

## **Adatlap<sup>1</sup> témahirdetési javaslatához a Csonka Pál Doktori Iskola Tanácsa részére**

**Témavezető<sup>2</sup>** neve: Várkonyi Péter László  
e-mail címe<sup>3</sup>: [varkonyi.peter@epk.bme.hu](mailto:varkonyi.peter@epk.bme.hu)

**Téma** címe (magyar és angol nyelven):

Structural behavior of interconnected high-rise buildings  
Összekapcsolt magasházak szerkezeti viselkedése

A **téma** rövid leírása<sup>4</sup> (magyar és angol nyelven):

A magasházak karcsú, konzolszerű geometriája kedvező a függőleges terhek viselése szempontjából, de a vízszintes statikus és dinamikus terhekre nem különösebben hatékony. A kutatás célja annak vizsgálata, hogy a magasházak összekapcsolása rúdszerű elemekkel hogyan növelheti a szerkezeti hatékonyságukat. A kérdést néhány épületből kialakított együttesektől városi léptékű szerkezeti hálózatokig vizsgálhatjuk. Elsősorban tartószerkezeti kérdésekre fókuszálunk, noha a magasházakból kialakított megastruktúrák nagyon komoly jogi, urbanisztikai és építészeti kérdéseket vetnek fel. Néhány összekapcsolt épületből álló rendszerek dinamikus viselkedését korábban is vizsgálták, a javasolt kutatás fő újdonsága az, hogy olyan egyszerű szerkezeti modelleket fogunk fejleszteni, melyek segítségével sok épületből álló nagy léptékű szerkezethálózatok viselkedése is vizsgálhatóvá válik. A kutatás része az épületet érő terhek (pl. szél okozta periodikus örvényleválás), és az épület dinamikus válaszáinak modellezése, valamint különböző kapcsolati tipológiák összehasonlítása.

The slender, cantilever-like geometry of high-rise buildings is favorable for vertical loads, but not particularly effective for horizontal static and dynamic loads. The aim of this research is to investigate how connecting high-rise buildings with rod-like elements can increase their structural efficiency. The focus of the research ranges from a few buildings to urban-scale structural networks. We investigate primarily structural issues, although megastructures composed of high-rise buildings raise very serious legal, urbanistic and architectural issues. The dynamic behavior of systems of a few linked buildings

---

<sup>1</sup> Az adatlapot aláírva és szkennelve a Doktori Iskola titkárának (Fehér Eszter, [feher.eszter@epk.bme.hu](mailto:feher.eszter@epk.bme.hu)) kell eljuttatni elektronikusan. A témahirdetés elfogadása esetén az adatlap felkerül a Csonka Pál Doktori Iskola (<http://cspdi.bme.hu/felveteli/temahirdetesek>), a témahirdetés rövid leírása pedig az Országos Doktori Tanács (<http://www.doktori.hu/>) honlapjára.

<sup>2</sup> A témahirdetés elfogadása automatikusan a témavezető akkreditációját is jelenti az azévi felvételi eljáráshoz.

<sup>3</sup> Kérjük, olyan elérhetőséget adjon meg, ahová biztonsággal küldhetünk hivatalos értesítéseket.

<sup>4</sup> A téma rövid leírása (szóközökkel) 1000-3000 leütés hosszú. A jelentkező hallgatókat bővebben tájékoztató változatot, (mely a téma fent megadott releváns nemzetközi irodalmára tételesen hivatkozik) kérjük a mellékletben megadni.

has been studied before, the main novelty of this research proposal lies in that we will develop simple structural models that allow to study the behavior of large-scale structural networks of many buildings. The research will include the development of models for the loads (e.g. periodic wind-induced vortex shedding), and of the dynamic response of the building, as well as the comparison of different connection typologies.

A **téma** meghatározó irodalma<sup>5</sup>:

- Kim, Bubryur, and Kam Tim Tse. "POD analysis of aerodynamic correlations and wind-induced responses of two tall, linked buildings." *Engineering Structures* 176 (2018): 369-384.
- Abbood, Imad Shakir, et al. "Seismic response analysis of linked twin tall buildings with structural coupling." *International Journal of Civil Engineering and Technology* 9.11 (2018): 208-219.
- Kim, Bubryur, et al. "Investigation of flow visualization around linked tall buildings with circular sections." *Building and Environment* 153 (2019): 60-76.
- Memon, Shazim Ali, et al. "Emerging trends in the growth of structural systems for tall buildings." *Journal of Structural Integrity and Maintenance* 5.3 (2020): 155-170.
- Feng, Maria Q., and Akira Mita. "Vibration control of tall buildings using mega subconfiguration." *Journal of Engineering Mechanics* 121.10 (1995): 1082-1088.
- Jafari, Mohammad, and Alice Alipour. "Methodologies to mitigate wind-induced vibration of tall buildings: A state-of-the-art review." *Journal of Building Engineering* 33 (2021): 101582.

A **téma** hazai és nemzetközi folyóiratai<sup>6</sup>:

- Engineering structures
- International Journal of Solids and Structures
- Nonlinear Dynamics
- Journal of Engineering Mechanics
- Journal of the Mechanics and Physics of Solids

A **témavezető** fenti folyóiratokban megjelent 5 közleménye:

- Riaño, Andrés F. Guerra, and Péter L. Várkonyi. "Structural form finding using the Stress Density Method: Well-posedness and convergence of numerical solutions." *International Journal of Solids and Structures* 309 (2025): 113156.
- Sipos, András A., and Péter L. Várkonyi. "A unified morphoelastic rod model with application to growth-induced coiling, waving, and skewing of plant roots." *Journal of the Mechanics and Physics of Solids* 160 (2022): 104789.

---

<sup>5</sup> Minimum 5, maximum 10 cikket vagy monográfiát kérünk felsorolni, amik között feltétlenül szerepelnie kell a legfrissebb, legismertebb eredményeknek.

<sup>6</sup> Minimum 5, maximum 10 folyóirat megadását kérjük, melyek között feltétlenül szerepelnie kell a PhD fokozatszerzés szempontjából elengedhetetlen (Web of Science, Scopus) minősítésű idegen nyelvű folyóiratoknak is. Kérjük, ezeket a periodikákat a felsorolásban jelölnék meg.

- Várkonyi, Péter L., Márton Kocsis, and Tamás Ther. "Rigid impacts of three-dimensional rocking structures." *Nonlinear Dynamics* 107.3 (2022): 1839-1858.
- Horváth, Marcell G., András A. Sipos, and Péter L. Várkonyi. "Shape of an elastica under growth restricted by friction." *International Journal of Solids and Structures* 156 (2019): 137-147.
- Varkonyi, Peter L., and Yizhar Or. "Lyapunov stability of a rigid body with two frictional contacts." *Nonlinear dynamics* 88 (2017): 363-393.

A **témavezető** utóbbi tíz évben megjelent 5 legfontosabb publikációja:

- Várkonyi, Péter L., Julie E. Laity, and Gábor Domokos. "Quantitative modeling of facet development in ventifacts by sand abrasion." *Aeolian research* 20 (2016): 25-33.
- Champneys, Alan R., and Péter L. Várkonyi. "The Painlevé paradox in contact mechanics." *IMA Journal of Applied Mathematics* 81.3 (2016): 538-588.
- Sipos, András A., and Péter L. Várkonyi. "The longest soft robotic arm." *International Journal of Non-Linear Mechanics* 119 (2020): 103354.
- Sipos, András A., and Péter L. Várkonyi. "A unified morphoelastic rod model with application to growth-induced coiling, waving, and skewing of plant roots." *Journal of the Mechanics and Physics of Solids* 160 (2022): 104789.
- Várkonyi, Péter L., Márton Kocsis, and Tamás Ther. "Rigid impacts of three-dimensional rocking structures." *Nonlinear Dynamics* 107.3 (2022): 1839-1858.

A **témavezető** eddigi doktoranduszai<sup>7</sup>:

(név/felvétel éve/abszolutórium megszerzésének éve/PhD fokozat éve)

- Baranyai Tamás 2015/2018/2019
- Mehmet Köhserli 2019/-/-
- Andres Felipe Guerra Riano 2021/-/-
- Szesztay Ágoston 2023/-/-

Melléklet: a téma bővebb leírása (magyar és angol<sup>8</sup> nyelven)

Budapest, 2025 01.27

Témavezető aláírása

---

<sup>7</sup> Kérjük, a témavezetési tevékenységre vonatkozó adatokat abban az esetben is adja meg, ha témavezetőként a DI már korábban akkreditálta.

<sup>8</sup> A téma bővebb leírása angol nyelven csak akkor szükséges, ha a témavezető vállalja külföldi hallgató fogadását.

# **Structural behavior of interconnected high-rise buildings**

PhD project proposal

supervisor: Peter L. Varkonyi

Budapest University of Technology and Economics

Highrise buildings are iconic elements of contemporary urban landscapes. Increasing the height of buildings is often a necessary consequence of growing population densities in urban areas. At the same time, tall buildings often have high environmental impacts. The extreme material usage and carbon footprint of the (in)famous residential “Pencil towers” of Manhattan demonstrate that the structural material needed in high-rise buildings strongly correlates with their slenderness, i.e. height to width ratio. Hence, by increasing the effective widths of those buildings, more economical and sustainable solutions are achieved. At the same time, the width of buildings is often limited by architectural requirements (like access to natural light) as well as by the geometric limitations of parcel structures. Establishing structural connections between adjacent buildings has a high potential to improve structural behavior. This observation is our main motivation to investigate linked towers as well as large-scale structural networks.

There exist examples of relatively large network of non-structural connections between buildings, which provide space for circulation (Wood and Safarik, 2019) such as the Sky-walk system in Minneapolis or the Linked Hybrid complex in Beijing. In addition, there exist research studies (Huang et al, 2001, Luong and Kwok, 2012, Wang et al., 2020, Zhu et al., 2020) and a few real-world examples of pairs or small groups of high-rise buildings with structural connections as for example the Marina Bay Sands complex in Singapore. At the same time, urban-scale structural networks never reached realization despite the popularity of post-war architectural utopias (Banham, 2020). Even the theoretical structural investigation of such systems has received little scientific attention. As a notable exception, the behavior of large grid-like networks with various types of connections, under static loads and earthquakes is investigated by McCall and Balling (2017).

The aim of this research is to investigate the benefits of structural connections among high-rise buildings from a structural engineer’s perspective. Motivated by promising preliminary results of a recent toy model (Köhserli and Várkonyi, 2022), we aim to continue explorations of this idea. In particular, the goals of the PhD research are to

- (1) develop simple mechanical models of high-rise buildings such as cantilevered rods or discrete multi degree-of-freedom oscillators (see Takabatake, 2012), which allow us to study large collections of linked buildings with reasonable computational cost but allow to include key features of the building such as variable diameter, and other geometric features affecting vortex shedding.
- (2) develop simple models of dynamic loads. We aim to focus on the periodic excitation of buildings due to vortex shedding in windy conditions as vortex-induced vibration (Williamson et al., 2004) appears to be a critical factor in the design of tall buildings (Irwin, 2010). The aim is to avoid the computational burden of detailed CFD (computational fluid dynamics) models, but at the same time to capture key characteristics of vortex-induced vibration such as the dependence of frequency on wind speed, the lock-in resonance phenomenon as well as the spatial variation of vortex dynamics along a high tower.
- (3) compare the structural behaviors induced by various connection typologies (horizontal bridge-like connection at a single height or at multiple heights, truss like diagonal connections)
- (4) study the effect of network size
- (5) identify and offer solutions for the engineering challenges associated with large structures (e.g. stress induced by incompatible heat expansion).

The expected theoretical results of the research project will

- (1) enable more efficient conceptual design of small groups of linked buildings
- (2) serve as a starting point of an interdisciplinary research program regarding novel urban development strategies encouraging the creation of large-scale interconnected structural systems.

## References

- Banham, Reyner. *Megastructure: urban futures of the recent past*. The Monacelli Press, LLC, 2020.
- Huang, Kerson, Bingnan Sun, and Wenjuan Lou. "Influence of the connection stiffness on seismic response of the double-tower connected tall buildings." *Journal of Building Structures* 3 (2001).
- Irwin, Peter A. "Vortices and tall buildings: A recipe for resonance." *Physics Today* 63.9 (2010): 68-69.
- Köhserli, Mehmet, and Péter L. Várkonyi. "The Effect of Connecting Bridges on Vortex-induced Vibration of Skyscrapers." *Architecture and Architectonics* 50.1-2 (2022): 1-16.
- Luong, Andrew, and Michael Kwok. "Finding structural solutions by connecting towers." *CTBUH Journal* 3 (2012): 26-31.
- McCall, Amy J., and Richard J. Balling. "Structural analysis and optimization of tall buildings connected with skybridges and atria." *Structural and multidisciplinary optimization* 55 (2017): 583-600.
- Takabatake, Hideo. "A simplified analytical method for high-rise buildings." *Advance in Vibration Engineering and Structural Dynamics* (2012): 235-283.
- Wang, Qinhua, et al. "Seismic response control of adjacent high-rise buildings linked by the Tuned Liquid Column Damper-Inerter (TLCDI)." *Engineering Structures* 223 (2020): 111169.
- Williamson, Charles HK, and R. Govardhan. "Vortex-induced vibrations." *Annu. Rev. Fluid Mech.* 36.1 (2004): 413-455.
- Wood, Antony, and Daniel Safarik. "Skybridges: A history and a view to the near future." *International Journal of High-Rise Buildings* 8.1 (2019): 1-18.
- Zhu, Zhiwen, et al. "Study on wind-induced vibration control of linked high-rise buildings by using TMDI." *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 205 (2020): 104306.

# Összekapcsolt magasházak szerkezeti viselkedése

PhD kutatási témajavaslat

témavezető: Várkonyi Péter László

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

A magasházak a kortárs nagyvárosok ikonikus elemei. Az épületek magasságának növekedése a városi területek növekvő népsűrűségének szükségszerű következménye. Ugyanakkor a magas épületek létesítése gyakran nagy környezeti hatásokkal jár. A manhattani extrém karcsú „Ceruza-felhőkarcoló” rendkívül magas anyagfelhasználása és szén-dioxid-kibocsátása azt mutatja, hogy a magas épületek szerkezeti anyagigénye erősen korrelál a karcsúságukkal, azaz a magasság és szélesség arányával. Ezért az ilyen épületek tényleges szélességének növelésével gazdaságosabb és fenntarthatóbb megoldások érhetőek el. Ugyanakkor az épületek szélességét gyakran építészeti követelmények (például a természetes bevilágítás igénye), valamint a telekstruktúrák geometriai kötöttségei korlátozzák. A szomszédos épületek közötti szerkezeti kapcsolatok létrehozása ezért komoly lehetőséget jelent a szerkezeti viselkedés javítására. Ez a megfigyelés a fő motivációja az összekapcsolt tornyok, valamint nagyméretű szerkezeti hálózatok vizsgálatának.

Léteznek példák az épületek közötti viszonylag nagy kiterjedésű, nem szerkezeti kapcsolatok hálózatára, amelyek közlekedési funkcióval bírnak (Wood és Safarik, 2019). Ilyen például a Sky-walk hálózat Minneapolisban vagy a pekingi Linked Hybrid Complex. Emellett jó néhány kutató vizsgálta (Huang et al., 2001, Luong és Kwok, 2012, Wang et al., 2020, Zhu et al., 2020) összekapcsolt magas épületepárok vagy kisebb csoportok szerkezeti viselkedését, és néhány megépült példát is ismerünk ezekre, mint például a Marina Bay Sands épületkomplexum Szingapúrban. Ugyanakkor a városi léptékű szerkezeti hálózatok a világháború utáni építészeti utópiák népszerűsége ellenére sem jutottak el a megvalósulásig (Banham, 2020). Még az ilyen rendszerek elméleti szintű vizsgálata is kevés figyelmet kapott a tudományos közösségekben. Figyelemre méltó kivételként McCall és Balling (2017) különböző típusú kapcsolatokkal rendelkező nagyméretű rácsszerű hálózatok viselkedését vizsgálja statikus terhelések és földrengések esetén

A kutatási program célja, hogy a magasépületek közötti szerkezeti kapcsolatok előnyeit szerkezetmérnöki szempontból vizsgálja. A célunk egy nemrégiben készült egyszerű modell ígéretes előzetes eredményeit folytatva (Köhserli és Várkonyi, 2022) ennek az elképzelésnek a részletesebb vizsgálata. A doktori kutatás fő céljai a következők

- (1) egyszerű mechanikai modellek (pl. rúdmodellek vagy diszkrét, több szabadsági fokú oszcillátorok (Takabatake, 2012)) kidolgozása, amelyek lehetővé teszik, hogy ésszerű számítási igény mellett vizsgáljuk az összekapcsolt épületek nagy léptékű hálózatait, ugyanakkor lehetővé teszik az épületek kulcsfontosságú jellemzőinek, például a változó átmérőnek és az örvényleválást befolyásoló egyéb geometriai jellemzőknek a figyelembevételét.
- (2) a dinamikus terhek egyszerű modelljeinek kidolgozása. Fő célunk, hogy az épületek szél okozta örvényleválás során létrejövő periodikus gerjesztését vizsgáljuk, mivel az örvényleválás okozta rezgés (Williamson et al., 2004) gyakran a magas épületek tervezésének legkritikusabb kérdése (Irwin, 2010). A célunk ismét az, hogy elkerüljük a CFD (computational fluid dynamics) modellek jelentős számítási igényét, ugyanakkor megragadjuk az örvénylés okozta rezgés kulcsfontosságú jellemzőit, mint például a frekvencia szélességtől való függését, a szerkezeti lengés és az örvényleválás szinkronizációját (lock-in), valamint az örvények dinamikájának térbeli változását a magas torony mentén.
- (3) összehasonlítani a különböző kapcsolási tipológiák (vízszintes hídszerű kapcsolat egyetlen vagy több szinten, rácsos tartó szerű diagonális kapcsolatok) által kiváltott szerkezeti viselkedést.
- (4) tanulmányozni a szerkezeti hálózatok méretének hatását

(5) azonosítani és megoldásokat kínálni a nagy szerkezetekkel kapcsolatos mérnöki kihívásokra (pl. inkompatibilis hőtágulás).

A kutatási projekt várható elméleti eredményei

- (1) lehetővé teszik az összekapcsolt épületek kis csoportjainak hatékonyabb koncepcionális tervezését
- (2) a nagyléptékű összekapcsolt szerkezeti rendszerek létrehozását ösztönző újszerű városfejlesztési stratégiákkal kapcsolatos interdiszciplináris kutatási program kiindulópontjai lehetnek.

## Hivatkozások

- Banham, Reyner. *Megastructure: urban futures of the recent past*. The Monacelli Press, LLC, 2020.
- Huang, Kerson, Bingnan Sun, and Wenjuan Lou. "Influence of the connection stiffness on seismic response of the double-tower connected tall buildings." *Journal of Building Structures* 3 (2001).
- Irwin, Peter A. "Vortices and tall buildings: A recipe for resonance." *Physics Today* 63.9 (2010): 68-69.
- Köhserli, Mehmet, and Péter L. Várkonyi. "The Effect of Connecting Bridges on Vortex-induced Vibration of Skyscrapers." *Építés- és Építészettudomány* 50.1-2 (2022): 1-16.
- Luong, Andrew, and Michael Kwok. "Finding structural solutions by connecting towers." *CTBUH Journal* 3 (2012): 26-31.
- McCall, Amy J., and Richard J. Balling. "Structural analysis and optimization of tall buildings connected with skybridges and atria." *Structural and multidisciplinary optimization* 55 (2017): 583-600.
- Takabatake, Hideo. "A simplified analytical method for high-rise buildings." *Advance in Vibration Engineering and Structural Dynamics* (2012): 235-283.
- Wang, Qinhua, et al. "Seismic response control of adjacent high-rise buildings linked by the Tuned Liquid Column Damper-Inerter (TLCDI)." *Engineering Structures* 223 (2020): 111169.
- Williamson, Charles HK, and R. Govardhan. "Vortex-induced vibrations." *Annu. Rev. Fluid Mech.* 36.1 (2004): 413-455.
- Wood, Antony, and Daniel Safarik. "Skybridges: A history and a view to the near future." *International Journal of High-Rise Buildings* 8.1 (2019): 1-18.
- Zhu, Zhiwen, et al. "Study on wind-induced vibration control of linked high-rise buildings by using TMDI." *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 205 (2020): 104306.