu verfolgen, und gleichzeitig eine Ergänzung der klassischen Verlagerungsmessungen, darstellt.

Die Bearbeitungen gehen in Richtung der Gründung eines modulares Systemes, die Zusammensetzung des Systems besteht aus einige hundert Meßpunkte, auf welche man verschiedene geometrische und physische Größen abmessen kann. Dieses System muß ein voll integriertes System sein, welches am Ausgang eine Analyse-, Auswählereinrichtung und Endanzeigeeinrichtung der Meßergebnisse hat.