

Uma alternativa para concepção, produção e instalação

Grooved Hollowcore: uma possibilidade simples, de baixar significativamente o consumo de concreto e aumentar as margens

■ Marc Sanabra-Loewe, Universidade Politécnica da Catalunha (UPC - Barcelona Tech), Barcelona, Espanha

O escritório de engenharia Elastic Potential, Barcelona, Espanha, desenvolveu, testou intensamente e protegeu mediante patente um processo para a produção de lajes alveolares protendidas tensionadas nas extremidades, que permitem uma redução da espessura dos elementos estruturais e do consumo de concreto das lajes alveolares protendidas até 20%. Nesse processo, as lajes alveolares protendidas são produzidas com ranhuras profundas na superfície. No canteiro de obras, são colocadas barras de armadura diretamente nas lajes ranhuradas para a absorção de torques negativos e é concretado um concreto convencional de, pelo menos, 50 mm de espessura. Mediante as reduções significativas de custos durante a produção e transporte das lajes, as novas máquinas para a produção das lajes ranhuradas no fabricante de elemento de concreto pré-moldado foram amortizadas muito rapidamente. Fornecedores líderes de máquinas já oferecem máquinas para a produção de lajes Grooved Hollowcore ou estão desenvolvendo e pretendem oferecer em breve (Prensoland, Echo Precast Engineering, UltraSpan, Elematic, Nordimpianti, Spancrete).

Em muitas situações na prática diária, o comportamento portante de uma laje melhora se as extremidades estiverem tensionadas, em vez de serem colocadas de forma flexível com articulações. Para lajes alveolares protendidas construtivas foi desenvolvida uma solução para otimização da estrutura portante há 20 anos: abrir as extremidades de alguns espaços ociosos, colocar barras de aço e preencher com concreto. A grande maioria dos sistemas de lajes alveolares protendidas construídas atualmente são colocados de forma flexível com articulações.

A abertura de espaços ociosos é mais complicada e nem sempre mais barata do que a solução tradicional.

Agora foi desenvolvida uma solução mais simples com a designação de Grooved Hollowcore. Desse modo, lajes alveolares protendidas tensionadas são inseridas de um modo quase tão simples que as lajes alveolares protendidas tradicionais, mas de modo substancialmente mais barato.

Conceito básico: comportamento portante melhorado obtido facilmente

Com esta abordagem, as lajes alveolares protendidas podem ser produzidas de forma mais econômica, já que a espessura das lajes é reduzida até 20% (e, conseqüentemente, o consumo de concreto baixa de modo correspondente). Assim, as lajes são até 20% mais leves e, como resultado, mais fáceis de transportar e manusear.

A otimização da estrutura portante é obtida mediante duas modificações à prática corrente. Por um lado, as lajes com ranhuras mais profundas são produzidas ao longo de toda a superfície dos elementos de concreto pré-moldado. Isso exige uma máquina adequada (veja "Disponibilidade de máquinas" abaixo). Por outro lado, depois da instalação das lajes no local são colocadas barras de armadura para absorção de torques de flexão negativos diretamente nas lajes (não é necessário



Fig. 1: O sistema Grooved Hollowcore antes da colocação da camada superior de concreto. Detalhes importantes: são colocadas barras de armadura diretamente nas lajes e separadas de modo adequado do apoio, para que o concreto preencha a fenda restante e o torque de flexão possa ser transferido; eventualmente são necessárias tampas, para que os espaços ociosos das lajes alveolares protendidas não fiquem inundados com concreto.



■ O prof. Marc Sanabra-Loewe, doutorado, é professor de Engenharia Civil há 11 anos na Universidade Politécnica em Barcelona, Espanha (UPC - Barcelona Tech). De 2018 a 2019 também foi professor na Universidade do Illinois, em Urbana-Champaign. Há 15 anos que dirige a MASA+Arquitectura, um escritório de arquitetura em Barcelona. O seu trabalho de mestrado e doutorado abordou a otimização de lajes alveolares protendidas. Ele é o inventor de vários sistemas de lajes alveolares protendidas otimizados patenteados do escritório de engenharia espanhol Elastic Potential, S.L., que detém esta patente.

msanabra@elastic-potential.com

qualquer espaçador), sendo depois completadas com, pelo menos, 50 mm da camada superior de concreto habitual (veja a Fig. 1).

Apesar da camada superior de concreto, as lajes Grooved Hollowcore podem ser mais econômicas do que as lajes alveolares protendidas tradicionais sem camada superior de concreto.

Quem lucra com a Grooved Hollowcore?

Todos os agentes da cadeia de valor podem obter vantagens significativas e ganhos com a utilização de Grooved Hollowcore.

Os fabricantes de elementos de concreto pré-moldado podem produzir lajes substancialmente mais finas e com menos armadura. Em média, as lajes podem ser até 20% mais finas do que as tradicionais (em comparação com uma solução padrão com camada superior de concreto) e até 25%

mais finas em comparação com uma solução tradicional sem camada superior de concreto. Também o consumo de aço de protensão baixa em média para até 15%.

Já que as lajes são 20 a 25% mais leves, o seu transporte também é mais econômico.

Se lajes mais finas forem vendidas com o mesmo preço (ou um pouco mais econômico) que o das lajes tradicionais, oferecendo ambas o mesmo desempenho, o fabricante de elementos de concreto pré-moldado pode obter margens adicionais relevantes, o que aumenta substancialmente a rentabilidade.

Estas margens altas já significam que as lajes Grooved Hollowcore muito mais finas podem ser facilmente vendidas abaixo do preço das tradicionais (mais grossas). Nesse processo, porém, os custos adicionais da empresa de construção com a colocação de aço de armadura para a absorção dos torques negativos podem ser compensados.

A empresa de construção por seu lado não lucra somente com um preço mais baixo para as lajes mas também com o fato de as lajes serem mais leves: vigas, pilares e fundações podem ser dimensionados mais pequenos. Uma vez que as lajes são mais finas e as vigas, consequentemente, também podem ser mais planas, a laje estrutural completa é 5 cm (2") a 15 cm (6") mais fina. Assim, a altura de cada piso do edifício pode ser reduzida para este valor. Desse modo, a superfície da fachada também pode ser mais pequena, o que proporciona economias adicionais. Se os custos de construção na Europa (das fachadas) para um edifício fica entre os 500 €/m²



GARANTA

UM ESPÍRITO INOVADOR, KNOW-HOW E TECNOLOGIAS DE SUCESSO PARA O

SEU FUTURO

Nós gostamos de pensar com antecedência – para você. Se dá os primeiros passos ou é um fabricante estabelecido de produtos pré-moldados em concreto. Nós aconselhamos você integralmente e encontramos a solução perfeita e adequada para o seu sucesso. Converse conosco e beneficie-se de um parceiro com muitos anos de experiência, know how internacional e de nosso espírito característico inovador. www.weckenmann.com

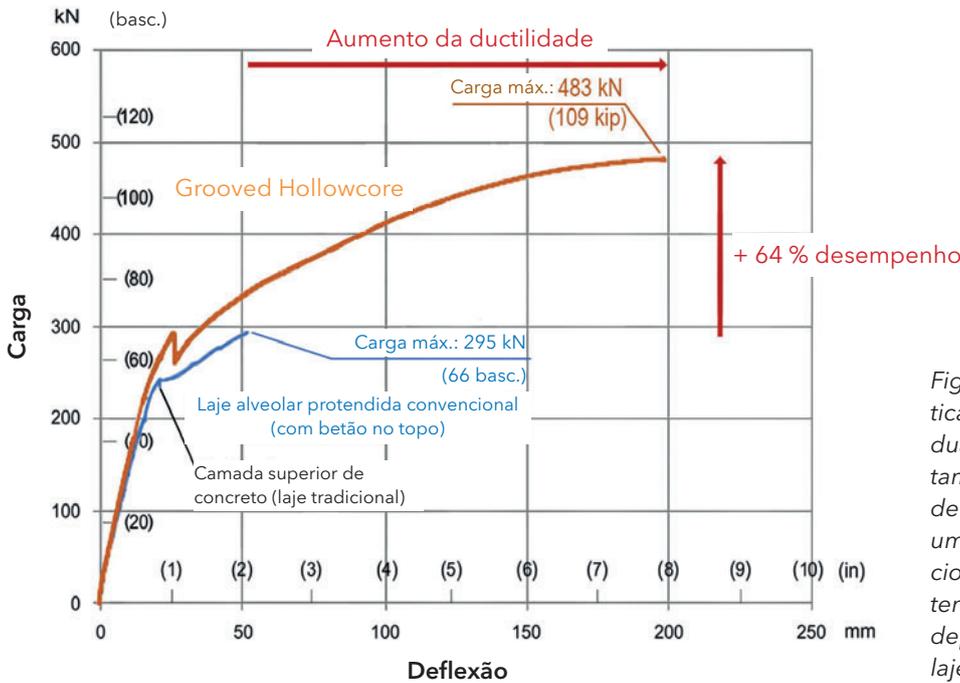


Fig. 2: Diagramas das curvas características da carga de ensaios de carga em duas lajes idênticas com armadura exatamente igual; uma laje é um elemento de laje Groove Hollowcore, a outra é uma laje alveolar protendida convencional. (O ensaio da laje alveolar protendida convencional terminou pouco depois da remoção do concreto, como lajes tradicionais)

até os 1000 €/m², após a soma total a empresa de construção obtém reduções de custos de 2 €/m² a 6 €/m² (cerca de 0,5 % dos custos de todo o pedido). Das reduções reais dos custos para a empresa de construção dependem da redução da espessura da laje, do tipo de fundação (estacas ou fundações) e do preço da fachada por m².

Com a Grooved Hollowcore, os proprietários das obras e os planejadoras do edifício (arquiteto, engenheiro) têm uma série de vantagens. As lajes Grooved Hollowcore da espessura de lajes alveolares protendidas tradicionais conseguem suportar até 25 % mais carga (Fig. 2) ou aumentar o vão em até 25 %. Além disso, oferecem maior liberdade de criação: são possíveis cantilevers; também é possível executar aberturas grandes nas lajes, já que a parte central das lajes cortadas pode funcionar como cantilever a partir do apoio.

As Grooved Hollowcores também são uma vantagem do ponto de vista sísmico, visto possuírem uma massa mais reduzida e uma ductilidade mais elevada da conexão viga-laje, o que reduz o risco de um colapso progressivo. Além disso, o melhor efeito de proteção contra incêndios das lajes pode ser vantajoso, visto que uma parte significativa da armadura de aço (15 % a 50 %) é colocada na seção transversal superior. A armadura na seção transversal superior costuma ser muito menos exposta ao calor provocado por um incêndio (a partir de baixo) [1].

Por fim, as lajes alveolares protendidas Grooved Hollowcore permitem a construção de pisos com 10 % a 15 % menos emissões de CO₂. Este é o resultado do conjunto de um consumo de concreto reduzido em 20 % e de um ligeiro aumento do consumo de aço. Este aumento deve-se à substituição de uma parte do aço de protensão dos elementos pré-moldados por barras de aço colocadas no local de aplicação, que costumam apresentar uma resistência mais reduzida do que o aço de protensão.

Observância de normas atuais

A maioria das normas de construção, como a Eurocode (EC-2) [2] e o manual americano PCI para a concepção de lajes alveolares protendidas [1], aceitam a concepção e a instalação de lajes alveolares protendidas com camada superior de concreto. A solução descrita no início da otimização da estrutura portante mediante a abertura de espaços ociosos já existe há muito tempo.

Por isso, geralmente a nova solução de Grooved Hollowcore é compatível com as normas atuais.

Além disso, a concepção de Grooved Hollowcore considera o princípio da resistência ao cisalhamento horizontal da conexão concreto-concreto (laje alveolar protendida/camada superior de concreto). Também aqui existe uma série de normas (EC-2 [2]; a norte-americana ACI-318 [3]), que podem ser considerados compatíveis com estes princípios: especificações para a resistência ao cisalhamento horizontal da interface concreto-para-concreto.

Grooved Hollowcore torna-se realidade

Uma tecnologia desenvolvida após ensaios abrangentes

A solução aqui apresentada foi desenvolvida em um programa de ensaios completo de 18 meses na Universidad Politécnica de Valencia (UPV) em 2016 e 2017, em Espanha (veja a Fig. 3). Os ensaios foram executados pelo Dr. Pedro Miguel Sosa, professor catedrático de Engenharia Civil, e pelo Dr. Luís Pallarés Rubio, professor associado de Engenharia Civil, sob a supervisão da Elastic Potential (detentora da patente). O principal objetivo do teste era uma solução confiável, que garantisse uma boa conexão entre laje alveolar protendida e camada superior de concreto. O programa abrangeu tanto pequenos ensaios como séries de ensaios médios e também ensaios a grande escala. As variáveis estudadas mais impor-

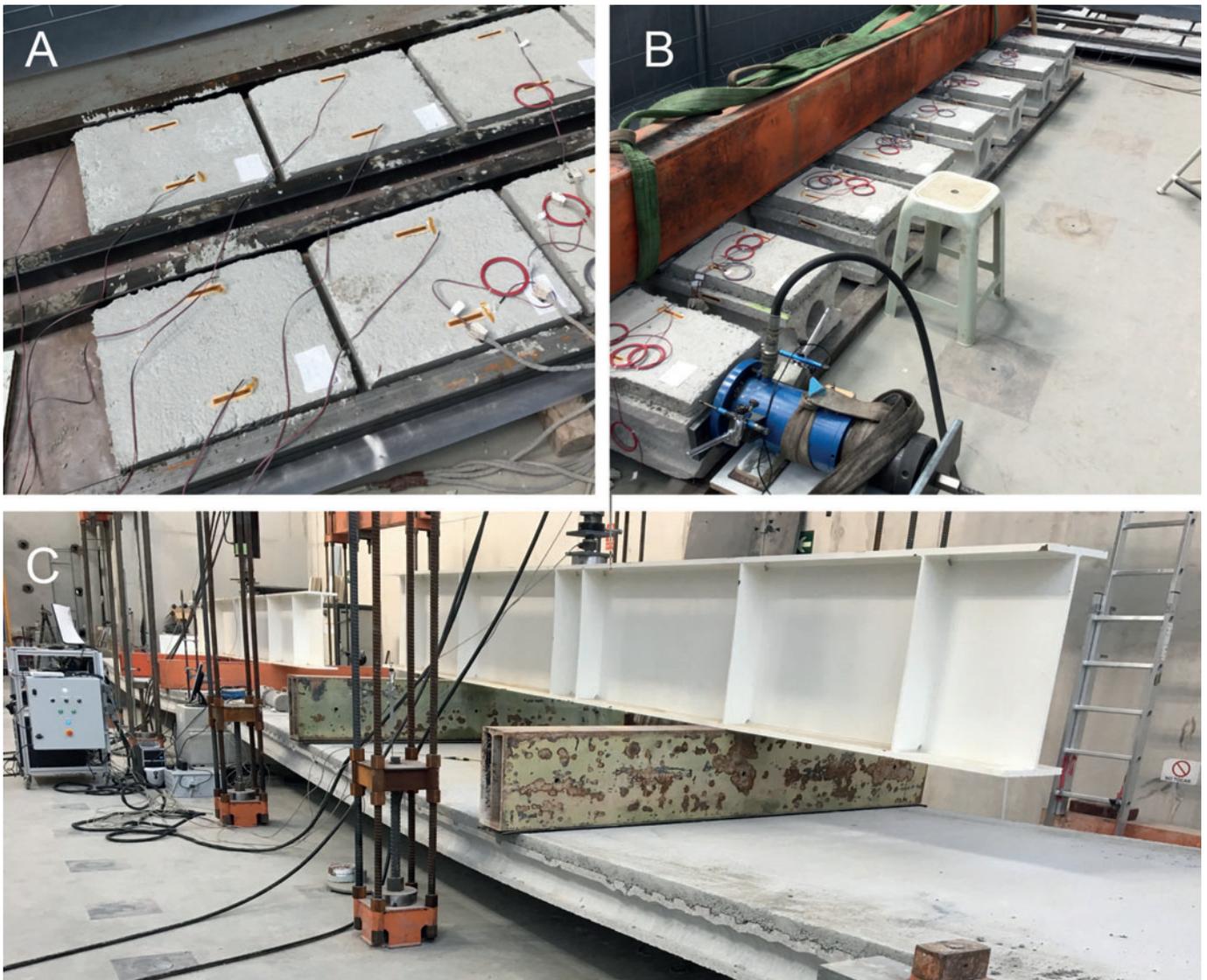


Fig. 3: A. Ensaio sobre contrações isentas de pressão em amostras de camadas superiores de concreto de diferentes composições de concreto; B. Verificações à resistência ao cisalhamento horizontal em pequenas amostras; C. Teste à escala original (com carga intensa) em uma laje de duas partes (com apoio no meio) com Grooved Hollowcore.

tantes foram: geometria e rugosidade da interface; idade de ambos os concretos (elemento pré-moldado e camada superior de concreto); e tamanho das amostras. Uma das conclusões mais importantes da pesquisa foi que a diferente velocidade e dimensão da contração do concreto em lajes alveolares protendidas e camada superior de concreto, a denominada contração diferencial, reduz significativamente a resistência ao cisalhamento horizontal da conexão. Este efeito pode conduzir a uma desagregação da camada superior de concreto logo com uma carga muito reduzida. Isso acontece especialmente se as taxas de contração na laje forem altas (p. ex., se a laje já tinha alguns meses quando a camada superior de concreto foi aplicada) ou se a camada superior de concreto se retrair fortemente (p. ex., relação elevada água-cimento na camada superior de concreto, temperatura elevada no local de aplicação, etc.). Estes resultados correspondem aos resultados dos ensaios e às conclusões de outros autores [4] [5] [6].

O Model Code [7] da Fédération International du Béton - fib, também refere que em determinadas estruturas a contração

diferencial tem de ser considerada para garantir a resistência das conexões concreto-concreto. No que diz respeito aos resultados, os ensaios foram executados com as superfícies mais diferentes do lado de cima da laje: escovada moderadamente lisa (como da instalação de produção), com orifícios profundos isolados na superfície da laje e, por fim, com ranhuras profundas diferentes à superfície da laje. Apenas com uma solução não se verificaram quaisquer impactos da contração diferencial e, conseqüentemente, uma resistência confiável e previsível. Uma solução com ranhuras profundas (20 mm), distribuída por toda a superfície da laje. Esta solução permite uma conexão confiável entre a camada superior de concreto e o elemento pré-moldado. Essa confiabilidade foi comprovada pelo fato de a conexão falhar com quebra de cisalhamento da camada superior de concreto ou das lajes alveolares protendidas (falha previsível, dependente de poucas variáveis: geometria e resistência do concreto). Em todas as outras conexões estudadas, a camada superior de concreto separou-se do concreto da laje. Esta é uma falha em uma interface muito imprevisível, que é muito mais difícil de prever,

já que depende de muitos mais fatores (presença de umidade, água ou sujeira na interface, contração diferencial, velocidade de cura, etc.)

Os resultados dos ensaios estão sendo preparados para publicação em revistas científicas.

Reação de fabricantes de elementos de concreto pré-moldado

A Elastic Potential introduziu a tecnologia nos últimos meses em cerca de 20 fabricantes de elementos de concreto pré-moldado na Europa (Espanha, Itália, França, Bélgica) e nos EUA. A grande maioria dos fabricantes de elemento de concreto pré-moldado mostrou verdadeiro interesse nesta tecnologia. Eles viram que é muito fácil de manusear e pode proporcionar margens substancialmente melhores. Destes, aproximadamente dois terços decidiram verificar em detalhe se as reduções de custos supramencionadas são de fato realistas em casos específicos. Para o efeito, selecionaram uma série de projetos que planejaram e construíram nos últimos tempos, e pediram à Elastic Potential que os planejasse de novo com Grooved Hollowcore, de modo a comprovar a diferença. Todos os projetos planejados de novo até à data, conforme o supramencionado, proporcionaram reduções nos custos. Por exemplo, no estudo atual, para projetos atuais na Europa, considerando um preço de venda médio das lajes de 25 a 40 €/m², resultaram reduções de custos de 3 €/m² (para vãos curtos e cargas reduzidas) a 10 €/m² (para vãos longos e cargas elevadas). A carga e o vão exercem uma influência significativa sobre o resultado: Quanto maiores forem o vão e a carga, maiores serão as reduções dos custos praticáveis. Por fim, 90 % das empresas que estudaram os projetos de modo detalhado pediram ofertas para máquinas e estão pensando em um investimento. Com base nos preços atuais das máquinas, todos os estudos de amortização resultaram em períodos de amortização de menos de um ano.

Disponibilidade das máquinas

A Elastic Potential considera prioritário que estejam disponíveis máquinas suficientes para produzir uma laje destas em série. Por isso, a Elastic Potential trabalha em conjunto com fornecedores líderes de máquinas de todo o mundo. Todos eles consideram a Grooved Hollowcore uma opção interessante para os seus clientes.

Atualmente o fornecedor de máquinas Prensoland consegue fornecer máquinas novas para a produção de Grooved Hollowcore ou executar modificações em máquinas existentes, de modo a produzirem este tipo de lajes conforme as especificações da Elastic Potential.

A Echo Precast Engineering e a UltraSpan (Progress Group) ainda se encontram na fase de desenvolvimento ou estão produzindo protótipos de máquinas que, provavelmente, serão comercializadas no início de 2020.

A Elematic já possui uma máquina para o corte de ranhuras em lajes alveolares protendidas e, atualmente, está trabalhando na adaptação dela aos requisitos da Grooved Hollowcore (provavelmente no início de 2020). Além disso, a Elematic está pensando em desenvolver uma máquina que permita a extrusão direta de lajes já com ranhuras, se surgir um pedido correspondente. A Nordimpianti possui uma máquina

que consegue cortar ranhuras nas lajes alveolares protendidas, que foram previamente produzidas em uma extrusora, uma moldadora deslizante ou uma máquina de fluo-torneamento. A Nordimpianti executará as adaptações necessárias em sua máquina de ranhuras, assim que for feito um pedido de produção.

A Spancrete está verificando o interesse pela Grooved Hollowcore por parte de seus clientes e está oferecendo alterações nas máquinas para que estas possam atender a estes requisitos.

A Elastic Potential solicitará a qualquer fornecedor de máquinas que pretenda oferecer uma máquina para a produção de Grooved Hollowcore que passe por um processo de validação das suas máquinas. Este é composto de uma série de testes laboratoriais às lajes que forem produzidas com estas máquinas. Estes testes verificam se as lajes cumprem determinados requisitos mínimos, de modo a serem aceitas como lajes Grooved Hollowcore.

O que é necessário para implementar Grooved Hollowcore?

Em primeiro lugar, um fabricante de elementos de concreto pré-moldado querera verificar se as economias aqui descritas se aplicam no seu caso. Para o efeito, é possível entrar em contato com a Elastic Potential, selecionar e enviar 2 ou 3 projetos padrão, que depois são estudados. A Elastic Potential planeja novamente os projetos-padrão (gratuitamente) e reenvia-os para o fabricante de elementos de concreto pré-moldado, que depois pode avaliar as possíveis reduções de custos em produção e transporte e as suas possíveis margens adicionais. Além disso, o fabricante de elementos de concreto pré-moldado tem de solicitar um estudo de amortização ao seu fornecedor de máquinas. Assim que um fabricante de elementos de concreto pré-moldado tiver optado por Grooved Hollowcore, ainda tem de fazer três coisas:

a) aprender como se planeja, calcula e constrói com as novas lajes (manual da Elastic Potential); b) acordar o uso da tecnologia (incluindo a patente [8]) com a Elastic Potential; c) adquirir uma máquina validada pelo fornecedor preferido. ■

Fontes

- [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.