



**Beton-
technologie**

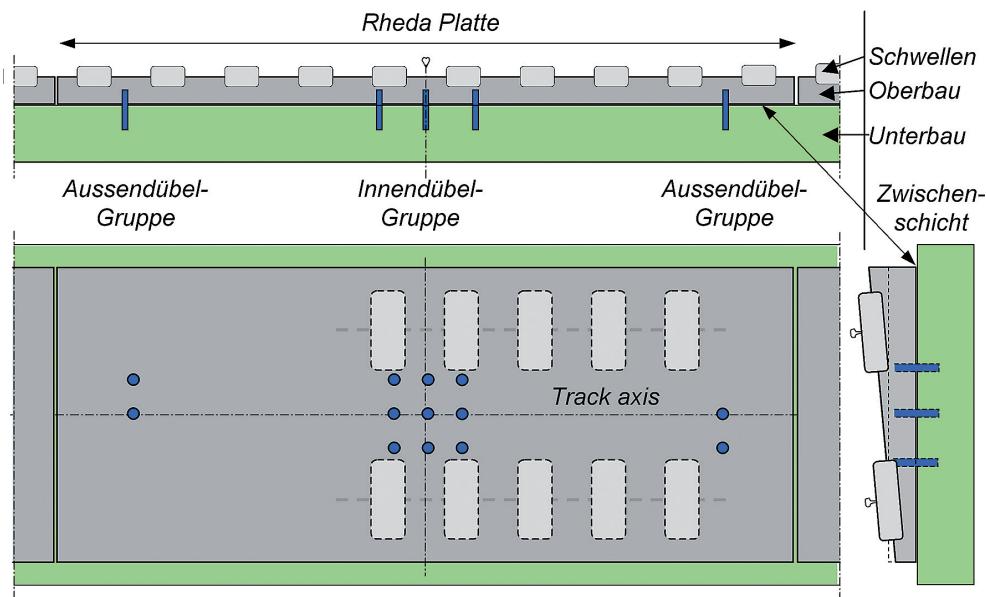
**Technologie
du béton**

**Concrete
technology**

Jakob Kunz

130

Beton Technologie



1 Detail der flachen Betonplatten
Detail of the flat concrete slabs

Die Hochgeschwindigkeitslinie Süd (HSL Zuid) von Amsterdam bis nach Brüssel ist eines der derzeit grössten Bahninfrastrukturprojekte in Europa. Die Erstellung des 85 km langen niederländischen Teils des Oberbaus obliegt dem INFRASPEED Konsortium bestehend aus BAM, Fluor Daniel, Siemens, Innisfree und Charterhouse. In diesem Grossprojekt wird auf einer Strecke von 65km das Feste Fahrbahn System RHEDA 2000® verwendet. Um den Betonverbrauch zu optimieren, wurde die feste Fahrbahn aussergewöhnlich schmal konstruiert: Unter- und Oberbau sind als flache Betonplatten ausgebildet und durch ein Geotextil getrennt (**Bild 1**). In dieser Konstruktionsweise muss der Kraftfluss zwischen den Beton-

platten über Verbindungselemente sichergestellt werden. Im Folgenden wird die Entwicklung der projektspezifischen Hilti Lösung beschrieben, die den Zuschlag erhielt und nun beim Bau verwendet wird.

Auslegung der Verbinder

Eine wichtige Forderung war, dass relative Längsverschiebungen zwischen den Platten aufgrund von Durchbiegungen, Schwinden oder Temperaturdifferenzen zulassen seien, was zum Konzept der festen Innendübel und verschiebblichen Aussendübel führte. Diese müssen hohen dynamischen Lasten aus dem normalen Bahnbetrieb und auch statischen Lasten aus Extremsituationen wie Entgleisung widerstehen. Die in den

The high speed line south (HSL Zuid) from Amsterdam to Brussels is currently one of the largest rail infrastructure projects in Europe. The INFRASPEED consortium consisting of BAM, Fluor Daniel, Siemens, Innisfree and Charterhouse is responsible for the construction of the 85km long Dutch part of the superstructure.

Over a length of 65km the slab track system RHEDA 2000® is used. In order to optimize the consumption of concrete, the slab track is designed in an exceptionally slim manner: Sub- and superstructure are built as flat concrete slabs and are separated by a geotextile layer (**figur 1**). In this design, all forces must be transmitted from the superstructure to the substructure by means of connectors. This article presents the development of the project-specific Hilti solution, which was chosen from different competing systems and which is now used in the construction project.

Design of the Connectors

Relative displacements between the slabs due to bending, shrinkage or temperature changes had to be possible according to the specification. This lead to the concept with fixed centre dowels and moveable outer dowels. The dowels must resist high dynamic loads caused by normal operation and extreme loads due to situations like derailing. The stresses in the connectors were checked by finite element simulation (**figur 2**). The connectors are also exposed to climatic influence as water can trickle through the geotextile layer and due to the maritime atmosphere it can contain chlorides. The combination of high dynamic loads and a corrosive environment required the careful definition of corrosion resistant steel with high strength.

Verbinden auftretenden Spannungen wurden mit einem Finite Elemente Programm überprüft (**Bild 2**). Die Verbinder sind auch klimatischen Einwirkungen ausgesetzt, da Wasser zwischen den Betonschichten durchsickern kann und die nahe der Küste verlaufende Bahnstrecke sich in chloridhaltiger Atmosphäre befindet. Die Kombination von korrosiver Umgebung und hohen dynamischen Lasten erforderte die sorgfältige Auswahl eines korrosionsbeständigen Stahls mit hoher Festigkeit.

Versuchsaufbau

Zum Nachweis der Gebrauchstauglichkeit waren die Ermüdungsfestigkeit und die auftretenden Deformationen experimentell zu ermitteln; ebenso war die Tragfähigkeit im Bruchzustand nachzuweisen.

Für den Unterbau wurden Betonblöcke nach der Originalrezeptur hergestellt. Die Löcher wurden mit einem Kernbohrgerät erstellt und darin wurden die Verbinder mit dem Verbundmörtel Hilti HIT-RE 500 gesetzt. Auf die Oberfläche des Unterbaus wurden zwei 2mm starke Teflonfolien gelegt, um Reibkräfte zu eliminieren. Dann wurde der Oberbau als weiterer Betonblock darauf gegossen (**Bild 3**).

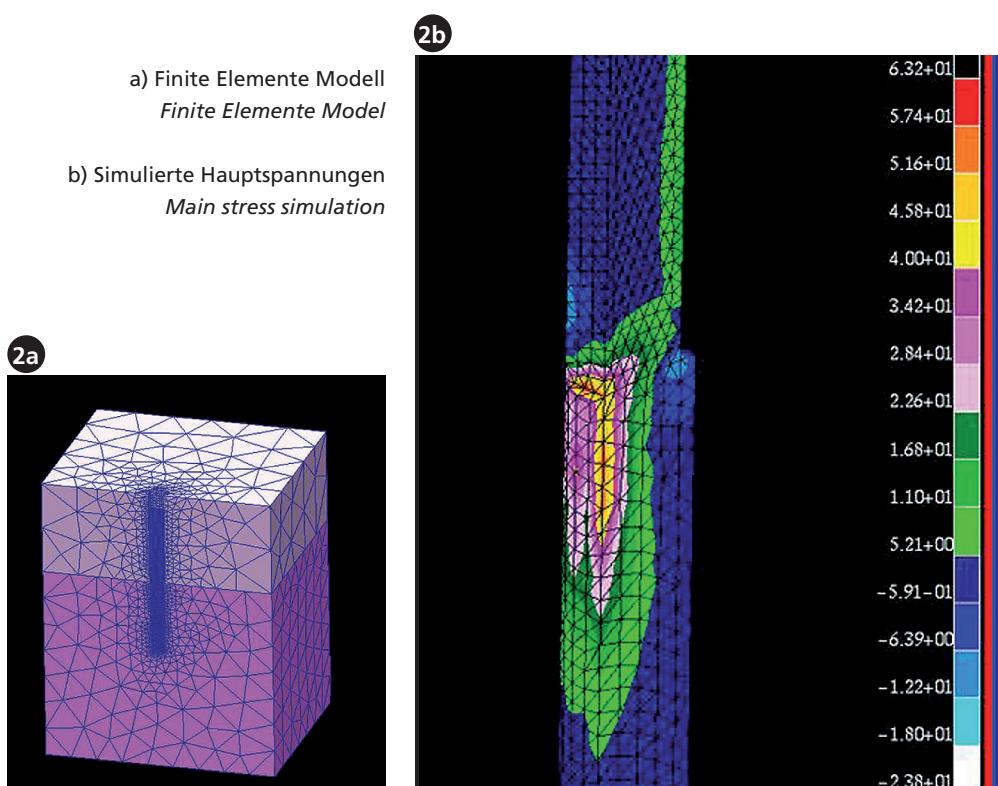
Um die spezifizierten Lasten und Verschiebungen aufbringen zu können, wurde der Unterbau der Versuchskörper auf dem Aufspannungsfeld fixiert. Der Oberbau wurde über Hydraulikzylinder und einen Stahlrahmen belastet. In senkrechter Richtung konnten Lasten bis 250kN aufgebracht werden, in waagrechter Richtung die spezifizierten Verschiebungen (**Bild 4**). Die statische Belastung bis zum Versagen erfolgte nur in Kraftrichtung (**Bild 5**).

Evaluation des Systems

Wechsellastversuche mit

Gebrauchslast und Bruchversuche

Zur Abklärung der Funktionstüchtigkeit der Verbinder wurden Versuchskörper mit Innen- und Aussendübeln mit den spezifizierten Wechsellasten bis zu 10 Millionen



Test Equipment

In order to prove the suitability of the system, the fatigue strength, the resulting deformations and the ultimate strength had to be determined experimentally.

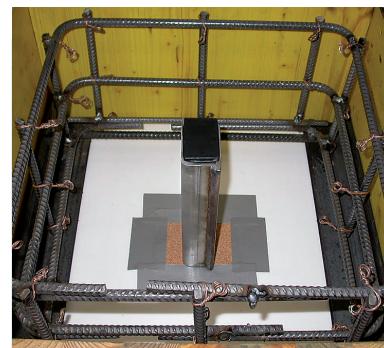
Concrete blocks made with the original mix design formed the substructure. Holes were drilled with a diamond coring system and the connectors were inserted into them using the adhesive mortar Hilti HIT-RE 500. 2mm thick PTFE foils eliminated friction between sub- and superstructure. The superstructure was formed by casting another concrete block onto the PTFE foils and the substructure concrete block (figure 3).

The substructure was fixed to the strong floor of the fastening laboratory at the Technical Centre of the Hilti Corporation. The superstructure was loaded by means of a steel frame and a hydraulic cylinder. Loads of up to 250kN could be introduced in a vertical direction, while the specified displacements were introduced by another cylinder in the horizontal direction (figure 4). Static loading up to system failure was only in the direction of the force (figure 5).

Evaluation of the System

Alternating load tests at service level and loading up to failure

Applying up to 10 million cycles of the specified loads and displacements allowed the verification of the functionality of the centre and the outer dowels. After this test at service load level, the relative displacement between sub- and superstructure that occurs while the load changes from minimum to maximum was measured. After this, the specimens were first subjected to increased cyclic loads and then to static loading up to failure. Figure 6 shows the load-displacement curves measured before



3

Versuchskörper vor Betonieren des Oberbaus
Test specimen before concreting of the superstructure

4
Aufbau für
Ermüdungs-
versuche
Set up for
Fatigue test



mal belastet. Nach dieser Prüfung auf Gebrauchslastniveau wurde die relative Verschiebung zwischen Oberbau und Unterbau bei einem Wechsel von der minimalen zur maximalen Last gemessen. Danach wurde zuerst die zyklische Belastung gesteigert und schliesslich wurden die Versuchskörper statisch bis zum Bruch weiterbelastet.



5
Aufbau für statische Belastung
Test set up for Fatigue load

Die Last-Verschiebungskurven vor den Versuchen und nach den einzelnen Schritten der Ermüdungsbelastung sind in Bild 6 gezeigt. Daraus konnten die Systemsteifigkeiten ermittelt werden.

Ermittlung der Dauerfestigkeit

Im zweiten Schritt wurden dann zur Ermittlung der Wöhlerkurve des Systems unterschiedlich hohe dynamische Schwelllasten aufgebracht und die Anzahl Lastzyklen bis zum Bruch ermittelt. Durch die Einbettung des Bolzens entstehen je nach Lastniveau unterschiedliche Kombinationen von Schub- und Biegebeanspruchung. Deshalb wurde die Schwingbreite möglichst stark variiert. Eine Regressionsanalyse ergab die mittlere Versagenslast als Funktion der Anzahl Lastspiele sowie die 5%-Fraktile. Bereits nach neun Versuchen lag eine relativ zuverlässige Schätzung der Dauerfestigkeit vor, was wesentlich zur Einhaltung des engen Zeitplans beitrug. Alle Bolzen versagten im im Unterbau eingemörtelten Rundquerschnitt. Bei höheren Lastniveaus war die Lage des Ermüdungsrisses weiter unten als bei kleineren, denn hohe Lastniveaus führten auch zu mehr Betonabplatzungen vor den Bolzen und damit auch zu einer tieferen Lage der maximalen Spannungen.

Auswertung

Bild 7 zeigt die Versuchsergebnisse, sowie die abgeleitete Mittelfunktionalfunktion und die 5%-Fraktile. Das Bemessungskriterium für 30 Jahre Betriebsdauer waren 52 Millionen Lastzyklen. Obwohl im Versuch maximal 15 Millionen Lastspiele erreicht wurden, darf die berechnete Funktion der Dauerfestigkeit auf 52 Millionen Lastspiele extrapoliert werden, da auch bei rostfreien Stählen bei mehr als 10 Millionen Lastspielen von einer Quasi-Dauerfestigkeit gesprochen werden kann. Daraus ergibt sich eine mittlere Dauerfestigkeit von 86.8kN und ein charakteristischer Wert von 75.4kN.

Für Stahl war ein Materialsicherheitsfaktor von $\gamma_s=1.15$ spezifiziert. Zur Berücksichtigung der Korrosion wurde die charakteristische Ermüdungsfestigkeit zusätzlich mit einem Sicherheitsfaktor von $\gamma_{corr}=1.2$ dividiert. Damit ergibt sich ein Bemessungswert der Dauerfestigkeit zu $R_{d,fat}=54.6$ kN.

and after the cyclic load steps. The system stiffness was then calculated from these curves.

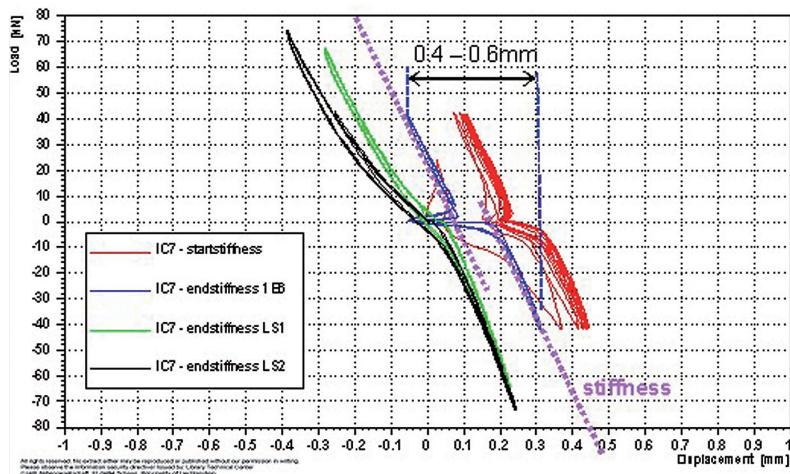
Derivation of Fatigue Strength

Counting the number of load cycles before failure in alternating fatigue load tests at varying load levels provided the basic data needed to derive the Woehler curve for the system. Due to the embedment of the connectors in the concrete, different combinations of bending and shear loads in the dowels occur. Therefore the load level was varied over a wide range. A regression analysis yielded the average failure load as a function of the number of load cycles, and from this function the 5%-fractile could be derived. Due to the careful choice of the sequence of load levels, a relatively accurate prediction of the fatigue strength was possible after the completion of only nine tests, which greatly helped to keep to the tight time schedule.

All connectors failed in the round section that was bonded to the substructure. At high load levels, the position of the fatigue crack was further below the surface of the substructure than at low load levels, because higher loads lead to more concrete spalling at the concrete surface and therefore to a deeper position of the maximum bending stresses.

Evaluation

Figure 7 shows the test results (number of load cycles to failure at horizontal load levels on the vertical axis) and the derived functions for average and characteristic (5% fractile) failure loads. The design criterion for 30 years operation was 52 million load cycles. The maximum number reached in the tests was 15million. Nevertheless the derived curves may be extrapolated, because, even for stainless steel, quasi fatigue strength may be assumed for more than 10 million load cycles. The evaluation resulted in the average fatigue strength of 86.6kN and a characteristic value of 75.4kN. A material



Autor / Author

Jakob Kunz
Hilti AG
Feldkirchstrasse 100 – Postfach 333
FL-9494 Schaan
jakob.kunz@hilti.com

6

Last-Verschiebekurven vor und nach Lastschritten, Steifigkeit (Kraft pro Verschiebung)
Load-Deformation diagramm before and after step-wise load increase, Stiffness (Force per Deformation)

Auswahl und Einbau

Die Verbindungselemente müssen einerseits die Spezifikation erfüllen und andererseits so einfach zu handhaben sein, dass der geplante Baufortschritt von 300m pro Tag erreicht werden kann. Dazu müssen pro Tag etwa 600 Verbindungen versetzt werden. Aus diesem Grund wurde auch ein spezifisches, automatisiertes Bohr- und Setzverfahren (**Bild 8**) entwickelt. Die beschriebenen Elemente erfüllen beide Anforderungen und wurden deshalb für das Projekt HSL-Zuid ausgewählt.

Referenzen / References

- [1] Block, K., Dreyer, F.: Die Ermüdungsfestigkeit zuverlässig und kostengünstig ermitteln - Das interaktive Verfahren. Materialprüfung 40 (1998) 3. Carl Hanser Verlag, München, 1998.
- [2] Block, K.: Dübelbefestigungen unter ermüdungsrelevanten Einwirkungen. Habilitationsschrift, Universität Dortmund, Dezember 2000.
- [3] Verein Deutscher Ingenieure: Festigkeit bei wiederholter Beanspruchung - Zeit- und Dauerfestigkeit metallischer Werkstoffe, insbesondere von Stählen. VDI Richtlinie 2227. VDI, 1973.
- [4] Kunz, J., Gassner, H., Wissler, E.K.R.: Dynamisch belastete Befestigungen in Betonuntergründen. Schweizer Ingenieur und Architekt SI+A, Nr. 9 / 1999.
- [5] Heinisch, R., Kracke, R., Lehmann E.: Feste Fahrbahn, Hestra Verlag Darmstadt, 1997, ISBN 3777102695
- [6] Eisenmann, J.: Feste Fahrbahn. Eisenbahningenieur 7 / 1999
- [7] Kunz, J.: Betonverbinder für eine Hochgeschwindigkeits-Bahnstrecke. Beton- und Stahlbetonbau, 100. Jg., Heft 6. Verlag Ernst & Sohn, Berlin, Juni 2005.

safety factor of $\gamma_s=1.15$ was specified for steel. In order to take into account the influence of the corrosive environment, the characteristic fatigue strength was additionally reduced by the safety factor $\gamma_{corr}=1.2$. Thus the resulting design fatigue strength is $R_{d,fat}=54.6\text{kN}$.

Choice and Installation

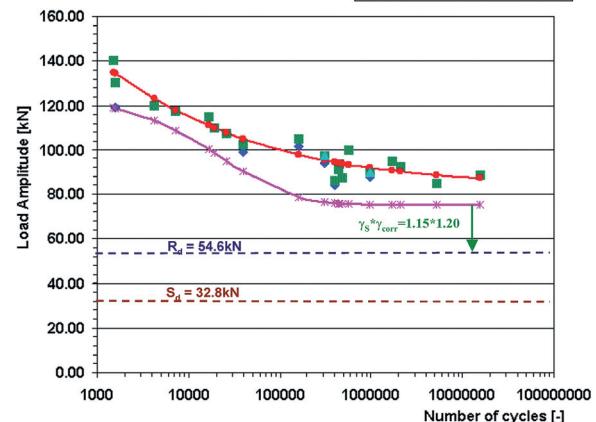
On the one hand, the connectors must fulfil all specifications concerning strength and deformations. On the other hand, they had to be so easy to manipulate, that the planned track construction speed of 300m per day could be achieved, which meant that 600 connectors had to be installed every day. Therefore, a special, automated drilling and installation (**figur 8**) process was developed. The described elements fulfill both requirements and were therefore selected for the HSL-Zuid project.

Hilti Slab Connection System

- drawing HSL_NL_Z_001_C
- Wöhler diagram / S-N curve
load amplitude with mean load OKN
number of load cycles to total system failure

Relevant failure mode:

- flat section ○ running
- round section ● Mean value
- transition ▲ Fractile value



7 Wöhlerkurve

8
Setzwagen für Schubverbinder
Automated drilling and installation device



Jürg Schlumpf

Spritzbeton unterscheidet sich von Konstruktionsbeton durch die Möglichkeit der zeitlich punktgenauen Beschleunigung mit dem Einsatz von Erstarrungsbeschleuniger oder der Zugabe des Anmachwassers unmittelbar vor der Applikation. Für den Konstruktionsbeton müssen hingegen entweder die grosse Sicherheiten in der Verarbeitungszeit und damit verlängerte Ausschalzeiten oder aber nur begrenzte Verarbeitungsmöglichkeiten in Kauf genommen werden. Durch die Entwicklung eines neuen Systems, bestehend aus Equipment und Betonzusatzmitteltechnologie, werden diese Grenzen nun deutlich verschoben. So ist es möglich, Konstruktionsbeton mit stark erweiteter Verarbeitungszeit punktgenau vor dem Einbau zu beschleunigen und damit die Erhärtungs- und Ausschalzeiten zu planen.

Diese neuartige Technologie bietet sich vorab im Tunnelbau mit langen Transportwegen oder logistisch schwierigen Verhältnissen an. Mit dieser Innovation werden die Grenzen zwischen Spritzbeton und Konstruktionsbeton nachhaltig verschoben!

Marktumfeld

Ausgeklügelte Logistikkonzepte sind der Schlüssel für alle grossen Bauprojekte der heutigen Zeit, unabhängig davon, ob es sich um lange Untertagebauwerke oder komplexe Hochbauten handelt. Die logistischen Abläufe praxisgerecht gelöst zu haben, bedeutet Zeit gewonnen und damit Investitionsvolumen optimiert oder eingespart zu haben. Je höher das Investitionsvolumen während der Bauzeit als nicht nutzbares Kapital bewertet wird, desto bedeuterder wird die schnellstmögliche Fertigstellung des Projektes. Diese Anforderung gilt für sämtliche Abläufe am Objekt. Bei Infrastrukturbauten ist der Baustoff Beton immer von Bedeutung und wird in

diesem Beitrag als Bestandteil dieser Logistikanforderungen beschrieben.

Technische Einleitung

Immer komplexere Bauwerke verlangen nach ständig optimierten Bauverfahren und Baustoffen. Gleichzeitig sollen diese Methoden einfach, das heißt praxistauglich und kostengünstig sein. Eine gute Cost-Performance von Konstruktionsbeton- und Spritzbetonlösungen ist deshalb Voraussetzung, damit solche Betonkonzepte in der Praxis eine Chance haben und das verfolgte Ziel auch erreichen können.

Die heutige Abgrenzung der Eigenschaften und Anwendungen von Spritzbeton und Konstruktionsbeton ist dabei klar:

- Spritzbeton erstarrt bei der Verarbeitung plötzlich. Nach Zugabe des Erstarrungsbeschleunigers reagiert der Spritzbeton sofort und kann nicht weiter bearbeitet werden.
- Konstruktionsbeton hingegen wird in eine Form gegossen, lässt sich in Schichten ineinander verdichten und endbearbeiten.

Beton bindet, abhängig von den zentralen, nachfolgend aufgeführten Einflussparametern, früher oder später ab (Minuten oder Stunden) und entwickelt dann seine Festigkeit:

- Zementtyp und Gehalt,
- Temperatur Beton und Umgebung,
- Bauteilabmessungen,
- Wassergehalt und
- Betonzusatzmitteln

Daraus lassen sich für Konstruktionsbeton und Spritzbeton die herkömmlichen und wohlbekannten Anwendungen für den Untertagebau ableiten:

Konstruktionsbeton für:

- Sohlenbeton
- Schalenbeton
- Bankette
- Fahrbahnplatten

Sprayed concrete differs from cast concrete by the possibility of accelerating it just on time, either by use of setting accelerators or by addition of the water just before application. For cast concrete either high uncertainty regarding workability life, requiring to allow for longer waiting times before striking, or limited applicability have to be put up with.

Thanks to the development of a new system, a combination of equipment and concrete admixture technology, such distinctions can now be largely overcome. Thus it is possible to accelerate concrete, achieving highly extended workability life, just before placing it and thus to plan hardening and formwork striking times. This new technology is above all suitable in tunnel construction with long transportation distances or difficult logistics conditions. Thanks to this innovation, the limits between sprayed and cast concrete have shifted considerably!

Market environment

Elaborate logistics concepts are the key to all large construction projects of today, whether it is a case of long underground projects or complex buildings. Practical solutions for logistics mean saving time, thus optimizing or saving investment volume. The more investment volume during construction time is valued as non-productive capital the quicker the completion of the project becomes important. This applies to all activities on the project. For infrastructural projects the construction material concrete is always of importance and is presented in this paper as a part of these logistic requirements.

Technical preliminaries

Ever more complex construction projects call for constantly optimized construction methods and materials. Such methods should at

- Zwischendecken / -wände
- Spezialbauwerke im Tunnel
- Vorgefertigte Bauteile (Tübbinge / ...)
- Hohlraumverfüllungen

Spritzbeton für:

- Sofortsicherung
- Ausbausicherung
- Endausbau in Spritzbeton
- Hohlraumverfüllungen

Verarbeitbarkeit von Beton

Die Anforderungen an die Verarbeitbarkeit oder an die Verarbeitungszeiten werden auch aufgrund der Logistikvorgaben laufend erhöht. Während noch vor wenigen Jahren Betone mit einer gesicherten Verarbeitungszeit von drei Stunden eine grosse Herausforderung waren, so werden heute immer öfters Einsätze von deutlich über fünf Stunden gefordert, in welchen der Beton gut pumpbar, verarbeitbar und im Spezialfall sogar als SCC (SVB) eingebaut werden muss. Vor der Entwicklung und Markteinführung von Polycarboxylaten als Fließmittel mussten diese Verarbeitungszeiten mit hohen nachfolgenden Verzögerungszeiten durch Abbindeverzögerer «erkauft» werden. Verlängerte Verarbeitungszeit hat sich beinahe exponential auf die darauf folgende Verzögerungszeit ausgewirkt, was im Falle des Konstruktionsbetons zu sehr langen Ausschalzeiten führt. Beim Spritzbeton kann dieser Effekt durch die Zugabe des Beschleunigers in der Spritzdüse zerstört werden und das sofortige Reagieren wird damit ausgelöst.

Abbindezeit und Verarbeitungszeit

Zur Klärung der Begriffe werden hier die Abbindezeit und die Verarbeitungszeit so beschrieben und differenziert, wie sie im Beitrag auch eingesetzt werden:

Abbindezeit:

- Zeitdauer bis der Beton zu hydratisieren beginnt (sichtbar durch messbare Wärmeentwicklung) und damit auch Festigkeit ent-

the same time be practical and economical which again signifies that a good cost-performance ratio of cast and sprayed concrete solutions is required in order that such concrete concepts have a chance in practice and can achieve the targeted results.

Today's delimitation of characteristics and fields of application of cast and sprayed concrete is clear:

- *Sprayed concrete sets immediately upon application. After the setting accelerator has been added sprayed concrete reacts instantly and cannot be worked anymore.*
- *Cast concrete on the other hand is poured into a mould, can be compacted layer by layer and can be finished.*

Concrete sets sooner or later (minutes or hours) and then develops its strength, independently of the principal influence parameters mentioned below:

- Cement type and content,
- Concrete and ambient temperature,
- Structural element dimensions,
- Water content and
- Concrete admixtures

The traditional and well known fields of application of cast and sprayed concrete for underground construction projects can be deduced from the following:

Cast concrete:

- Invert concreting
- Lining
- Shoulders
- Traffic decks
- Intermediate decks and walls
- Particular structures in tunnels
- Precast elements (segmental lining elements/ ...)
- Filling of cavities

Sprayed concrete for:

- Immediate support at the tunnel face
- Temporary support
- Final sprayed concrete lining
- Filling of cavities

Concrete workability

Requirements concerning workability or workability life are becoming ever more demanding as a

result of logistic conditions. Not many years ago concrete mixes with an assured workability life of 3 hours represented a big challenge whereas today increasingly workability lives of much more than 5 hours are specified during which the concrete must remain well pumpable, workable and in special cases even pourable as SCC. Prior to the development and market introduction of polycarboxylates as superplasticisers such workability life was achievable only by setting retarders at the price of the resulting very long retardation. Prolongation of workability life did cause an almost exponential prolongation of retardation, which for cast concrete leads to very long form striking delays. For sprayed concrete this effect can be cancelled by the addition of the accelerator at the nozzle, triggering off an immediate reaction.

Setting time and workability life

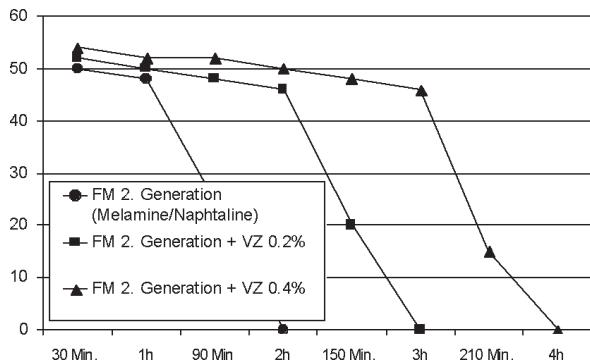
For the sake of clarification of terms, the terms setting time and workability life are described and differentiated hereafter as they are used in this paper.

Setting time:

- Length of time until concrete starts hydrating (detectable by measurable heat development) and thus begins developing strength. From that point on, concrete may no longer be worked or moved (vibrations), or else its internal structure will be damaged.

Workability life:

- Length of time during which the concrete can be worked. The concrete mix must be designed in accordance with the specified placing requirements.
- Workability of concrete if needing nothing more than vibrating (sufficient workable if hole remaining after pulling out of the vibrating needle closes by itself) is already far below measurable limits
- Concrete that still has to be placed or transported must meet the workability consistency requirements specified by the



- 1** Verlängerung Verarbeitungszeit mit
Abbindeverzögerern
Extending workability life with set retarders

	Verarbeitbarkeit [h]	Verzögerung [h]
FM 2. Generation Superplasticiser 2 nd generation	1	4
FM 2. Generation Superplast. 2 nd gen. +0,2% retarder	2	7
FM 2. Generation Superplast. 2 nd gen. +0,4% retarder	4	10

Einfluss verlängerte Verarbeitbarkeit vs. Verzögerung:
mit FM 2.Generation und Abbindeverzögerern
*Influence of extended workability life vs. retardation:
with 2nd generation superplasticisers and set retarders.*

wickelt. Nach diesem Zeitpunkt darf der Beton nicht weiter bearbeitet oder bewegt (Vibrationen) werden, da sich sonst Gefügestörungen einstellen.

Verarbeitungszeit:

- Zeitraum, in dem der Beton bearbeitet werden kann. Abhängig vom geforderten Verarbeitungsschritt, ist der Beton einzustellen.
- Soll der Beton nur noch vibriert werden können, liegt die Verarbeitbarkeit schon weit unter der messbaren Grenze (Überprüfung beispielsweise durch das selbstständige Schliessen des Vibrierloches nach dem Herausziehen der Vibratornadel).
- Soll der Beton noch eingebaut oder transportiert werden, müssen die vom Anwender geforderten Verarbeitungs-Konsistenzen (Überprüfung durch Konsistenzmessung wie Ausbreitmaß oder Walzmaß) eingehalten werden.

Beton oder Spritzbeton mit einem Ausbreitmaß von ca. 30cm darf beispielsweise eigentlich nicht mehr als pumpbar bezeichnet werden, lässt sich aber noch problemlos verdichten.

Die geforderte Verarbeitungszeit oder Verzögerungszeit kann mittels Abbindeverzögerern verschiedenster Typen, durch speziell formulierte Fließmittel und Kombinationen davon erreicht werden. Immer bewirken Abbindeverzögerer neben einer Erhöhung der Verarbeitungszeit auch eine viel grössere Verzögerung des Abbindezeitpunktes. Mit diesen traditionellen Technologien bedeutet eine Erhöhung der Verarbeitbarkeit auf drei Stunden eine Erhöhung der Abbindezeit auf bis zu neun Stunden. (**Bild 1**)

Durch den Einsatz neuartiger Fließmittel auf Basis von formulierten und strukturierten Polycarboxylaten lässt sich dieses Verhältnis Verarbeitung zu Verzögerung nun deutlich nach vorne verschieben. Mit Fließmitteln dieser 3. Generation bedeutet die gleiche Verarbeitungszeit von 4

client (verification by flow table spread or Walz test).

Cast or sprayed concrete presenting a flow table spread size of around 30 cm may, for instance, no longer be qualified as pumpable although it still is compactable without any problem

*The required length of workability life or retardation can be obtained by using different types of setting retarders, by specially formulated superplasticisers and combined admixtures. Setting retarders, besides extending workability life, always bring about a much greater retardation of the beginning of setting as well. With these traditional technologies extending workability life to 3 hours means retarding the beginning of setting by up to 9 hours. (**figure 1**)*

*By using new types of superplasticisers based on formulated and structured polycarboxylates, the ratio of workability life to retardation can be improved considerably. With such 3rd generation superplasticisers for 4 hours workability life retardation is by 2 to 4 hours less. This technological innovation however is accompanied by a user risk that may not be ignored. Once workability life has elapsed, concrete mixes with polycarboxylates react immediately and set, whereas with older technologies they show a gradual, less clear-cut transition. (**figure 2**)*

New fields of application

While this new technology has opened up new fields of application, construction contractors have in many places already adopted much better performing systems in practice so that specifications get ever tougher. Nowadays it goes without saying that superplasticisers maintain concrete soft and pumpable for hours. The rapid development of such polymers leaves construction companies and concrete manufacturers more operational freedom with less time-related constraints regarding workflow planning.

Stunden eine Reduktion der Verzögerung um 2 bis 4 Stunden. Einher mit dieser technischen Errungenschaft geht aber ein nicht zu vernachlässigendes Anwendungsrisiko. Ist die Verarbeitbarkeit abgelaufen, reagieren Betone mit Polycarboxylaten sehr plötzlich und binden ab, während ältere Technologien einen «fliessenden» Übergang aufweisen.

(Bild 2)

Neue Anwendungsmöglichkeiten
Während die Anwendungsmöglichkeiten dadurch nun deutlich gesteigert werden konnten, haben die Unternehmungen diese Leistungssteigerung bereits vielerorts in die tägliche Praxis übernommen und die Anforderungen werden erneut verschärft. So ist es heute schon selbstverständlich, dass Fliessmittel den Beton während Stunden weich und pumpbar halten. Mit dieser raschen Entwicklung solcher Polymere können den ausführenden Unternehmungen und produzierenden Betonherstellern deutlich grössere Freiräume und weniger zeitliche Abhängigkeiten in der Ablaufplanung bereitgestellt werden.

Loslösen von Ansteifen und Erhärtung

Die physikalisch/chemische Abhängigkeit «Ansteifen vs. Abbinden» lässt sich mit den neuen Polycarboxylaten zwar immer weiter ausdehnen, folgt aber bestimmten Grenzbedingungen. Erschwendend kommt hinzu, dass bei komplexen Betonkonzepten der Konstruktionsbeton beides können soll, d.h. so lange verarbeitbar bleiben wie gefordert, und trotzdem rasch erhärtend, falls früher gefordert. Hier spricht man von einem Reagieren auf zeitlich variable Anforderungen. Das lässt sich nun bei der im Betonwerk hergestellten Rezeptur nicht mehr berücksichtigen. Die dabei eingestellten Eigenschaften des Betons ändern sich nur noch durch wechselnde klimatische Randbedingungen

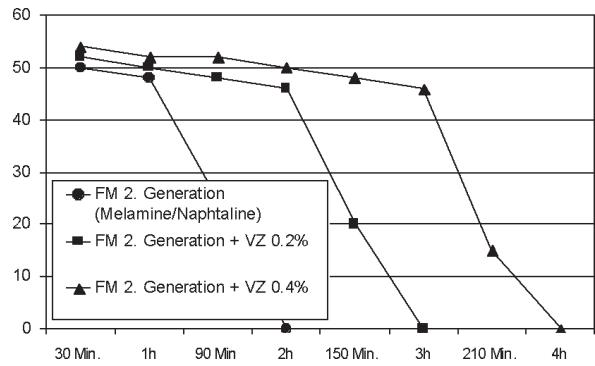
Uncoupling stiffening (loss of workability) from begin of setting

The physical/chemical interdependency of «stiffening vs. setting» can be more and more reduced by the use of the new polycarboxylates while still remaining subject to certain limitations. The problem is aggravated by the fact that for complex concrete concepts the cast concrete should be able to do both, remain workable for as long as required but still harden quickly if necessary. This means being able to react to requirements that change time-dependently. Such changes cannot anymore be accounted for in concrete mixes prepared in a batching plant. Properties of such concrete mixes are only affected by changes of climatic conditions or by changes resulting from improper treatment of the concrete mix (such as re-tempering). Here we are facing a conflict of objectives of specified properties:

- Placeable-like cast concrete (for example inner lining ring concrete / invert concrete) and start of setting and hardening «on demand» just like sprayed concrete.

For this problem there are two possible answers:

- The formwork can be filled with sprayed concrete, thus combining long workability life with beginning of strength development just as targeted. Filling here means that a big volume of concrete (for instance for an inner lining ring) must be placed (sprayed) with a high amount of energy (compaction) into a formwork.
- Immediately before placing, the cast concrete is accelerated under close control so that strength development is triggered off just at the right time. Controlled and just at the right time means here that the concrete retains sufficient workability allowing proper filling of the formwork and compacting.



2

Vergleich Ansteifen Fliessmittel 2. und 3. Generation
Comparison of stiffening with 2nd and 3rd generation superplasticisers

	Verarbeitbarkeit [h]	Verzögerung [h]
FM 2. Generation (Melamine/Naphtaline)		
Superplast. 2 nd gen.	1	4
FM 3. Generation (Polycarboxylate)		
Superplast. 3 rd gen.	4	6

Einfluss verlängerte Verarbeitbarkeit vs. Verzögerung mit FM 2. + 3. Generation
Comparison of stiffening with 2nd and 3rd generation superplasticisers

oder unsachgemäße Handhabung des Baustoffes. Hier entsteht ein Zielkonflikt der geforderten Eigenschaften:

- Verarbeitbar wie ein Konstruktionsbeton (Bsp. Innenringbeton / Sohlenbeton) und auf „Befehl“ einsetzendes Abbinden und Erhärten «wie» beim Spritzbeton.

Auf diese Fragestellung gibt es zwei mögliche Antworten:

- Die Schalungsform kann mit Spritzbeton ausgespritzt werden. So kann eine lange Verarbeitungszeit mit dem gezielten Festigkeitsbeginn verbunden werden. Ausgespritzt bedeutet hier, dass man mit grossem Energieaufwand (Verdichtung) hohe Volumenleistungen (Bsp. Innenring) in eine Form einbringen (einspritzen) muss.
- Der Konstruktionsbeton wird unmittelbar vor dem Einbau kontrolliert beschleunigt und damit die Festigkeitsentwicklung zeitgenau ausgelöst. Kontrolliert oder zeitgenau bedeutet hier, dass der Beton eine zeitliche Restverarbeitbarkeit aufweist, die es erlaubt eine Form fachgerecht zu verfüllen und zu verdichten.

Während das Ausspritzen von Schalungsformen ein äusserst aufwändiger Prozess ist, bietet die Möglichkeit der zeitgenauen Beschleunigung von Konstruktionsbeton bei technologischer Lösung und konstruktiver Umsetzung eine wirkliche Alternative zum Spritzbeton oder eben zu einer eindeutigen Grenzverschiebung der Anwendungen Konstruktionsbeton vs. Spritzbeton.

Natürlich bleibt es aber dem Spritzbeton in den bekannten Anwendungarten (Trockenspritzbeton oder Nassspritzbeton) vorbehalten, ohne Schalungsform das Material auf ein Oberfläche aufzubringen, unabhängig davon, ob diese Fläche vertikal an der Wand oder über Kopf liegt und dabei eine sofortige Reaktion (Klebkraft und Frühfestigkeiten) zu erzielen.

Anforderungen

Aufgrund konkreter Kundenanforderungen und im Zusammenhang mit der Entwicklung neuer Betonkonzepte wird nun an solchen, eigentlich widersprüchlichen Anforderungen (lange Verarbeitbarkeit mit hoher Frühfestigkeit) geforscht. Die konkrete Aufgabenstellung lautet dabei in etwa immer:

Sehr lange Verarbeitbarkeit mit zeitlich unabhängig davon auszulösender Frühfestigkeitsentwicklung mit einer gesicherten Restverarbeitbarkeit zur Sicherstellung des qualitativ einwandfreien Betoneinbaus.

Diese Herausforderung lässt sich nur durch den Einsatz eines Beschleunigers mit der Zugabe kurz vor dem Einbau lösen. Das bedeutet, dass neben der Betonzusatzmitteltechnologie auch eine maschinenseitige Lösung entwickelt werden muss. Um eine hohe Einbauleistung sicherzustellen und den engen Platzverhältnissen im Tunnelbau gerecht zu werden, kommt eigentlich nur eine Durchlaufinstallation zur Anwendung, mit der beispielweise 30 bis 50 m³/h solcher Gemische verarbeitet werden können, dass der Beschleuniger homogen in den Beton eingemischt wird und die Einbauleistung damit sichergestellt werden kann. Dazu gibt es auf dem Markt auch bereits Lösungen. Um das Konzept zu optimieren (Platzbedarf und Ablauftechnik) wird aber auch hier geforscht und weiter entwickelt.

Betontechnologische Lösungen

Während die Gesteinskörnungen das Gerüst des Betongefüges bilden, stellen Bindemittel und Zemente die Verklebung der Körnungen und damit ein stabiles Gefüge sicher. In diesem Stoffsystem kommt die Aufgabe der Steuerung der Eigenschaften den Betonzusatzmitteln zu. Alle eingemischten Komponenten müssen zudem der guten Verarbeitbarkeit förderlich sein und sollen so weit als technisch möglich, die Festbetoneigenschaften nicht nachteilig beeinflussen.

While filling of formwork by spraying is a very labour-intensive process, the possibility of accelerating cast concrete at a precise point of time with the help of appropriate admixture and equipment technologies offers a real alternative to sprayed concrete or, in other words, allows a definite shifting of the application limits for cast concrete vs. sprayed concrete.

Applying concrete onto a substrate, vertical or overhead, without formwork and getting instant reaction (adhesiveness and strength development), remains of course the domain of the well known dry and wet sprayed concrete.

Requirements

Research work has now been undertaken on the subject of such actually contradictory requirements (long workability life combined with high early strength) on the basis of actual customer requirements and in context with the development of new concrete concepts. The specific formulation of the problem is always more or less the same:

Concrete with long workability life combined with accurately timetable beginning of early strength development but still maintaining a safe margin of workability time for perfect placing.

This problem can only be solved by adding an accelerator just before placing the concrete, which means that besides concrete admixture technology also equipment technology will have to come up with a solution. In order to ensure the placing of big concrete volumes and to overcome the cramped space conditions on tunnelling sites, the only possibility is actually a continuous-flow installation allowing the concrete to mix thoroughly 30 to 50 m³/h in such way that the accelerator is homogene-

Für das Lösen der Abhängigkeit Verarbeitungszeit und Abbindezeitpunkt kommt neben der Wahl des geeigneten Zementes den Betonzusatzmitteln eine entscheidende Bedeutung zu. Im Bereich der Beschleuniger-Zusatzmittel können folgende Technologien unterschieden werden.

Erstarrungsbeschleuniger (nach prEN 934-5 Tabelle 2)

Die Zugabe erfolgt unmittelbar vor der Applikation an der Spritzdüse im Stromwandler. Äußerst starke (sofortige) Reaktion des Abbindebeginnes mit unterschiedlich starker Früh- (bis 1 Stunde) und Frühfestigkeitsentwicklung im Bereich von Stunden. Die spontane Bildung von Ettringit bewirkt das sofortige Erstarren. Das bedeutet, dass die Hauptwirkung der Erstarrungsbeschleuniger die aluminathaltigen Phasen des Zementes betrifft. Die darauf folgende weitere Erhärtung wird über den gestiegenen Verbrauch von Calciumhydroxid angeregt (Le Chatelier Prinzip). (Bild 3)

Erhärtungsbeschleuniger (nach EN 934-2 Tabelle 7)

Die Zugabe erfolgt bei der Betonproduktion im Betonwerk. Kein (oder nur geringer) Einfluss auf das Abbinden und/oder Ansteifen, aber hohe Wirkung in der Frühfestigkeitsentwicklung im Bereich von Stunden oder Tagen. (Bild 4)

Erstarrungsbeschleuniger (nach EN 934-2 Tabelle 6)

Die Zugabe erfolgt bei der Betonproduktion im Betonwerk. Relevante Verkürzung des Abbindebeginns um Stunden mit oder ohne zusätzliche Frühfestigkeitseigenschaften. Verschiedene Typen von Abbindebeschleunigern werden im Konstruktionsbeton oft in der Vorfabrikation zur Erhöhung der Grünstandfestigkeit eingesetzt oder im Winter als gut bekannter Frostschutz.

ously mixed with the concrete, so that a high concreting performance can be guaranteed. Such solutions are already on the market but more research and development are necessary for optimising the concept (space requirement and processing technology).

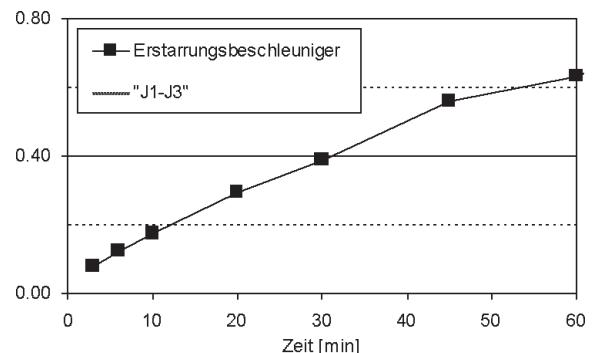
Concrete technology solutions

The skeleton of concrete consists of the aggregate. The grains are bonded together by binders and cement, thus assuring a solid concrete structure. In this system of materials the concrete admixtures assume the task of controlling the concrete properties. All components added to the mix must moreover promote good workability and should as far as technically possible not negatively influence the properties of hardened concrete.

For breaking up the dependence of workability life from the point of the beginning of setting, concrete admixtures play a decisive role besides selecting an appropriate cement. Regarding accelerating admixtures, the following technologies can be differentiated.

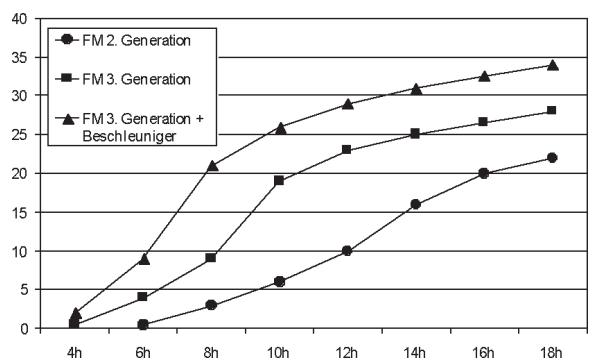
Setting accelerators (to prEN 934-5 Table 2)

Such accelerators are added in the flux converter at the nozzle while spraying. Very strong (instant) setting reaction with different initial strength development (within the first hour) and different early strength development within several hours. Spontaneous formation of ettringite causes immediate stiffening. This means that the main effect of setting accelerators concerns the aluminate-containing phases of the cement. The subsequent further hardening is stimulated by the increased consumption of calcium hydroxide. (Le Chatelier principle). (figure 3)



3

Bsp. Frühfestigkeitsentwicklung von Spritzbeton während der ersten Stunde
Initial strength development of sprayed concrete in the course of the first hour

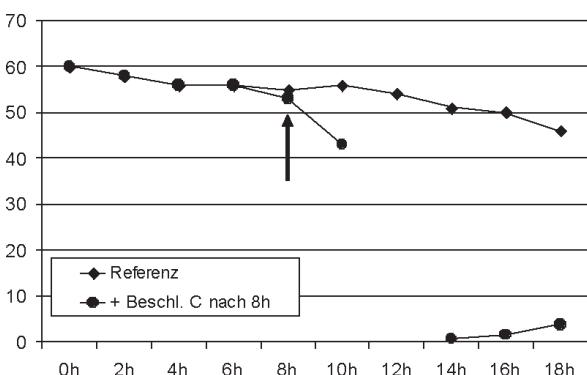


4

Bsp. Frühfestigkeitsentwicklung von Konstruktionsbetonen mit unterschiedlichen Betonzusatzmitteln
Early strength development of cast concrete mixes with different admixtures

	Reference [superplast.]	«new superpl.» [superpl.+ accel]
Dichte (kg/m ³)		
Density (kg/m ³)	2423	2407
Luftporengehalt (%)		
Air content (%)	0,6	1,0
Wassergehalt (W/Z)		
Water content(w/c)	0,44	0,44
Betontemp. (°C)		
Concrete temp. (°C)	23	21
Verarbeitungszeit (h)		
Workability life (h)	7	>10
Frühfestigkeit (MPa)		
Early strength (MPa)	14h=2,2	16h=3,0
Frühfestigkeit (MPa)		
Early strength (MPa)	24h=36,9	24h=34,1

Vergleich Referenz-FM zu neuem «FM-VZ-BE»
Comparison between reference superplasticiser and new «superplasticiser-retarder-accelerator»



- 5 Langverzögter Beton nach 8h beschleunigt mit gesicherter Restverarbeitbarkeit von 2 Stunden
Long-retarded concrete accelerated after 8 hours with 2 hours assured workability life reserve margin

Neue Beschleuniger «auf Befehl»

Die Zugabe erfolgt kurz vor dem Betoneinbau in die Schalungsform. Die Kombination von rascher Frühfestigkeitsentwicklung und gesicherter Restverarbeitbarkeit ist die Produktanforderung für diese Beschleunigertypen.

Der Ansatzpunkt hier ist die Bildung von Calciumsilikathydraten und die spätere Förderung dieser Reaktion. Da die Hydratation des Zements ein komplexes Ganzes darstellt und nicht in klar definierte Einzelreaktionen aufgeteilt werden kann, ist eine eindeutige Trennung dieser beiden Mechanismen jedoch nicht vollständig möglich. Das ist speziell zu beachten, weil diese neuen Beschleuniger im Allgemeinen alkalischer Natur sind und bei einem ersten direkten Kontakt des verzögerten Systems ein spontanes Ausfallen von Calciumhydroxid stattfindet. Das bewirkt ein erstes Ansteifen der Matrix, wobei dieses aber im weiteren Verlauf durch die Folgereaktionen teilweise wieder aufgehoben werden kann, bis dann der eigentliche Abbindeprozess und die darauf folgende Früherhärtung einsetzt.

Resultate

Nun gilt es solche neuen Beschleunigertypen praxistauglich zu formulieren und auf ihre Eigenschaften hin zu prüfen. Idealerweise lässt sich der beschleunigte Beton noch 1 bis 2 Stunden nach der Zugabe des Beschleunigers verarbeiten, was eben heisst: pumpen, einbauen und homogen verdichten. Diese Zeitspanne ist auch notwendig, um sicherzustellen, dass in der Schalungsform keine kalten Fugen entstehen (auch nicht während der notwendigen Umstellung linke und rechte Schalungshälften bei der Innenringschalung) und um kürzere Unterbrüche beim Betonieren überbrücken zu können (Nachschub Betonlieferung oder kleine Defekte oder Umstellungen).

Hardening accelerators

(to EN 934-2 Table 7)

The accelerator is added at the batching plant when the concrete is produced. No (or only little) influence on setting and/or slump loss, but high effect regarding early strength development in the range of hours or days. (figure 4)

Setting accelerators

(to EN 934-2 Table 6)

These accelerators are added at the batching plant when the concrete is produced. Relevant shortening of the beginning of setting in the range of hours, with or without additional early strength properties. Such types of accelerator are often used in the precast industry for increased stability of green concrete or serve in winter time as well known anti-freeze admixtures.

New accelerators «on demand»

This type of accelerator is added just before casting the concrete into the formwork. Requirements this type of accelerators have to meet are quick development of early strength in combination with assured workability life safety margin.

The possible solution here is the formation of calcium silicate hydrates and subsequent promotion of this reaction. Because cement hydration is a complex process that cannot be subdivided into clearly defined single reactions, these two mechanisms clearly cannot be separated completely. This must particularly be accounted for because the new accelerators are generally alkaline, causing spontaneous precipitation of calcium hydroxide on the first direct contact with the retarded system. The effect is initial stiffening of the

Laborversuche

Das nachfolgende Beispiel als Extrakt aus den Laborversuchen illustriert die geforderten Grenzen und die zu erreichenden Resultate. Da die Frühfestigkeit nicht nur von einem Parameter abhängt, ist es notwendig, eine grosse Auswahl verschiedener Zemente bei unterschiedlichen Temperaturen und variablem Wassergehalt zu prüfen. Auch muss schon im Laborstadium der Einfluss auf verschiedenste Dauerhaftigkeitsanforderungen überprüft werden, so dass diese neuen Betonkonzepte die bestehenden Erfahrungswerte bezüglich der Nutzungsdauer des Objektes nicht negativ beeinflussen. (Bild 5)

Praxisversuch

Dass sich Entwicklungsarbeiten in der Praxis nicht selber dienen dürfen, also kein Eigenzweck sind, soll am Beispiel einer konkreten Kundenanforderung die Technologie geprüft und bewertet werden. Diese Anwendungstechnik steht hier noch nicht im Einsatz, ist aber ein nicht unwesentlicher Bestandteil für die Evaluation des gesamten Logistikkonzeptes.

Die Arge TAT (mit den Unternehmungen Zschokke Bau AG / Hochtief AG / Alpine Mayreder Bau GmbH / CSC Impresa SA / Impregilo SpA) erstellt im Auftrag der AlpTransit Gotthard die Teilausbauabschnitte Bodio (Los 554) und Faido (Los 452) des Gotthard-Basistunnels. Bei diesen beiden Bauabschnitten handelt es sich um eine Loskombination mit einer totalen Länge von ca. 31km. Als mögliche Alternative zum Bauprojekt steht die Erstellung des gesamten Abschnittes ab dem Portal Bodio zur Diskussion. Um bei dieser Variante die von der Unternehmung geforderten Betoneigenschaften zur erreichen, mussten verschiedenste Vorabklärungen durchgeführt werden. Im konkreten Fall hat der Konstruktionsbeton eine maximale Verarbeitungszeit von 8 Stunden zu erreichen, im Notfall von 9 1/2 Stunden. Danach soll der Beton in der Sohle nach weiteren 2 1/2

matrix that can later partially be reversed by the secondary reactions, until the actual setting process with subsequent early hardening begins.

Results

Such types of accelerator must now be formulated in a way whereby they are suitable for practical use and their properties must be tested. The accelerated concrete in the ideal case must remain workable, which means pumpable, placeable and compactable, for 1 to 2 hours after addition of the accelerator. This length of time is necessary to prevent the formation of cold joints inside the formwork (also when alternatingly casting concrete into right and left side formwork of the inner tunnel lining shell to prevent asymmetrical loading) as well as for bridging short interruptions of concreting work (delayed concrete supply, short breakdowns or formwork shifting operations).

Laboratory tests

The following example is taken from laboratory tests, illustrating the required limits and the results that have to be achieved. Because early strength does not depend on one parameter only, it is necessary to test a wide selection of cements at different temperatures and variable water contents. The influence on durability requirements must be examined already in the laboratory, so that these new concrete concepts do not negatively influence existing typical experience-based results regarding useful service life of project. (figure 5)

Practical test

Because R+D in practice is not an end in itself, this technology has to be tested and evaluated taking an actual customer requirement as an example. This application technology in this case is not yet in use but it plays a not unimportant role in the evaluation of the whole logistics concept.

The joint venture TAT consisting of Zschokke Bau AG / Hochtief AG / Alpine Mayreder Bau GmbH / CSC Impresa SA / Impregilo SpA was awarded by AlpTransit Gotthard the contract for building the sections Bodio (section 554) and Faido (section 452) of the Gotthard base tunnel. These two sections give a total length of about 31 km. As a possible alternative to the original execution project, advancing the whole combined section from the Bodio portal is being discussed. Many different preliminary tests and studies had to be carried out in order to achieve the concrete property results specified by the contractors for this alternative solution.

The cast concrete in this case must have a maximum workability life of normally 8 hours and exceptionally of 9 1/2 hours. 2 1/2 hours later, concrete in the invert must reach an early strength of 1 to 2 N/mm², allowing striking of the front shuttering without damage. For the concrete in the lining shell, strength requirements are 8 N/mm² after 8 1/2 hours. Extensive preliminary testing in the laboratories of the contractors and material suppliers as well as previous tests performed under site conditions allowed to achieve the first notable successful results. The different technologies presented in this paper were used and evaluated in this testing. An excerpt from the test results is illustrated and described below.

Thanks to the further development of superplasticisers, workability life can here be prolonged by >3h to reach more than 10hours, while at the same time early strength development is retarded only by 2 additional hours.

Also concrete mixes with «acceleration on site» have been included in this testing series. Under the existing conditions however it was not possible to achieve completely satisfactory results. (figure 6)

Stunden Frühfestigkeiten von 1 bis 2 N/mm² erreichen, die es erlauben, die Stirnschalungen ohne Defekte zu entfernen. Für den Schalenbeton gilt eine Festigkeitsanforderung von 8 N/mm² nach 8 1/2 Stunden. In umfangreichen Vorversuchen in den Labors der Unternehmung und den Materiallieferanten und bereits durchgeführten praxisnahen Versuchen konnten dabei erste beachtliche Erfolge erzielt werden. Dabei wurden die verschiedenen im Beitrag erwähnten Technologien eingesetzt und bewertet. Nachfolgend ist ein Extrakt der Resultate dargestellt und beschrieben.

Durch die Weiterentwicklung der FM kann hier die Verarbeitung um >3h auf über 10h erhöht werden, bei gleichzeitiger zusätzlich verzögter Früherhärtung von lediglich um 2h.

Gleichzeitig wurden in dieser Versuchsreihe auch Mischungen mit «Beschleunigung vor Ort» durchgeführt. Hierbei wurden unter den bestehenden Bedingungen noch keine gänzlich befriedigenden Resultate erzielt. (Bild 6)

Konklusion

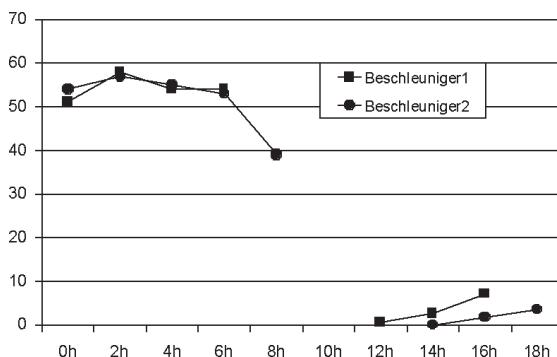
Die Entwicklung des vor Ort beschleunigten Konstruktionsbetons eröffnet vielfältige neue Anwendungsmöglichkeiten für den Betoneinbau und ungekannte logistische Möglichkeiten bei der Ablaufplanung von grossen Bauprojekten. Voraussetzungen sind die praxistaugliche Entwicklung von technisch einfachen und mobilen Mischeinheiten und wirtschaftlich interessante Lösungen im Bereich der Bauchemie, da diese durch die notwendige Dosierung für jeden m³ Beton die Wirtschaftlichkeitsberechnungen solcher Lösungen stark beeinflussen.

Auf der Basis der erfolgreichen Entwicklung der neuen Fließmittel der 3. Generation steht nun einem weiteren Schritt des Konstruktionsbetons in Richtung Spritzbeton durch neuartige Beschleuniger-technologien nichts mehr im Wege!

Conclusion

Development of on site accelerated cast concrete opens up many new possibilities for placing concrete as well as undreamt-of logistics options for the workflow planning of large construction projects. The development of technically-unsophisticated, practical and mobile mixing equipment and the formulation of innovative chemical concrete admixtures, which must of course be economically interesting because their dosage in each and every m³ of concrete considerably influences calculations of the economical feasibility of such new concrete placing concepts.

Thanks to the development of the new 3rd generation superplasticizers and innovative accelerator technologies, the way is now open for cast concrete to take a further step in the direction of sprayed concrete!



- 6 Vergleiche versch. Beschleuniger bei Zugabe vor dem Einbau von langverzögerten Betonen
Comparison between different accelerators added just before placing of long-retarded concrete

Autor / Author

Jürg Schlumpf
Dipl. Bauingenieur HTL
Sika Schweiz AG
Tüffenvies 16
CH-8048 Zürich
schlumpf.juerg@ch.sika.com

Referenzen / References

- [1] Schlumpf, J.: Betonsysteme AlpTransit: Materialtechnische Herausforderung zur Bewältigung komplexer Verarbeitungsbedingungen; Sika Tunneling & Mining; Sept. 2002
- [2] Projektleitung AlpTransit Gotthard: Prüfungssystem für Betonmischungen Dokumentation Stufe2 und Stufe3 Informations- und Bewertungsunterlagen 30. April 1996
- [3]cen Europäisches Komitee für Normung EN 934-2; Teil 2: Betonzusatzmittel; Juli 2001
- [4]cen Europäisches Komitee für Normung EN 934-5; Teil 5: Zusatzmittel für Spritzbeton; November 2004

Andrea Salvadè

Introduzione

Il contenuto d'acqua nelle miscele di calcestruzzo allo stato fresco, è di fondamentale importanza per le prestazioni caratteristiche, sia in termini di resistenza sia in termini di durabilità, del calcestruzzo indurito. Altrettanto importante è la conoscenza del contenuto d'acqua degli aggregati costituenti, (sabbie, ghiaie, ecc.).

Sistema di misura

L'innovativo sistema di misurazione dell'umidità, denominato WaveTester (frutto di oltre 6 anni di attività di ricerca e sviluppo da parte della SUPSI (Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana) in collaborazione con MEET Electronic Engineering Sagl,), determina il contenuto d'acqua nel materiale analizzando l'interazione dell'onda elettromagnetica al suo interno. Il comportamento dell'onda EM varia in modo differenziato in funzione del contenuto di acqua per rapporto ai materiali in analisi.

I parametri misurati vengono, grazie ad una curva di calibrazione elaborata sperimentalmente, correlati ad un quantitativo di acqua presente nel materiale. WaveTester carica automaticamente nel caso della misura di aggregati (di differenti classi granulometriche) la rispettiva curva di calibrazione, questo procedimento assicura una maggiore precisione della misura. Il sistema di misurazione è composto da due sensori fra i quali è posto il materiale da qualificare. I due sensori sono collegati ad una centralina di controllo in grado di gestire i sensori, acquisire i dati di misura, pre-elaborarli e trasmetterli in tempo reale con un collegamento standard ethernet a un PC. In seguito, sulla stazione centrale PC, un software dedicato esegue tutti gli specifici e sofisticati algoritmi che permettono di evincere il grado d'umidità degli inerti. Grazie al sistema a doppio sensore, WaveTester è in grado di misurare in profondità anche gli strati più interni del materiale.
(figura 1)

Introduction

A knowledge of the water content in fresh concrete mixtures is very important in terms of performance. The tensile strength and the durability of the hardened concrete are closely related to the water content.

Similarly, a knowledge of the water content in aggregates is also important to obtain a high quality product.

Measuring Principle

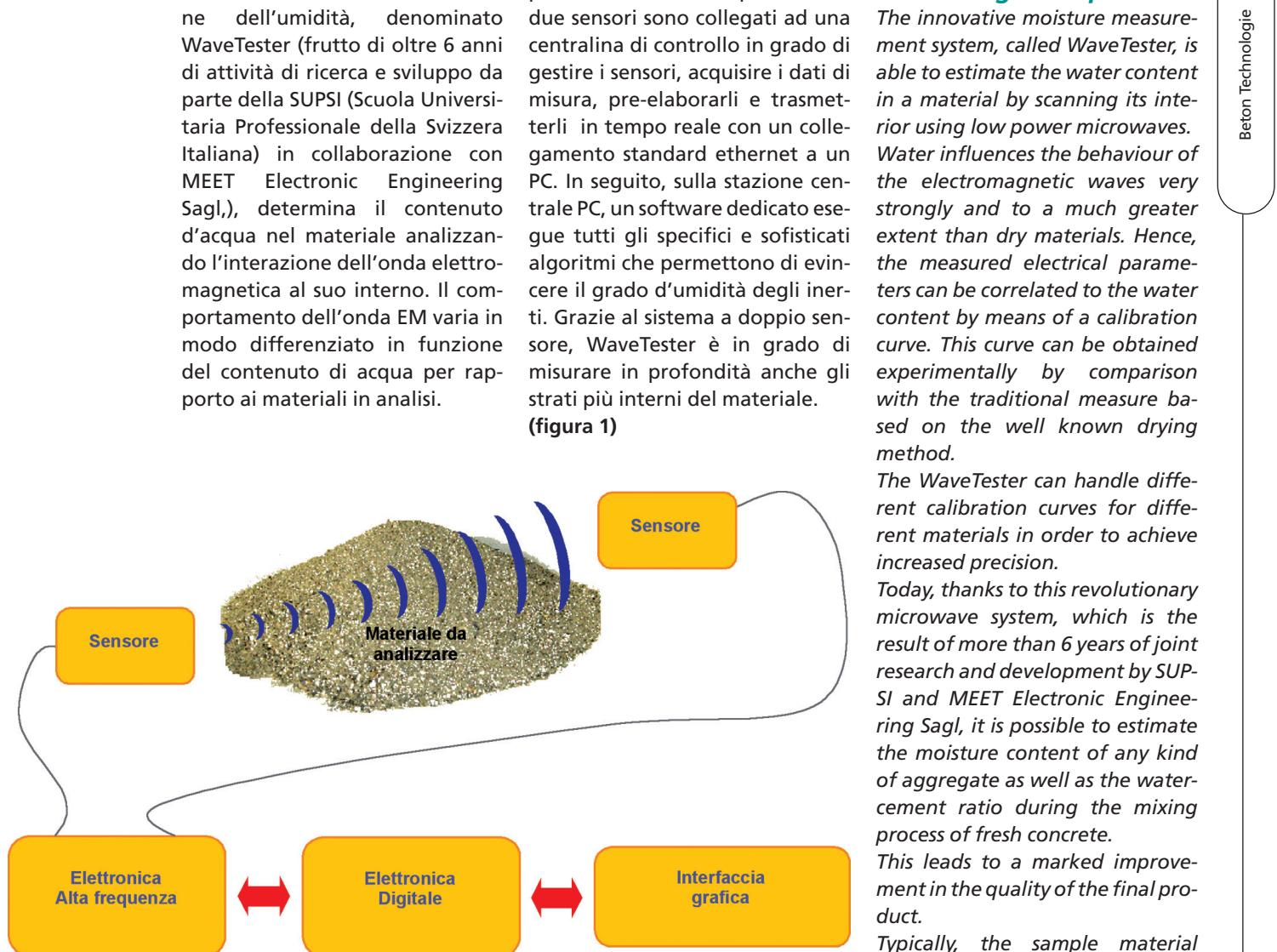
The innovative moisture measurement system, called WaveTester, is able to estimate the water content in a material by scanning its interior using low power microwaves. Water influences the behaviour of the electromagnetic waves very strongly and to a much greater extent than dry materials. Hence, the measured electrical parameters can be correlated to the water content by means of a calibration curve. This curve can be obtained experimentally by comparison with the traditional measure based on the well known drying method.

The WaveTester can handle different calibration curves for different materials in order to achieve increased precision.

Today, thanks to this revolutionary microwave system, which is the result of more than 6 years of joint research and development by SUPSI and MEET Electronic Engineering Sagl, it is possible to estimate the moisture content of any kind of aggregate as well as the water-cement ratio during the mixing process of fresh concrete.

This leads to a marked improvement in the quality of the final product.

Typically, the sample material under test is placed between two microwave sensors. There is no need for a physical contact between the sample and the sensors. The two sensors are connected to a control unit (CU). The CU genera-



1

Schema a blocchi del sistema di misura
Block diagram of the measuring setup

Integrazione del sistema di misura nelle diverse fasi di produzione del calcestruzzo

L'analisi del tasso d'umidità può avvenire in varie fasi della produzione del calcestruzzo. Di conseguenza, i sensori possono essere ubicati in tutti i luoghi ritenuti strategici nel ciclo di produzione del calcestruzzo, quali:

- entrata del silo (per esempio, sul nastro trasportatore).
- uscita dei rispettivi sili o nella bilancia
- interno del miscelatore, misura del calcestruzzo fresco durante l'operazione di mescolatura, al fine di poter correggere in tempo reale un'eventuale carenza d'acqua secondo i parametri di ricetta (rapporto acqua/cemento). (figura 2)

Caratterizzazione dell'umidità negli aggregati sul nastro trasportatore

WaveTester è in grado di monitorare l'umidità dell'intero carico di aggregati che vengono depositati all'interno del silo durante la fase di riempimento. Questo procedimento permette di avere un maggior controllo di qualità del materiale in entrata.

La misura avviene direttamente sul nastro trasportatore; i sensori non hanno nessun contatto con il materiale in analisi e non richiedono quindi alcuna manutenzione nel tempo.

Il sistema è stato collaudato ed utilizzato per esempio nel cantiere AlpTransit della ditta Holcim per due anni, ininterrottamente senza alcun difetto o intervento di manutenzione.

tes the microwave signal and sends it to one of the sensors. After traversing the sample, the signal is picked up by the other sensor and returned to the CU, where it is pre-processed and digitized. This raw measure is then sent to a Personal Computer (PC), where it is post-processed by advanced DSP algorithms. The resulting moisture measure is presented graphically on the PC, in real time. The measured value can also be sent to the plant controller (PLC) over several standard interfaces.

Thanks to a double sensor system the WaveTester is able to measure the test material at depth and through its entire cross section. (figure 1)

Measurement system integration in the various levels of the concrete production line

The moisture analysis can be made at different levels of the concrete production process. The strategic places where the sensors can be placed are:

- On the conveyor belt that feeds the silos
- At the exit of the silos or directly in the aggregates batching plant
- In the mixer in order to monitor the water content of fresh concrete (figure 2)

Moisture measurement on the conveyor belt

The WaveTester is able to monitor the moisture content of incoming aggregates during the silo's replenishment.

This allows for an improved quality and cost control of the arriving material.

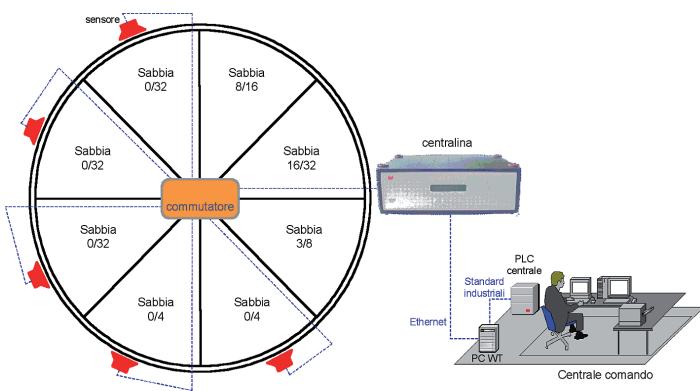
The measurement is performed directly on the conveyor belt (e.g. in a vertical setup, through the belt); the sensors are not in contact with the material and not subjected to wear, so that no maintenance is required.

The setup is in use for instance at the AlpTransit construction site of Bodio by Holcim. For two years it has given excellent results and did not require any servicing.



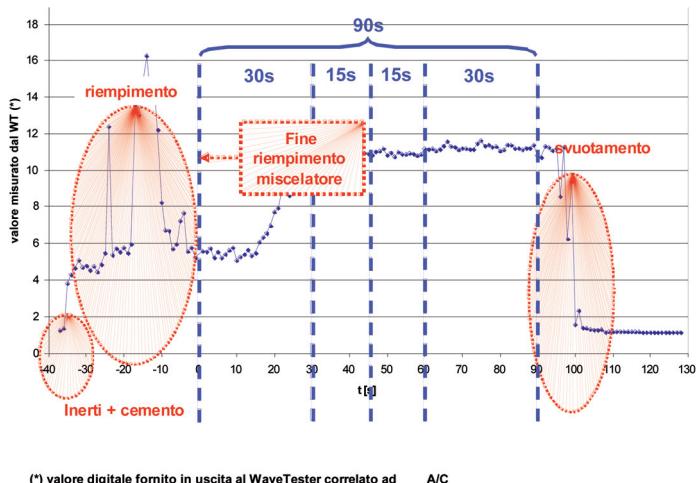
2 Posizionamento dei sensori nella centrale di betonaggio

Sensor placement locations in the concrete production plant



3

Schema di installazione sulle bocchette dei silos
Setup diagram of the system in the silos



(*) valore digitale fornito in uscita al WaveTester correlato ad A/C

Misurazione dell'umidità degli aggregati all'uscita dei silos

La misura del quantitativo di acqua presente negli aggregati è indispensabile per ottenere una miscela di calcestruzzo la più fedele possibile alle aspettative. Tale misura avviene tramite il posizionamento dei sensori sulle bocchette in uscita dei vari sili. L'acqua misurata negli inerti può in seguito essere sottratta a quella da aggiungere durante la fase di miscelazione. Il sistema di misura viene sincronizzato con l'apertura della bocchetta dei sili. Si tratta di una misura integrale: tutto il materiale (e non solo un piccolo quantitativo) viene quindi analizzato dai sensori, questo permette di disporre di un valore finale preciso e istantaneo di tutto il contenuto d'acqua presente nell'inerte.

Attualmente con una centralina possono essere controllati fino ad 8 silos parallelamente.

Anche in questa configurazione di misura i sensori non sono a diretto contatto con il materiale analizzato, quindi le azioni di manutenzione si riducono praticamente al minimo. (figura 3)

Misurazione dell'umidità nel calcestruzzo in fase di miscelazione

WaveTester è utilizzato per misurare il contenuto di acqua presente nel calcestruzzo fresco e quindi permette di poter disporre del rispettivo rapporto acqua/cemento. La misura è continua, viene effettuata durante tutto il periodo di miscelazione e i valori misurati sono istantaneamente disponibili al sistema di controllo dei dosaggi. Si può quindi effettuare in qualsiasi

Moisture sensing at the silo's outlet

A knowledge of the water content in the aggregate at the exit of a silo is essential in order to obtain a resultant concrete mix that is as close as possible to the design mix. The measurement is taken at the outlet (next to the drain valve) of a silo. This measured water content can then be taken into account in the computation of the amount of water that needs to be added during the mixing process.

Again, the entire load of aggregate is measured (and not just a single sample or a small part.) This leads to a more accurate and statistically representative measure of the actual water content of the aggregates. Today, it is possible to connect the sensors installed in up to 8 silos to a control unit (CU).

si momento una correzione del contenuto d'acqua allo scopo di garantire delle caratteristiche finali del calcestruzzo precise, secondo la ricetta prestabilita.

Questo tipo di misura permette inoltre di determinare quando la miscela è sufficientemente omogenea in modo da ottimizzare il processo di miscelazione.

I sensori vengono incapsulati e protetti dalla miscela in movimento tramite dei materiali molto resistenti all'abrasione. Il sistema può essere utilizzato quindi per diversi mesi senza necessitare di lavori di manutenzione.

Anche in questo caso, grazie a una frequenza di misura di oltre 10 campioni al secondo, il vantaggio dato da Wavetester è quello di poter disporre di un'analisi integrale del calcestruzzo.

Il sistema è stato collaudato ed è tuttora in funzione nei cantieri AlpTransit della ditta Holcim. (figura 4), (figura 5), (figura 6)

As in the previous configuration, here also the sensors are not in contact with the material under test, so that no maintenance is needed.

The setup is in use for instance at the newest Holcim concrete production plant in (figure 3)

Moisture sensing in the concrete mixer

The WaveTester can also be used to sense the moisture of fresh concrete during the mixing process. The instrument can then provide directly a water/cement ratio value, by means of a calibration curve obtained experimentally. The WaveTester measures in real time, producing several measures per second during the entire mixing cycle. The results are made fully available to the dosage control system. Therefore it is possible to make corrections to the water content in real time during the same mixing process.

In addition, the WaveTester can provide an estimate of the mixture's homogeneity, because the ripple in the measured moisture profile (over time) is a direct indicator of material inhomogeneity. The sensors are mounted on the mixer's walls and are encapsulated and protected against abrasion by means of a very resistant cover.

The setup can be used for months without any maintenance, and in any case this is limited to the replacement of the sensor's protective cover. No recalibration is needed.

With more than 10 samples per seconds, the WaveTester permits the characterization of the entire mixer concrete load.

The complete setup is in use for instance at the AlpTransit construction site of Bodio by Holcim. (figure 4), (figure 5), (figure 6)

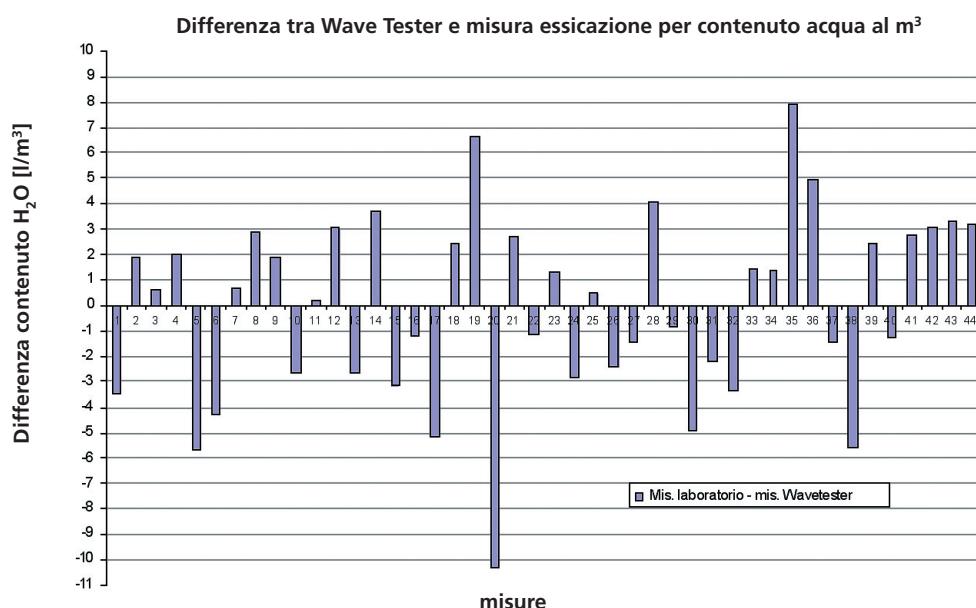
5

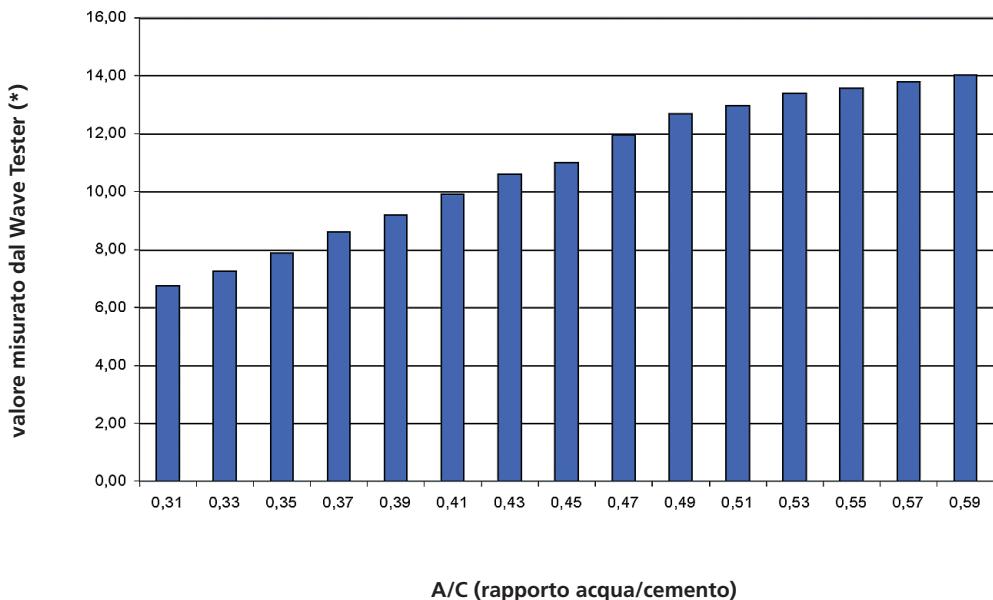
Misure Wave Tester comparate con prova della stufa (dati forniti da Holcim)

Il grafico mostra una serie di prove a campione effettuate con WaveTester comparate con dei campioni analizzati con il metodo di essiccazione nella stufa. Dal grafico si deduce una precisione di misura, salvo pochi casi, di $\pm 3\text{ l/m}^3$. Che corrisponde a una precisione di ± 0.01 sul rapporto acqua/cemento.

WaveTester measurements compared to measurements obtained with the drying method (data by courtesy of Holcim)

The graph shows some measurements in fresh concrete compared with the results obtained by the drying method. It is possible to reach a measuring accuracy of $\pm 3\text{ liters/m}^3$ that corresponds to about ± 0.01 in the water/cement ratio.





6

Prova ad incremento all'interno del mixer

Il grafico mostra delle prove effettuate aggiungendo progressivamente 7l di acqua in una miscela di 1m³ di calcestruzzo. Si nota che ogni aggiunta è stata discriminata con precisione denotando una risoluzione di misura che permette la discriminazione di quantitativi di acqua molto minori.

Test with incremental moisture contents in the mixer

The graph shows some tests done by adding water in steps of 7liters each to a concrete mixture of 1 m³.

As can be seen, every addition is clearly discernible.

Conclusioni

Questo innovativo sistema permette un controllo preciso ed efficiente del contenuto d'acqua durante tutta la catena di produzione del calcestruzzo, a partire dal controllo dei vari inerti fino alla determinazione del rapporto acqua/cemento del calcestruzzo. L'implementazione di questo sistema garantisce un prodotto finale nel rispetto delle variabili progettuali e delle normative.

Ulteriore sviluppo: lo strumento WaveTester sta per essere messo a punto anche per poter soddisfare la richiesta di misura del calcestruzzo fresco direttamente sui cantieri mediante uno strumento portatile.

Conclusions

The advanced WaveTester technology allows a precise and efficient control during the whole concrete production chain from the aggregates to the final product.

Its use ensures a high quality concrete that complies with the applicable codes and fulfils production requirements.

Next step: The WaveTester will be used to test fresh concrete samples directly at the construction site.

Progetto finanziato
dall'agenzia per la
promozione
dell'innovazione

KTI / CTI

*Project financed
from the agency for
the innovation promotion*

KTI / CTI

Autor / Author

Andrea Salvadè

Department of Technology and Innovation, University of Applied Sciences of Southern Switzerland (SUPSI)
Area TTHF

Telecom Telematics High Frequency
Via Cantonale, 6928 Manno,
Switzerland.
asalvade@supsi.ch
http://www.dfi.supsi.ch/area_TTHF.html

In collaborazione / In collaboration

Thomas Bartesaghi, Damiano Pellegrini,
Samuel Poretti and Ricardo Monleone