

Sustainable behaviour of buildings with steel-intensive façade systems
- Comportarea sustenabilă a clădirilor cu sisteme metalice de fațadă -

Teză de doctorat – Rezumat

pentru obținerea titlului științific de doctor la

Universitatea Politehnica Timișoara

în domeniul de doctorat Inginerie Civilă și Instalații

autor ing. Raluca Ioana LEGIAN (căs. BUZATU)

conducător științific Prof.univ.dr.ing. Liviu Adrian CIUTINA

luna Octombrie anul 2023

Prezenta teză de doctorat cuprinde 7 capitole, 216 pagini, 29 de tabele, 147 de figuri și diagrame, și 190 de titluri bibliografice. Scopul acesteia este de a evalua comportamentul sistemelor metalice de fațadă, dintr-o perspectivă durabilă prin 1) evaluarea impactului asupra mediului al sistemelor metalice de fațadă printr-o analiză pe ciclul de viață și 2) realizarea unei înțelegeri mai profunde a comportamentului casetelor structurale sub efectul dinamic al încărcărilor din vânt.

Capitolul 1: Introducere

A fost introdus subiectul de cercetare, evidențiind sfera și obiectivele tezei. În plus, a fost oferită o imagine de ansamblu asupra structurii tezei.

Capitolul 2: Stadiul actual de cunoaștere

Al doilea capitol prezintă stadiul actual de cunoaștere privind propunerile legislative, cadrele și principiile pentru acțiunile climatice care au impact asupra sectorului construcțiilor, precum și impactul asupra mediului al sectorului construcțiilor. Preocupările globale cu privire la impactul asupra mediului și consecințele acestuia au crescut în ultimele trei decenii, presând industriile să-și examineze critic practicile și contribuția lor la amprenta ecologică generală. Sectorul construcțiilor a devenit un contribuitor semnificativ la deteriorarea mediului din cauza consumului extins de energie, extracției și prelucrării de materii prime, precum și generării de deșeuri. Sectorul construcțiilor are potențialul de a-și reduce impactul asupra mediului prin două metode: prin reducerea amprentei de carbon încorporate clădirilor și prin reducerea consumului de energie în faza de utilizare a clădirilor. Amprenta de carbon încorporată clădirii este cauzată de extracția materiilor prime, fabricarea materialelor de construcții, transportul materialelor de construcții, energia utilizată în timpul procesului de construcție, consumul de energie aferent procesului de demolare/dezasamblare, transportul de deșeuri din construcții, procesul de sortare a deșeurilor din construcții și eliminarea acestora. Amprenta de carbon încorporată clădirilor poate fi redusă prin cele trei abordări R – reducerea, reutilizarea, reciclarea materialelor de construcții și prin utilizarea unor materiale de construcții din surse regenerabile. Emisiile legate de energia consumată în faza de exploatare a clădirilor reprezintă ponderea cea mai mare a emisiilor asociate clădirilor raportate pe parcursul ciclului de viață al unei construcții. Acest lucru evidențiază nevoia urgentă de îmbunătățire a performanței clădirilor pe durata lor de viață, performanță care este direct legată de performanța anvelopei construcțiilor.

Capitolul oferă, de asemenea, o perspectivă asupra comportamentului structural al casetelor structurale supuse încărcărilor din vânt. Printre soluțiile de sisteme de fațadă, fațadele pe bază de casete structurale din oțel au apărut ca o tehnologie promițătoare, care are potențialul de a transforma peisajul construcțiilor industriale. În acest capitol sunt subliniate avantajele

testelor experimentale asupra încărcărilor din vânt efectuate într-o cameră de vacuum, un test experimental de pionierat realizat în România pentru casete structurale supuse solicitărilor din vânt.

Capitolul 3: Încercări experimentale ale casetelor structurale supuse încărcărilor din vânt

Al treilea capitol prezintă un calcul al valorilor de proiectare ale casetelor structurale în soluțiile de fațadă supuse încărcărilor orizontale din vânt urmând procedura recomandată de Standardul European (EN). De asemenea, studiul de cercetare prezentat în capitolul trei a investigat comportamentul structural al casetelor structurale din oțel sub caracterul dinamic al încărcării induse de vânt. Diferite configurații de testare ale casetelor structurale (casete structurale simple, cu și fără închidere din tablă cutată, casete structurale rigidizate cu și fără închidere din tablă cutată) au fost testate, într-o cameră de vacuum, pentru a le determina momentul de încovoiere capabil în condiții reale de utilizare. Rezultatele testelor au fost împărțite în două grupe în funcție de tipul de încărcare a vântului, și anume presiune și suucțiune. În cadrul fiecărui grup au fost descrise rezultatele testelor, observându-se locul și natura zonelor de cedare. Rezultatele testelor experimentale au fost comparate cu valorile de proiectare obținute în urma procedurii recomandate de EN.

Capitolul 4: Investigații numerice asupra casetelor structurale

Au fost realizate studii numerice ample pentru a obține o înțelegere mai profundă a efectului dinamic al încărcărilor din vânt asupra comportamentului sistemului metalic de fațadă. Capitolul patru prezintă rezultatele a două seturi de simulări numerice efectuate: (1) două modele calibrate pentru a reproduce comportamentul experimental al casetelor structurale în analiza cu elemente finite post-test: un model care simulează comportamentul casetelor structurale simple-deschise supus presiunii vântului și un alt model care reflectă comportamentul casetelor structurale simple-deschise supuse suucțiunii vântului; (2) studiul influenței parametrilor precum grosimea, înălțimea inimii și schema statică/lungimea casetelor asupra casetelor structurale supuse presiunii și suucțiunii vântului.

Capitolul 5: Impactul asupra mediului al construcțiilor cu sisteme metalice de fațadă

În capitolul 5 a fost prezentată evaluarea impactului asupra mediului al sistemelor metalice de fațadă din perspectiva evaluării pe ciclul de viață, printr-o evaluare comparativă a diferitelor structuri industriale din oțel. Pornind de la un caz optim de proiectare a unei hale industriale cu un singur nivel, luând în considerare o structură nouă de oțel realizată cu materiale noi, capitolul cinci prezentată o evaluare comparativă a ciclului de viață a posibilităților de proiectare a structurilor pentru aceeași clădire din oțel folosind elemente reutilizate. Au fost prezentate fezabilitatea structurală și beneficiile de mediu ale unei strategii de construcție bazate pe abordarea economiei circulare. Rezultatele cercetării prezentate în capitol sunt, de asemenea, completate de o analiză comparativă pe ciclu de viață al clădirilor industriale care au fațade din sisteme bazate pe casete structurale și fațade din sisteme bazate panouri sandwich.

Capitolul 6: Concluzii. Contribuții ale autorului. Direcții viitoare de cercetare

Capitolul final oferă o imagine de ansamblu asupra concluziilor desprinse din studiul de cercetare doctorală, evidențiază principalele contribuții aduse de autor, discută despre diseminarea rezultatelor și schițează activitățile viitoare de cercetare.

Anexe

În cadrul anexei sunt furnizate informații suplimentare cu privire la specificul speciimenelor casetelor structurale în urma testelor experimentale efectuate.

Referințe bibliografice

- [1] M. J. Roberts, J. M. Davies, and Y. C. Wang, "Modern cladding systems for big sheds: The emerging state of the art," *Thin-Walled Structures*, vol. 175, p. 109264, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.tws.2022.109264.
- [2] Kingdom Standing Committee on Structural Safety, "Effects of scale." [Online]. Available: <https://www.cross-safety.org/uk/safety-information/cross-safety-alert/effects-scale>
- [3] O. Kaitila, "Web Crippling Of Cold-Formed Thin-Walled Steel Cassettes", [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/80701469.pdf>
- [4] European Commission, "The Habitats Directive." https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/habitats-directive_en (accessed Aug. 25, 2023).
- [5] European Commission, "Single-Use Plastics Directive." EUR-Lex. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2019/904/oj>
- [6] Julian Wettengel - Clean Energy Wire, "Covering the EU's 'Fit for 55' package of climate and energy laws," *Clean Energy Wire*, Jun. 28, 2021. <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/covering-eus-fit-55-package-climate-and-energy-laws>
- [7] R. Buzatu, V. Ungureanu, A. Ciutina, M. Gireadă, D. Vitan, and I. Petran, "Experimental Evaluation of Energy-Efficiency in a Holistically Designed Building," *Energies*, vol. 14, no. 16, Art. no. 16, Jan. 2021, doi: 10.3390/en14165061.
- [8] R. Buzatu, D. Muntean, V. Ungureanu, A. Ciutina, M. Gireadă, and D. Vitan, "Holistic energy efficient design approach to sustainable building using monitored energy management system," *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 664, no. 1, p. 012037, May 2021, doi: 10.1088/1755-1315/664/1/012037.
- [9] P. Hradil, L. Fülöp, and V. Ungureanu, "Reusability of components from single-storey steel-framed buildings," *Steel Construction: Design and Research*, vol. 12, no. 2, pp. 91–97, May 2019, doi: 10.1002/stco.201800032.
- [10] R. Buzatu, V. Ungureanu, and P. Hradil, "Environmental and economic impact of steel industrial buildings made of reclaimed elements," in *Proceedings of the Eighth International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering (IALCCE 2023)*, Milan, Italy: CRC Press, Jul. 2023, pp. 1303–1311.
- [11] P. Hradil *et al.*, "Provisions for a Greater Reuse of Steel Structures (PROGRESS) - Final Report," European Commission, Research Fund for Coal and Steel, 2020.
- [12] S. Vares, P. Hradil, M. Sansom, and V. Ungureanu, "Economic potential and environmental impacts of reused steel structures," *Structure and Infrastructure Engineering*, vol. 16, pp. 1–12, Sep. 2019, doi: 10.1080/15732479.2019.1662064.
- [13] "Greenhouse gas emissions trends and projections under the scope of the Effort Sharing legislation, EU-27 — European Environment Agency." <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/eu-27-ghg-emission-trends-1>
- [14] Brütting Jan, Camille Vandervaeren, Gennaro Senatore, Niels De Temmerman, and Corentin Fivet, "Environmental impact minimization of reticular structures made of reused and new elements through Life Cycle Assessment and Mixed-Integer Linear Programming," *Energy and Buildings*, vol. 215, p. 109827, May 2020, doi: 10.1016/j.enbuild.2020.109827.
- [15] C. Piccardo and L. Gustavsson, "Deep energy retrofits using different retrofit materials under different scenarios: Life cycle cost and primary energy implications," *Energy*, vol. 281, p. 128131, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.energy.2023.128131.
- [16] C. Rodrigues and F. Freire, "Environmental impacts and costs of residential building retrofits – What matters?," *Sustainable Cities and Society*, vol. 67, p. 102733, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.scs.2021.102733.
- [17] V. Hasik, E. Escott, R. Bates, S. Carlisle, B. Faircloth, and M. M. Bilec, "Comparative whole-building life cycle assessment of renovation and new construction," *Building and Environment*, vol. 161, p. 106218, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.buildenv.2019.106218.
- [18] R. Buzatu, D. Muntean, A. Ciutina, and V. Ungureanu, "Thermal Performance and Energy Efficiency of Lightweight Steel Buildings: a Case-Study," *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 960, p. 032099, Dec. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/960/3/032099.

- [19] F. Isaia, S. Fantucci, A. Capozzoli, and M. Perino, "Vacuum insulation panels: Thermal bridging effects and energy performance in real building applications," presented at the Energy Procedia, 2015, pp. 269–278. doi: 10.1016/j.egypro.2015.12.181.
- [20] L. Cozzarini, L. Marsich, A. Ferluga, and C. Schmid, "Life cycle analysis of a novel thermal insulator obtained from recycled glass waste," *Developments in the Built Environment*, vol. 3, p. 100014, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.dibe.2020.100014.
- [21] P. Ricciardi, E. Belloni, and F. Cotana, "Innovative panels with recycled materials: Thermal and acoustic performance and Life Cycle Assessment," *Applied Energy*, vol. 134, pp. 150–162, 2014, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.07.112.
- [22] F. Asdrubali *et al.*, "Experimental and numerical characterization of innovative cardboard based panels: Thermal and acoustic performance analysis and life cycle assessment," *Building and Environment*, vol. 95, pp. 145–159, 2016, doi: 10.1016/j.buildenv.2015.09.003.
- [23] H. Gervásio, P. Santos, L. S. Da Silva, and A. M. G. Lopes, "Influence of thermal insulation on the energy balance for cold-formed buildings," *Advanced Steel Construction*, vol. 6, no. 2, pp. 742–766, 2010.
- [24] S. Fuchs, F. Rheude, and H. Röder, "Life cycle assessment (LCA) of thermal insulation materials: A critical review," *Cleaner Materials*, vol. 5, p. 100119, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.clema.2022.100119.
- [25] P. Linhares, V. Hermo, and C. Meire, "Environmental design guidelines for residential NZEBs with liner tray construction," *Journal of Building Engineering*, vol. 42, p. 102580, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.jobe.2021.102580.
- [26] J. Gosling, P. Sassi, M. Naim, and R. Lark, "Adaptable buildings: A systems approach," *Sustainable Cities and Society*, vol. 7, pp. 44–51, 2013, doi: 10.1016/j.scs.2012.11.002.
- [27] T. O'Grady, R. Minunno, H.-Y. Chong, and G. M. Morrison, "Design for disassembly, deconstruction and resilience: A circular economy index for the built environment," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 175, p. 105847, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.resconrec.2021.105847.
- [28] P. Santos, M. Gonçalves, C. Martins, N. Soares, and J. J. Costa, "Thermal transmittance of lightweight steel framed walls: Experimental versus numerical and analytical approaches," *Journal of Building Engineering*, vol. 25, 2019, doi: 10.1016/j.jobe.2019.100776.
- [29] European Convention for Constructional Steelwork (ECCS), "PROGRESS," *European Convention for Constructional Steelwork*. <https://www.steelconstruct.com/eu-projects/progress/>
- [30] CEN, "SR EN 1993-1-3:2007 - Eurocod 3: Design of steel structures - Part 1-3: General rules - Supplementary rules for cold-formed members and sheeting (In Romanian)." 2007.