

This article presents the results of a comprehensive study with the aim to replace ordinary Portland cement. The laboratory tests showed that both tested formulations of calcium sulfoaluminate cement are characterized by a more rapid strength development.

Im vorliegenden Artikel werden die Ergebnisse einer umfassenden Studie mit dem Ziel des Ersatzes von gewöhnlichem Portlandzement vorgestellt. Die Laboruntersuchungen wiesen nach, dass beide geprüften Calciumsulfoaluminat-Zementzusammensetzungen zu einer rascheren Entwicklung der Betonfestigkeit führen.

Low embodied energy cements based on sulfoaluminates

Zemente mit einem niedrigen Grad an grauer Energie auf Sulfoaluminatbasis

TEXT: Manuela Bianchi, Fulvio Canonico, Alberto Arena, Matteo Zoppi

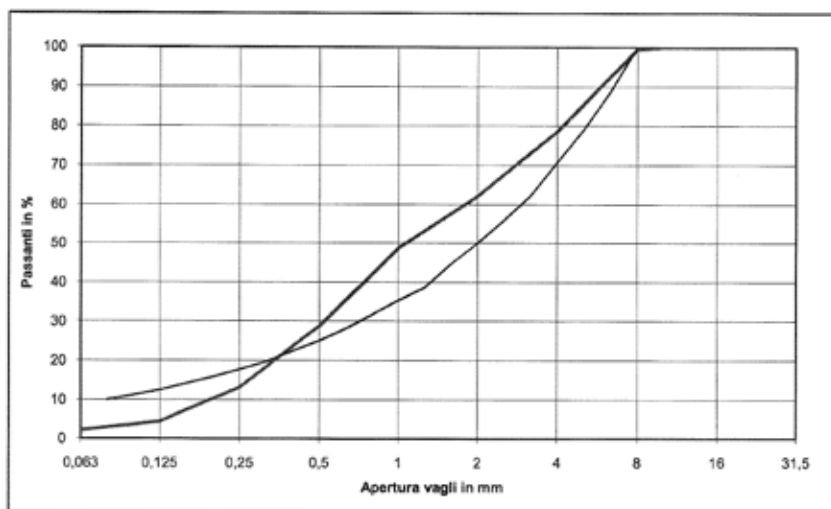


Figure: Bianchi, Canonico, Arena, Zoppi

Die Zement- und Betonbranche durchläuft derzeit einen Prozess der technologischen Innovation mit dem Ziel, die Leistungswerte der Produkte zu verbessern und dabei Lösungen für Probleme zu finden, die mit den steigenden Energiekosten verbunden sind. Zudem werden die mit dem Fertigungsprozess verbundenen Umweltauswirkungen beurteilt. Diese Innovationsoffensive ist offensichtlich eine wichtige Triebkraft für die Forschung und Entwicklung im Bereich neuer Baustoffe.

Der vorliegende Beitrag soll den Fortschritt des Projekts Ma2Re („Manufatti e Materiali con Ridotta Energia Incorporata“; „Materialien mit reduzierter grauer Energie“) darstellen, bei dem auf innovativen Zementen basierende Stoffzusammensetzungen, deren Produktion weniger Energie beansprucht, für die Herstellung von Beton mit einem niedrigen Grad an grauer Energie, einer langen Lebensdauer und einer einfachen Wiederverwendung entwickelt werden.

Very high physical-mechanical performance

Unlike conventional Portland cements, sulfoaluminate cements make it possible to achieve a very high physical-mechanical performance at short ageing times. This aspect is important for the precast concrete industry, which can optimize and rationalize its own production process with a more effective shift of molds and forms, an increase in production output and different logistics and storage management whilst avoiding the use of surface treatments with epoxy resins or the use of accelerated ageing cycles for concrete that have a negative impact on costs and environmental sustainability.

The main purpose of this research is the development and use of formulations based on sulfoaluminate cement in comparison to conventional Portland cements for the mix design of dry concrete and self-compacting concrete (SCC) for the prefabrication industry.

Sehr hohe physikalisch-mechanische Leistungswerte

Im Gegensatz zu herkömmlichem Portlandzement ermöglichen Sulfoaluminat-Zemente bereits im jungen Betonalter sehr hohe physikalisch-mechanische Leistungswerte. Dieser Aspekt ist von großer Bedeutung für die Fertigteileindustrie, die auf dieser Grundlage ihre eigenen Produktionsprozesse optimieren und rationalisieren kann: durch einen effektiveren Durchlauf der Formen, eine Steigerung der Produktionsmengen sowie andere Formen der Logistik und der Bestandsverwaltung. Dabei können Oberflächenbehandlungen mit Epoxidharzen und der Einsatz von beschleunigten Erhärtungsverfahren für Beton entfallen, die sich ansonsten nachteilig auf die Kosten und die ökologische Nachhaltigkeit auswirken würden.

1

Dry concrete granulometric curve

Granulometrische Kurve für steifen Beton

The following physical-mechanical tests were carried out for different formulations to collect experimental data: slump, setting time, compressive strength development and shrinkage, highlighting the difference in performance between conventional Portland cements and sulfoaluminate cements.

Introduction

The Ma2Re project is an industrial research project coordinated by Buzzi Unicem with the aim to develop concrete elements with low embodied energy.

One of the objectives of the research was to evaluate the impact that an innovative binder such as sulfoaluminate cement (CSA) can have in the precast concrete industry.

Calcium sulfoaluminate cement (CSA) has become increasingly popular over the last few years as an environmentally friendly alternative to ordinary Portland cement (OPC). In fact, CSA cement is characterized by a high mechanical performance providing high early strength and low shrinkage. It is also produced from raw mixes with reduced limestone content and reduced burning temperatures compared to OPC, allowing for savings on CO₂ and fuel during their production cycles. CSA cements were first applied towards the end of the 1950s, mainly as expansive binders [1]. Rapid hardening and dimensionally stable CSA cements for structural applications were developed by the China Building Materials Academy during the 1970s and have been applied successfully since the 1980s [2, 3].

Increase in production output per work shift

This paper describes the performance of mixes based on CSA cement designed for the production of precast elements in dry concrete such as curbs, self-locking elements, large dimension pipes or large box-culverts in self-compacting concrete (SCC) or dry concrete. The work aimed to optimize a formulation characterized by high strength development at early and late ages in order to achieve fast demolding and rapid clearing of warehouses, speeding up the circulation of forms and thus favoring an increase in production output per work shift.

Compared to conventional Portland cement, another advantage of using a CSA cement-based binder for producing small precast elements is the possibility of achieving the required mechanical performance for the delivery of the concrete element to the customer and its installation after only seven days of curing, compared to the usual 28 days for Portland cement, which allows for a “work-on-demand approach” in the case of urgent or special orders.

The work included a detailed analysis of two different types of concrete, a dry concrete and an SCC, to evaluate the behavior of the investigated innovative cements and of the reference product with completely different characteristics and purposes of use.

3

Dry concrete compactor

Verdichtungsmaschine für steifen Beton

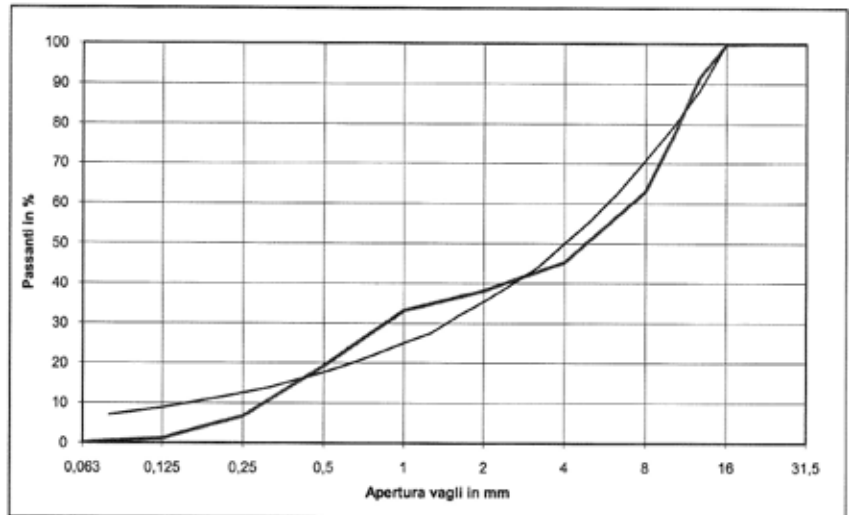


Figure: Bianchi, Canonico, Arena, Zoppi

Hauptziel des hier beschriebenen Forschungsprojekts ist die Entwicklung und der Einsatz von Stoffzusammensetzungen auf Grundlage von Sulfoaluminat-Zement und ihr Vergleich mit herkömmlichen Portlandzementen für den Mischungsentwurf von steifem und selbstverdichtendem Beton (SVB) in der Fertigteilindustrie. Für verschiedene Stoffzusammensetzungen wurden zur Erhebung experimenteller Daten folgende physikalisch-mechanische Prüfungen durchgeführt: Ausbreitmaß, Erhärtungszeit, Entwicklung der Druckfestigkeit sowie Schwinden des Betons. Dabei waren die Unterschiede der Leistungswerte zwischen herkömmlichen Portlandzementen und Sulfoaluminat-Zementen herauszuarbeiten.

2

SCC granulometric curve

Granulometrische Kurve für SVB

Einleitung

Das Projekt Ma2Re ist ein von Buzzi Unicem koordiniertes industrielles Forschungsvorhaben, in dessen Rahmen Betonfertigteile mit einem niedrigen Grad an grauer Energie entwickelt werden sollen.

Eines der Ziele des Forschungsprojekts bestand in der Beurteilung des Einflusses, den ein innovatives Bindemittel wie Calciumsulfoaluminat-Zement (CSA-Zement) auf die Betonfertigteilindustrie haben kann.

CSA-Zement hat in den vergangenen Jahren als umweltfreundliche Alternative zu gewöhnlichem Portlandzement (OPC) zunehmende Verbreitung gefunden. Dieser Zement ist durch hohe mechanische Leistungswerte mit hoher Frühfestigkeit und geringem Schwinden gekennzeichnet. Zudem wird CSA-Zement im Vergleich zu OPC



Figure: Bianchi, Canonico, Arena, Zoppi

Mineralogical composition (%) Mineralogische Zusammensetzung (%)	CEM II/A-LL 42.5R	Next base SA02	Next binder SL05
C ₃ S	66.6	----	40
C ₄ A ₃ S	----	40	16
C\$	3	30	13.8
C ₂ S	5	18	10.2
C \bar{C}	7.1	----	4.3
C ₃ A	6.4	5.9	6.2
C ₄ AF	9.4	1	6
Other	2.6	5.1	3.5

Table 1
Mineralogical composition obtained through XRD analysis (Rietveld method)

Mineralogische Zusammensetzung, ermittelt durch XRD-Analyse (Rietveld-Methode)

2. Experimental section

2.1. Material and concrete composition

2.1.1 Binders

After a long preliminary study to develop cementitious formulations based on CSA cement, two mixtures were chosen to replace the CEM II A-LL 42.5 R whose mineralogical and chemical compositions are shown in **Table 1** and **Table 2**:

2.1.2 Concrete mix design

Table 3 summarizes the mix design of the concrete tested in the laboratory and during the industrial trials at the precast plant. The dry concretes were designed using natural aggregates composed of a 0-4 sand (45%), a coarse 0-5 sand (40%) and a 5-8 gravel (15%).

aus Rohmischungen mit reduziertem Kalksteingehalt und bei niedrigeren Brenntemperaturen hergestellt, wodurch im Produktionszyklus CO₂-Emissionen gemindert und der Brennstoffbedarf reduziert werden können. CSA-Zemente wurden erstmalig Ende der 1950er Jahre eingesetzt, damals vorwiegend als treibende Bindemittel [1]. In den 1970er Jahren wurden an der Chinesischen Akademie für Baustoffe CSA-Zemente für konstruktive Anwendungen entwickelt, die eine beschleunigte Erhärtung und Formbeständigkeit gewährleisten. Diese Zemente werden seit den 1980er Jahren erfolgreich eingesetzt [2, 3].

Steigerung des Produktionsausstoßes pro Schicht

Der vorliegende Beitrag beschreibt die Leistungsparameter von Betongemengen auf Basis von CSA-Zement, die für die Herstellung von Fertigteilen aus steifem Beton vorgesehen sind, darunter Bordsteine, Verbundelemente oder große Rohre bzw. groß dimensionierte Durchlässe aus steifem oder selbstverdichtendem Beton (SVB). Im Rahmen der Forschungstätigkeit sollte eine Stoffzusammensetzung so optimiert werden, dass sie sowohl im jungen als auch fortgeschrittenen Betonalter hohe Festigkeitswerte ermöglicht, um ein schnelles Entschalen und kurze Umlaufzeiten im Lager zu gewährleisten und so den Durchlauf der Formen zu beschleunigen und den Produktionsausstoß pro Schicht zu steigern.

Im Vergleich zu herkömmlichem Portlandzement liegt ein weiterer Vorteil des Einsatzes eines Bindemittels auf Basis von CSA-Zement für die Herstellung kleinformatiger Fertigteile darin, die für die Anlieferung des Fertigteils zum Kunden und für seinen Einbau geforderten mechanischen Eigenschaften bereits nach einem Erhärtungszeitraum von 7 Tagen erzielen zu können, während beim Einsatz von Portlandzement hierfür üblicherweise 28 Tage erforderlich sind. So kann bei Sonderaufträgen oder engen Terminen eine Fertigung auf Abruf erfolgen.

Die Forschungsarbeit umfasste eine ausführliche Analyse von zwei verschiedenen Betonarten: einem steifen Betongemenge und einem SVB. Ziel war die Beurteilung des Verhaltens der untersuchten innovativen Zemente und des Referenzprodukts mit vollständig anderen Eigenschaften und Anwendungsbereichen.

2. Experimenteller Teil

2.1 Material- und Betonzusammensetzung

2.1.1 Bindemittel

Nach einer ausführlichen Vorstudie zur Entwicklung von auf CSA-Zement basierenden Bindemittelzusammensetzungen wurden zwei Mischungen für den Ersatz des CEM II A-LL 42.5 R ausgewählt, deren mineralogische und chemische Zusammensetzungen in **Tab. 1** und **Tab. 2** dargestellt sind:

2.1.2 Beton-Mischungsentwurf

Tab. 3 enthält eine Übersicht der Mischungsentwürfe der im Labor und während der industriellen Versuche im Fertigteilwerk untersuchten Betone. Für den Entwurf der steifen Betongemenge wurden natürliche Gesteinskörnungen eingesetzt, die aus einem Sand 0/4 (45 %), einem groben Sand 0/5 (40 %) sowie einem Kies 5/8 (15 %) bestanden.



Figure: Bianchi, Canonico, Arena, Zoppi

4

Procedure for measuring indirect tensile strength for dry-concrete laboratory samples

Verfahren zur Messung der indirekten Zugfestigkeit von im Labor hergestellten Probekörpern aus steifem Beton

Die für die SVB-Gemenge eingesetzten Zuschläge bestanden aus natürlichen Gesteinskörnungen und enthielten einen groben Sand 0/5 (52,5 %) und einen Rundkies der Fraktion 4/16 (47,5 %).

In **Abb. 1** und **2** sind die entsprechenden Kurven im Vergleich zur Fuller-Kurve dargestellt.

2.2. Methoden und Laborverfahren

Die mechanische Festigkeit der Bindemittel wurde vorab in einem Mörtel gemäß Norm UNI EN 196/1 geprüft. Die Verarbeitbarkeitsdauer wurde mit einem Penetrometer mittels Nadeleindringprüfung gemessen, wobei während der Veränderung der Verarbeitbarkeit ein interner Ausgleichsmechanismus zum Tragen kam. Die Zeiten bis zum Erhärtungsbeginn und -ende wurden gemäß Norm UNI EN 196-3 erfasst. Die Laborprobekörper aus steifem Beton wurden mit einer Verdichtungsmaschine hergestellt (Controls, ICT-100TE, gemäß skandinavischem Nordtest-Verfahren NT Build 427), mit der Probekörper mit einer Höhe von 10 cm und einem Durchmesser von ebenfalls 10 cm bei konstantem Druck gefertigt werden können (**Abb. 3**). Die Verwendung dieser Maschine ermöglichte eine gute Reproduzierbarkeit der Erstellung der Probekörper, die anderenfalls bei Einsatz eines herkömmlichen Betonmischers im Labor nicht zu erzielen gewesen wäre. Für jede Bindemittelart wurden neun Probekörper hergestellt. Die Höhen dieser Probekörper dienten zur Messung der indirekten Zugfestigkeit (**Abb. 4**) nach 6, 24 und 48 Stunden sowie 7 und 28 Tage nach der Betonage. Der verbleibende Probekörper wurde zur Ermittlung der Wasseraufnahme nach 7 Tagen gemäß Norm UNI EN 1338 verwendet. Die Verdichtungsmaschine wurde auf 256 Verdichtungszyklen, einen Verdichtungswinkel von 4 ° sowie einen Verdichtungsdruck von 4,5 bar eingestellt. Im endgültigen Zustand erreichte der Probekörper aus steifem Beton ein Gewicht von 1.900 g.

Die Wasseraufnahme wurde 7 Tage nach der Betonage gemessen, wobei ebenfalls die Norm UNI EN 1338 zugrunde gelegt wurde.

Die Labor-Probekörper aus SVB (15 x 15 x 15 cm) wurden unter Einsatz eines Planeten-Zwangsmischers mit vertikaler Achse betoniert (Zyklus, Modell ZK75 HE). Es wurden Versuche zur Ermittlung des Ausbreitmaßes durchgeführt, um den Verarbeitbarkeitsverlust des SVB zu messen. Für jedes Gemenge wurden nach 24 Stunden sowie nach 7 und 28 Tagen die Druckfestigkeiten



Figure: Bianchi, Canonico, Arena, Zoppi

5

Irrigation channels produced using SCC

Aus SVB hergestellte Bewässerungskanäle

The aggregates used for the SCC mixes were based on natural aggregates and were composed of a coarse 0-5 sand (52.5%) and a round 4-16 gravel (47.5%).

Figs. 1 and **2** show the resulting curves in comparison to the Fuller curve.

2.2 Method and laboratory procedure

The mechanical strength of the binders was preliminarily tested in a mortar in accordance with the UNI EN 196/1 standard; workability time was measured by a penetrometer using a needle penetration balanced by an internal mechanism during the change of workability. Initial and final setting times were measured according to the UNI EN 196-3 standard. The laboratory dry concrete specimens were prepared using a compactor (Controls, ICT-100TE, according to the NT Build 427 Scandinavian Nordtest method) capable of producing specimens of 10 cm in height and 10 cm in diameter at constant pressure (**Fig. 3**). The use of this machine made it possible to achieve a good reproducibility in the preparation of samples, which would otherwise be impossible at the laboratory if a conventional concrete mixer were used. Nine specimens were produced for each type of binder; the heights of these samples were used for measuring indirect tensile strength (**Fig. 4**) after 6 hours, 24 hours and 48 hours, and 7 and 28 days from casting, while the remaining sample was used to determine the water absorption at 7 days according to UNI EN 1338. The compactor was set at 256 compacting cycles, a 4 ° compacting angle, and a compacting pressure of 4.5 bars. The final dry concrete sample reached a weight of 1,900 g.

Table 2

Chemical compositions obtained through XRF analysis on fused pearl (Panalytical - AXIOS)

Chemische Zusammensetzungen, ermittelt durch XRF-Analyse/Boratfusion (Panalytical - AXIOS)

Chemical composition (%) Chemische Zusammensetzung (%)	CEM II/A-LL 42.5R	Next base SA02	Next binder SLO5
MgO	2.17	1.14	1.76
Al ₂ O ₃	4.79	19.58	10.71
SiO ₂	19.71	7.23	14.72
P ₂ O ₅	0.10	0.08	0.09
SO ₃	2.95	22.01	10.57
K ₂ O	1.03	0.31	0.74
CaO	65.46	42.84	56.41
TiO ₂	0.21	1.01	0.53
Fe ₂ O ₃	3.28	2.11	2.81
Others Sonstige	0.3	3.69	1.65



Figure: Bianchi, Canonico, Arena, Zoppi

6
Waste box unit produced using SCC

Aus SVB hergestellter Abfallkasten

Water absorption was measured after 7 days from casting according to the UNI EN 1338 standard.

The SCC laboratory specimens (15 x 15 x 15 cm) were cast using a planetary forced mixer with a vertical axis (Zyklos, model ZK75 HE). Slump flow tests were carried out to measure the loss of workability of the SCC. Compressive strengths were measured for each mix after 24 hours, 7 and 28 days. The specimens were stored in a climate chamber under constant ambient conditions at 20°C and 95% relative humidity.

The SCC mixes were also used to investigate the carbonation depth (RILEM CPC-18 method) and to determine chloride migration coefficients using the accelerated chloride diffusion test (NT BUILD 492 method).

Measurements of carbonation depth (RILEM CPC-18 method) and the accelerated chloride diffusion test (NT BUILD 492 method) were also performed for a core sample (20 cm in height and 10 cm in diameter) taken from a concrete element produced during the industrial trials.

3 Results and discussion

The binder composition and the results of the mechanical performance measured in mortar tests and the set-

gemessen. Die Probekörper wurden in einer Klimakammer unter gleichbleibenden Umgebungsbedingungen bei einer Temperatur von 20° C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 95% gelagert.

Die SVB-Gemenge diente zudem zur Untersuchung der Karbonatisierungstiefe (Verfahren RILEM CPC-18) und zur Ermittlung der Chloridmigrationskoeffizienten mittels Chlorideindringprüfung im Schnellverfahren (Verfahren NT BUILD 492).

Messungen der Karbonatisierungstiefe (Verfahren RILEM CPC-18) und die Chlorideindringprüfung im Schnellverfahren (Verfahren NT BUILD 492) wurden darüber hinaus für einen Bohrkern (Höhe 20 cm, Durchmesser 10 cm) durchgeführt, der einem während der industriellen Versuche hergestellten Fertigteil entnommen wurde.

3. Ergebnisse und Diskussion

In **Tab. 4** sind die Bindemittelzusammensetzungen und die Ergebnisse der in den Mörtelprüfungen gemessenen mechanischen Leistungswerte sowie die für die drei geprüften Bindemittel gemessenen Erhärtungszeiten dargestellt.

Tab. 5 stellt die für die mit der Verdichtungsmaschine hergestellten Probekörper aus steifem Beton durchgeführten Laboruntersuchungen dar. Zum Vergleich der Laborergebnisse mit dem für ein Verbundelement durchgeführten industriellen Versuch wurde die indirekte Prüfung zur Ermittlung der Zugfestigkeit gewählt.

In **Tab. 6** sind die für die im Labor hergestellten SVB-Probekörper gemessenen mechanischen Leistungswerte dargestellt.

In der Mörtelprüfung wurde nachgewiesen, dass beide mit einem CSA-Zement hergestellten Mischungen durch eine im Vergleich zum Referenz-Portlandzement höhere Frühfestigkeit gekennzeichnet sind. Je höher der Gehalt an CSA-Klinker im Gemenge, desto rascher entwickelt sich die Betonfestigkeit. Jedoch zeigte sich auch für das Gemenge mit einer Kombination aus CSA- und Portlandzement ein schnellerer Festigkeitsaufbau.

Wie aus **Tab. 5** ersichtlich, konnten bei der Ermittlung der indirekten Zugfestigkeit für steifen Beton ähnliche Ergebnisse dokumentiert werden. Die nach 6 Stunden für einen mit einem CSA-Bindemittel hergestellten Probekörper gemessenen Festigkeitswerte übertrafen die 24-Stunden-Festigkeit des Referenzzements CEM II/A-LL 42.5 R. Darüber hinaus war die nach 7 Tagen gemessene Wasseraufnahme bei den Probekörpern aus mit CSA-Zement hergestelltem steifem Beton niedriger als der für den CEM II/A-LL 42.5 R ermittelte Wert.

Die mit einem CSA-Bindemittel hergestellten SVB-Gemenge verfügen bereits 5 Stunden nach der Betonage über eine ausreichende Verarbeitbarkeitsdauer und eine hohe Druckfestigkeit. Bei allen geprüften Gemengen zeigte sich für einen Prüfzeitraum von bis zu 28 Tagen eine Festigkeitszunahme.

Table 3
Concrete mix design

Beton-Mischungs-entwurf

Components Bestandteile	Dry concrete Mix design Steifes Betongemenge	SCC Mix design SVB-Gemenge
Binder (Kg/m ³) Bindemittel (kg/m ³)	290	310
Sand (0/4) (Kg/m ³) Sand (0/4) (kg/m ³)	920	
Sand (0/5) (Kg/m ³) Sand (0/5) (kg/m ³)	840	910
Gravel (Kg/m ³) Kies (kg/m ³)	320	820
Limestone filler Karksteinmehl		215
Superplasticizer (%) Fließmittel (%)	1.5	
Water (l/m ³) Wasser (l/ m ³)		2.1
Superplasticizer (%) Fließmittel (%)	110	176



Mixing technology for better concretes



Concrete for roofing tiles - Facing concrete - Railroad tie concrete - Foamed concrete - Fiber concrete
Self-compacting concrete - High-strength concrete - Ultra high-strength concrete - Polymer concrete

With this worldwide unique mixing system you will

- master every consistency,
- reduce rejects,
- achieve quality repeatability at the highest level,
- and you will be flexible in developing new products.

Like many others, decide on the right system for your production.

Because your product can never be better than the mix!



The Pioneer in Material Processing®

Maschinenfabrik Gustav Eirich GmbH & Co KG
Postfach 1160, 74732 Hardheim, Germany
Phone: +49 (0) 6283 51-0, Fax: +49 (0) 6283 51-325
E-mail: eirich@eirich.de, Internet: www.eirich.com

	CEM II/A-LL 42.5R	Next base SA02	Next binder SL05
Next base SA02 (%)	-----	100	40
CEM II/A-LL 42,5R (%)	100	-----	60
Flow (%)	95	105	125
Ausbreitmaß (%)			
Workability (minutes)*	90	40	70
Verarbeitbarkeit (Minuten)*			
Start setting (minutes)*	170	60	105
Erhärtungsbeginn (Minuten)*			
End setting (minutes)*	240	80	135
Erhärtungsende (Minuten)*			
Compressive strength (MPa)			(70/30)
Druckfestigkeit (MPa)			
3 hours 3 Std.	----	26.3	4.0
5 hours 5 Std.	----	42.2	(9.0)
8 hours 8 Std.	----	47.1	(15.7)
24 hours 24 Std.	15.8	53.6	(22.4)
7 days 7 Tage	43.6	76.6	(39.7)
28 days 28 Tage	49.5	89.5	(54.2)

Table 4
Performance measured on mortar

Für Mörtel gemessene Leistungswerte

(*) using penetrometer mit Penetrometer

ting time measurements carried out for the three binders tested are shown in **Table 4**.

Table 5 shows the laboratory tests performed on the dry concrete specimens that were prepared with the compactor. The indirect tensile test was chosen to compare the laboratory-scale results with the industrial test carried out for a self-locking concrete element.

Table 6 shows the results of mechanical performance measured for the SCC samples produced at the laboratory.

The mortar test demonstrates that both mixtures produced with a CSA binder are characterized by enhanced early strength compared to the reference Portland cement. The higher the CSA clinker content in the mix, the faster strength is building up. However, the mix containing a combination of CSA cement and Portland cement also showed a rapid strength development.

Similar results were recorded in the measurements of indirect tensile strength for dry concrete, as can be seen in **Table 5**. The strengths measured after 6 hours for a sample prepared with a CSA binder were higher compared to the 24-hour strength of the reference CEM II/A-LL 42.5 R. Furthermore, the water absorption measured at an age of 7 days for dry concrete samples produced with CSA binder cement was lower than that obtained with CEM II/A-LL 42.5 R.

The SCC mixes cast with a CSA binder show a sufficient workability time and high compressive strength even 5 hours after casting. All tested mixes demonstrated an increase in strength for up to 28 days of testing.

4. Industrial trials

Considering the excellent results obtained during the laboratory tests, it was decided to test the materials on an industrial scale at the plant of Gruppo MCM of Isola d'Asti (Italy - AT). Ten tonnes of Next base SA02 CSA

4. Industrielle Versuche

Angesichts der in den Laboruntersuchungen erzielten hervorragenden Ergebnisse entschloss man sich zur Prüfung der Baustoffe unter industriellen Bedingungen im Werk des Unternehmens Gruppo MCM in Isola d'Asti (Italien). Zehn Tonnen des CSA-Bindemittels Next base SA02 wurden zum Werk geliefert und für die Produktion von Elementen aus steifem Beton und aus SVB eingesetzt.

Während der Versuche wurden verschiedene Fertigteile hergestellt, darunter:

» Bewässerungskanäle (**Abb. 5**) und Abfallkästen (**Abb. 6**) aus SVB.

Der Versuch fand an zwei Tagen am 10. April 2012 und 19. November 2012 bei einer Außentemperatur von 8 °C statt. Alle Fertigteile durchliefen in den Produktionshallen einen natürlichen Erhärtungsprozess bei Raumtemperatur.

Die Auswertung der Versuche führt zu folgenden Erkenntnissen:

- (a) Alle Gemenge mit Einsatz von CSA-Zement erwiesen sich als verträglich mit vorhandenen automatischen Anlagen, und das Bedienpersonal erkannte keinen signifikanten Unterschied zum Einsatz eines Vergleichszements CEM II/A-LL 42.5 R.
- (b) Bei den SVB-Gemengen konnten die CSA-Zement enthaltenden Betone mit Verarbeitbarkeitseigenschaften hergestellt werden, die den Betonen mit den als Referenz dienenden Portlandzementen entsprachen.
- (c) Die Oberfläche der aus Gemengen mit CSA-Zement hergestellten Fertigteile wies ein im Vergleich zu den als Referenz dienenden Gemengen mit Portlandzement ähnliches Erscheinungsbild auf. Die Farbgebung des Elements mit dem höheren Anteil an CSA-



Figure: Bianchi, Canonico, Arena, Zoppi

7

Dry-concrete slabs

Platten aus steifem Beton

binder were delivered to the plant and used for the production of dry-concrete and SCC elements.

Several concrete elements were produced during the tests, including:

» irrigation channels (Fig. 5) and waste box units (Fig. 6) using SCC.

The test was performed during two trial days on 10 April 2012 and 19 November 2012 at a temperature of 8°C. All concrete elements were cured naturally at room temperature in the production buildings.

The analysis of the trials results in the following observations:

- All CSA cement mixes were found to be compatible with existing automated plants, and no significant difference was noticed by the operators in comparison to the use of a reference CEM II/A-LL 42.5 R.
- With regard to the SCC mixes, it was possible to cast the mixes containing CSA binder with workability characteristics that were equivalent to the reference Portland cements.
- The surface of the concrete elements produced with CSA cement mixes appeared similar to the reference Portland cement mixes. The color of the element containing the higher amount of CSA cement showed a slight tendency towards brown but with a homogenous color.
- All CSA cement mixes were demolded very rapidly (between 3 and 8 hours after casting), enabling the doubling of the production output per day without high-temperature curing.

Compressive flexural strength was measured in the short and long term directly on dry concrete elements (pipes and curbs) or through coring a 15 x 15 x 15 cm sample directly from the SCC element. The latter sample was used for testing the depth of carbonation (according to RILEM CPC-18) and measuring the chloride diffusion coefficient (according to NT BUILD 492).

4.1. Results

4.1.1. Physical and mechanical compressive strength

The results of the characterization work are presented in Tables 7 and 8, which show the results of the flexural tests performed for the dry-concrete slabs (in accordance with the UNI EN 1340 standard, Appendix F.), the compressive strengths measured for reinforced pipes and non-reinforced pipes in accordance with UNI EN 1916, and the compressive strengths measured for SCC mixes by coring the SCC curb elements.

Table 8 shows the performance and durability tests performed for the core sample taken from the SCC concrete element produced during the industrial trial.

4.2. Discussion

This paper presents the results of a comprehensive study performed to replace ordinary Portland cement with a new binder based on calcium sulfoaluminate (CSA) cement in the manufacturing process of precast concrete elements.

	CEM II/A-LL 42.5R	Next base SA02	Next binder SL05
Density (Kg/m ³) Dichte (kg/m ³)	2,359	2,355	2,340
	2.359	2.355	2.340
Indirect tensile strength tests (MPa) Prüfungen indirekte Zugfestigkeit (MPa)	2 hours 2 Std.	0.7	1.10
	4 hours 4 Std.	1.3	1.4
	6 hours 6 Std.	0.02	1.5
	24 hours 24 Std.	1.76	2.05
	28 hours 28 Std.	2.86	2.55
Water absorption (%) Wasseraufnahme (%)	4.08	3.89	4.97

Zement tendierte leicht ins Braune, jedoch mit einer homogenen Ausprägung.

- Alle aus Gemengen mit CSA-Zement hergestellten Elemente wurden sehr rasch entschalt (3 bis 8 Stunden nach der Betonage), so dass der Produktionsausstoß pro Tag ohne Erhärtung bei hohen Temperaturen verdoppelt werden konnte.

Die Biegedruckfestigkeit wurde kurz- und langfristig unmittelbar an Elementen aus steifem Beton (Rohre und Bordsteine) oder durch direkte Entnahme eines Bohrkerns mit den Abmessungen 15 x 15 x 15 cm aus dem SVB-Element gemessen. Der letztgenannte Probekörper diente zur Ermittlung der Karbonatisierungstiefe (gemäß RILEM CPC-18) und zur Messung des Chloriddiffusionskoeffizienten (gemäß NT BUILD 492).

4.1 Ergebnisse

4.1.1 Physikalische und mechanische Druckfestigkeit

In Tab. 7 und 8 sind die Ergebnisse der Charakterisierungen dargestellt. Diese enthalten die Ergebnisse der für die Platten aus steifem Beton durchgeführten Untersuchungen der Biegefestigkeit (gemäß Norm UNI EN 1340, Anhang F), der für bewehrte und unbewehrte Betonrohre gemäß UNI EN 1916 gemessenen Druckfestigkeiten sowie der für die SVB-Gemenge mittels Bohrkernentnahme aus den SVB-Bordsteinen gemessenen Druckfestigkeiten.

Tab. 8 enthält eine Darstellung der Festigkeits- und Dauerhaftigkeitsprüfungen, die für den aus dem während des industriellen Versuchs hergestellten SVB-Element entnommenen Bohrkern durchgeführt wurden.



Figure: Bianchi, Canonico, Arena, Zoppi

Table 5

Dry concrete results

Ergebnisse für steife Betongemenge

8

Extension and dry-concrete pipes

Aufsatz und Rohr aus steifem Beton

Table 6
SCC concrete performance

Leistungswerte für SVB-Gemenge

	Next binder SL05	CEM II/A-LL 42.5R
Density (Kg/m³) Dichte (kg/m ³)	2,413	2,390
Slump flow (mm) Ausbreitmaß (mm)		
Slump a 0' Ausbreitung nach 0 Min.	750	800
Slump a 15' Ausbreitung nach 15 Min.	740	800
Slump a 30' Ausbreitung nach 30 Min.	720	780
Slump a 45' Ausbreitung nach 45 Min.	700	770
Slump a 60' Ausbreitung nach 60 Min.	660	750
Compressive strength (MPa) Druckfestigkeit (MPa)		
5 hours 5 Std.	5.0	----
24 hours 24 Std.	20.0	15.3
7 days 7 Tage	31.3	29.5
28 days 28 Tage	42.4	39.5

The laboratory tests showed that both tested CSA cement formulations are characterized by a more rapid strength development compared to the reference Portland cement, both in dry-concrete mixes and in SCC mixes.

The industrial trials confirmed the laboratory tests and highlighted that the new binder based on CSA cement providing a rapid mechanical strength development can substantially modify the manufacturing process of precast elements produced with dry concrete: during the trial, it was possible to produce the dry-concrete elements and move them to the storage

Table 7
Flexural strength of the slab, compressive strength of the reinforced pipes

Biegefestigkeiten der Platten, Druckfestigkeiten der Rohre

	Time Zeit	Target Ziel	Next base SA02	Next binder SL05	CEM II/A-LL 42.5R
Flexural strengths on slabs (MPa) Biegefestigkeit Platten (MPa)	5 hours 5 Std.		2.8	2.3	-
	24 hours 24 Std.		3.4	2.7	-
	7 days 7 Tage	3	4.2	2.9	3.0
	28 days 28 Tage	3.6	4.8	4.0	3.6
Flexural strengths on slabs (MPa) Biegefestigkeit Platten (MPa)	4 days 4 Tage		-----		-----
	7 days 7 Tage	160	195	162	179
	28 days 28 Tage	194	212	201	208
	90 days 90 Tage		-----		-----
Compressive strengths on pipe DN 600 mm (MPa) Druckfestigkeit Betonrohre DN 600 mm (MPa)	7 days 7 Tage	100			105
	28 days 28 Tage	120			125
	90 days 90 Tage			180	152

4.2 Diskussion

Im vorliegenden Beitrag wurden die Ergebnisse einer umfassenden Studie dargestellt, die zum Ersatz von gewöhnlichem Portlandzement durch ein neues Bindemittel auf Grundlage von Calciumsulfoaluminat (CSA) im Produktionsprozess von Betonfertigteilen durchgeführt wurde.

In den Laborversuchen konnte für beide geprüften CSA-Zementzusammensetzungen im Vergleich zum als Referenz dienenden Portlandzement eine raschere Festigkeitsentwicklung dokumentiert werden. Dies galt sowohl für steife Betongemenge als auch für SVB-Gemenge.

Die industriellen Versuche bestätigten die Ergebnisse der Laborprüfungen und zeigten, dass das neue Bindemittel auf Basis von CSA-Zement mit rascher mechanischer Festigkeitsentwicklung zu einer weitreichenden Änderung des Produktionsprozesses von aus steifem Beton hergestellten Fertigteilen führen kann: Während des Versuchs konnten die Elemente aus steifem Beton bereits 3 Stunden nach ihrer Betonage in den Lagerbereich transportiert werden. Bei Einsatz eines CEM II/A-LL 42.5 R ist im Werk üblicherweise eine Wartezeit von mindestens 24 Stunden erforderlich, bevor die Betonplatte ohne Bruch transportiert werden kann.

Der oben genannte kurze Zeitraum bis zur Entschalung zeigte sich auch für die mit den CSA-Bindemitteln Next base SA02 und Next binder SL05 hergestellten Rohre, die 3 bzw. 8 Stunden nach der Betonage ins Lager transportiert wurden, so dass die Untermuffen bereits nach dieser kurzen Zeit abgenommen und für den nächsten Fertigungstakt eingesetzt werden konnten.

Hinsichtlich der Biegefestigkeit der mit dem CSA-Bindemittel Next binder SL05 aus SVB hergestellten Bordsteine konnten bereits 5 Stunden nach der Betonage hohe mechanische Festigkeitswerte gemessen werden. Zu diesem Zeitpunkt können mit herkömmlichem Portlandzement hergestellte Elemente noch nicht einmal von den Formen abgehoben werden. Die mechanischen Festigkeitswerte wurden 24 Stunden nach dem Mischvorgang gemessen und waren mit den für den CEM II/A-LL 42.5 R nach 7 Tagen ermittelten Werten vergleichbar.

Bereits nach 7 Tagen wiesen die Stahlbetonrohre die in der europäischen Norm für den Umschlag und den Verkauf von Betonbauteilen geforderten Festigkeitsparameter auf. Die mit einem CEM II/A-LL 42.5 R hergestellten Referenzgemenge erreichen diese Werte üblicherweise erst 28 Tage nach dem Mischvorgang.

Die während des industriellen Versuchs erzielten hervorragenden Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Einsatz von CSA-Zementen zu einem radikalen Umbruch in der Betonfertigteilindustrie führen könnte, insbesondere in Märkten mit hoher Umschlagsgeschwindigkeit und Nachfrage.

warehouse only 3 hours after mixing. When a CEM II/A-LL42.5 R is used, the plant usually has to wait for a minimum of 24 hours before handling the concrete slab without breakage.

This speed of demolding was also noticed for the pipe elements produced with the CSA Next base SA02 and Next binder SL05 formulations that were transferred to the warehouse three and eight hours after casting, resulting in the ability to recover base rings after such a short time to be able to restart the production cycle.

The flexural strength of CSA Next binder SL05 concrete curbs produced with SCC mixes has shown significant mechanical resistance values even five hours after casting. At this time, elements produced with conventional Portland cement cannot yet be lifted from the molds. After 24 hours from mixing, mechanical strength values were recorded; they were comparable to those obtained with a CEM II/A-LL 42.5 R after 7 days.

The reinforced pipes showed the strength parameters required by the European standard for the handling and sale of concrete elements as early as after 7 days. The reference mixes produced with a CEM II/A-LL 42.5 R usually achieve these values only 28 days after mixing.

The excellent results achieved during the industrial test suggest that CSA cements can radically revolutionize the precast concrete industry, especially in fast-moving, demanding markets.

Mögliche Just-in-Time-Fertigung

Bei für die Großserienproduktion ausgelegten Anlagen besteht der Hauptvorteil des Einsatzes von CSA-basierten Bindemitteln in einem schnelleren und effizienteren Fertigungsprozess. Die bereits nach einem sehr kurzen Zeitraum erreichten hohen Druckfestigkeiten können zur Minimierung konstruktiver Ressourcen und zur Beschleunigung der Einführung neuer Produkte genutzt werden (kürzere Zeit bis zur Markteinführung vom Prototypen bis zur Großserienfertigung).

Zudem kann bei Verwendung von Bindemitteln auf Basis von CSA unter Einsatz derselben Form mehrmals täglich betoniert werden. Darüber hinaus kann auf die Verwendung einer Härtekammer im Winter mit dem damit verbundenen hohen Energiebedarf verzichtet werden. Mit dieser Lösung können Betonfertigteile „just-in-time“ produziert werden, so dass die bei Einsatz von Portlandzement aufgrund der langen Erhärtungszeiten erforderliche Vorhaltung von Beständen vermieden werden kann.

Dieser auf der raschen Entschalung und sofortigen Lieferung an den Kunden beruhende neue Ansatz wird einen „Ad-hoc“-Kundenservice und die Just-in-Time-Fertigung auf Grundlage spezifischer Vorgaben und Mengen ermöglichen.

Dabei führen die Fähigkeit zur Reaktion auf Kundenanfragen innerhalb sehr kurzer Zeiträume und die Herstellung sehr kleiner Chargen sowie die Auswahl der für

BETONTAGE
CONCRETE SOLUTIONS

58. BETONTAGE
18. - 20.02.2014
WWW.BETONTAGE.COM

Foto: © Roland Halbe, Stuttgart

Träger | Under the umbrella of



Partner



Gastland Österreich | Guest country Austria



Table 8
Performance test results performed on SCC core samples

Ergebnisse der für SVB-Bohrkerne durchgeführten Messungen der Leistungswerte

	Time Zeit	Next binder SLO5	CEM II/A-LL 42.5R
Compressive strengths (MPa) Druckfestigkeit (MPa)	6 hours 6 Std.	9.1	-
	24 hours 24 Std.	12.3	9.5
	7 days 7 Tage	34.4	29.3
	28 days 28 Tage	47.0	46.1
Chloride migration coefficient (acc. to NT Build 492) (x10⁻¹² m²/s) Chloridmigrationskoeffizient (gemäß NT Build 492) (x10 ⁻¹² m ² /s)	60 days 60 Tage	16.7	21.5
	90 days 90 Tage	12.4	15.8
Carbonation depth (mm) measured with phenolphthalein method Karbonatisierungstiefe (mm), ermittelt mit der Phenolphthalein-Methode	60 days 60 Tage	2.0	1.0
	90 days 90 Tage	4.0	3.0

Just-in-time production possible

In plants equipped for large-scale production, the main benefit of using CSA-based binders is a faster and more efficient production process. The high compressive strength parameters achieved within a very short period can be used to minimize structural resources and to speed up the launch of new products (reduced time to market from prototype to large-scale manufacturing).

Furthermore, the use of CSA-based binders enables the placing of concrete several times a day using the same mold whilst also avoiding the use of a curing chamber in winter, which consumes a high amount of energy. This solution makes it possible to produce precast elements just in time, thus avoiding the production of stocks that would be needed if Portland cement were used because of the long curing times.

This new approach based on demolding and immediate delivery to the customer will enable an “ad hoc” customer service and just-in-time production on the basis of specific requests and quantities.

The ability to respond to customer requests within a very short time producing very small batches and choosing the solution that suits customers’ needs best will become a key competitive edge.

For an emerging factory, using these innovative cements would reduce the prototyping time and validation of products, energy resources, and the amounts to be invested for equipment so that the precast producer can manufacture only what is really needed, eliminating all superfluous activities and producing in line with actual market demand.

In conclusion, it should also be noted that the production cycle of sulfoaluminate clinker is a process with a lower environmental impact and lower energy consumption compared to Portland cement clinker, resulting in a lower amount of CO2 emitted during production due to the lower limestone amount required in the raw materials and to a lower burning temperature during the firing process.

den Kunden optimalen Lösung zu einem entscheidenden Wettbewerbsvorteil.

Für ein neues Betonfertigteilwerk würde der Einsatz dieser innovativen Zemente die für die Erstellung von Prototypen benötigte Zeit und die Produktvalidierung verkürzen, zu einer Reduzierung der aufgewandten Energieressourcen führen sowie die für Anlagen und Ausrüstungen notwendigen Investitionen verringern. So kann der Fertigteilhersteller exakt nach Bedarf produzieren, alle überflüssigen Aktivitäten einstellen und seine Fertigung an der tatsächlichen Marktnachfrage ausrichten.

Schließlich ist anzumerken, dass der Herstellungszyklus von Sulfoaluminat-Klinker im Vergleich zur Produktion von Portlandzement-Klinker ein Prozess mit geringeren Umweltauswirkungen und einem reduzierten Energieverbrauch ist. Daraus ergeben sich niedrigere CO₂-Emissionen während der Herstellung. Diese Minderung ist auf den für die Ausgangsstoffe erforderlichen geringeren Kalksteinanteil und die niedrigere Temperatur während des Brennvorgangs zurückzuführen.

Acknowledgement

The Ma2Re project receives financial support from POR FESR 07/13 Misura I.1.3 “poli d’innovazione” Il programma annuale [Measure I.1.3 “Key areas of innovation”, 2nd annual program]. We express our gratitude to Dott. Cristiano Cereda (Addiment Italia) for preparing and measuring dry concrete specimens using the compactor machine.

Danksagung

Das Projekt Ma2Re wird von der italienischen Regierung im Rahmen der POR FESR 07/13 Misura I.1.3 “poli d’innovazione” Il programma annuale [etwa: Maßnahme I.1.3 „Innovationsschwerpunkte“, 2. Jahresprogramm] gefördert. Die Autoren danken Dott. Cristiano Cereda (Addiment Italia) für die Herstellung und Messung von Probekörpern aus steifem Beton unter Einsatz der Verdichtungsmaschine.



Manuela Bianchi is a researcher at R&D Laboratories of Buzzi Unicem in Trino, Italy. She is working in the concrete laboratories designing innovative cement concrete mixes and testing durability of concrete.



Fulvio Canonico is the head of the R&D Laboratories of Buzzi Unicem in Trino, Italy. His field of research include new binding materials, durability issues of concrete, special construction products, multifunctional building materials.



Alberto Arena is the production manager of Gruppo MCM. He is working in the precast industry for seven years. He has special interest in the optimization and development of production processes with special attention to business sustainability and innovation.



Matteo Zoppi is the assistant of the production manager and responsible of the testing laboratories at Gruppo MCM. Interested in product development and optimization he dedicates his attention to all aspects of production and quality.

REFERENCES · LITERATUR

- [1] www.ma2re.it
- [2] P.K. Mehta: "Mechanism of expansion associated with ettringite formation", in: Cement Concrete Res, 3, 1-6, 1973
- [3] J.H. Sharp, C.D. Lawrence, R. Yang: "Calcium sulfoaluminate cement-low energy cements, special or what?", in: Adv.cem.res., 11,3-13, 1999.
- [4] J. Pera, J. Ambroise: "New applications of calcium sulfoaluminate cement", in: Cement and concrete research 34, 671-676, 2004.
- [5] E. Gartner, K. Quillin: "Low-CO₂ cements based on calcium sulfoaluminates", in: Sustainability in the Cement and Concrete Industry, Norwegian Cement Association, September 16, 95-105, 2007.
- [6] D. Gastaldi, F. Canonico, L. Capelli, M. Bianchi, M.L. Pace, A. Telesca, G.L. Valenti: "Hydraulic behavior of Calcium Sulfoaluminate Cement alone and in mixture with Portland Cement", in: XIII International Congress on the Chemistry of Cement, Madrid, 2011.



Fon:+49 4921 584 0
Fax:+49 4921 584 128
www.frima-empden.de
post@frima-empden.de

Specialist in:

- concrete block plants
- mixing and batching technologie
- robot-controlled customized plants
- paving stone treatment systems

