Bauüberwachung von Super-Hochhäusern

von Joël van Cranenbroeck

In jüngster Zeit boomt der Bau von Super-Hochhäusern und anderen Bauwerken mit Kultsymbolcharakter. Aus vermessungstechnischer Sicht sind solche Bauvorhaben enorme Herausforderungen. Mit dem Burj Khalifa Tower in Dubai oder dem Al Hamra Tower in Kuwait wurden beispielsweise völlig neue Wege beschritten. Die Verfahren und Methoden zur Überwachung des Baus hoher Gebäude mussten komplett überdacht werden. Das von Leica Geosystems entwickelte Core Wall Control Survey (CWCS) System liefert unabhängig von Bewegungen des Gebäudes auf Abruf präzise, zuverlässige Koordinaten.

Zusätzlich zu ihrer außergewöhnlichen Höhe sind Hochhäuser oft recht schmal. Deshalb bewegen sich die oberen Etagen des Bauwerks während der Arbeiten, abhängig von der Windbelastung, den Kranlasten, dem Baufortschritt und anderen Faktoren, teils ziemlich stark. Daher ist es wichtig, ein gerades Bauwerk zu errichten, das sich theoretisch infolge unterschiedlicher Belastungen um seinen konstruktiven Mittelpunkt bewegt und das – unter der hypothetischen Voraussetzung, dass es keinerlei Einflüssen ausgesetzt ist – genau vertikal steht. Aufgrund unterschiedlicher Fundamentsetzungen, Kriechen und Schwinden des Betons, und Ausführungstoleranzen wird dieser Idealfall selten erreicht.

Bewegungen des Gebäudes schaffen verschiedene Probleme bei der Absteckung der Kontrollpunkte. Zu einem bestimmten Zeitpunkt muss der Vermessungsingenieur nämlich einerseits genau wissen, wie weit das Gebäude von seiner Sollposition entfernt ist und andererseits die exakte Position des Instrumentenstandpunktes kennen. Baubedingte Vibrationen und Bewegungen des Gebäudes erschweren oder machen es gar unmöglich, die notwendige Stabilität des Instrumentes zu halten.

Leica Geosystems hat mit dem CWCS ein Messsystem entwickelt, das vernetzte GNSS-Sensoren (GPS und GLONASS) in Kombination mit hochpräzisen Neigungssensoren und Totalstationen nutzt, um präzise, zuverlässige Koordinaten zu erhalten. Als Referenz dienen die Entwurfsdaten, denn sie werden nicht von Gebäudebewegungen beeinflusst. Anhand dieser Koordinaten wird die Position der beim Bau hoher Gebäude verwendeten Kletterschalungen, die jeweils am obersten Stockwerk montiert werden, sowie die Dynamik und das Verhalten des entstehenden Bauwerks überwacht.

Aktive Kontrollpunkte und Neigungssensoren

Auf den meisten Baustellen werden Vermessungsingenieure mit vielen Hindernissen, wie Stahlgerüsten und Baumaterialien, die Kräne während des Baus abstellen, konfrontiert. Der zusätzlich mit Arbei-

tern und Maschinen überfüllte Arbeitsbereich und auch die Tätigkeit in der Höhe erfordern zusätzliche Sicherheitsvorkehrungen.

Bald nach Baubeginn dient die Vermessung hauptsächlich der Kontrolle und vertikalen Ausrichtung der einzelnen Wandelemente. An der Position jedes Wandelements müssen kleine Korrekturen vorgenommen werden, die, bedingt durch den Baufortschritt in die Höhe, streng limitiert sind. Die Korrekturen müssen angebracht werden, während sich das Gebäude bewegt. Das optimale Verfahren für Kontrollmessungen bei hohen Gebäuden ist daher nicht einfach auszumachen. Der Einsatz herkömmlicher Methoden, wie das optische Loten durch Aussparungen auf der Betondecke, ist bei derartigen Strukturen kaum möglich.

Tragende Wände werden in einer Abfolge von mehreren Betoneinbauvorgängen hergestellt. Nach jedem Einbauen werden drei bis vier GNSS-Antennen in Kombination mit einer permanenten GNSS-Referenzstation und einer Totalstation aufgestellt. Die Totalstation überwacht die Geometrie der GNSS-Antennen durch die Messung von Winkeln und Distanzen zu den unter den GNSS-Antennen angebrachten 360°-Reflektoren (aktive Kontrollpunkte). Die Messdaten und GNSS-Daten werden im Büro oder direkt vor Ort in Echtzeit ausgewertet. Die berechneten Koordinaten werden dann zur Aktualisierung von Position und Orientierung an die Totalstation übermittelt.

Burj Khalifa in Dubai (828 m)

Auf der Bodenplatte und in regelmäßigen Abständen in den Stockwerken sind präzise Zwei-Achs-Neigungssensoren montiert. Die Messdaten der Neigungssensoren werden an den Rechner im Baubüro transferiert. Die exakten Δx- und Δy-Werte, um die das Gebäude von der Vertikalen abweicht, werden als Korrekturen auf die Koordinaten der aktiven Kontrollpunkte angebracht. Anschließend erfasst die Totalstation die Kontrollpunkte (eingeschlagene Nägel auf der Betondecke), um die für die Schalung erforderlichen Korrekturen zu ermitteln. Diese Koordinaten beziehen sich auf eine durchgehende Achslinie des Gebäudes, die durch Kontrolllinien definiert ist. Wenn also diese Punkte als Referenz für die Positionierung der Schalung für den nächsten Betoneinbau verwendet werden, erfolgt die Errichtung des Gebäudes unabhängig von seinen Bewegungen streng vertikal.

Vom WGS zur Gravitationsvertikalen

Alle Ergebnisse der GNSS-Vermessung beziehen sich auf eine Ellipsoidnormale als Referenz für die Z-Komponente (WGS84). Deshalb wird eine Transformation der GNSS-Ergebnisse in das lokale Koordinatenbezugssystem als primäres Festpunktnetz durchgeführt. Beschränkt sich diese Transformation auf einen einzelnen Punkt, ergibt sich aus der Differenz der Gravitationsvertikalen (die mit einer Lotlinie sichtbar gemacht werden könnte) und der Ellipsoidnormalen (Abweichung von der Vertikalen) ein Wert, der sich auf die vertikale Ausrichtung des Bauwerks auswirkt. Die Transformation, die erforderlich ist, um die GNSS-Daten in Koordinaten und Orientierung für die Totalstation umzuwandeln, basiert auf den Koordinaten des Bezugssystems und den für dieselben Punkte mit GNSS bestimmten Koordinaten.

GNSS-Empfänger, motorisierte Totalstationen und präzise Neigungsmesser müssen also alle dasselbe Bezugssystem verwenden, in dem die Gravitationsvertikale als Referenz für die Hauptachse des Gebäudes die empfindlichste Komponente darstellt.

Vorteile des CWCS-Systems

Der große Vorteil des Systems ist, dass der Vermessungsingenieur seine Absteckungen und Kontrollmessungen nach dem Entwurf fortsetzen kann und ein vollkommen gerader Baukörper entsteht, auch wenn sich das Gebäude aus seiner Mitte bewegt hat. Mit Hilfe der vernetzten Zwei-Achs-Neigungssensoren erhält er außerdem präzise Angaben über die Bewegung des Gebäudes.

Die Analyse isoliert Faktoren wie Wind- und Kranlasten oder die Deformation der Fundamentdecke und stellt einen Bezug der Bewegungen während des Baufortschritts her. Derartige Informationen sind sehr hilfreich, wenn es darum geht, dem Kunden zu erklären, was genau in der Struktur vorgeht. Bewegungen des Gebäudes in eine bestimmte Richtung können identifiziert und die über einen längeren Zeitraum erfassten Messdaten angefordert werden, um entsprechend Korrekturen auf deren Grundlage durchzuführen.

Ein weiterer Vorteil des Systems ist, dass der Vermessungsingenieur präzise Positionen der Schalung messen kann, ohne externe Kontrollpunkte anzielen zu müssen, was mit der zunehmenden Größe eines Gebäudes immer schwieriger wird. Die Kontrollmessungen können schnell und produktiv ausgeführt werden. Außerdem müssen die Geräte während des Messvorgangs nicht horizontiert sein – ein entscheidender Vorzug, wenn sich das Gebäude bewegt oder vibriert.

Weitere Projekte: Al Hamra in Kuwait, Landmark Tower in Abu Dhabi

Doug Hayes, ein australischer Vermessungsfachmann, der bereits an einer Reihe von weltweiten Großbauprojekten mitgearbeitet hat, erkannte den Nutzen des Core Wall Control Survey Systems sofort und leistete im Rahmen des Baus des Burj Khalifa in Dubai einen wertvollen Beitrag zu seiner erfolgreichen Realisierung.

Schon bald nach der Inbetriebnahme in Dubai zeigten die Verantwortlichen für den Bau des Al Hamra in Kuwait Interesse am CWCS-System. Das zuständige Bauunternehmen gab ein gleichartiges System in Auftrag und benötigte zusätzlich einen erfahrenen Vermessungsingenieur. Soang Hoon aus Südkorea nahm die Herausforderung an und wurde leitender Vermessungsingenieur für das Projekt. Das System war im Wesentlichen identisch mit dem für den Burj Khalifa, doch Soang Hoon nahm einige Anpassungen vor und man stellte schnell fest, dass sich Super-Hochhäuser stark unterscheiden, auch wenn ihre Spezifikationen aus vermessungstechnischer Sicht dieselben sind.

Ein Jahr später wurde Leica Geosystems mit der Installation eines CWCS für den Landmark Tower in Abu Dhabi betraut. Auch dieses Gebäude unterschied sich wieder von den vorangegangenen. Insbesondere war das Bauunternehmen sehr daran interessiert, das System im Echtzeit-Modus zu betreiben. Mohammed Haider, der beim zuständigen Bauunternehmen beschäftigte Hochbauingenieur und Systemverantwortliche, hat bei der Umsetzung hervorragende Arbeit geleistet.

Das enorme Know-how und das große Engagement der Vermessungs- und Hochbauingenieure haben entscheidend zur Entwicklung und Erweiterung dieses Systems beigetragen. Ich persönlich wäre nicht überrascht, wenn es schon bald Anfragen zu halb- oder vollautomatischen Systemen gäbe, denn eigentlich ist das CWCS nur der erste Schritt auf einem langen Weg, der noch vor uns liegt. ■

Über den Autor:
Joël van Cranenbroeck ist Business Development Manager bei Leica Geosystems im schweizerischen Heerbrugg.