

A fundamentally new type of cable humidity sensors (also called CHS in this article) has been developed, patented and tested by Engimatic. This sensor allows the measurement of the average value of humidity inside concrete structures. It provides the possibility of online monitoring of moisture in building structures throughout the service life.

Ein grundlegend neuer Typ von Kabelfeuchtesensoren (im nachfolgenden Text auch KFS) wurde von Engimatic entwickelt, patentiert und getestet. Damit kann der Durchschnittswert der Feuchtigkeit innerhalb von Betonkonstruktionen gemessen werden. Dies bietet die Möglichkeit einer lebenslangen Online-Feuchtigkeitsüberwachung in Bauwerken.

New possibilities for measuring the humidity of concrete using cable humidity sensors

Neue Möglichkeiten zur Messung der Betonfeuchtigkeit mittels Kabelfeuchtesensoren

Text: Dr. Yuri Sakunenko

The practical significance of controlling the water content in concrete cannot be emphasized highly enough. It is sufficient to recall that it is the addition of water to the dry concrete mixture that gives rise to the actual hardening process of concrete. The kinetics of hydration and „maturing“ of concrete are directly related to changes in the moisture content. This allows the manufacturer to determine the optimum moment for stripping the formwork and to save 10 to 20% of the total costs of concreting at the same time, according to various estimates [1].

The two main natural causes for the destruction of complete building structures including concrete structures, among others, are moisture and frost. The Egyptian pyramids, if transferred to the north of Europe, for example, would not have survived there for hardly more than hundred years because of moisture and frost.

Therefore, it is obvious that the constant monitoring of the humidity regime of a concrete building is essentially one of the most important tools for extending its service life.

Die praktische Bedeutung der Kontrolle des Wassergehalts in Beton ist nicht hoch genug einzuschätzen. Es genügt daran zu erinnern, dass es die Zugabe von Wasser zu der trockenen Betonmischung ist, die den Prozess der Erhärtung des Betons selbst auslöst. Die Kinetik der Hydratation und der „Reifung“ von Beton hängt direkt mit einer Änderung des Feuchtigkeitsgehalts zusammen. Auf diese Weise kann der optimale Zeitpunkt für das Ausschalen bestimmt werden und gleichzeitig nach verschiedenen Schätzungen [1] 10 bis 20% der Gesamtkosten für das Betonieren eingespart werden.

Es sind Feuchtigkeit und Frost, die die beiden wichtigsten natürlichen Ursachen für die Zerstörung von kompletten Gebäudestrukturen, u. a. auch von Betonkonstruktionen, sind. Die ägyptischen Pyramiden hätten, wenn sie beispielsweise nach Nordeuropa verlegt worden wären, dort wegen Feuchtigkeit und Frost kaum mehr als hundert Jahre überdauert.

Daher ist es offensichtlich, dass die ständige Überwachung des Feuchtigkeitsregimes eines Betonbaus im Wesentlichen eines der wichtigsten Instrumente zur Verlängerung seiner Lebensdauer ist.

Fig. 1: Diagram of the humidity sensors: 1 - sensor outer shell; 2 - polymer shell of the sensor; 3 - sealing; - porous shell; 4 - water molecules; 5 - electrical capacitance meter

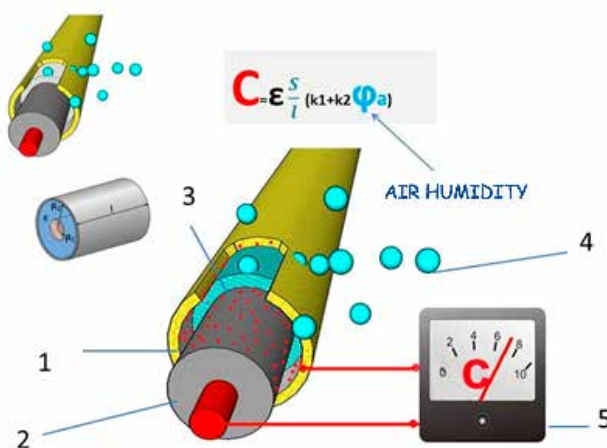


Abb. 1: Betriebsdiagramm des Feuchtigkeitsensors: 1 - äußere Hülle des Sensors; 2 - Sensorpolymerhülle; 3 - Dichtung; - poröse Hülle; 4 - Wassermoleküle; 5 - elektrisches Kapazitätsmessgerät

1 Standards zur Messung der Betonfeuchtigkeit

Die aktuellen nationalen und internationalen Industriestandards zur Messung der Betonfeuchtigkeit lassen sich in zwei Gruppen einteilen - zerstörende und zerstörungsfreie Untersuchungen.

Die erste Gruppe umfasst die gängigsten Methoden zum Schleifen, Erhitzen und Wiegen von Standardproben (speziell gegossenen Proben) oder Kernen (gebohrt aus „ursprünglichen“ Betonteilen). Probebohrungen in Betonkonstruktionen erfordern ebenfalls eine Methode (ASTM F2170). Es sollte beachtet werden, dass kürzlich [2,3,4] autonome kleine Sensormodule auf dem Markt erschienen sind, die beim Betonieren in ein Teil „implantiert“ wurden. Sie übertragen kontinuierlich Funkkanalinformationen zu

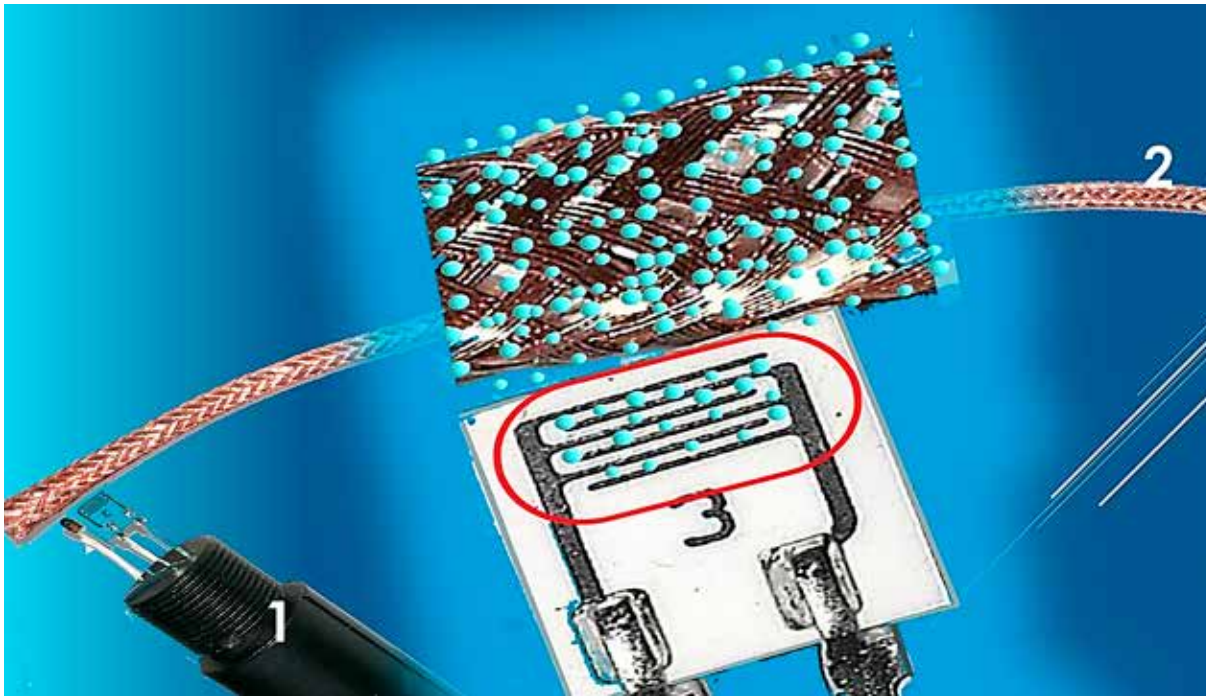


Fig. 2: Comparison of the areas of sensor technology capture of conventional humidity sensors and cable humidity sensors: 1 – standard point humidity sensor; 2 – cable humidity sensor

Abb. 2: Vergleich der Bereiche der sensorischen Erfassung herkömmlicher und Kabelfeuchtesensoren: 1 - Standard-Punktfeuchtesensor, 2 - Kabel-Feuchtigkeitssensor

Figure: Engimatic

1 Standards for the measurement of moisture in concrete

The current national and international industry standards for the measurement of moisture in concrete can be divided into two groups – destructive and non-destructive testing.

The first group includes the most common methods of grinding, heating and weighing of standard specimens (specially cast specimens) or core samples (drilled from „original“ concrete elements). Test drillings into concrete structures also require a method (ASTM F2170). It should be noted that [2,3,4] independent small-sized sensor modules „implanted“ into a component when pouring concrete have appeared on the market recently. They continuously transmit radio channel information on air humidity and temperature measured at the point of a „bookmark“. However, their service life is limited by the service life of the batteries and, unfortunately, the information received about the humidity does not provide any complete information.

Luftfeuchtigkeit und Temperatur am Punkt „Lesezeichen“. Ihre Lebensdauer ist jedoch durch die Lebensdauer der Batterien begrenzt, und die empfangenen Informationen zur Luftfeuchtigkeit enthalten leider keine vollständigen Informationen.

Die zweite Gruppe zerstörungsfreier Standards umfasst die sogenannten Oberflächen-Messmethoden zur Ermittlung des Feuchtigkeitsgehalts von Beton (Standard ASTM F 1869). Eine Schicht Calciumchlorid wird auf die Oberfläche des Betons aufgebracht und nach einiger Zeit wird eine Änderung des Aussehens dieser Chemikalie aufgezeichnet. Es wurde auch der Standard ASTM F2659 entwickelt, der die „Reaktion“ von Beton auf die prüfende Mikrowellenstrahlung analysiert. Aufgrund physikalischer Einschränkungen (Wasserdiffusion, Abschwächung der Mikrowellenstrahlung) funktionieren alle diese Methoden zur Messung der Oberflächenfeuchtigkeit jedoch nur für relativ dünne Oberflächenschichten aus Beton von 2 bis 3 cm korrekt.

Somit haben die derzeit bestehenden Standards zur Feuchtigkeitsmessung einen einmaligen, einstufigen Cha-

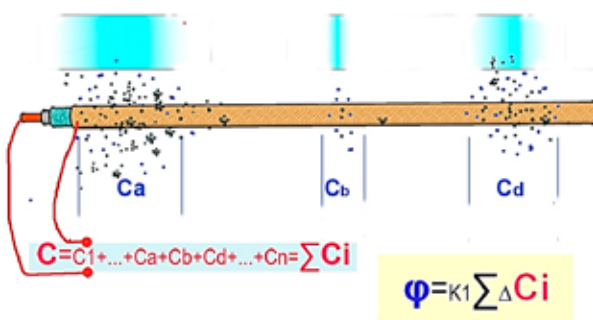


Figure: Engimatic

Fig. 3: CHS generating the average humidity signal determined (along the cable length)

Abb. 3: KFS-Erzeugung des ermittelten Feuchtigkeitssignals (entlang der Kabellänge)

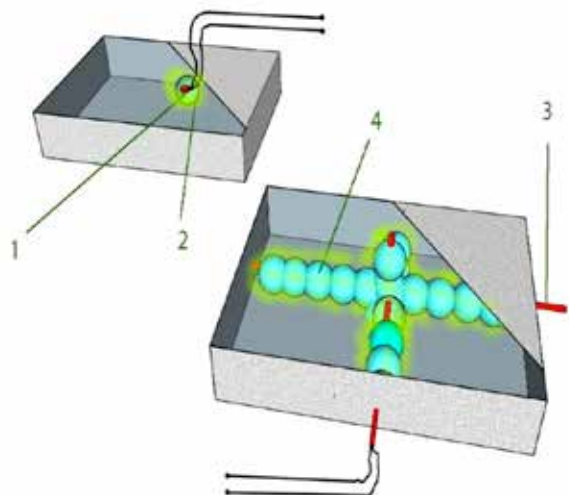


Fig. 4: Difference of concrete moisture received from the CHS and conventional sensors : 1 – point sensor; 2 – volume sensor, scanned per concrete volume; 3 – cable humidity sensor; 4 – scanned concrete volume sensor

Figure: Engimatic

Abb. 4: Unterschied zwischen KFS und herkömmlichen Sensoren: 1 - Punkt-Sensor; 2 - Volumen-Sensor, gescannt nach Betonvolumen; 3- Kabel-Feuchtigkeitssensor; 4 - gescannter Betonvolumensensor



Fig. 5: The humidity sensors of the cable must have been fixed to the reinforcement before concrete placement

Abb. 5: Die Feuchtigkeitssensoren des Kabels müssen vor der Betonage an der Bewehrung montiert worden sein

The second group of non-destructive standards includes the so-called surface measuring methods for determining the moisture content of concrete (ASTM F1869 standard). A layer of calcium chloride is applied to the concrete surface and, after some time, changes in the appearance of this chemical are recorded. Moreover, ASTM F2659 standard was developed, analyzing the „reaction“ of concrete on the testing microwave radiation. However, owing to physical limitations (water diffusion, attenuation of the microwave radiation), all these surface moisture measurement methods only work correctly in case of relatively thin surface layers of concrete of 2 to 3 cm.

Hence, the currently existing standards for moisture measurement have a one-time, one-stage character and allow determining the moisture content of concrete either at one point or in thin surface layers of concrete. In many critical cases, for example, under difficult climatic conditions of concrete curing or in cases of permanent contact with water, water vapor, moisture-containing soils, etc. such information content is absolutely insufficient.

The newly developed cable humidity sensor [5] allows overcoming these limitations and can provide

rakter und ermöglichen es, den Feuchtigkeitsgehalt von Beton entweder an einer Stelle oder in dünnen Oberflächenschichten aus Beton zu bestimmen. Für viele kritische Fälle, zum Beispiel bei schwierigen klimatischen Bedingungen der Betonhärtung oder bei ständigem Kontakt mit Wasser, Wasserdampf, feuchtigkeitshaltigen Böden usw., ist ein solcher Informationsgehalt unzureichend.

Der entwickelte Kabelfeuchtesensor (KFS) ermöglicht es, diese Einschränkungen zu überwinden und den Bauherren eine viel größere Menge an Informationen über die Verteilung der Luftfeuchtigkeit in Betonkonstruktionen zu liefern.

2 Funktionsweise

Bei der Entwicklung des Projekts wurden Erfahrungen bei der Erstellung von 3D-Dampf- und Hydrosensorkabeln zur Registrierung von Wasserlecks an jedem Punkt genutzt [5-8]. Die Messung basiert auf der bewährten Impedanzmethode zur Bestimmung der Luftfeuchtigkeit. Es misst Änderungen der Kapazität elektrischer Kondensatoren, wenn sie zwischen ihre Platten aus Wassermolekülen fallen.

Der Sensor [8] ist in Abb. 1 in Form eines kabelzylindrischen Kondensators dargestellt. Wassermoleküle (4) passieren frei die Außenhülle (1) und fallen in die Dichtung (3) aus kapillarporösem Material. Eine Erhöhung der Konzentration von Wassermolekülen in der Dichtung führt zu einer Erhöhung der elektrischen Kapazität des Kabelkondensators. Somit wird ein elektrisches Signal erzeugt, das proportional zur Änderung der Luftfeuchtigkeit des Umgebungsluftkabelsensors ist. Ein wichtiger Vorteil unseres Kabelsensors ist, dass die gesamte Kabeloberfläche als Sensoroberfläche fungiert. Wassermoleküle werden effektiv erfasst, die das Kabel umgeben (Abbildung 2). Die Fläche dieser Oberfläche ist zehntausendmal größer als die vergleichbaren Bereiche der sensorischen Erfassung eines der derzeit bekannten Punktsensoren.

Ein Sensorkabel kann als eine Kombination mehrerer Messsegmente dargestellt werden – als Kondensatoren, die parallel geschaltet sind (Abb. 3). Die Gesamtkapazität eines

Fig. 6: Dynamics of the changes in the electrical capacitance and resistance of the three different structures of the CHS during concrete curing

Abb. 6: Dynamik der Änderungen der elektrischen Kapazität und des Widerstands von drei verschiedenen Strukturen des KFS während der Betonhärtung

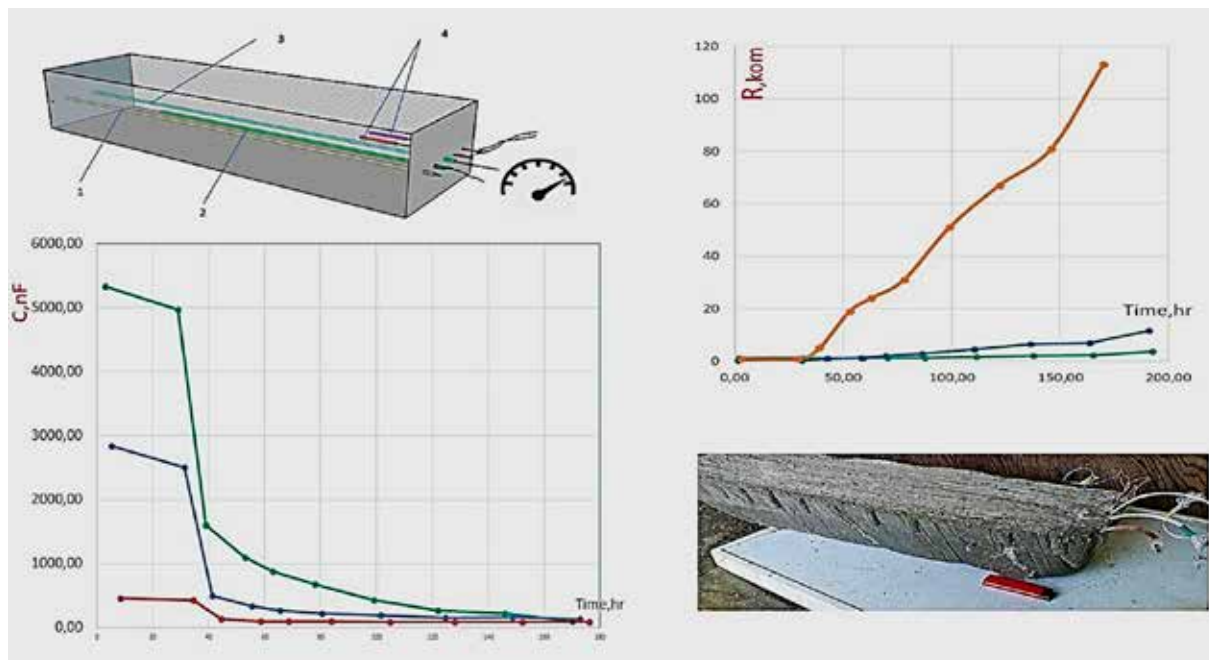


Figure: Engimatic

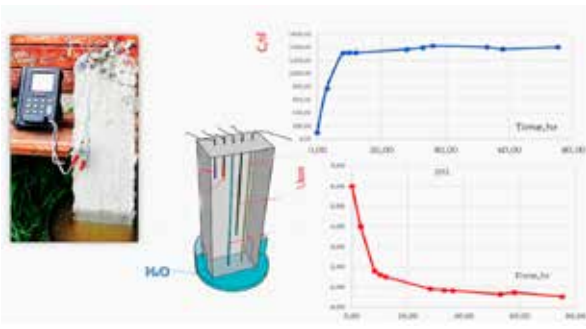


Figure: Engimatic

Fig. 7: Registration of the passage of the moisture front in a concrete element

Abb. 7: Registrierung des Durchgangs der Feuchtigkeitsfront in einem Betonelement

constructors with a much larger amount of information about the distribution of humidity inside concrete structures.

2 Functional principle

The experience made in creating 3D steam and hydro sensor cables for registering of water leakages at any point [5-8] was used when developing this project. The measurement is based on the well-proven impedance method for determining air humidity. It measures changes in the capacitance of electrical capacitors when dropping between their plates of water molecules.

The sensor [8] is shown in Fig. 1 as a cable-cylindrical capacitor. Water molecules (4) freely pass through the outer shell (1) and drop into the sealing (3) made of capillary-porous material. An increase in the concentration of water molecules in the sealing leads to an increase of the electrical capacitance of the cable capacitor. Thus, an electrical signal is generated proportional to the change in humidity of the ambient air cable sensor.

An important advantage of our cable sensor is the fact that the entire cable surface serves as a sensor surface. Water molecules surrounding the cable (Fig. 2) are captured effectively. The area of this surface is ten thou-

solchen Systems gemäß den Gesetzen der Stromkreise ist definiert als die Summe seiner Bestandteile. Daher enthält das gemessene Signal des Sensorkabels Informationen über den Durchschnitt über die gesamte Länge des Kabels.

Somit kann ein Kabelfeuchtesensor einige, d. h. zehn oder mehr herkömmliche Punktsensoren ersetzen. Es ist nicht erforderlich, separate Kommunikationsleitungen an jeden dieser Sensoren anzuschließen. Es ist auch nicht erforderlich, einen speziellen Prozessor zu verwenden, um die Werte der von ihnen empfangenen Feuchtigkeitswerte zu mitteln. Der KFS ist sowohl ein Messgerät als auch eine Kommunikationsleitung, die an eine spezielle Schnittstelle angeschlossen ist.

3 Messung der Feuchtigkeit von Beton mit dem Kabelsensor

Abb. 4 zeigt den grundlegenden Unterschied in Qualität und Volumen der Feuchtigkeitsinformationen, die von herkömmlichen Punktsensoren und KFS empfangen werden. Es gibt mindestens zwei Arten von Trajektorien zur Messung der Feuchtigkeit. Bei Betonbauteilen im Bestand wird dies durch die Richtungen der speziell gebohrten Löcher bestimmt, in die das KFS eingesetzt werden soll. Für neu hergestellte Betonkonstruktionen existieren praktisch keine Einschränkungen bei der Erstellung von vom Kunden geforderten Steuerpfaden. Dazu muss das Messkabel (Abb. 5) kurz vor dem Betonieren entlang der gewünschten Stellen der Bewehrung befestigt werden.

Es ist zu beachten, dass der Informationsfluss hinsichtlich der Kinetik von Änderungen des Feuchtigkeitsgehalts in der Frühphase des konkreten Lebenszyklus von entscheidender Bedeutung sein kann, um die Entscheidungen darüber treffen zu können, wann die Schalung entfernt werden kann. Die tatsächlichen Kosteneinsparungen können dadurch bis zu 20% der Gesamtkosten des Betonierens erreichen. Abb. 6 zeigt die Ergebnisse von Experimenten, die diese Möglichkeit mit einem Betonblock 300 und drei verschiedenen KFS-Typen bestätigen, die beim Betonieren implantiert wurden.

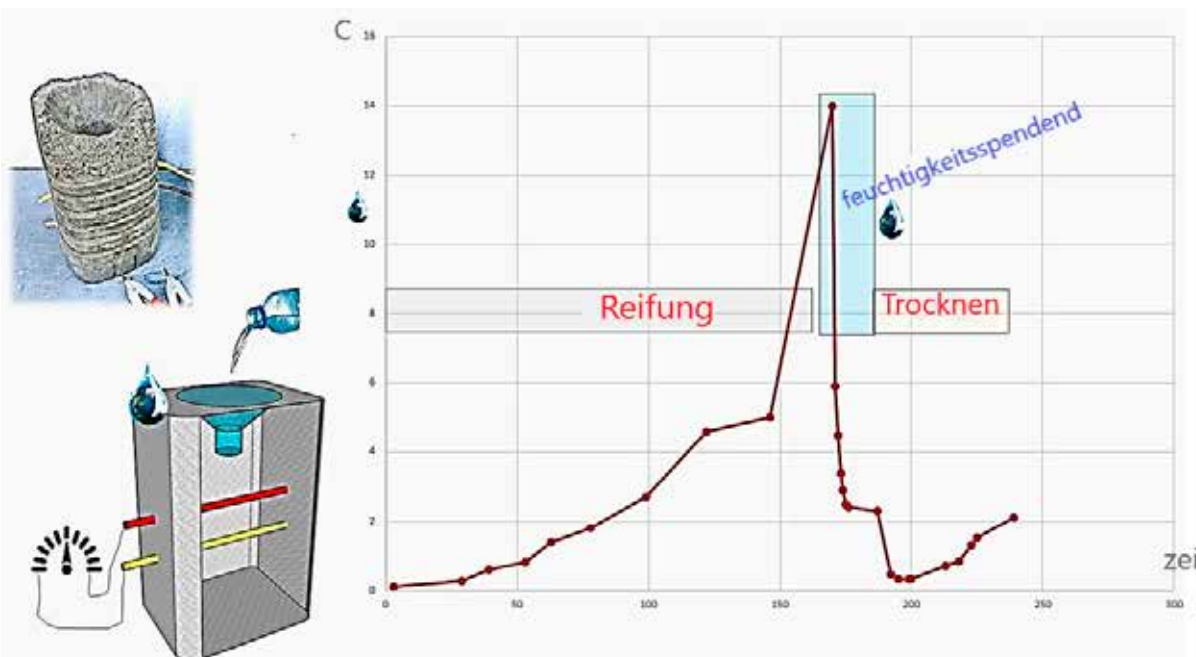


Figure: Engimatic

Fig. 8: Change of the CHS signal during curing of a concrete component and its subsequent wetting and drying

Abb. 8: Änderung des KFS-Signals während der Erhärtung eines Betonbauteils und dessen anschließende Benetzung und Trocknung

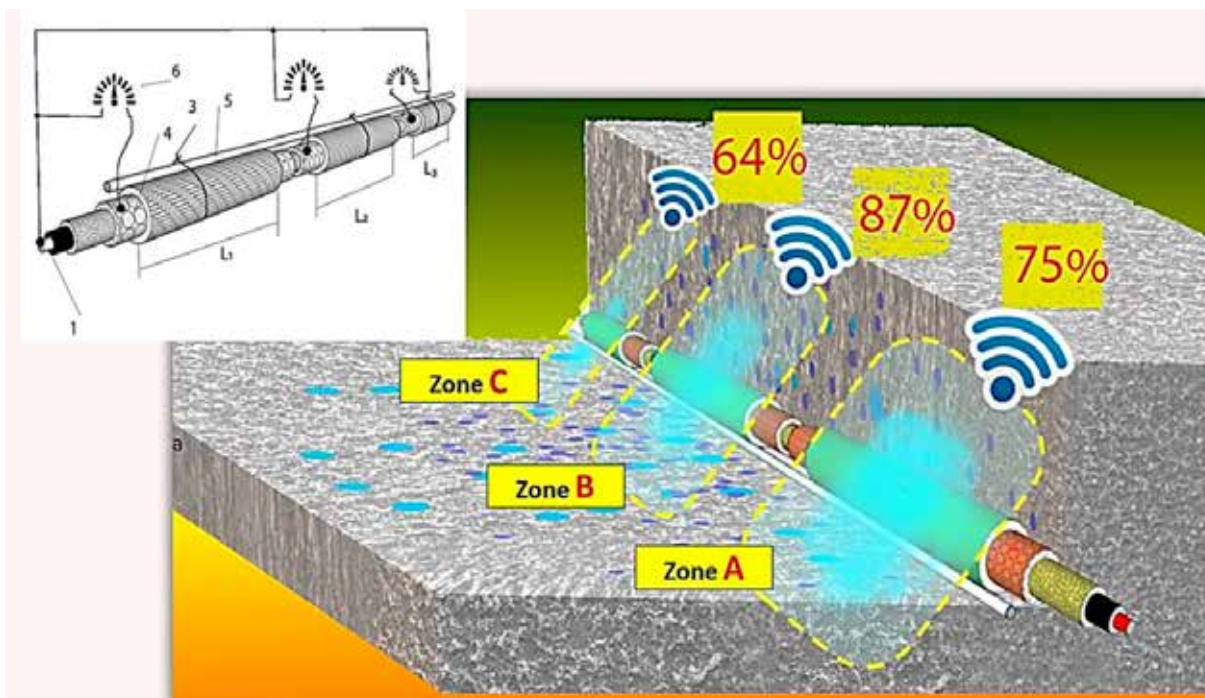


Fig. 9: Multi-zone cable humidity sensor for concrete

Abb. 9: Mehrzonen-Kabelfeuchtigkeitssensor für Beton

sand times larger than the comparable areas of sensory capture of any of the currently known point sensors.

A sensor cable can be represented as a combination of a plurality of measuring segments – as capacitors connected in parallel (Fig. 3). The overall capacity of such a system is defined as the sum of its constituent elements, according to the basic laws of electric circuits. Therefore, the measured signal of the sensor cable carries information about the average along the entire length of the cable.

Therefore, a cable humidity sensor can replace several (i.e. ten or more) conventional point sensors. It is no longer necessary to connect separate communication lines to each of these sensors. Moreover, there is no need to use a special processor in order to average the values of humidity received from them.

The CHS is both a measuring device and a communication line that is connected to a specific interface.

3 Measurement of the moisture of concrete using the cable sensor

Fig. 4 demonstrates the fundamental difference in terms of quality and volume of the information on moisture received from conventional point sensors and CHS. There are at least two types of trajectories for measuring moisture. For existing concrete components, it is determined by the directions of specially drilled holes in which the CHS should be inserted. In respect of newly manufactured concrete structures, there are practically no restrictions regarding the creation of any control path required by the customer. For this purpose, the measuring cable (Fig. 5) has to be attached to the reinforcement along the desired path, just before concrete pouring.

Attention should be paid to the fact that obtaining information on the kinetics of changes in the moisture content at an early stage of the concrete life cycle can be of crucial importance for taking decisions about when to remove the formwork.

Eine solche Technologie zum „Implantieren“ von KFS in Beton ermöglicht die Schaffung von Low-Budget-Systemen für die lebenslange Online-Feuchtigkeitsüberwachung in praktisch jeder Betonkonstruktion. Dafür reicht es aus, beim Gießen von Beton nur einen Teil des KFS zu verlegen. Danach muss nur noch regelmäßig eine Verbindung zu diesem Kabel hergestellt werden, um den tatsächlichen durchschnittlichen Feuchtigkeitsgehalt der Konstruktion zu messen. Die ungefähre Lebensdauer solcher Sensoren beträgt mindestens 50 Jahre. Solche Lösungen können beispielsweise zur kontinuierlichen Überwachung des Feuchtigkeitsgehalts von Beton in feuchten Böden gefragt sein.

Im Verlauf der Experimente wurden auf einem M300-Betonblock sechs verschiedene Kabelfeuchtigkeitssensoren in unterschiedlichen Abständen von der Wasseroberfläche implantiert (Abb. 7). Der Durchgang der Feuchtigkeit in das Innere des Produkts bei ständigem Kontakt mit Wasser wurde sicher aufgezeichnet. Die Zeit zum Erkennen der Feuchtigkeitsfront variierte von 30 Minuten bis zu 6 Stunden, abhängig von der Art des KFS und ihrem Abstand von der Vorderseite der Wasseroberfläche.

Abb. 8 zeigt die Ergebnisse der Messung des elektrischen Widerstands des in das Produkt implantierten KFS



Fig. 10: Six-zone cable humidity sensor with indicator unit for critical excess of humidity in the control zones

Abb. 10: Sechs-Zonen-Kabelfeuchtesensor mit Anzeigegerät für kritischen Feuchtigkeitsüberschuss in Kontrollzonen

This can result in actual cost savings of up to 20% of the total costs for concreting.

Fig. 6 shows the results obtained by experiments confirming this possibility by means of an M300 concrete block and three different CHS types „implanted“ during concrete pouring.

Such a technology for „implanting“ of CHS into concrete allows the creation of low-budget systems for online monitoring of humidity throughout the entire lifetime in virtually any concrete structure. For this purpose, it is sufficient to install only a section of the CHS when pouring concrete. Subsequently, this cable only needs to be connected on a regular basis so as to measure the actual average moisture level of the structure. The approximate operational life of such sensors is at least 50 years. Such solutions may be in demand, for example, for continuous monitoring of the moisture content of concrete used in moist soils.

In the course of the experiment, six different cable humidity sensors were implanted in an M300 concrete block in various distances to the water surface (Fig. 7). The passage of moisture into the interior of the product, being in permanent contact with water, was recorded reliably. The period for detecting the moisture front varied from 30 minutes to 6 hours, depending on the type of CHS and the distance from the front side of the water surface.

Fig. 8 shows the results of measuring the electrical resistance of the CHS implanted into the product when filling the mold with concrete (curing phase). After hardening of this product, water was poured into it; the diameter of the water spot was 5 cm. A certain time after the addition of water, the natural drying began. These experimental results confirm the actual sensitivity of the CHS to various technological phases and changes in external conditions.

4 Multi-zone humidity cable sensors

In order to expand the capacities of the CHS concept, the multi-zone humidity cable sensor was developed to localize measurements more precisely. The design of the multi-zone CHS provides for a separation of the cable in several zones which are functionally independent of each other (Fig. 9).

Each such zone generates a signal proportional to the average air humidity within this zone. In this way, the possibility of an independent multi-zone control of the distribution of humidity along a selected path inside concrete structures was realized with the aid of such a multi-zone CHS.

5 Application of humidity cable sensors

The simplest and most economical way to install CHS in concrete is to fix it to the steel reinforcement. In this case, the cable literally starts „working“ from the very first minute after pouring of concrete and generates an electrical signal that carries information about the changes in the content of free or bound water in the concrete.

In order to control the air humidity in existing concrete structures, it is necessary to pre-drill the fixing

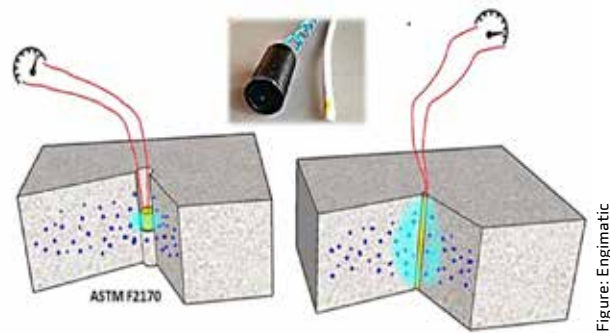


Fig. 11: Moisture measurement of concrete floor slabs in accordance with ASTM F2170 and using CHS

Abb. 11: Feuchtemessung von Betonuntergründen nach ASTM F2170 und mit KFS

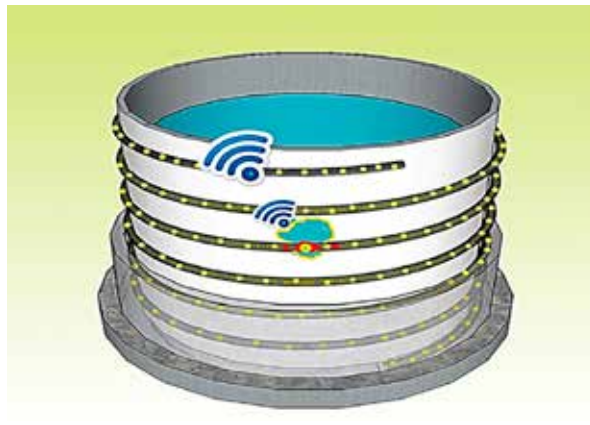


Fig. 12: Leakage detection in concrete tanks with the aid of CHS

Abb. 12: Suche von Leckagen in Betontanks mit KFS

beim Einfüllen des Betons in die Form (Reifungsphase). Nachdem das Produkt ausgehärtet war, wurde Wasser hineingegossen; der Durchmesser des Wasserflecks betrug 5 cm. Nach einiger Zeit der Wasserzugabe begann die natürliche Trocknung. Diese experimentellen Ergebnisse bestätigen die tatsächliche Empfindlichkeit des KFS gegenüber verschiedenen technologischen Phasen und Änderungen der äußeren Bedingungen.

4 Multizonen-Feuchtesensorkabel

Um die Möglichkeiten des KFS-Konzepts zu erweitern, wurde ein Multizonen-Feuchtesensorkabel zur genaueren Lokalisierung von Messungen entwickelt. Das Design des Mehrzonen-KFS sieht die Trennung des Kabels in mehrere Zonen vor, die funktional unabhängig voneinander sind (Abb. 9).

Jede dieser Zonen erzeugt ihr Signal proportional zur durchschnittlichen Luftfeuchtigkeit in dieser Zone. So wurde mit Hilfe eines solchen Mehrzonen-KFS die Möglichkeit einer unabhängigen Mehrzonenregelung der Feuchtigkeitsverteilung entlang eines ausgewählten Weges innerhalb von Betonkonstruktionen realisiert.

5 Anwendung von Kabelfeuchtesensoren

Der einfachste und wirtschaftlichste Weg, KFS in Beton zu installieren, besteht darin, sie an einer Metallbewehrung zu befestigen. In diesem Fall beginnt das Kabel buchstäblich ab der ersten Minute nach dem Betonieren zu „arbeiten“ und erzeugt ein elektrisches Signal, das Infor-

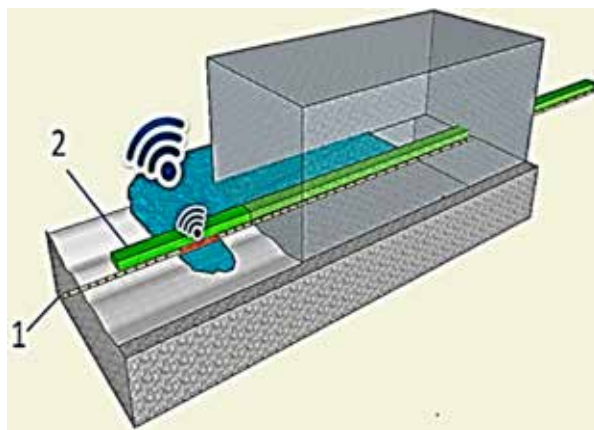


Figure: Engimatic

Fig. 13: Monitoring of cold joints: 1 - cable humidity sensor; 2 - water stop

Abb. 13: Kaltnahtüberwachung 1 - Kabel-Feuchtigkeitssensor, 2 - Abdichtung

holes with a diameter of 5 to 8 mm in the correct direction and to fix the CHS therein by means of cement mortar. It should be noted that, in this case, the area of the hole is 10-15 times smaller than the cross section of the holes specified by the current standards. Such drillings can be classified as minimally invasive and virtually do not perforate the structural component. As soon as the CHS are connected to the concrete, they are completely ready for the moisture measuring process at any time, even after many years and decades.

In case of excessive humidity in the controlled section of Fig. 12, this system activates the radio channel and transmits an incident message to the central control point. One of the most promising fields of application here is the control of leakages in the so-called expansion joints as well as other joints. The layout of the CHS for such „cold“ joints is illustrated in Fig. 13.

mationen über die Änderung des Gehalts an freiem und gebundenem Wasser im Beton enthält.

Um die Luftfeuchtigkeit in Bestands-Betonkonstruktionen zu kontrollieren, müssen die Befestigungslöcher mit einem Durchmesser von 5 bis 8 mm in die richtige Richtung vorgebohrt und mittels Zementmörtel die KFS daran befestigt werden. Es ist zu beachten, dass die Fläche des Lochs in diesem Fall 10-15 mal kleiner ist als der Querschnitt der Löcher, die durch die aktuellen Normen beschrieben werden. Solche Bohrer können als minimal invasiv eingestuft werden und perforieren das Bauteil praktisch nicht mit Löchern. Nach erfolgter Verbindung der KFS mit dem Beton sind sie jederzeit, auch nach Jahren und Jahrzehnten, vollständig für die Feuchtigkeitsmessung bereit.

Nach übermäßiger Luftfeuchtigkeit im kontrollierten Bereich von Abb. 12 aktiviert dieses System den Funkkanal und sendet eine Ereignisnachricht an den zentralen Kontrollpunkt. Einer der vielversprechendsten Anwendungsgebiete hier ist die Kontrolle von Lecks in der sogenannten Dehnungs- und sonstigen Fugen. Das Layout des KFS für solch „kalte“ Verbindungen ist in Abb. 13 dargestellt.

Abb. 14 zeigt einen Stand in Originalgröße, der Optionen für die mögliche Verwendung von KFS zur umfassenden Kontrolle von Feuchtigkeit und Undichtigkeiten in Fugen von schwer zugänglichen Stahlbetonkonstruktionen bietet.

Bei den ersten Anzeichen von Abweichungen in den Hydraulikmodi der Strukturen signalisiert der Prozessor dies und lokalisiert dem Benutzer die genauen Koordinaten. Eine solche frühzeitige Diagnose ermöglicht es, schnell vorbeugende Maßnahmen zu ergreifen, um Wassereindringen zu beseitigen und dementsprechende Schäden zu reduzieren.

Die genannten Beispiele schränken den möglichen Anwendungsbereich des KFS nicht ein. Dies können spezielle Strukturen sein, die unter schwierigen Betriebsbedingungen betrieben werden, wie Lagerstätten für schädliche Flüssigabfälle, Brücken, Flughafen-Landebahnen aus Beton usw.

Fig. 14: Demonstrating stand for monitoring the water moisture regime of concrete structures difficult to access a) in general; b) expansion joint; c) vertical expansion joint; d) „cold“ joint with water stop (3)

Abb. 14: Demonstrationsstand zur Überwachung des Wasserfeuchtigkeitsregimes von schwer zugänglichen Betonkonstruktionen a) allgemein; b) Dehnungsfuge; c) vertikale Dehnungsfuge; d) „kalte“ Fuge mit Abdichtung

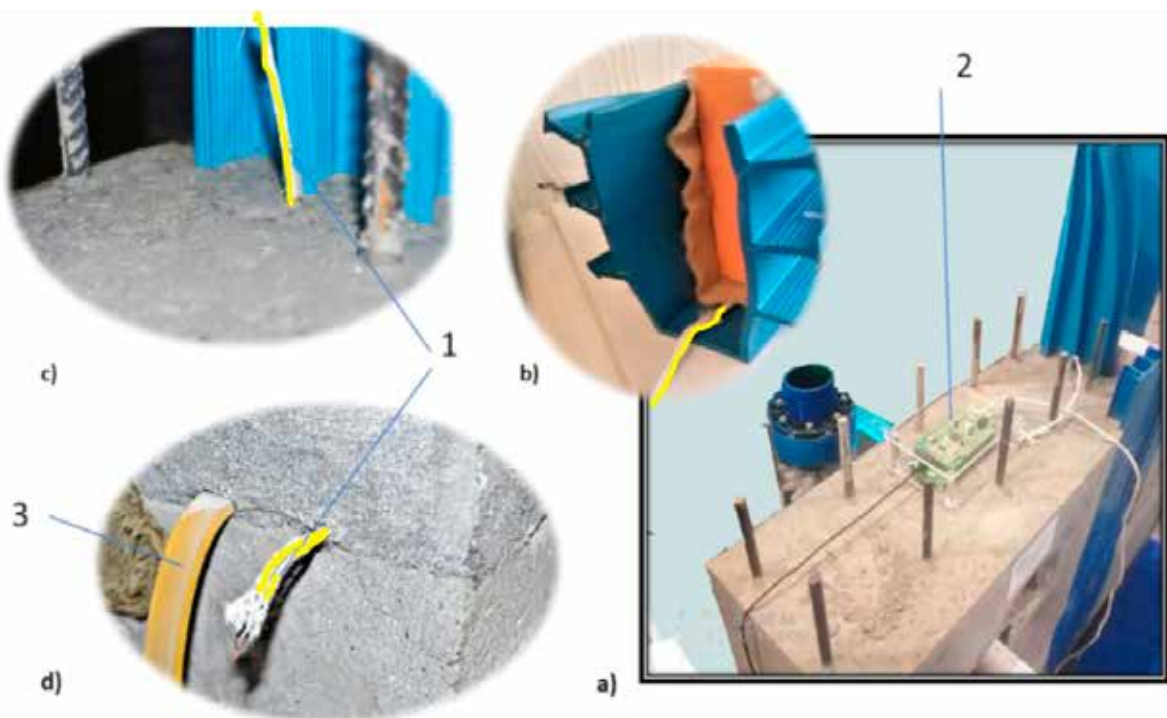


Figure: Engimatic



Fig. 14 shows a full-size stand demonstrating options for the possible use of CHS for the comprehensive control of moisture and leakages in joints of reinforced concrete structures that are not easily accessible.

At the first signs of deviations in the hydraulic modes of the structures, the processor sends a signal accordingly, giving the user the exact coordinates of the place. Such early diagnosis allows the user to quickly take preventive action to eliminate any ingress of water and reduce corresponding damages.

The mentioned examples, of course, do not limit the potential range of applications of the CHS. These may be special structures operated under difficult operating conditions such as storage facilities for hazardous liquid waste, bridges, airport runways made of concrete, etc.

Fig. 15: Possible areas of application ...

Abb. 15: Mögliche Anwendungsgebiete ...



Fig. 16: ... for cable humidity sensors in concrete

Abb. 16: ... für Kabel-Feuchtigkeitssensoren in Beton

REFERENCES/LITERATUR

- [1] www.giatecscientific.com/case-studies;
- [2] www.maturix.com/concrete-sensor/maturity-temperature-sensor;
- [3] www.concretesensors.com/products;
- [4] www.sensohive.com/sensors/orbit3;
- [5] RF-Patent Nr. 2536766 „Sensor für kritische Situationen mit mehreren Sensoren“; Sakunenko Y.I., Kondratenko V.S.;
- [6] RF-Patent Nr. 2545485 „Sensor für elektrisch leitende Flüssigkeiten“; Sakunenko Y.I., Kondratenko V.S.;
- [7] RF-Patent Nr. 622662252 „Sensorleakage leitender Flüssigkeiten“; Sakunenko Y.I., Kondratenko V.S.;
- [8] Patent US 10,168,293 B2 „Fluids leakage sensor“, Yuri Sakunenko, Vladimir Kondratenko;
- [9] HF-Patent Nr. 2 672 814 „Feuchtigkeitssensor“, Sakunenko Y.I., Kondratenko V.S.



Figure: Engimatic

Yuri Sakunenko
Honorary Inventor of Moscow, Ph.D.,
CEO Engimatic LLC,
Skolkovo Fund,
CTO HySens SIA

Teplostok.plasitc@gmail.com