

Zachowanie prostoty projektowania, prefabrykacji i montażu w codziennej praktyce

Płyty kanałowe z wrębami – uproszczona metoda redukcji zużycia betonu i podniesienia marży

■ Marc Sanabra-Loewe, Politechnika Katalońska (UPC), Barcelona, Hiszpania

Biuro inżynierskie Elastic Potential z siedzibą w Barcelonie, w Hiszpanii, opracowało, szczegółowo zbadało i opatentowało metodę produkcji płyt stropowych utwierdzonych na podporach, co pozwala na zredukowanie wysokości stropu i zużycia betonu o 20%. Metoda polega na produkcji płyt kanałowych z poprzecznymi wrębami na ich górnej powierzchni. Na placu budowy, na płycie z wrębami, umieszcza się pręty zbrojeniowe na jej górnej powierzchni w strefie przypodporowej w celu utwierdzenia płyty stropowej, a tym samym skompensowania jej ugięcia, a następnie układa się tradycyjną warstwę nadbetonu o grubości co najmniej 50 mm. Znaczna redukcja kosztów związanych z produkcją i transportem sprawia, że inwestycja w nowe maszyny potrzebne do produkcji płyt z wrębami szybko się zwraca. Obecnie, wiodący dostawcy maszyn mają już w swojej ofercie maszyny do produkcji płyt kanałowych z wrębami albo są na etapie rozwijania tej technologii, tak by wkrótce stała się ona dostępna na rynku (Prensoland, Echo Precast Engineering, Ultra-Span, Elematic, Nordimpianti, Spancrete).

W wielu sytuacjach znanych z codziennej praktyki, parametry mechaniczne stropu są korzystniejsze, gdy jego końce są utwierdzone, a nie oparte przegubowo. W przypadku stropów wykonanych z płyt kanałowych, rozwiązanie pozwalające na uzyskanie utwierdzonego połączenia opracowano 20 lat temu i polega ono na otwarciu końców wybranych kanałów, umieszczeniu zbrojenia, a następnie ich zabetonowaniu. Niemniej jednak, większość stropów wykonanych z płyt kanałowych ma przegubowy schemat oparcia.

Wynika to z tego, że rozwiązanie polegające na otwieraniu kanałów od góry w celu utwierdzenia płyt stropowych jest bardziej skomplikowane i zazwyczaj droższe niż tradycyjne oparcie przegubowe.

Niedawno pojawiło się jednak uproszczone rozwiązanie w postaci płyt kanałowych z wrębami na górnej powierzchni stropu, które umożliwia wykonywanie utwierdzonych stropów z płyt kanałowych w sposób niemalże tak prosty jak stropów opartych przegubowo, ale znacznie taniej.

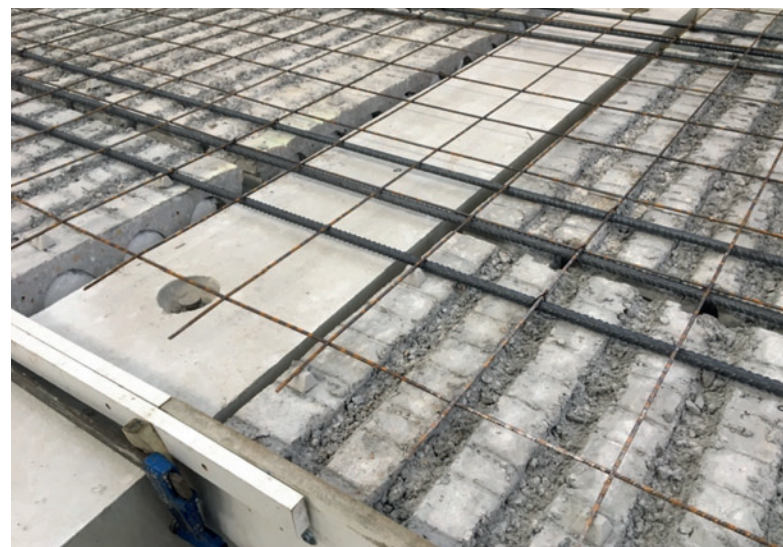
Główny zamysł – prosty sposób na poprawę właściwości mechanicznych

Gotowe stropy mogą być tańsze ze względu na grubość płyt (i zużycie betonu), którą można zredukować nawet o 20%.

W następstwie tego płyty mogą być nawet o 20% lżejsze, co ułatwia ich transport i montaż.

Utwardzenie otrzymano poprzez dwie modyfikacje stosowanych dotychczas praktyk. Po pierwsze, płyty są produkowane z wrębami na górnej powierzchni. Wymaga to zastosowania odpowiednich maszyn do produkcji (por. poniżej akapit „Dostępność maszyn”). Po drugie, podczas montażu płyt na budowie, na płycie umieszcza się pręty zbrojeniowe (bez konieczności stosowania elementów dystansowych), które po wykonaniu warstwy betonu (o grubości co najmniej 50 mm) poprzez utwierdzenie płyt redukują ugięcie, tak samo jak w dotychczasowej praktyce (por. rys. 1).

Nawet biorąc pod uwagę konieczność wykonania warstwy nadbetonu, stropy z płyt kanałowych z wrębami mogą być znacznie tańsze niż tradycyjne stropy oparte przegubowo, wykonane bez warstwy nadbetonu.



1. Strop z płyt kanałowych z wrębami przed ułożeniem warstwy nadbetonu. Istotne detale: pręty zbrojeniowe są umieszczone bezpośrednio na płycie; płyty są odpowiednio oparte na belce, co pozwala na właściwe zmonolityzowanie stropu z belką i prawidłowe wykonanie utwierdzenia w celu skompensowania ugięcia stropu; kanały stropów należy przed zabetonowaniem zabezpieczyć zatyczkami.



■ Prof. dr Marc Sanabra-Loewe od 11 lat jest profesorem konstrukcji budowlanych na Politechnice w Barcelonie, w Hiszpanii (UPC), a w ostatnim roku wykładał także na Uniwersytecie Illinois w Urbana-Champaign, w USA. Od 15 lat zarządza MASA+Arquitectura - firmą z siedzibą w Barcelonie, specjalizującą się w projektowaniu konstrukcji. Zarówno w pracy magisterskiej, jak i doktoracie zajmował się optymalizacją prefabrykowanych stropów betonowych. Jest autorem szeregu patentów w zakresie zoptymalizowanych prefabrykowanych systemów stropowych, które obecnie są własnością Elastic Potential, S.L., hiszpańskiej firmy założonej w celu utrzymywania tych patentów. msanabra@elastic-potential.com

Kto czerpie korzyści z zastosowania płyt kanałowych z wrębami?

Realne korzyści z użytkowania płyt kanałowych z wrębami czerpią wszyscy uczestnicy łańcucha wartości dodanej. Producent prefabrykatów może wytwarzać dużo cieńsze płyty, często z mniejszą ilością zbrojenia. Płyty mogą mieć średnio o 20% mniejszą wysokość niż tradycyjne płyty kanałowe, porównując z rozwiązaniem tradycyjnym z warstwą nadbetonu, i nawet do 25% mniejszą wysokość niż tradycyjne płyty kanałowe, porównując z rozwiązaniem tradycyjnym bez warstwy nadbetonu. Zużycie stali do sprężenia także spada średnio o 15%. Wszystkie płyty mogą być o 20 - 25% lżejsze, są więc tańsze w transporcie.

Jeżeli cieńsze płyty będą sprzedawane w tej samej cenie (albo nieco taniej) co tradycyjne płyty oparte przegubowo (zakładając, że ich właściwości użytkowe będą takie same), to producent prefabrykatów może liczyć na dodatkową marżę i tym samym większą opłacalność produkcji.

Wyższa marża uwzględnia już to, że cieńsze płyty kanałowe z wrębami mogą być sprzedawane nieco taniej niż analogiczne grubsze płyty oparte przegubowo, aby pokryć dodatkowe koszty, jakie może ponieść inwestor w związku z koniecznością dołożenia zbrojenia kompensującego ugięcie płyt.

Inwestor z kolei odniesie korzyści wynikające nie tylko z niższej ceny płyt, lecz także z ich mniejszej masy - w ten sposób będzie mógł zredukować nośność belek, słupów i fundamentów. Ponadto, dzięki cieńszym płytom stropowym (i ewentualnie niższym belkom), wysokość konstrukcyjna całego stropu może być o 5 do 15 cm mniejsza. W związku z tym, o tę wartość zmniejszy się też wysokość każdej kondygnacji budynku. To z kolei przyczyni się do zmniejszenia powierzchni fasady, co oznacza dodatkowe zmniejszenie kosztów. Obliczono, że w Europie, biorąc pod uwagę redukcję wszystkich kosztów i przyjmując, że koszt wykonania budynku wnosi od 500 EUR/m² do 1000 EUR/m², wykonawca może zaoszczędzić od 2 EUR/m² do 6 EUR/m² (około 0,5% kosztów całego zamówienia). Dokładna wartość korzyści finansowych wykonawcy zależy od wartości, o jaką zmniejszono wysokość konstrukcyjną stropu, rodzaju fundamentów (pale, stopy), a także ceny 1 m² fasady.

Wreszcie, zastosowanie płyt kanałowych z wrębami może przynieść też korzyści deweloperowi i firmie projektującej budynek (architekt, konstruktor). Płyty kanałowe z wrębami o tej samej wysokości co tradycyjne płyty oparte przegubowo, mogą przenosić o 25% większe obciążenia (por. rys. 2) albo mieć o 25% większą rozpiętość. W związku z tym, zwiększa się swoboda projektowania, możliwe są uskoki w geometrii budynku i łatwiej zaprojektować duże otwory w płytach, gdyż płyty prze-

cięte w połowie rozpiętości pozostają utwierdzone na końcach i mogą pracować jak wsporniki.

Lżejsze płyty są także korzystniejszym rozwiązaniem w warunkach sejsmicznych - mniejsza masa własna i większa quasi-plastyczność połączenia między belką a płytą, przyczynia się do zmniejszenia ryzyka katastrofy postępującej. Ponadto, korzystna może być też większa odporność ogniowa stropu ciągłego wynikająca z tego, że duża część stalowego zbrojenia (od 15 do 50%) znajduje się w górnej części przekroju stropu. Zbrojenie w górnej części przekroju jest znacznie mniej narażone na ciepło pochodzące z pożaru, unoszące się typowo od dołu [1].

Wreszcie, zastosowanie płyt kanałowych z wrębami powoduje zmniejszenie o 10 do 15% emisji CO₂ związanej z budową stropu. Wynika to ze zmniejszonego zużycia betonu (do 20%) i nieco większego zużycia stali. Większe zużycie stali jest uzasadnione tym, że część cięgien sprężających elementu prefabrykowanego zostaje zastąpiona prętami zbrojeniowymi montowanymi na placu budowy, które zazwyczaj mają mniejszą wytrzymałość niż cięgna sprężające.

Zgodność z aktualnymi normami dotyczącymi projektowania

Większość norm dotyczących projektowania, w tym eurokod (EC-2) [2] i amerykańska instrukcja PCI dotycząca projektowania płyt kanałowych [1], dopuszcza oparcie stropów z płyt kanałowych w sposób utwierdzony. Wynika to z tego, że wspomniane rozwiązanie polegające na otwarciu kanałów i zabetonowaniu ich istnieje już od wielu lat.

W związku z tym, nowe rozwiązanie, jakim są płyty kanałowe z wrębami, będzie zgodne z aktualnymi normami.

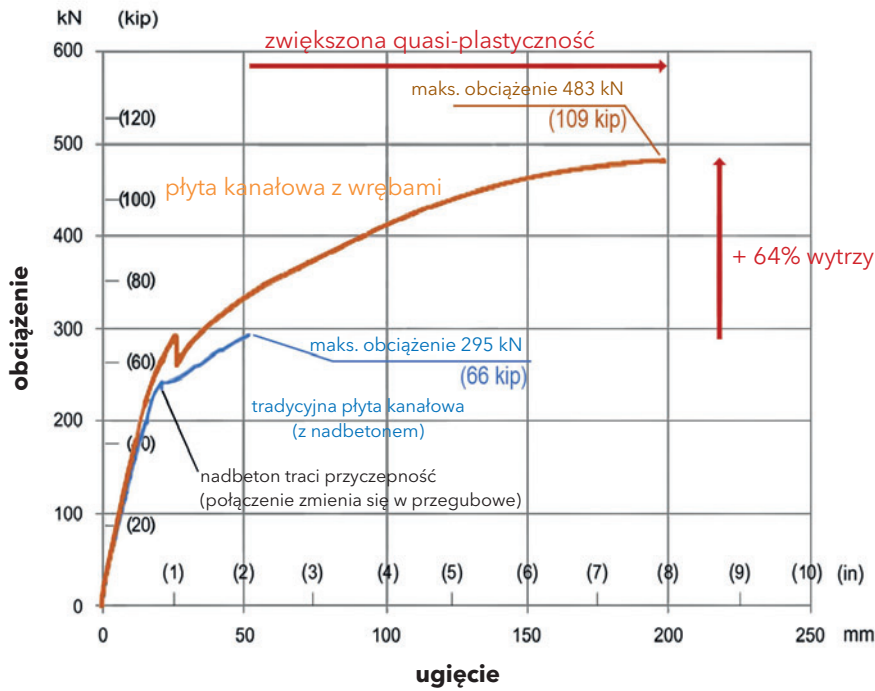
Co więcej, zasada, na której bazują stropy wykonane z płyt kanałowych z wrębami, wynika z poziomej wytrzymałości na ścinanie strefy styku między betonem prefabrykowanym a betonem monolitycznym (warstwą wykonaną na placu budowy). Podsumowując, istnieje szereg norm (EC-2 [2] czy ACI-318 [3]) zawierających postanowienia, które można uznać za zgodne z tą zasadą, czyli dotyczące poziomej wytrzymałości na ścinanie powierzchni styku między betonami.

Płyty kanałowe z wrębami stają się rzeczywistością

Technologia opracowana w wyniku obszernego programu badań

Zaprezentowane rozwiązanie opracowano na podstawie kompleksowego programu badań, realizowanego przez 18 miesięcy na Politechnice w Walencji (UPV), w Hiszpanii, w latach 2016 - 2017 (por. rys. 3). Badania przeprowadził prof. dr inżynierii budowlanej Pedro Miguel Sosa i dr Luíś Pallarés Rubio, adiunkt inżynierii budowlanej, pod kierownictwem firmy Elastic Potential jako właściciela praw patentowych.

Głównym celem badań było znalezienie niezawodnego rozwiązania w zakresie trwałego zespolenia płyty kanałowej i nadbetonu. Program badawczy obejmował zarówno badania w skali laboratoryjnej, jak i badania średniej wielkości próbek oraz elementów w skali rzeczywistej. Podstawowe zmienne, które badano, to: geometria i szorstkość powierzchni styku, wiek betonów (prefabrykowanego i nadbetonu) oraz wielkość



2. Otrzymany w wyniku badań wykres zależności między obciążeniem a ugięciem dla dwóch identycznych stropów (z takim samym zbrojeniem), z których jeden został wykonany z płyt kanałowych z wrębami, a drugi z tradycyjnych płyt kanałowych (badanie tradycyjnych płyt kanałowych zakończono zaraz po utracie przyczepności warstwy nadbetonu, gdyż wtedy oparcie płyt na podporach zmieniło się na przegubowe.)

próbek. Jednym z najważniejszych wniosków, jakie wyciągnięto na podstawie badań, było takie, że różnice w prędkości i wielkości skurczu betonu prefabrykowanego oraz nadbetonu, nazwane zróżnicowaniem skurczu, znacząco zmniejszają poziomą wytrzymałość na ścinanie połączenia. Zjawisko to może prowadzić do przedwczesnej utraty zespolenia nadbetonu (przy bardzo niskim obciążeniu). Pojawia się ono przede wszystkim wtedy, gdy prędkość skurczu płyty jest bardzo duża (np. jeśli w momencie układania nadbetonu wiek płyt wynosi kilka miesięcy), albo gdy nadbeton charakteryzuje się dużym skurczem (np. jeśli mieszanka betonowa ma wysoki współczynnik w/c, temperatura otoczenia jest wysoka, itp.). Otrzymane wyniki pokrywają się z wynikami badań i wnioskami innych autorów [4], [5], [6].

W normie wzorcowej (Model Code) [7], opracowanej przez Fédération International du Béton (fib), wspomniano również, że w niektórych konstrukcjach należy uwzględnić zróżnicowanie skurczu w celu zagwarantowania wytrzymałości połączenia między betonami.

Ze względu na otrzymane wyniki, przeprowadzono badania z różnymi rodzajami wykończenia powierzchni płyty: umiarkowanie gładkim (uzyskanym za pomocą maszyny), szorstkowanym, z pojedynczymi głębokimi otworami na powierzchni płyty oraz z rowkami o różnej głębokości. Tylko jedno rozwiązanie umożliwiło całkowite wyeliminowanie problemu zróżnicowanego skurczu i uzyskanie możliwej do oszacowania wytrzymałości. Było to rozwiązanie w postaci głębokich na 20 mm wrębów rozmieszczonych na powierzchni płyty. Wręby zapewniają niezawodne zespolenie warstwy nadbetonu z betonem prefabrykowanym. Niezawodność zespolenia pokazuje fakt, że zniszczenie zespolenia następowało dopiero w wyniku zniszczenia betonu prefabrykowanego albo nadbetonu pod wpływem obciążenia ścinającego (co jest przewidywalnym rodzajem zniszczenia, zależnym od niewielkiej liczby zmiennych: geometrii i wytrzymałości betonu). Natomiast w przypadku innych badanych połączeń, warstwa nadbetonu po prostu traciła przyczepność do betonu prefabrykowanego i dochodziło do zniszczenia na powierzchni

styku. Jest to znacznie mniej niezawodny scenariusz, jako że jest znacznie trudniejszy do przewidzenia; zależy od znacznie większej liczby czynników (wilgoć, woda lub zanieczyszczenia w spoinie, zróżnicowanie skurczu, prędkość twardnienia, itp.).

Wyniki tych badań są aktualnie przygotowywane do publikacji w czasopismach naukowych.

Reakcja producentów prefabrykatów

W ciągu ostatnich miesięcy, firma Elastic Potential zaprezentowała indywidualnie swoją technologię około 20 producentom prefabrykatów w Europie (Hiszpania, Włochy, Francja, Belgia) oraz w USA.

Większość producentów, która wysłuchała prezentacji, okazała szczerze zainteresowanie tą technologią, gdyż dostrzegli, że prawdopodobnie jest bardzo łatwa w użyciu i może spowodować znaczny wzrost ich marży. Około 2/3 z nich zdecydowała się szczegółowo sprawdzić, czy wspomniana wyżej redukcja kosztów w ich konkretnym przypadku jest realna. W tym celu wybrali szereg projektów, które zrealizowali w niedalekiej przeszłości, i poprosili Elastic Potential o ponowne wykonanie obliczeń z wykorzystaniem technologii płyt kanałowych z wrębami, tak żeby przekonać się o różnicy. Do tej pory wszystkie projekty – przy ponownie wykonanych obliczeniach – pozwoliły zredukować koszty, tak jak opisano wcześniej. Wziąwszy na przykład projekty analizowane w Europie, przy średniej cenie sprzedaży płyty wynoszącej od 25 do 40 EUR/m², oszczędności uzyskane w badaniach wynosiły od 3 EUR/m² (dla małych rozpiętości i niskich obciążeń) do 10 EUR/m² (dla dużych rozpiętości i wysokich obciążeń). Obciążenie i rozpiętość mają istotny wpływ na wynik kalkulacji – im większa rozpiętość i obciążenie, tym większa oszczędność kosztów.

Wreszcie, 90% producentów, którzy szczegółowo przeanalizowali swoje projekty, poprosiło o przedstawienie oferty maszyn, by podjąć decyzję o inwestycji. Przyjmując aktualną cenę maszyn, wszystkie analizy dotyczące amortyzacji wskazały czas zwrotu z inwestycji wynoszący poniżej roku.



3: A) Badania swobodnego skurczu próbek nadbetonu o różnym składzie; B) Badania poziomej wytrzymałości na ścinanie małych próbek; C) Badania w skali rzeczywistej (przy wysokim obciążeniu) dwuprzęsłowego stropu wykonanego z płyt kanałowych z wrębami.

Dostępność maszyn

Dla firmy Elastic Potential najwyższy priorytet ma dostępność maszyn umożliwiających seryjną produkcję płyt kanałowych z wrębami. Dlatego obecnie firma Elastic Potential współpracuje z wiodącymi dostawcami maszyn, którzy dostrzegli, że technologia ta może być interesującą opcją dla ich klientów. Obecnie, nowe maszyny do produkcji płyt kanałowych z wrębami zgodnie ze specyfikacją Elastic Potential, a także odpowiednie modyfikacje starych maszyn, oferuje firma Prensoland. Firmy Echo Precast Engineering i Ultra-Span (z grupy Progress) pracują aktualnie nad prototypem maszyny, która ma być gotowa do wprowadzenia na rynek na początku 2020 r. Firma Elematic ma już w swojej ofercie maszynę do wykonywania wrębów na powierzchni płyt kanałowych i obecnie pracuje nad dostosowaniem jej do wymogów produkcji płyt

w technologii firmy Elastic Potential (planowo ma być gotowa na początku 2020 r.). Ponadto, firma Elematic rozważa skonstruowanie ekstrudera, który będzie wytłaczał płyty z wrębami (w jednym cyklu roboczym), jeśli uzyska na to licencję. Firma Nordimpianti również ma w swojej ofercie maszynę będącą w stanie wykonywać wręby na powierzchni płyt kanałowych, które wcześniej zostały wyprodukowane za pomocą ekstrudera, ślizgowego systemu betonowania lub maszyny betonującej wykorzystującej mieszankę betonową o konsystencji ciekłej. Firma Nordimpianti planuje wprowadzić stosowne modyfikacje do swojej maszyny bruzdkującej po uzyskaniu licencji na jej produkcję. Firma Spancrete aktualnie bada zainteresowanie płytami kanałowymi z wrębami wśród swoich klientów i z pewnością zaofertuje zainteresowanym odpowiednie maszyny. Każdy producent maszyn, który posiada w swojej ofercie maszynę gotową do produkcji płyt kanałowych z wrębami, może

przejsć specjalny proces walidacji opracowany przez Elastic Potential. Jest to seria badań laboratoryjnych wykonywanych z płytami wyprodukowanymi za pomocą takiej maszyny. W badaniach tych sprawdza się, czy płyty spełniają określone wymagania minimalne, na podstawie których mogą być one zaklasyfikowane jako płyty kanałowe z wrębami w technologii Elastic Potential.

Co jest niezbędne do rozpoczęcia produkcji płyt kanałowych z wrębami?

Po pierwsze, producent prefabrykatów powinien sprawdzić, czy oszczędności opisane w niniejszym artykule dotyczą właśnie jego przypadku. W tym celu najlepiej skontaktować się z firmą Elastic Potential i wybrać 2-3 przykładowe projekty do analizy. Firma Elastic Potential ponownie wykona obliczenia dla tych projektów (bezpłatnie) i odeśle je do producenta, by ten mógł ocenić oszczędności związane z produkcją i transportem, a tym samym określić potencjalny wzrost swojej marży.

Dodatkowo, aby zbadać tempo zwrotu z inwestycji, producent może poprosić dostawcę maszyn o przedstawienie odpowiedniej oferty.

Po podjęciu decyzji o rozpoczęciu produkcji płyt kanałowych z wrębami, producent prefabrykatów potrzebuje już tylko trzech rzeczy:

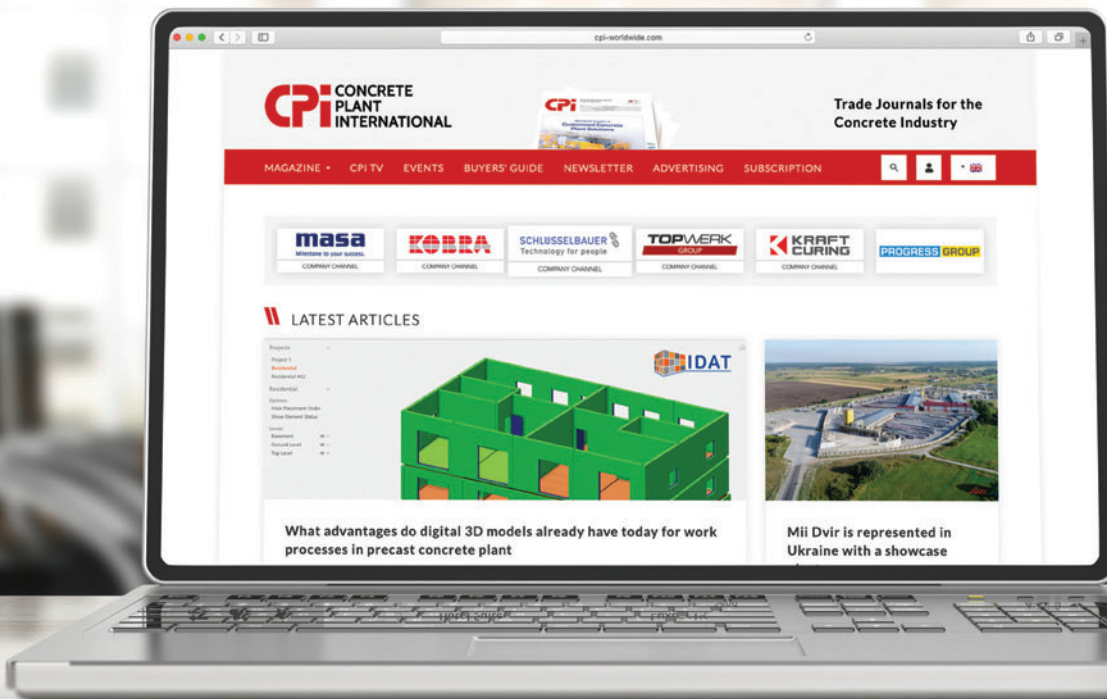
a) nauczyć się, jak projektować (wykonywać obliczenia) i realizować budynki z użyciem nowych płyt (według instrukcji dostarczonej przez Elastic Potential); b) podpisać umowę z firmą

Elastic Potential w zakresie użytkowania technologii (łącznie z patentem [8]); c) zakupić certyfikowaną maszynę od wybranego dostawcy.

Bibliografia

- [1] Precast/Prestressed Concrete Institute: PCI Manual for the Design of Hollow Core Slabs and Walls (MNL-126-15E), Third Edition, 2015, Edited by S. K. Ghosh, ISBN 978-0-9968021-0-9.
- [2] European Committee for Standardization (CEN): Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings, Brussels, 2004.
- [3] ACI Committee 318: Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary, 2014, Farmington Hills: American Concrete Institute.
- [4] Beushausen, Hans-Dieter: Long-term performance of bonded concrete overlays subjected to differential shrinkage, PhD Thesis, 2006.
- [5] Beushausen, H.; Alexander, M.G.: Localized strain and stress in bonded concrete overlays subjected to differential shrinkage, Materials and Structures, March 2007, Volume 40, Issue 2; pp. 189-199.
- [6] Santos, Pedro M. D.; Júlio, Eduardo N. B. S.: Interface Shear Transfer on Composite Members, ACI Structural Journal, January-February, 2014; 113-121.
- [7] Fédération internationale du béton (fib): Model Code 2010, final draft. fib Bulletin Nos. 65/66, Lausanne, 2012.
- [8] Sanabra, Marc: Prefabricated floor element, structure comprising prefabricated floor elements and installation for obtaining the prefabricated floor element, EP 3486392, Filed: 12.03.2018, Published: 22.05.2019.

Zobacz naszą nową stronę internetową:
www.cpi-worldwide.com



Crossmediowa
 Inteligentna
 Responsywna
 Intuicyjna