

Adatlap¹ témahirdetési javaslatához a Csonka Pál Doktori Iskola Tanácsa részére

Témavezető² neve: Dr. Sajtos István
e-mail címe³: sajtos.istvan@epk.bme.hu

Téma címe (magyar és angol nyelven):
Térbeli rácsos szerkezetek helyettesítő folytonos modellje
Equivalent continuum model of the lattice structures

A **téma** rövid leírása⁴ (magyar és angol nyelven):

A nagyfeszítávú, térbeli rácsos szerkezetek (egy vagy többretegű térrácsok) építészeti használata előnyös a csekély anyagfelhasználás, és ennek ellenére elérhető nagy teherbírás miatt. Manapság azonban nem csak nagy (makro-) méretek, hanem kicsi (mezo-, mikro-, nano-) méretek esetében is kihasználják ezt az előnyt új anyagok, szerkezeti elemek előállítására, a korszerű anyagmegmunkálási, gyártási technológiák (pl. 3D nyomtatás) különböző formáinak használatával. A térbeli rácsos szerkezet rudjainak nagy száma miatt előnyösebb és könnyebb a diszkrét elemekből álló szerkezet helyettesítő, folytonos modelljének vizsgálata. A térrács geometriája és terhei meghatározzák annak lehetséges folytonos modelljét, ami gerenda-, lemez- vagy héjmodell lehet. Elsősorban a diszkrét rácsgeometria és annak lokális és globális mechanikai viselkedése szabja meg a folytonos modell szükséges tulajdonságait. A folytonos modell nem feltétlenül jól ismert mérnöki modell, mint pl. Bernoulli- vagy Timoshenko-Ehrenfest gerendamodel; Kirchhoff- vagy Mindlin-Reissner lemezmodell; membránhéj vagy valamilyen hajlítotthéj modell.

Ismert, hogy a folytonos modell megoldása nem minden esetben közelíti jól a diszkrét szerkezet megoldását. Ilyenkor a fent említett bonyolultabb folytonos modellre (pl. mikropoláros-, Cosserat modellre) lehet szükség.

A szabályosan ismétlődő geometriai egységekből (reprezentatív térfogat, egységcella) álló rácsos szerkezetek esetében az egységcellára meghatározható merevségi jellemzők adnak lehetőséget a folytonos modell kiválasztására. A merevségek numerikusan vagy egyszerűbb esetben analitikusan is meghatározhatók. Amennyiben az egységcella összes, a folytonos modellekre jellemző merevségektől eltérő, merevségi jellemzője is ismert, akkor a szükséges folytonos modell is meghatározható.

A vizsgálat bonyolultsága és a nehézsége abból fakad, hogy nincs egyértelmű kritériuma annak, hogy a folytonos modell megoldása mikor, és milyen körülmények között jó közelítése a diszkrét térrács megoldásának.

¹ Az adatlapot aláírva és szkennelve a Doktori Iskola titkárának (Fehér Eszter, 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.

² A témahirdetés elfogadása automatikusan a témavezető akkreditációját is jelenti az azévi felvételi eljáráshoz.

³ Kérjük, olyan elérhetőséget adjon meg, ahová biztonsággal küldhetünk hivatalos értesítéseket.

⁴ 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.

A kutatás célja:

- ✓ Adott rácsgeometria esetében meghatározzuk az egységcellába foglalt rács összes, a folytonos mérnöki modellekben nem feltétlenül megjelenő, merevségeit (igénybevétel-alakváltozás kapcsolatát), és ennek segítségével megadjuk a rács viselkedését leíró folytonos modellt.
- ✓ Numerikusan megvizsgáljuk, hogy ez a folytonos modell jól közelíti-e a diszkrét rácsszerkezet megoldását.
- ✓ Megvizsgáljuk, hogy a meghatározott folytonos modell milyen rács- és anyagi paraméterek esetében helyettesíthető egyszerűbb folytonos mérnöki modellel.
- ✓ Adott rácsgeometriai esetében olyan elméleti és/vagy numerikus kritérium meghatározása, ami alapján kiválasztható a megfelelő folytonos modell.

A vizsgálatokat el kell végezni az ismert és elsősorban az építőiparban használt rácsgeometriákra és olyan, a mikro- és nano-méretben használt rácsgeometriák esetében is, amelyek gazdaságos építőipari felhasználása lehetséges és ajánlható.

Architectural use of (single-, double- or more layer) space frames and lattice structures are advantageous for small amounts of material, resulting in high load-bearing capacity.

Nowadays, however, not only in the case of large (macro-) sizes but also in the case of small (meso-, micro-, nano-) sizes, this advantage is used for the production of new materials and structural elements due to the modern material processing and production technologies (e.g., 3D printing).

Due to the large number of bars of the spatial lattice structure, it is preferable and easier to examine the equivalent continuous model than the structure made of discrete elements. The geometry and loads of the space lattice structure determine its possible continuous model, which can be a beam, plate, or shell model. Primarily, the discrete lattice geometry and its local and global mechanical behaviour determine the necessary properties of the continuous model. The continuum model is not necessarily a well-known engineering model, such as the Bernoulli or Timoshenko-Ehrenfest beam model, Kirchhoff or Mindlin-Reissner plate model, membrane shell, or some bending-shell model.

It is known that the solution of the continuous model does not always approximate the solution of the discrete structure well. In such cases, a more complicated continuum model may be necessary than the one mentioned above (e.g., micropolar, Cosserat model).

In the case of lattice structures consisting of regularly repeated geometric units (representative volume, unit cell), the stiffness characteristics that are determined for the unit cell provide the opportunity to select a continuous model. The stiffnesses can be determined numerically or, in simpler cases, analytically. If all the stiffness characteristics of the unit cell, other than those of continuous models, are also known, then the necessary continuous model can be determined.

The complexity and difficulty of the investigation stem from the fact that there is no clear criterion for when and under what conditions the solution of the continuous model is a good approximation of the solution of the discrete space lattice.

The goal of the research:

- ✓ In the case of a given lattice geometry, we determine all the stiffnesses of the bars included in the unit cell, which do not necessarily appear in the continuous engineering models (relationship between internal forces and strains), and with the help of these, we determine the continuous model describing the behaviour of the lattice.
- ✓ We numerically examine whether this continuous model approximates the solution of the discrete grid structure well.
- ✓ We analyse those lattice and material parameters when simpler continuous engineering models can replace the specified continuous model.
- ✓ In the case of a given lattice geometry, we determine a theoretical and/or numerical criterion based on one can select the appropriate continuous model.

The analysis must be carried out for the lattice geometries known and primarily used in the construction industry and for grid geometries used in the micro- and nano-scale applications to select which can be used economically in the construction industry.

A **téma** meghatározó irodalma⁵:

- Noor, A.K., Mikulas, M.M.: Continuum Modelling of Large Lattice Structures: Status and Projections. In: Atluri, S.N., Amos, A.K. (eds) Large Space Structures: Dynamics and Control. Springer Series in Computational Mechanics. Springer, Berlin, Heidelberg, 1988.
- Kollár L. ; Hegedűs I.: Analysis and design of space frames by continuum method, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1985.
- Kollár, L. P. ; Springer, G. S.: Mechanics of composite structures, Cambridge University Press, New York , 2009.
- F. Hualin ; Y. Wei: *An equivalent continuum method of lattice structures*, ACTA MECHANICA SINICA, 19 : 2 pp.103-113. , (2006)
- F. Tornabene ; et al: *Higher-order modelling of anisogrid composite lattice structures with complex geometries*, ENGINEERING STRUCTURES, 244 : 112686 (2021)
- R. Doodi ; B. M. Gunji: *Prediction and experimental validation approach to improve performance of novel hybrid bio-inspired 3D printed lattice structures using artificial neural networks*, SCIENTIFIC REPORTS, 13 : 7763 (2023)

A **téma** hazai és nemzetközi folyóiratai⁶:

- International Journal of Solids and Structures (WoS, Scopus)
- Computers and Structures (WoS, Scopus)
- Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures (WoS, Scopus)
- International Journal of Space Structures (Scopus)
- Periodica Politecnica Civil Engineering (WoS, Scopus)
- Engineering Structures (WoS, Scopus)
- Építés- Építészettudomány (Scopus)

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

- Gaspar, O. ; Sajtos, I. ; Sipos, A. A.: *Friction as a geometric constraint on stereotomy in the minimum thickness analysis of circular and elliptical masonry arches*, INTERNATIONAL JOURNAL OF SOLIDS AND STRUCTURES 225 Paper: 111056 , 18 p. (2021)
- Hegyi, D. ; Sajtos, I. ; Geiszter, Gy. ; Hincz, K.: *Eight-node quadrilateral double-curved surface element for membrane analysis*, COMPUTERS & STRUCTURES 84 : 31-32 pp. 2151-2158. , 8 p. (2006)
- D. Vető ; I. Sajtos: *Theoretical, numerical and experimental analysis of polygonal buckling shapes of spherical shells subjected to concentrated load*, JOURNAL OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR SHELL AND SPATIAL STRUCTURES 58 : 2 pp. 145-158. , 14 p. (2017)
- Ther, P. P. ; Sajtos, I.: *Historical Shear Experiments of RC Beams in Hungary and their Effect on Change of Shear Design*, PERIODICA POLYTECHNICA-CIVIL ENGINEERING 67 : 3 pp. 647-658. , 12 p. (2023)
- Árva, P. ; Sajtos, I.: *Kitöltött és kitöltetlen állóhézagú falazat alakváltozási jellemzőinek meghatározása*, ÉPÍTÉS-ÉPÍTÉSZETTUDOMÁNY 40 : 3-4 pp. 211-240. , 30 p. (2012)

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

⁶ 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.

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

- Gáspár, O. ; Sajtos, I. ; Sipos, A. A.: *Multi-Hinge Failure Mechanisms of Masonry Arches Subject to Self-Weight as Derived from Minimum Thickness Analysis*, INTERNATIONAL JOURNAL OF ARCHITECTURAL HERITAGE 17 : 12 pp. 1921-1949. , 29 p. (2023)
- Gaspar, O. ; Sajtos, I. ; Sipos, A. A.: *Friction as a geometric constraint on stereotomy in the minimum thickness analysis of circular and elliptical masonry arches*, INTERNATIONAL JOURNAL OF SOLIDS AND STRUCTURES 225 Paper: 111056 , 18 p. (2021)
- Gáspár, O. ; Sipos, A. A. ; Sajtos, I.: *Effect of stereotomy on the lower bound value of minimum thickness of semi-circular masonry arches*, INTERNATIONAL JOURNAL OF ARCHITECTURAL HERITAGE 12 : 6 pp. 899-921. , 23 p. (2018)
- D. Vető ; I. Sajtos: *Theoretical, numerical and experimental analysis of polygonal buckling shapes of spherical shells subjected to concentrated load*, JOURNAL OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR SHELL AND SPATIAL STRUCTURES 58 : 2 pp. 145-158. , 14 p. (2017)
- S. Kaliszky ; I. Sajtos ; B. A. Lógó ; J. M. Lógó ; Zs. Szabó: *Gábor Kazinczy and His Legacy in Structural Engineering*, PERIODICA POLYTECHNICA-CIVIL ENGINEERING 59 : 1 pp. 3-7. , 5 p. (2015)

A **témavezető** eddigi doktoranduszai⁷:

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

- Orbánné Csicsely Ágnes / 1999 / 2002 / 2006 (50%)
- Hegyi Dezső /1999/2004/2006
- Pintér Tamás /2002/2005/-
- Árva Péter /2004/2007/-
- Vető Dániel /2008/2011/2017
- Vajk Rita /2006/2012/-
- Juhász Károly Péter /egyéni felkészülő 2017/2018/2019
- Gáspár Orsolya /2013/2015/2020
- Ther Péter Pál /2020/2023/folyamatban

Melléklet: a téma bővebb leírása (magyar és angol⁸ nyelven)

Budapest, 2024. január 29.



Témavezető aláírása

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

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

Témahirdetési javaslat

Témavezető¹ neve: Dr. Sajtos István

e-mail címe²: sajtos.istvan@epk.bme.hu

Téma címe (magyar és angol nyelven):

Térbeli rácsos szerkezetek helyettesítő folytonos modellje

Equivalent continuum model of the lattice structures

A nagyfeszítávú, térbeli rácsos szerkezetek (egy vagy többretegű térrácsok) építészeti használata előnyös a csekély anyagfelhasználás, és ennek ellenére elérhető nagy teherbírás miatt. Manapság azonban nem csak nagy (makro-) méretek, hanem kicsi (mezo-, mikro-, nano-) méretek esetében is kihasználják ezt az előnyt új anyagok, szerkezeti elemek előállítására, a korszerű anyagmegmunkálási, gyártási technológiák (pl. 3D nyomtatás) különböző formáinak használatával [1, 2].

A térbeli rácsos szerkezet rudjainak nagy száma miatt előnyösebb és könnyebb a diszkrét elemekből álló szerkezet helyettesítő, folytonos modelljének vizsgálata. A térrács geometriája és terhei meghatározzák annak lehetséges folytonos modelljét, ami gerenda-, lemez- vagy héjmodell lehet [3, 4, 5, 6]. Elsősorban a diszkrét rácsgeometria és annak lokális és globális mechanikai viselkedése szabja meg a folytonos modell szükséges tulajdonságait. A folytonos modell nem feltétlenül jól ismert mérnöki modell [6], mint pl. Bernoulli- vagy Timoshenko-Ehrenfest gerendamodell; Kirchhoff- vagy Mindlin-Reissner lemezmodell; membránhéj vagy valamilyen hajlítotthéj modell.

Ismert, hogy a folytonos modell megoldása nem minden esetben közelíti jól a diszkrét szerkezet megoldását [3]. Ilyenkor a fent említettnél bonyolultabb folytonos modellre (pl. mikropoláros-, Cosserat modellre) lehet szükség [7, 8, 9, 10, 11].

A szabályosan ismétlődő geometriai egységekből (reprezentatív térfogat, egységcella) álló rácsos szerkezetek esetében az egységcellára meghatározható merevségi jellemzők adnak lehetőséget a folytonos modell kiválasztására [3, 5]. A merevségek numerikusan vagy egyszerűbb esetben analitikusan is meghatározhatók. Amennyiben az egységcella összes, a folytonos modellekre jellemző merevségektől eltérő, merevségi jellemzője is ismert, akkor a szükséges folytonos modell is meghatározható.

A vizsgálat bonyolultsága és a nehézsége abból fakad, hogy nincs egyértelmű kritériuma annak, hogy a folytonos modell megoldása mikor, és milyen körülmények között jó közelítése a diszkrét térrács megoldásának [3].

A kutatás célja:

- ✓ Adott rácsgeometria esetében meghatározzuk az egységcellába foglalt rács összes, a folytonos mérnöki modellekben nem feltétlenül megjelenő, merevségeit (igénybevétel-alakváltozás kapcsolatát), és ennek segítségével megadjuk a rács viselkedését leíró folytonos modellt.
- ✓ Numerikusan megvizsgáljuk, hogy ez a folytonos modell jól közelíti-e a diszkrét rácsszerkezet megoldását.
- ✓ Megvizsgáljuk, hogy a meghatározott folytonos modell milyen rács- és anyagi paraméterek esetében helyettesíthető egyszerűbb folytonos mérnöki modellekkel.

¹ A témahirdetés elfogadása automatikusan a témavezető akkreditációját is jelenti az azévi felvételi eljáráshoz.

² Kérjük, olyan elérhetőséget adjon meg, ahová biztonsággal küldhetünk hivatalos értesítéseket.

- ✓ Adott rácsgeometriai esetében olyan elméleti és/vagy numerikus kritérium meghatározása, ami alapján kiválasztható a megfelelő folytonos modell.

A vizsgálatokat el kell végezni az ismert és elsősorban az építőiparban használt rácsgeometriákra [3] és olyan, a mikro- és nano-méretben használt rácsgeometriák esetében is [pl. 1, 2, 6, 11], amelyek gazdaságos építőipari felhasználása lehetséges és ajánlható.

Irodalom:

- [1] C.T. Richard ; Tsz-Ho Kwok: *Analysis and design of lattice structures for rapid-investment casting*, MATERIALS, 14 : 4867 (2021)
- [2] R. Doodi ; B. M. Gunji: *Prediction and experimental validation approach to improve performance of novel hybrid bio-inspired 3D printed lattice structures using artificial neural networks*, SCIENTIFIC REPORTS, 13 : 7763 (2023)
- [3] Kollár L. ; Hegedűs I.: *Analysis and design of space frames by continuum method*, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1985.
- [4] Noor, A.K., Mikulas, M.M.: *Continuum Modelling of Large Lattice Structures: Status and Projections*. In: Atluri, S.N., Amos, A.K. (eds) *Large Space Structures: Dynamics and Control*. Springer Series in Computational Mechanics. Springer, Berlin, Heidelberg, 1988.
- [5] Kollár, L. P. ; Springer, G. S.: *Mechanics of composite structures*, Cambridge University Press, New York , 2009.
- [6] F. Hualin ; Y. Wei: *An equivalent continuum method of lattice structures*, ACTA MECHANICA SINICA, 19 : 2 pp.103-113. , (2006)
- [7] Kollár L.: *Continuum equations of timber lattice shells*, ACTA TECHNICA ACADEMIAE SCIENTIARUM HUNGARIAE, 94 : 3-4, pp. 133-141. (1982)
- [8] Füzy J.: *Simulation of timber lattice shell without „in-plane” shear capacity by double-layer Cosserat surface*, ACTA TECHNICA ACADEMIAE SCIENTIARUM HUNGARIAE, 99 : 3-4, pp. 287-296. (1986)
- [9] Füzy J. ; Vas J.: *Relationships and application possibilities of the theories of microelastic continua*, ACTA TECHNICA ACADEMIAE SCIENTIARUM HUNGARIAE, 97 : 1-4, pp. 69-83. (1984)
- [10] A. C. Eringen: *Microcontinuum field theories. I: Foundations and solids*, Springer Verlag, New York, 1999.
- [11] F. Tornabene ; et al: *Higher-order modelling of anisogrid composite lattice structures with complex geometries*, ENGINEERING STRUCTURES, 244 : 112686 (2021)

Research topic proposal

Témavezető³ neve: Dr. Sajtos István

e-mail címe⁴: sajtos.istvan@epk.bme.hu

Téma címe (magyar és angol nyelven):

Térbeli rácsos szerkezetek helyettesítő folytonos modellje

Equivalent continuum model of the lattice structures

Architectural use of (single-, double- or more layer) space frames and lattice structures are advantageous for small amounts of material, resulting in high load-bearing capacity.

Nowadays, however, not only in the case of large (macro-) sizes but also in the case of small (meso-, micro-, nano-) sizes, this advantage is used for the production of new materials and structural elements due to the modern material processing and production technologies (e.g., 3D printing) [1, 2].

Due to the large number of bars of the spatial lattice structure, it is preferable and easier to examine the equivalent continuous model than the structure made of discrete elements. The geometry and loads of the space lattice structure determine its possible continuous model, which can be a beam, plate, or shell model [3, 4, 5, 6]. Primarily, the discrete lattice geometry and its local and global mechanical behaviour determine the necessary properties of the continuous model. The continuum model is not necessarily a well-known engineering model, such as the Bernoulli or Timoshenko-Ehrenfest beam model, Kirchhoff or Mindlin-Reissner plate model, membrane shell, or some bending-shell model.

It is known that the solution of the continuous model does not always approximate the solution of the discrete structure well. In such cases, a more complicated continuum model may be necessary than the one mentioned above (e.g., micropolar-, Cosserat model) [7, 8, 9, 10, 11].

In the case of lattice structures consisting of regularly repeated geometric units (representative volume, unit cell), the stiffness characteristics that are determined for the unit cell provide the opportunity to select a continuous model [3, 5]. The stiffnesses can be determined numerically or, in simpler cases, analytically. If all the stiffness characteristics of the unit cell, other than those of continuous models, are also known, then the necessary continuous model can be determined.

The complexity and difficulty of the investigation stem from the fact that there is no clear criterion for when and under what conditions the solution of the continuous model is a good approximation of the solution of the discrete space lattice [3].

The goal of the research:

- ✓ In the case of a given lattice geometry, we determine all the stiffnesses of the bars included in the unit cell, which do not necessarily appear in the continuous engineering models (relationship between internal forces and strains), and with the help of these, we determine the continuous model describing the behaviour of the lattice.
- ✓ We numerically examine whether this continuous model approximates the solution of the discrete grid structure well.
- ✓ We analyse those lattice and material parameters when simpler continuous engineering models can replace the specified continuous model.

³ A témahirdetés elfogadása automatikusan a témavezető akkreditációját is jelenti az azévi felvételi eljáráshoz.

⁴ Kérjük, olyan elérhetőséget adjon meg, ahová biztonsággal küldhetünk hivatalos értesítéseket.

- ✓ In the case of a given lattice geometry, we determine a theoretical and/or numerical criterion based on one can select the appropriate continuous model.

The analysis must be carried out for the lattice geometries known and primarily used in the construction industry [3] and for grid geometries used in the micro- and nano-scale applications [e.g., 1, 2, 6, 11] to select which can be used economically in the construction industry.

References:

- [1] C.T. Richard ; Tsz-Ho Kwok: *Analysis and design of lattice structures for rapid-investment casting*, MATERIALS, 14 : 4867 (2021)
- [2] R. Doodi ; B. M. Gunji: *Prediction and experimental validation approach to improve performance of novel hybrid bio-inspired 3D printed lattice structures using artificial neural networks*, SCIENTIFIC REPORTS, 13 : 7763 (2023)
- [3] Kollár L. ; Hegedűs I.: *Analysis and design of space frames by continuum method*, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1985.
- [4] Noor, A.K., Mikulas, M.M.: *Continuum Modelling of Large Lattice Structures: Status and Projections*. In: Atluri, S.N., Amos, A.K. (eds) *Large Space Structures: Dynamics and Control*. Springer Series in Computational Mechanics. Springer, Berlin, Heidelberg, 1988.
- [5] Kollár, L. P. ; Springer, G. S.: *Mechanics of composite structures*, Cambridge University Press, New York , 2009.
- [6] F. Hualin ; Y. Wei: *An equivalent continuum method of lattice structures*, ACTA MECHANICA SINICA, 19 : 2 pp.103-113. , (2006)
- [7] Kollár L.: *Continuum equations of timber lattice shells*, ACTA TECHNICA ACADEMIAE SCIENTIARUM HUNGARIAE, 94 : 3-4, pp. 133-141. (1982)
- [8] Füzy J.: *Simulation of timber lattice shell without „in-plane” shear capacity by double-layer Cosserat surface*, ACTA TECHNICA ACADEMIAE SCIENTIARUM HUNGARIAE, 99 : 3-4, pp. 287-296. (1986)
- [9] Füzy J. ; Vas J.: *Relationships and application possibilities of the theories of microelastic continua*, ACTA TECHNICA ACADEMIAE SCIENTIARUM HUNGARIAE, 97 : 1-4, pp. 69-83. (1984)
- [10] A. C. Eringen: *Microcontinuum field theories. I: Foundations and solids*, Springer Verlag, New York, 1999.
- [11] F. Tornabene ; et al: *Higher-order modelling of anisogrid composite lattice structures with complex geometries*, ENGINEERING STRUCTURES, 244 : 112686 (2021)