Multitechnologie-Inspektion für mehr Produktivität im PPVC-Bau

Abstrakt

Vorgefertigtes volumetrisches Bauen (PPVC) erfreut sich in Singapur zunehmender Beliebtheit und wird sogar bei ausgewählten staatlichen Grundstücksverkäufen vorgeschrieben. PPVC bietet mehrere Vorteile, darunter eine höhere Produktivität, die aufgrund der Pandemie jetzt noch wichtiger ist. Um die strukturelle Integrität von PPVC-Strukturen zu gewährleisten, ist eine Inspektion erforderlich, die jedoch häufig als nicht wertschöpfendes, zeitaufwändiges Verfahren angesehen wird. In diesem Beitrag wird aufgezeigt, wie durch den Einsatz eines technologieübergreifenden Prüfkonzepts die Integrität sichergestellt werden kann und wie digitale Prüfwerkzeuge einen Mehrwert schaffen und die Produktivität steigern können.

Einführung

Offsite-Bauweisen erfreuen sich in vielen Ländern zunehmender Beliebtheit, darunter Singapur, Großbritannien und Japan. Eine dieser Methoden ist der volumetrische Fertigbau (Prefabricated Prefinished Volumetric Construction, PPVC). Bei PPVC werden 3D-Module (in der Regel Räume) außerhalb der Baustelle gefertigt und fertiggestellt. Auf der Baustelle müssen sie dann zu einem kompletten Gebäude, z. B. einem Wohnblock, zusammengesetzt werden. Bei der Doppelwandbauweise wird der Spalt zwischen den beiden vorgefertigten Betonwänden durch Injektion von Flüssigmörtel vor Ort vergossen. Durch die Verlagerung eines Großteils der Arbeiten außerhalb der Baustelle ergeben sich mehrere Vorteile, darunter eine höhere Produktivität, eine bessere Bauumgebung, eine höhere Sicherheit auf der Baustelle und eine strengere Qualitätskontrolle. Einige Beispiele für abgeschlossene PPVC-Projekte in Singapur sind die NTU Hall of Residence und Clement Canopy.

Obwohl ein Hauptgrund für den Einsatz von PPVC in der Steigerung der Produktivität liegt, konnte dies aufgrund verschiedener Herausforderungen, insbesondere im Bereich der Qualitätskontrolle, nicht vollständig umgesetzt werden. Es gibt verschiedene Anforderungen an die Inspektion von PPVC-Bauwerken, darunter (i) Qualitätskontrolle von Betonfertigteilen; (ii) Qualitätskontrolle von Ortbetonteilen; (iii) Qualitätskontrolle von Injektionen und (iv) Inspektion von strukturellen Mängeln bei bestehenden/alten PPVC-Projekten.

Mehrere zerstörungsfreie Prüfverfahren (NDT) sind auf PPVC anwendbar. Diese werden nacheinander im Abschnitt "Materialien und Methoden" vorgestellt und ihre Bedeutung für PPVC beschrieben. Im Abschnitt "Ergebnisse und Diskussion" werden die Ergebnisse des Ultraschallimpulsechos (UPE) zusammen mit der Datendarstellung auf einer digitalen Prüfplattform vorgestellt und diskutiert. Es wird gezeigt, dass der Einsatz verschiedener Inspektionstechniken in Verbindung mit dem Einsatz fortschrittlicher Software die Produktivität und Zuverlässigkeit von PPVC erhöhen kann.

Das Ultraschall-Impulsecho steht im Mittelpunkt dieses Beitrags, da es sich hierbei um die fortschrittlichste ZfP-Methode handelt, die bei PPVC angewendet wird. Das Team von Proceq Asia hat eng mit PPVC-Pionieren in Singapur zusammengearbeitet, um UPE bei der Qualitätskontrolle von Injektionsarbeiten einzusetzen.

Materialien und Methoden

Der Rückprallhammer ist ein gängiges Instrument der zerstörungsfreien Prüfung, mit dem sich die Druckfestigkeit schnell und ohne Kernbohrungen ermitteln lässt. Das Funktionsprinzip besteht darin, dass eine federbelastete Masse auf die Betonoberfläche aufschlägt und ihr Rückprall gemessen und mit der Druckfestigkeit korreliert wird. Die Ultraschall-Impulsgeschwindigkeit (UPV) wird ebenfalls zur schnellen Schätzung der Druckfestigkeit verwendet, ohne dass ein Bohrloch gebohrt werden muss. Das Funktionsprinzip ist jedoch sehr unterschiedlich. Bei UPV wird ein Ultraschallsignal mit einem Wandler in den Beton gesendet und mit einem zweiten Wandler empfangen.

Die Dicke des Betons, durch den sich der Ultraschall bewegt hat, muss bekannt sein. Die Laufzeit wird auf der Grundlage der Sende- und Empfangszeiten der Wandler bestimmt. Anschließend kann die Geschwindigkeit des Ultraschallimpulses berechnet werden. Da Ultraschall eine mechanische Welle ist, hängt seine Geschwindigkeit durch ein Material von den mechanischen Eigenschaften des Materials ab. Daher ist es möglich, die Betonfestigkeit abzuschätzen, sobald die Geschwindigkeit des Ultraschallimpulses berechnet wurde. Diese beiden Techniken können zur Messung der Druckfestigkeit von PPVC-Betonfertigteilen am Herstellungsort verwendet werden.

Die Kombination aus Rückprallhammer und UPV-Prüfung wird als SONREB-Methode ("sonic rebound") bezeichnet und ermöglicht eine genauere Schätzung der Druckfestigkeit. Dies ist eine weitere Option für Betonfertigteile.

Eine wichtige Inspektionsanforderung besteht darin, zu überprüfen, ob die Verpressung zwischen den Betonelementen ordnungsgemäß durchgeführt wurde. Dies wird natürlich auf der Baustelle selbst durchgeführt. Eine Möglichkeit ist die Verwendung von UPV, da die Geschwindigkeit des Ultraschalls einen Hinweis auf die Qualität der Verpressung geben kann. Dies liefert dem Prüfer jedoch nicht viele Informationen. Er weiß nur, dass ein bestimmtes Volumen des Fugenmörtels wahrscheinlich einige Mängel aufweist, aber deren Größe und genaue Position sind nicht bekannt.

Um weitere Erkenntnisse zu gewinnen, ist eine Datenanalyse vor Ort erforderlich, so dass eine sofortige Bewertung unmöglich ist. Der Erfassungsbereich von UPV ist begrenzt, so dass mehrere Messungen vorgenommen werden müssen, um einen großen Bereich des Betons zu erfassen. Eine bevorzugte Option ist das Ultraschall-Impulsecho (UPE), da es neben anderen Vorteilen, die weiter unten erörtert werden, ein tatsächliches Bild von etwaigen Defekten liefert. Die Auswertung ist sofort vor Ort möglich, was zu einer höheren Produktivität beiträgt.

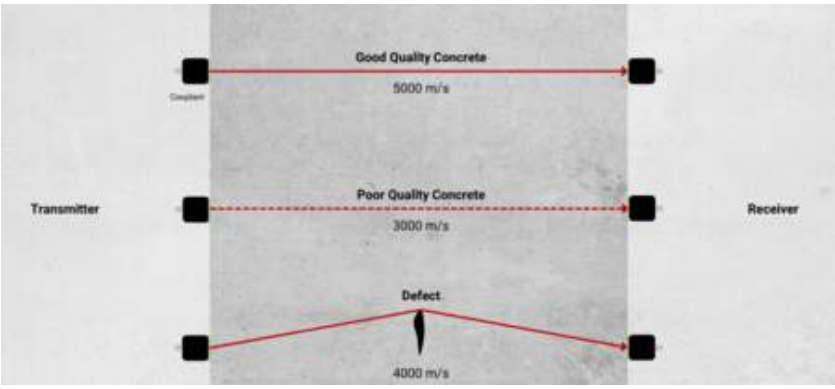

Figure 1 Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) principle

Bei der UPE wird der Ultraschall in den Beton gesendet und von etwaigen Rändern oder Fehlstellen reflektiert (Abbildung 2). Der reflektierte Ultraschall wird von demselben Instrument empfangen, so dass im Gegensatz zu UPV nur ein Zugang zu einer Seite erforderlich ist. Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass bei der UPE in der Regel ein Ultraschall-"Array" verwendet wird, d. h. es befinden sich mehrere Schallköpfe in einem Gerät, die alle Ultraschall aussenden und alle Ultraschall empfangen. Dadurch wird eine große Anzahl von Signalen erzeugt, die verarbeitet werden können, um ein 2D- oder sogar 3D-Querschnittsbild der Struktur zu erhalten. Ein großer Bereich des Betons kann mit dem Instrument in einer einzigen Position abgebildet werden, und das Instrument wird entlang des Betons bewegt, um viele Bilder zu erzeugen, die automatisch zusammengefügt werden.

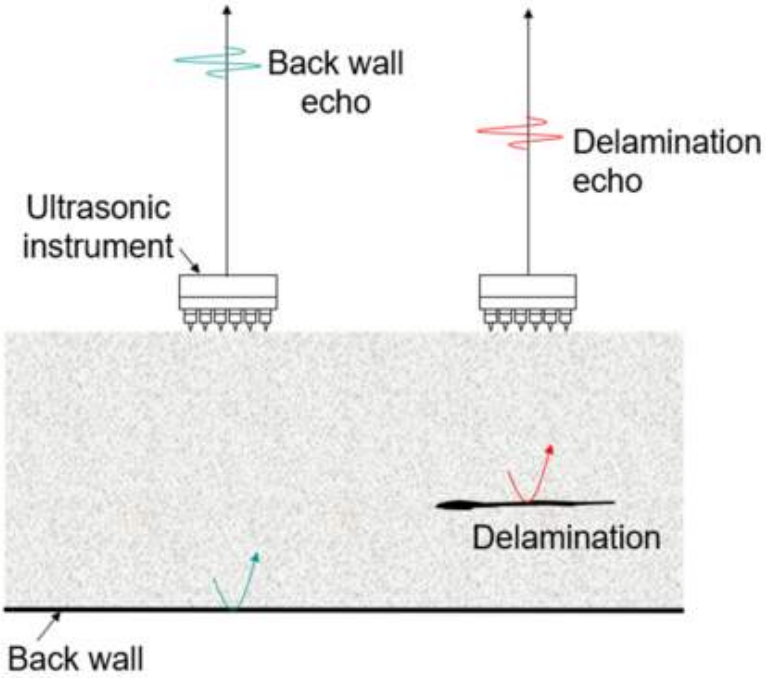

Figure 2 Ultrasonic Pulse Echo (UPE) principle.

Auf der linken Seite von Abbildung 2 ist eine Reflexion von der Gesamtdicke (Rückwand) dargestellt. Auf der rechten Seite ist eine Reflexion von einem Defekt, z. B. einer Delamination, dargestellt.

Das Prinzip von UPV und UPE ist in Abbildung 1 bzw. Abbildung 2 schematisch dargestellt. Man beachte, dass für UPV ein Ultraschallkopplungsgel zwischen den Prüfköpfen und der Oberfläche erforderlich ist, während dies bei UPE nicht der Fall ist, da hier Dry-Point-Contact (DPC) Prüfköpfe verwendet werden. Dies ist ein weiterer Vorteil von UPE, insbesondere beim Scannen großer Flächen.

Im Laufe der Jahre hat Proceq mehrere UPE-Array-Instrumente entwickelt, nämlich Pundit 250 Array, Pundit PD8000 und Pundit PD8050. Bei den beiden letztgenannten handelt es sich um drahtlose Geräte, die mit internetfähigen Mobilgeräten verbunden sind. Es wird eine spezielle App auf dem iPad verwendet. Alle Daten werden auf einem Webserver gesichert und können sicher von entfernten Standorten abgerufen und verarbeitet werden. Die App ermöglicht es den Nutzern, vor Ort Berichte zu erstellen und sich automatisch mit anderen Apps zu verbinden, z. B. für das Inspektionsmanagement.

Eine weitere Anforderung an die zerstörungsfreie Prüfung von Stahlbeton ist die Erkennung der Bewehrungsstähle ("rebars"). Die beiden gängigsten Methoden hierfür sind die gepulste Wirbelstromprüfung und das Bodenradar (Ground Penetrating Radar). Die Wirbelstromprüfung ist ein Schnelltest, der das Vorhandensein von Bewehrungsstäben nachweist und auch eine Schätzung der Überdeckungstiefe und des Durchmessers liefern kann, aber keine anderen Objekte erkennen kann. Ground Penetrating Radar (GPR) ist ein bildgebendes Verfahren, das dem UPE ähnelt, aber Radiowellen anstelle von Ultraschallwellen verwendet. Diese Methoden können auf vorgefertigte verstärkte PPVC-Elemente angewendet werden.

Ergebnisse und Diskussion

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der UPE vorgestellt und diskutiert, einschließlich ihrer Integration mit einer digitalen Inspektionsplattform.

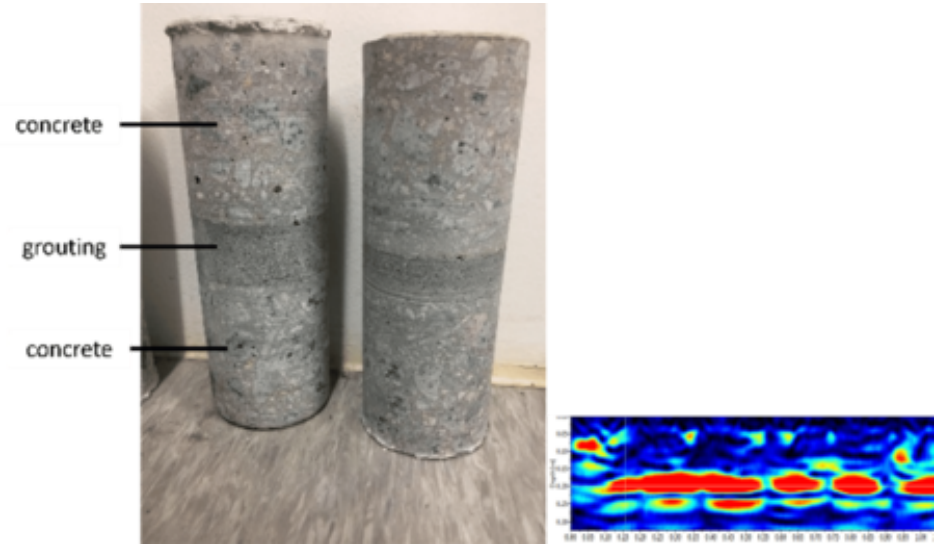

Figure 3 (a) and (b)

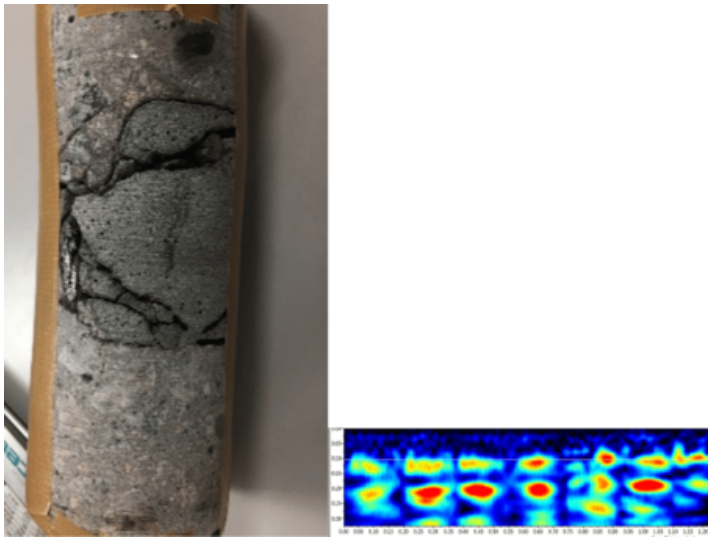

Figure 3 (c) and (d)

Abbildung 3 zeigt Kerne aus einer PPVC-Struktur.

In (a) bestehen die Kerne aus zwei Betonschichten, zwischen denen sich eine qualitativ hochwertige Vergussmasse befindet. Die Gesamtdicke beträgt etwa 20 cm.

In (c) ist ein einzelner Kern mit mangelhaftem Verguss zwischen den beiden Betonschichten zu sehen. Die Gesamtdicke von Beton-Fugenmörtel-Beton beträgt ca. 20 cm, aber in diesem Fall weist der Mörtel mehrere Mängel auf.

In (b) und (d) sind die UPE-Ergebnisse mit dem Pundit 250 Array dargestellt. In (b) gibt es eine starke Reflexion (große rote Markierung) bei etwa 20 cm, was bei einer guten Fugenqualität zu erwarten ist - der Ultraschall geht direkt hindurch und wird nur von der gegenüberliegenden Wand stark reflektiert. In (d) ist eine starke Reflexion bei ca. 10 cm zu sehen, was sich auf die Tiefe der Fugenmasse bezieht; dies bedeutet, dass der Ultraschall aus dem Inneren der Fugenmasse reflektiert wird, so dass Luft (Defekte) vorhanden sein muss.

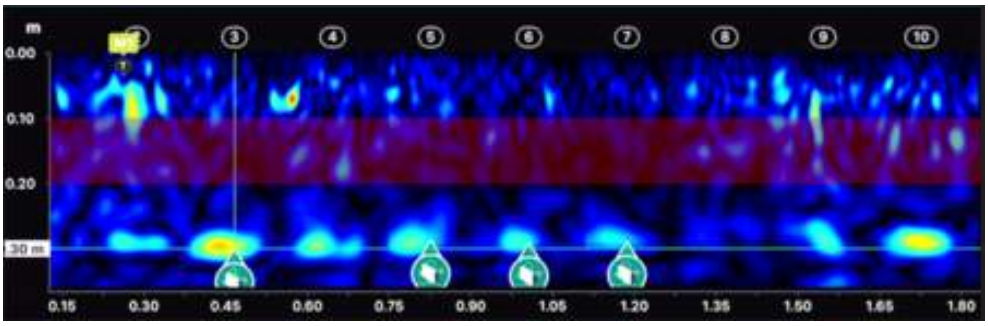

Figure 4 (a)

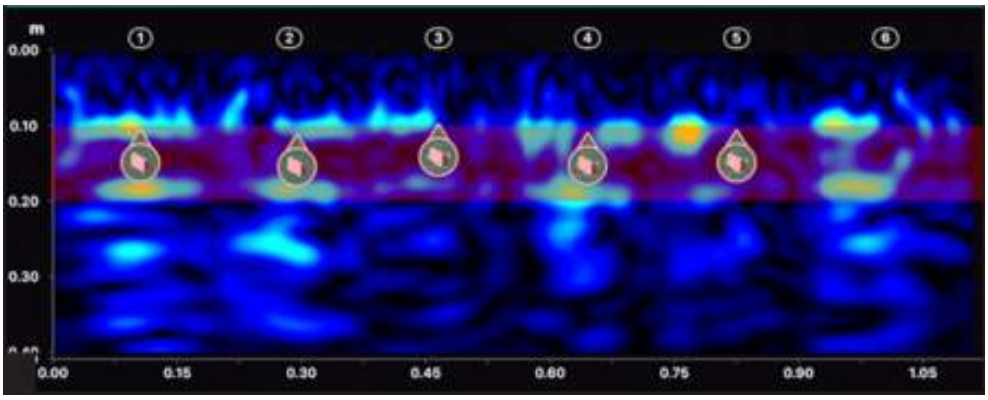

Figure 4 (b)

Abbildung 4 zeigt weitere Beispiele für UPE-Daten von PPVC-Strukturen; diesmal beträgt die Gesamtdicke des Betons und des Injektionsbetons 30 cm und der Injektionsbeton ist selbstverdichtender Beton (SCC). In (a) ist die Injektion abgeschlossen, so dass bei 30 cm eine starke Reflexion zu sehen ist. In (b) wurde die Injektion noch nicht durchgeführt, so dass die Reflexionen etwa in der Mitte zu sehen sind, was dem Spalt zwischen den beiden Betonschichten entspricht. Dies zeigt, wie eine wirklich minderwertige Verpressung (mit viel Luft) mit UPE aussehen würde.

Wie bei den meisten Bauprojekten geht es auch bei PPVC um große Materialmengen, die geprüft werden müssen, um mehrere Baustellen (sowohl bei der Herstellung als auch auf der Baustelle), um große Mengen von Prüfdaten und um viele Beteiligte. Daher ist es wichtig, dass die Inspektionsdaten digital und auf sicheren Cloud-Servern gespeichert werden, damit die Beteiligten auch noch in einigen Jahren auf sie zugreifen können. Idealerweise erfolgt die Datenerfassung und Webspeicherung nahtlos, d. h. die Daten werden direkt auf einem internetfähigen Mobilgerät erfasst und automatisch an die Cloud gesendet. Auf diese Weise muss der Betreiber keine zusätzliche Zeit oder Mühe für die Speicherung der Daten aufwenden.

Außerdem ist es wichtig, dass die Standortdaten zusammen mit den Inspektionsdaten gespeichert werden. Dabei sollte es sich nicht nur um eine grobe GNSS-Position oder eine Postadresse handeln, sondern um einen exakten Standort auf einem Grundriss des Projekts. Die Ingenieure von Proceq arbeiten jetzt mit PPVC-Pionieren in Singapur zusammen, um dies mit ihrer neuen Software Screening Eagle INSPECT zu erreichen.

INSPECT ist eine umfassende, intelligente Softwareplattform mit vielen Funktionen zur Verbesserung der Produktivität, Qualität und Zuverlässigkeit von Vorinspektionen, Inspektionen und Berichterstattungsaufgaben. Im Zusammenhang mit PPVC-Strukturen ermöglicht es dem Benutzer, ZfP-Daten, z. B. UPE-Daten, einer genauen Stelle in einer Wohneinheit zuzuordnen. Ein Beispiel ist in Abbildung 5 dargestellt. Daten aus anderen Prüfverfahren und Prüfstellen, z. B. Rückprallprüfungen am Herstellungsort, können ebenfalls einbezogen werden.

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die Verwendung von PPVC hat das Potenzial, die Produktivität im Bauwesen erheblich zu verbessern, stellt aber auch eine Reihe von Herausforderungen an die Inspektion. Durch eine gute Planung und die Auswahl der richtigen Inspektionswerkzeuge ist es möglich, ein Bauwerk ohne großen Zeit- und Energieaufwand gründlich zu prüfen. Wie dieser Artikel gezeigt hat, ist ein technologieübergreifender Ansatz erforderlich, bei dem verschiedene Inspektionstechnologien für unterschiedliche Inspektionsanforderungen eingesetzt werden.

Eine weitere Empfehlung ist der Einsatz internetfähiger mobiler Geräte zur Datenerfassung und automatischen Übermittlung der Daten an einen sicheren Cloud-Speicher. Dies wird die Produktivität und Zuverlässigkeit von PPVC-Strukturen weiter erhöhen. Außerdem werden die Prüfdaten idealerweise zusammen mit ihrem Standort gespeichert, d. h. es wird genau angegeben, an welchem Teil welcher Gehäuseeinheit die Ultraschalldaten aufgenommen wurden. Der Vorteil dieser Vorgehensweise wird sich vor allem in einigen Jahren bemerkbar machen, wenn die Prüfdaten von PPVC-Strukturen erneut geprüft werden müssen, z. B. wegen eines Versagens einer ähnlichen Struktur, oder wenn eine Nachrüstung/Sanierung durchgeführt werden soll.

SCREENING EAGLE | proceq

Terms Of Use
Website Data Privacy Policy

Copyright © 2024 Screening Eagle Technologies. All rights reserved. The trademarks and logos displayed herein are registered and unregistered trademarks of Screening Eagle Technologies S.A. and/or its affiliates, in Switzerland and certain other countries.