

tischer Steuerung des Messprozesses.

Vollautomatisches Multi-

MSM zum Bestimmen der

vertikalen Biegelinie von

<u>Sensoren-Messsystem –</u>

Henryk Bryś. Grzegorz Mirek, Krakau

1 Einleitung

Die Messresultate der kontinuierlichen Überwachung der Standsicherheit und des räumlich-zeitlichen Staumauerverhaltens sind zweifellos das zuverlässigste Kriterium für die Sicherheitsbewertung einer Talsperre. Bei geodätischen Deformationsmessungen kommen zum Einsatz präzise Messverfahren sowie Instrumente und Geräte der höchsten Genauigkeitsklassen. Es muss die besondere Bedeutung der Sensortechnik bei der Verbesserung der Informationsgewinnung und der Fernübertragung von Messwerten hervorgehoben werden. Eine wesentliche Rolle bei der Erfassung räumlicher Kurzeitverformungen spielt in vielen Fällen die notwendige Kürze der Beobachtungszeit, um ggf. rechtzeitig vorbeugende betriebstechnische Maßnahmen zu unternehmen.

Biegelinie von Staumauern vorgestellt.

Die Lage- und Geometriestabilität einer Staumauer ist hauptsächlich durch die Beständigkeit auf Eigenspannungsstörungen, die geologische Struktur des Felsgesteins und teilweise durch die Gründungsraumverformungen bedingt. Mit modernen Fernmesssystemen wird die Reaktion der Staukörperkonstruktion als Effekt der verspäteten Antwort auf die integrierten Kräfte, die aufgestaute Wassermenge und die wechselnden Einflüsse der Wärme- und Abkühlungsspannungen, bestimmt. Infolge der intensiven Sonneneinstrahlung entsteht temperaturinduzierte elastische Durchbiegung der luftseitigen Betonmauer in der entgegengesetzter Richtung zum Wasserdruck. Die Messergebnisse sind von der Kompensation der o.a. fast alltäglich auftretenden Einflussfaktoren abhängig.

Die Resultante der Verformungen bildet die vertikale Biegungslinie der Staumauer. Dank der kontinuierlichen Datenerhebung ist es möglich die elastischen von den bleibenden Deformationen des Staubauwerks zu identifizieren und die Verlagerungen der einzelnen Messpunkte zu bestimmen.

Auf bestimmten Beobachtungshöhen des Mauerfeldes der Schachtwand werden mit Sensoren-Messanlagen die Vek-

2 Der konstruktive Aufbau, Funktionsprinzip und Ausrüstung des Messsystems

Zur massenhaften Erfassung, Registrierung, Weiterverarbeitung, Auswertung und Übertragung der Messinformationen von Überwachungspflichtigen Sperrmauern dienen zeitgemäß fast ausschließlich diverse Sensoren und Großrechner. Die verarbeiteten Messresultate samt der Genauigkeitsbewertungen werden auf Displays dargestellt. Die auf verschiedenen Beobachtungs-Horizonten verankerten Messgeber erlauben synchrone und kontinuierliche Messung der aktuellen Ausschläge des Pendellots-Drahtes mit einem Zentisekunden-Frequenzgang und die Fernübertragung in Echtzeit an die Computer-Zentrale. Das Messprinzip der Verschiebungs-Vektoren u_{x_i} beruht auf der Aufzeichnung aller Sensoren-Messsignale und der Bestimmung der mittleren Messwerte im beliebigen Zeitpunkt t_i , z. B. mit einem 3-Stunden-Schritt. Die analogen Messgebersignale unterliegen der Digitalisierung, d.h. einer Signalumwandlung auf digitale Signale, die in der Form einer Bit-Impuls-Folge zum Rechner weitergeleitet werden.

Mit einem EDV-Programm werden die erfassten Verlagerungen der einzelnen Messpunkte ermittelt und auf dem Rechner-Bildschirm samt der graphischen Darstellung der vertikalen Biegekurve der Schachtmauer präsentiert. Für den horizontalen Verschiebungs-Vektor der Biegelinie auf einem beliebigen Beobachtungs-Niveau h_i , senkrecht zur Mauerachse, ohne Berücksichtigung der von der Drehung des Staukörpers resultierenden Verschiebungskomponente (Sohlenneigung), gilt:

$$u_{x_i} = \Delta O_o - \Delta O_i \tag{1}$$

und nach der Berücksichtigung der Kippungserscheinung für eine bestimmte Messhöhe h_i , aus der Beziehung [Bryś 2002, Bryś et al. 2003]:



schen Messsystems

Abb. 1: Funktionsschema des automati-

$$u_{x_i} = (\Delta O_o - \Delta O_i) - h_i \cdot \tan(\pm \alpha)$$
(2)
wobei:

 $\Delta O_o = O'_o - O_o$

 $\Delta O_i = O'_i - O_i$

$$O_o, O_1, O_2, \ldots O_k$$

– Ablesungen der Lage des Pendeldrahtes für den Zeitpunkt t_o (Anfangsmessung bezogen auf den Nullzustand

 $O'_{o}, O'_{1}, O'_{2}, \dots O'_{k}$

 Ablesungen der Lage des Pendeldrahtes f
ür den Zeitpunkt t_i

α

Positiver bzw. negativer Verdrehungswinkel der Mauersohle der Lamelle als starrer Körper in der HX-Ebene

Um die räumliche transversale Verbiegungslinie des Staukörpers zur ermitteln, müssen zwei perpendikulär zu den Schachtwänden angebrachte Messgeber verwendet werden.

2.1 Das Gewichtlot

Die Schachtlotung ermöglicht die horizontale Auslenkung jedes Punktes der Mauerwand zu beobachten. Die rostfreie Stahl-Saite des Senklots mit 0,6 mm-Durchmesser bildet eine momentane vertikale Bezugslinie bei der synchronen Erfassung der Sensorenimpulse. Bei dieser Messmethode wird die Bewegung irgendeines Lotpunktes mit dem Sensorensystem erfasst und telemetrisch übertragen. Das Pendelkörper in der Form eines 15 kg-Rotationszylinders, ausgestattet mit 6 senkrecht angebrachten breiten Flügeln befindet sich im Behälter mit schwerem Teeröl und Holzspänen, wodurch die Pendelschwingungen schnell gedämpft werden. Das so modernisierte Gewicht gewährleistet fast schwingungsfreie Lage des Pendellots. Es werden Torsion des Drahtes und die geringfügigen Kreisbewegungen des Lots infolge der Wirkung der Corioliskraft durch die Mittelung der Vielzahl von Sensorimpulsen völlig beseitigt.

2.2 Elektronischer Messgeber des automatischen Überwachungssystems

Die von den Verfassern des Beitrags konzipierte Struktur des Messsystems zur automatischen Ermittlung der Biegelinie der Mauerwand basiert auf einigen neuartigen hochauflösenden Messgebern (Abb. 1. und Abb. 2.) [Mirek 2003].

Das Hauptelement des Gebers bildet ein linearer Hall-Effekt-Sensor, d.i. ein verbindungsloses Halbleiterelement aus rechteckigen GERMAN-Plättchen. Wird ein Halbleiter von einem Gleichstrom durchflossen und senkrecht zu im ein Magnetfeld eingeschaltet, so tritt ein Potentialgefälle senkrecht zu diesem beiden Richtungen auf. Die elektrische Spannung U ist in erster Näherung zur Stärke des Magnetfeldes H proportional. Zwischen den Flächen des plattförmigen Leiters tritt eine Hall-Spannung auf, deren Größe von der magnetischen Induktion abhängig ist. Der Messgeber besitzt ein beweglichen Auslegerarm, dass mittels einen Armwiderlager mit schmalem Magnetelementen den Pendeldraht berührt. Die Auslenkung des Lotdrahtes ist auf den verschiebbaren Auslegerarm mit befestigten Permanentmagneten übertragen. Der Wert der Verlagerung wird indirekt im auf das unbewegliche Gestell angebrachten Hall-Effekt-Sensor ermittelt. Bei der Konstruktion des Gebers wurde ein Schaltkreis A 3515 der



Abb. 2: Ansicht des geöffneten Messgebers. Beschreibung der nummerierten Komponenten: 1 – Stahl-Saite des Pendellots 2 – Hall-Effekt-Sensor 3 – Permanentmagnet 4 – Waagerecht angebrachtes Aluminium-Gestell 5 – Auslegerarm 6 – Armwiderlager mit Magnetelementen 7 – Stahlwinkel mit Innengewindeanker befestigt an der Betonmauer

Firma Allegro Microsystems Inc. mit folgenden Bestandteilen:

- Hall-Effekt-Sensor mit Gleichspannungsempfindlichkeit von 5[mV]/0,1[mT]
- Störbeseitigungssysteme
- Ausgangs-Spannungsverstärker

angewandt.

Die Messgeber befinden sich im kompakten Plexigehäuse mit Silicagel (Trocken- und Adsorptionsmittel) zur Vermeidung des Feuchtigkeiteinflusses auf die Sensoren und gegen mechanische Beanspruchung im Revisionsschacht.

Das Ausgangssignal des Sensors ist die Ausgangsgleichspannung, deren Werte von 0 bis 5[V] betragen und streng von der Lage des beweglichen Arms des Gebers abhängig sind. Im Rahmen der Kalibrierung der Geber wurde der funktionelle Zusammenhang zwischen dem Spannungssignal und der Verlagerung ermittelt. Für jede einzelne Transferkennlinie wurde die mathematische Formel, ein Polynom, approximiert. Da die Interpolation mit einzelnen Polynomen sogar höheren Grades nicht zufriedenstellende Resultate für die reellen Verlagerungen ergab, wurden statt eines vielgliedrigen Polynoms die Spline-Kurve angewandt. Jeder einzelne Funktionsintervall der Spline ist zweiseitig mit Knoten begrenzt, die während des Interpolationsprozesses ermittelt worden waren. Diese Spline mit Polynomen niederen Grades ermöglichen die Vereinfachung der Programmierung der Berechnungsaufgaben in der Programmiersprache.

Für die Interpolation der Funktionen, die für jeden Geber während der Kalibrierung bestimmt wurden, ergaben sich als optimale die Spline-Kurven 3.Grades.

Die Verschiebungen der Mauerpunkte können ständig, bzw. in einem bestimmten Zeitraum, plangemäß mit dem Beobachtungs-Harmonogramm erhoben werden. Der Messgeber ist durch folgende technische Daten ge-

kennzeichnet:	
- Messbereich	0 bis 25 mm
A 1 1 · · · · · · · ·	0.01

- Ableseeinheit |0,01|mm
- Standardabweichung |0,02|mm



Abb. 3: Graphische Darstellung der Charakteristik des Messgebers

- Speisestrom	9 V
- Gewicht	200 g
- Abmessungen	$15 \times 10 \times 5$ cm
Das diamagnetische	Messgebergestell ist aus II- u

Das diamagnetische Messgebergestell ist aus U- und Lförmigen Reinaluminium-Elementen verfertigt worden.

2.3 Der Analog-Digital-Wandler

Da die analogen Ausgangssignale von den auf der Schachtwand befestigten Messgebern Umrechnungen auf die finalen Verlagerungs-Werte erfordern, müssen sie in eine für den Rechner verständliche Form mittels eines A/D-Wandler konvertiert werden. In diesen Geräten wird das Messsignal in bestimmten Zeitintervallen in ein Binärsignal kodiert. Für die Messdatenfernübertragung im Binärsystem, d.i. im Bit-Zahlensystem mit der Basis 2 (verwendet nur die Ziffern 0 und 1, aus denen durch Kombinationen alle Zahlen gebildet werden können), wurden Lichtleiter angewendet.

Aus geodätischer Sicht ist von Bedeutung, mit welchen Fehlern die analogen Spannungssignale umgesetzt wer-



Abb. 4: Transferkennlinie eines ideellen Signal-Umsetzers

den. Um hohe Messgenauigkeiten bei den Verlagerungsbestimmungen mit $\approx |0,05|mm$ zu gewährleisten, sollte die Umwandlungsauflösung des analogen Signals auf den Binärcode ca. 1[mV] betragen.

Für die Signal-Umwandlungs-Auflösung gilt die Definitionsgleichung:

$$LSB = \frac{B_{\text{max}}}{2^N} \tag{3}$$

wobei bedeuten:

- *LSB* geringstwertiges Bit im Binärsystem (Last Significant Bit)
- B_{max} der maximaler Umsetzungsbereich des analogen Signals
- N die Bit-Anzahl des Wandlers

Aus der Formel (3) geht hervor, dass für den 25 mm-Auslenkungs-Bereich ein mindestens 12-Bit-Analog-Digital-Wandler angewendet sein muss. Für das Autoren-MSM-System wurde ein 12-Bit-8Kanal-A/D-Wandler auf der Basis eines Schaltkreises MAX 197 mit Umwandlungsvermögen für simultan 8 Messgeber konstruiert.

Es erhebt sich die Frage, welche einzelne Fehler treten während des Umsetzungsprozesses auf und wie großen Einfluss üben sie auf den Fehlerhaushalt aus?

Bei der Fehlerabschätzung kommen folgende unvermeidliche Fehleranteile in Betracht:

- Quantisierungsfehler
- Nullpunktstabilitätsfehler
- Integral- und Differentiell-Linearitätsfehler
- Ausdehnungseffekt-Fehler

Der Quantisierungsfehler ist ein Zufallsfehler, der mit der Konstruktions-Beschränkung verbunden ist und kann Werte im Bereich bis zu |0,5|LSB erreichen.

Der Nullpunktverschiebungsfehler als systematischer Messfehler kann vernachlässigt werden, da nur die Differenzen der Signal-Spannungen von Bedeutung sind.

Die Integral- und Differentiell-Linearitätsfehler, die durch die Abweichungen von der ideellen Transferkennlinie hervorruft werden, betragen nach den vom Hersteller des Schaltkreises angegebenen Spezifikationen von |0,5| bis |1,0|LSB. Da die jahreszeitlich bedingte Temperatur-Amplitude im Revisionsschacht etwa bis zu $\Delta T \approx 8$ °C erreicht, beträgt die thermische Ausdehnung des Gebers maximal |0,022|mm. Dieser umweltbedingte Messfehler kann daher unbeachtet bleiben.

Bei den oben angegebenen realistischen Fehlerannahmen überschreitet der totale mittlere Messfehler nicht den Wert von |0,026|mm.

Da die Signalabtastung mit Frequenzen von bis zu 100 Hz durchgeführt wird, können die Unsicherheit der A/D-Umsetzung und die mikroseismischen Einflüsse (Maschinenbetrieb, Straßenverkehr, Wind-Wellungen des Wasserspiegels auf der lotrechten Wasserseite u.ä.), durch Mittelung über ein bestimmtes Zeitintervall weitgehend eliminiert werden.

Die Verfertigung eines Messgebers mit Auslenkungsamplitude von 50 und mehr Millimetern bedarf der Erhöhung der Signalumwandlungsauflösung mit einem 14- bzw. 16-Bit-A/D-Wandler.

Da in dem vertikalen Messschacht relativ stabile Temperatur- und Feuchtigkeitverhältnisse herrschen, üben die mikroklimatischen Bedingungen keinen Einfluss auf eventuelle mechanische Verformungen des Messgebers aus.

Die Signalübermittlung kann mit verschiedenen modernen Messfernübertragungssystemen wie: Lichtleiterkabel, Telefonie-, Funk- und Satellitenübertragung, bzw. über das INTERNET, d.i. mit einer globalen Computernetzwerk-Übertragungstechnik auf beliebige Entfernungen realisiert werden.

3 Datenverarbeitung und Auswertung der Messresultate

Mit einem Algorithmus und Autoren-Rechnerprogramm werden folgende Berechnungsaufgaben ausgeführt:

- Kommunikation des Computers mit den Messgebern, Signal-Empfang und die Umrechnung auf lineare Werte, Speicherung des Datenflusses, Ausgabe von Messdaten
- Vergleich der Sensoren-Ablesungen mit dem Bezugszustand (Null-Zustand der Lage der monitorierten Lamelle seit der Fertigstellung) und die Differenzbildung
- Bestimmen auf der Basis der Formeln (1) und (2) der Verbiegungs-Vektoren für die einzelnen Beobachtungs-Horizonten mit, bzw. ohne Berücksichtigung der von der Drehung der Lamelle resultierenden Verschiebungskomponente
- Interpolation der vertikalen Durchbiegungslinie des Schachtmauerfeldes mit der Spline-Kurve, bzw. numerische Approximation der Kurve mit einem Polynom
- Ermittlung und Lokalisierung der größten Krümmung der Verbiegungskurve
- Datenspeicherung in der Datenbank der erhobenen und mit der EDV ausgewerteten Verformungs-Parametern.

4 Labor-Testmessungen

Die Eichungsgenauigkeit sowie der SOLL-IST-Wert der Verlagerung des Lots waren mit Testbeobachtungen aller vier Geber ermittelt worden. Zwecks des empirischen Genauigkeitsnachweises für die mit dem Geber erfassten Messdaten wurde im Rahmen ausführlicher Feinmessungen mit einer zum Gestell befestigten Bügel-mikrometerschraube der bewegliche Auslegerarm des Messgebers im 1,00-Millimeter-Schritt verschoben und die Verlagerungen am Monitor abgelesen. Es wurden serienweise Beobachtungen für jede 20 Soll-Lagen und IST-Werte im Messbereich von 0 bis 24,5 mm durchgeführt, deren exemplarische Testergebnisse fragmentarisch in Tabelle 1 dargestellt wurden.

Zusammenfassend kann folgendes eingeschätzt werden. Die Mittelwertbildung der Standardabweichungen einer Beobachtung ergab für alle getesteten Messgeber $\overline{s} \leq |0,02|mm$, die als realistische Genauigkeitsangabe gilt. Die Messdaten (summarisch 2000 Einzelbeobachtungen, d.i. 500 pro Geber) haben bewiesen, dass die SOLL-

Beob- achtung	Mikrometer- Einstellungs- Werte SOLL [mm]	10,5	11,5	12,5	13,5	14,5	15,5	16,5	17,5	18,5	19,5	20,5	21,5	22,5	23,5	24,5
$ \begin{array}{c} 1\\2\\3\\4\\5\\6\\7\\8\\9\\10\\11\\12\\13\\14\\15\\16\\17\\18\\19\end{array} $	Auf dem Bildschirm abgelesene Verlagerungs -Werte IST [mm]	$\begin{array}{c} 10,50\\ 10,48\\ 10,50\\ 10,49\\ 10,51\\ 10,49\\ 10,50\\ 10,48\\ 10,51\\ 10,48\\ 10,52\\ 10,48\\ 10,52\\ 10,48\\ 10,52\\ 10,48\\ 10,51\\ 10,49\\ 10,52\\ 10,51\\ 10$	11,51 11,49 11,51 11,49 11,51 11,49 11,51 11,48 11,51 11,48 11,51 11,48 11,52 11,48 11,52 11,48 11,51 11,49	12,50 12,48 12,50 12,49 12,51 12,48 12,50 12,48 12,50 12,48 12,52 12,49 12,52 12,48 12,52 12,49 12,51 12,48 12,51 12,51	13,51 13,48 13,50 13,48 13,50 13,49 13,50 13,47 13,51 13,48 13,52 13,49 13,52 13,49 13,51 13,48 13,52 13,49	14,50 14,48 14,49 14,49 14,51 14,48 14,50 14,48 14,51 14,48 14,51 14,48 14,51 14,48 14,51 14,48 14,51 14,48	15,51 15,49 15,49 15,48 15,50 15,48 15,49 15,48 15,49 15,48 15,52 15,49 15,51 15,49 15,51 15,48 15,51 15,48 15,51	16,49 16,48 16,50 16,48 16,51 16,49 16,51 16,49 16,51 16,49 16,51 16,50 16,51 16,49 16,51 16,49 16,50 16,51	17,49 17,48 17,49 17,48 17,50 17,49 17,51 17,50 17,51 17,50 17,51 17,50 17,51 17,50 17,51 17,50 17,51 17,50	18,48 18,48 18,49 18,49 18,48 18,50 18,50 18,51 18,50 18,51 18,49 18,51 18,49 18,51 18,49 18,51 18,49 18,51 18,49	19,49 19,48 19,49 19,50 19,49 19,50 19,49 19,51 19,49 19,51 19,50 19,51 19,50 19,51 19,50 19,51 19,50	20,48 20,49 20,49 20,48 20,48 20,49 20,50 20,49 20,50 20,50 20,50 20,50 20,50 20,50 20,50 20,50 20,50 20,50	21,47 21,48 21,48 21,49 21,49 21,49 21,49 21,50 21,49 21,51 21,50 21,50 21,50 21,50 21,50 21,51 21,50 21,51 21,51 21,51 21,50	22,48 22,49 22,48 22,49 22,48 22,48 22,50 22,49 22,49 22,49 22,49 22,50 22,49 22,50 22,49 22,50 22,49 22,50 22,49 22,48	23,48 23,49 23,49 23,48 23,47 23,50 23,49 23,49 23,49 23,49 23,50 23,49 23,50 23,49 23,51 23,49 23,49 23,49 23,49 23,49	24,50 24,49 24,50 24,49 24,51 24,50 24,51 24,50 24,50 24,50 24,50 24,50 24,50 24,50 24,50 24,50 24,50 24,50
20 Ariti Miti Standar einer	hmetisches tel Ī [mm] rdabweichung Beobachtung Ŝ[mm]	10,51 10,49 10,498 0,015	11,52 11,49 11,500 0,015	12,52 12,49 12,499 0,015	13,52 13,48 13,497 0,017	14,91 14,49 14,495 0,015	15,49 15,494 0,014	16,51 16,50 16,498 0,012	17,51 17,50 17,498 0,010	18,50 18,495 0,013	19,50 19,50 19,498 0,010	20,50 20,50 20,495 0,010	21,50 21,50 21,493 0,014	22,49 22,48 22,490 0,014	23,49 23,48 23,490 0,014	24,498 0.008

Tab. 1: Fragment der Labortestergebnisse

IST-Abweichungen einen rein zufälligen Charakter aufweisen und mit der Digitalisierung der analogen Sensor-Signale durch die Konversion verbunden sind.

Mit dem allgemeinen Fehlerfortpflanzunggesetz wurde für die mit der Formel (1) bestimmte Verlagerung u_{x_i} die Standardabweichung mit |0,03|mm ermittelt. Diese Messgenaugkeit stimmt gut mit der theoretischen Fehlerabschätzung überein und bestätigt derselben die hohe *innere Genauigkeit* des automatischen Überwachungssystems. In der TGL 21239/06-NORM (Stauanlagen-Talsperren;Bauwerksüberwachung) wird die Messgenauigkeit von $\sigma_{U_{x_i}} = |0,2|mm$ gefordert (Köhler, P. 1989).

5 Schlussbemerkungen und Resümee

Das im Beitrag präsentierte <u>Multi-Sensoren-Messsystem</u> **MSM** für die Echtzeit-Kontrolle der Funktionssicherheit einer Staumauer wurde am Lehrstuhl für Ingenieurgeodäsie der TU Krakau konzipiert, ausarbeitet und verfertigt worden. Da die Sicherheit von Staubauwerken permanent überprüft werden muss, bietet das automatische Messsystem breite Praxiseinsatzmöglichleiten und einen langjährigen Betrieb.

Die Deformations- und Verlagerungsmessungen haben eine besondere Bedeutung für die Risikobeurteilung beim:

- Probestau zum vergleichen der vorausberechneten mit den gemessenen Größen
- Auftreten von anomalen meteorologischen und hydrologischen Situationen
- Erreichen von Grenzwerten der zulässigen Verformungs- und Verschiebungswerte

- Auftreten von Erdbeben und Erschütterungen
- Entwicklung von ungünstigen reologischen Prozessen (Betonerosion, Erosion unterhalb des Staukörpers, Lekkagen, stationäres Kriechen u.ä.).

Die durchgeführten Labor-Testmessungen haben die Zuverlässigkeit, die Funktionstüchtigkeit und die Signal-Wandlungsgenauigkeit des Messsystems mit Standardabweichung einer Beobachtung von $\bar{s} \leq |0,02|mm$ bestätigt. Damit werden die hohe Präzision und die Messungsgenauigkeitsanforderungen von Deformationsanfälligen hydrotechnischen Bauwerken Instruktionsgemäß gewährleistet. Das Messsystem ist hervorragend für Fern- und Langzeitmessung geeignet.

Literatur

- Bryś, H.: Zur Geometrie der Deformationen von Gewichttalsperren-Lamellen, Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, 2/2002, S. 50–56.
- [2] Bryś, H., Ćmielewski, K., Mirek, G.: Geodätische Überwachungsmessungen der Geometrie-Deformationen von Staumauern am Anfang des Neuen Jahrtausends, Materialiensammlung der IV wiss.-tech. Konferenz u.d.T.: Die Problematik der Automatisierung in der Ingenieurgeodäsie, Warszawa 27–28.März 2003, Band I, S. 41–50, (polnisch).
- [3] Köhler, P.:IM LEHRBUCH von F.Hennecke: Vermessungstechnik für Bauingenieure, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, (1989), 1. Auflage (S. 229).
- [4] Mirek, G.: Einrichtung zur Überwachungsmessungen in Echtzeit der horizontalen Auslenkungen von hydrotechnischen Objekten und Turmbauten, Patentenanmeldung, Registr.-Nummer 1307, 13.10.2003, Centrum Transferu Technologii, Politechnika Krakowska, Kraków, POLEN, (polnisch).

Anschrift der Verfasser: o. Univ. Prof. Dr.-Ing. habil. Henryk Bryś, Assistent Dipl.-Ing. Grzegorz Mirek, Zakład Geodezji Inżynieryjnej, Instytut Geotechniki, Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, Polen, E-mail: hbrys@usk.pk.edu.pl

Zusammenfassung

Die Problematik der Automatisierung des Messprozesses in der Ingenieurgeodäsie steht weiterhin auf der Tagesordnung der internationalen Kongresse, Tagungen und Symposien. Dank der automatischen Deformations-Geometrie-Überwachungsmessungen von Staumauern können Gefahrensituationen ad hoc erkannt und die entstandenen, konstruktiv bedingte, Schwächezonen lokalisiert werden. Kontinuierliche Erfassung und Fernübertragung der Messdaten tragen zur quantitativen Erhöhung und qualitativen Verbesserung der Messinformationen von sicherheitsrelevanten hydrotechnischen Betonbauten bei. Es wird ein Mehrpunkt-Messgrößengeber-System zur Ermittlung der vertikalen Biegelinie von Gewichttalsperren präsentiert. Der Aufbau, Wirkungsprinzip und die Labor-Testergebnisse des innovativen Überwachungsmesssystems sollen im Folgenden ausführlich dargestellt werden.

Abstract

The problem of measuring process' automation in engineering geodesy still stays on the agenda of international congresses, conferences and symposiums. Thanks to the automatic deformation geometry monitoring, danger situations in concrete dams can ad hoc be recognized and developing weak zones can be easily located. Continuous data recording and remote transmission of measured parameters contribute to the quantitative increase and qualitative improvement of measuring information of hydrotechnical concrete structures safety. The paper presents a multi-sensors measuring system for determination of the vertical buckling line of gravity dams. The measuring system structure, principle of operations and the laboratory test results of the innovative measuring system presented in the following paper in detail.