

Reziliența spațiului și hibridizarea modulară arhitecturală

drd. arh. Alexandru Iftimie

Universitatea de Arhitectură și Urbanism "Ion Mincu, București, Romania

Adresă E-mail: arhai.drd20@uauim.ro, aiarh452@gmail.com

Abstract

Obiective: Această cercetare explorează potențialul arhitecturii modulare hibride (HMA) de a îmbunătăți proiectarea spitalelor și de a spori reziliența infrastructurii medicale. HMA oferă o abordare flexibilă și eficientă pentru îmbunătățirea spitalelor existente și a designului general. Subiectul principal al acestei lucrări se referă la sistemele HMA care încorporează module inteligente capabile să optimizeze fluxul pacienților și să organizeze vizitele la spital prin eficientizarea proceselor administrative, reducerea timpilor de așteptare și îmbunătățirea experienței generale a pacienților. **Lucrări anterioare:** Acest studiu examinează HMA în raport cu predecesorii săi, spitalele tradiționale și cele modulare în ceea ce privește viteza de construire, eficiența costurilor, adaptabilitatea, durabilitatea și reziliența prin integrarea designului modular cu tehnologii inteligente pentru a răspunde mai bine urgențelor și nevoilor de asistență medicală în continuă evoluție. **Abordare:** Această cercetare a utilizat o abordare mixtă a metodelor care combină studii de caz, sondaje și interviuri cu experți pentru a explora aplicarea HMA în spitale. Sondajele și interviurile au colectat informații de la arhitecți și profesioniști din domeniul sănătății cu privire la flexibilitate și scalabilitate. În plus, revizuirile literaturii de specialitate au oferit o bază teoretică pentru a susține constatările empirice. **Rezultate:** Sistemele HMA pot reduce timpul de construire al spitalelor, menținând calitatea, totodată cu adaptabilitate sporită, permițând spitalelor să reconfigureze rapid spațiile pentru a face față numărului mare de pacienți. **Implicații:** Studiul oferă informații pentru cadrele universitare, cercetători și practicieni din domeniul arhitecturii și medicinei. Pentru practicieni, cercetarea evidențiază strategii de îmbunătățire a rezilienței și a scalabilității spitalelor, în special în situații de urgență. **Valoare:** Această cercetare explorează integrarea spitalelor existente cu extensii modulare pentru a mări rapid capacitatea și a spori flexibilitatea. Ea oferă o soluție durabilă și scalabilă pentru o asistență medicală rezistentă, făcând legătura între teorie și practică în proiectarea arhitecturală.

Cuvinte-cheie: infrastructura medicală, fluxul de pacienți, durabilitate, urgență, pregătit pentru viitor

1. Introducere

1.1. Problematicile infrastructurii spitalicești în România

Infrastructura spitalicească din România se confruntă cu multiple provocări care afectează capacitatea de a oferi servicii medicale eficiente, sigure și moderne. Una dintre principalele probleme este reprezentată de insuficiența capacității existente, atât în ceea ce privește numărul de paturi, cât și distribuția geografică a unităților medicale, ceea ce creează disparități majore între zonele urbane și cele rurale. În plus, multe spitale funcționează în clădiri vechi, cu infrastructură depășită, incapabile să susțină cerințele tehnologice ale medicinei contemporane sau să asigure standardele de siguranță necesare, în special în contextul frecventelor riscuri seismice din țară. La acestea se adaugă o subfinanțare cronică și o gestionare ineficientă a resurselor, care limitează accesul la tehnologii medicale avansate și inovații, punând astfel pacienții și personalul medical în situații precare. De asemenea, pandemia COVID-19 a evidențiat vulnerabilitățile acute ale sistemului, subliniind necesitatea unor soluții flexibile și rapide, precum integrarea unităților modulare,

pentru a răspunde cererilor în creștere într-un timp scurt. În acest context, regândirea infrastructurii spitalicești devine imperativă, adoptând soluții hibride și modulare care să sporească reziliența, să optimizeze utilizarea resurselor și să asigure un răspuns adecvat la cerințele medicale actuale și viitoare.

1.2. Context:

În contextul dezvoltării accelerate și imperativului de a moderniza infrastructura medicală, devine crucială adoptarea unor soluții arhitecturale capabile să răspundă cerințelor variate și în continuă schimbare ale spitalelor contemporane. Arhitectura Modulară Hibridă (HMA) reprezintă o abordare caracterizată prin flexibilitate sporită și eficiență operațională, calificându-se astfel drept o soluție sustenabilă atât pentru construirea, cât și pentru extinderea și modificarea unităților medicale existente. [1]

Spitalul hibrid, ca expresie a acestei paradigme, înglobează un sistem mixt care combină structura tradițională a spitalului cu module smart, prefabricate, adiționale. Aceste module nu doar că sporesc adaptabilitatea și reziliența spațiului, dar permit personalizarea rapidă a facilităților în funcție de necesitățile utilizatorilor, ținând cont de specificul contextului operațional. În acest fel, extinderea capacității unui spital devine un proces agil și eficient, datorită tehnologiilor modulare prefabricate care asigură rapiditate, minimizarea disrupțiilor și optimizarea costurilor. [2]

1.3. Obiectiv:

Analiza procesului de implementare a Arhitecturii Modulare Hibride (HMA) urmărește să evidențieze etapele critice ale integrării acestei soluții arhitecturale în infrastructura unui spital existent. Lucrarea explorează modul în care HMA combină flexibilitatea construcțiilor modulare cu principiile de smart design, contribuind la adaptabilitatea infrastructurii și la optimizarea funcționalității spitalului în raport cu nevoile utilizatorilor.

De asemenea, integrarea conceptelor de smart city și utilizarea inteligenței artificiale sunt analizate ca factori esențiali în îmbunătățirea proceselor de proiectare, construire și gestionare operațională. Aceste componente permit



Fig. 1 – Concept 3D module tip
Sursă: Aparține Autorului

monitorizarea eficientă a resurselor, reducerea timpilor de implementare și crearea unui mediu medical conectat, capabil să răspundă rapid provocărilor contemporane. Evaluarea impactului se va concentra pe eficiența obținută, adaptabilitatea soluției și contribuția sa la dezvoltarea unor infrastructuri medicale sustenabile și integrate în ecosistemele urbane inteligente.

Obiectivele principale ale Arhitecturii Modulare Hibrice (HMA) sunt de a crește flexibilitatea și adaptabilitatea infrastructurilor spitalicești, asigurând în același timp o implementare rapidă și eficientă. Un avantaj semnificativ al HMA este reziliența sa sporită, datorită designului modular care permite adaptarea rapidă la schimbări și extinderi viitoare, precum și rezistența crescută la dezastre naturale sau alte perturbări. În ceea ce privește sustenabilitatea, HMA se remarcă prin utilizarea materialelor eco-friendly și prin reducerea deșeurilor de construcție, datorită procesului de prefabricare precisă și controlată. Aceste caracteristici contribuie la un impact ecologic redus și la o infrastructură mai durabilă și eficientă pe termen lung.

- **Ce este HMA:** Arhitectura Modulară Hibridă (HMA) combină module prefabricate dotate cu sisteme ineligente și inteligență artificială, cu elemente de construcție tradiționale, oferind flexibilitate în design și eficiență în construire, ca răspuns la nevoi. Module pentru neonatal, module pentru UPU, module pentru distribuția pacienților, module de decontaminare, etc. Hibridizarea modulară reprezintă utilizarea mixtă a elementelor existente, o structură sau chiar o clădire și a unui adaos de module care au ca scop extinderea clădirii, în sensul dezvoltării flexibilității, și adaptării acesteia la nevoile utilizatorilor. Hibridizarea înseamnă, în fond, mutația tipologiei și tehnologiei clădirii rezidențiale datorită nevoilor exprimate de noile comportamente de utilizare. Practic, este vorba de a distinge componentele tipologice și tehnologice permanente de cele temporare respective în raport cu caracteristicile identificate ale noilor nevoi de locuire, sau de exploatare a clădirii.
- **Elementele componente:** Module volumetric (unități prefabricate tridimensionale), componenta smart (inteligență artificială, computer și instalații) și componente panou (elemente de perete, podea și acoperiș prefabricate).

Implementarea Arhitecturii Modulare Hibrice (HMA) în spitale este esențială pentru a spori reziliența în fața dezastrelor antropice și naturale. Contextul actual, marcat de frecvența crescută a acestor evenimente, impune infrastructuri medicale care pot fi rapid adaptate și extinse pentru a face față situațiilor de urgență. [3] Modulele prefabricate sunt proiectate pentru a rezista la cutremure, inundații și alte calamități, reducând timpul de inactivitate și asigurând siguranța pacienților și personalului medical. Această capacitate de a răspunde prompt și eficient la dezastre este crucială pentru menținerea funcționalității spitalelor în situații critice.

2. Răspuns la multihazard:

Hazardul este un eveniment fizic, fenomen și/sau activitate umană cu potențial dăunător, - care poate cauza pierderea vieții sau vătămare, daune asupra proprietății, daune sociale și economice și degradarea mediului. Avantaje: Spitalele și unitățile de sănătate folosesc adesea construcții modulare pentru camere specializate sau clădiri complete. Avantajul principal este instalarea și verificarea echipamentelor medicale într-o fabrică controlată. Construcția modulară extinde spitalele existente fără a afecta îngrijirea pacienților, adăugând secții și facilități diverse, în funcție de nevoi.

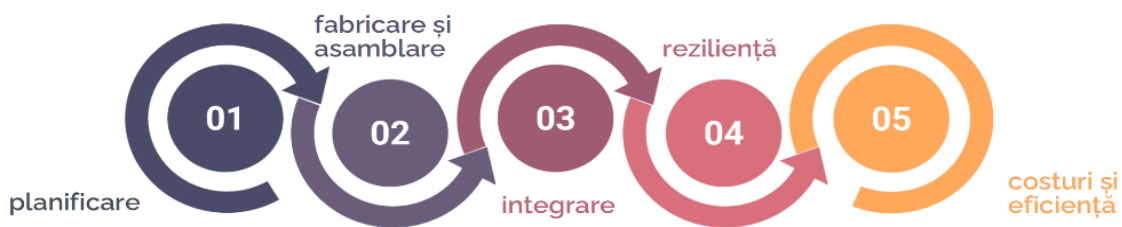


Fig.2 – Grafic
Sursă: Aparține Autorului

2.1. Planificare

Procesul de implementare a Arhitecturii Modulare Hibride (HMA) începe cu o planificare detaliată și riguroasă. Aceasta implică evaluarea nevoilor specifice ale spitalului, analiza sitului de construcție și dezvoltarea unui design modular adaptat cerințelor funcționale și structurale. [4] În această fază, se stabilesc obiectivele proiectului, se selectează tipurile de modul necesare și se planifică logisticile de transport și instalare. Un aspect crucial este integrarea modulelor cu infrastructura existentă a spitalului, ceea ce necesită o colaborare strânsă între arhitecți, ingineri și manageri de proiect pentru a asigura compatibilitatea și funcționalitatea optimă a noilor structuri.



Fig. 3 – Concept 3D Module Tip
Sursă: Aparține Autorului

2.2. Fabricare și Asamblare

Odată finalizată planificarea, modulele sunt fabricate în unități de producție specializate. Fabricarea prefabricată permite un control riguros al calității și utilizarea eficientă a materialelor, asigurând precizia și consistența fiecărui modul. Materialele sunt alese pentru durabilitate și sustenabilitate, contribuind la eficiența energetică și reducerea impactului



Fig. 4 - Concept 3D Modul Tip
Sursă: Aparține Autorului

ecologic. [1]Modulele prefabricate sunt apoi transportate la sit-ul de construcție, unde începe procesul de asamblare. Tehnicile de glisare și prindere rapide permit alinierea precisă și fixarea modulelor pe fundații prefabricate. Ancorele și conectorii sunt utilizați pentru a asigura stabilitatea și securitatea structurală, în timp ce sistemele de prindere rapide facilitează montarea eficientă și sigură a modulelor.

2.3. Integrare:

Integrarea modulelor prefabricate cu infrastructura existentă a spitalului este esențială pentru a asigura funcționalitatea și continuitatea operațiunilor. Conexiunile rapide și flexibile permit integrarea facilă a sistemelor de utilități, cum ar fi apă, electricitate și



Fig. 5 - Concept 3D Modul Tip
Sursă: Aparține Autorului

ventilație, cu rețelele existente. [2] [3] Racordurile flexibile și conectorii modulari facilitează adaptarea modulelor la structurile existente, minimizând întreruperile operaționale. În plus, se asigură integrarea estetică și funcțională a noilor module, menținând coerența cu designul și arhitectura spitalului. Testarea și verificarea finală a sistemelor asigură că toate componentele funcționează corect și că noile structuri sunt gata să răspundă nevoilor pacienților și personalului medical.

3. Extinderea spitalelor prin HMA

a. Fundații:

- Fundații Prefabricate:
 - Utilizarea fundațiilor prefabricate care permit instalarea rapidă și precisă a modulelor.
 - Fundațiile pot fi ajustate și nivelate pentru a asigura stabilitatea și alinierea perfectă a modulelor.

- Sisteme de Ancorare:
 - Ancore de oțel și elemente de fixare sunt integrate în fundații pentru a asigura stabilitatea structurală și pentru a permite extinderi ulterioare.

b. Asamblarea și Glisarea Modulelor:

- Tehnica de Glisare:
 - Modulele sunt proiectate pentru a fi glisate pe șine sau role, facilitând alinierea precisă și reducând timpul necesar pentru asamblare.
 - Utilizarea unor șine temporare pentru a ghida modulele în poziția corectă înainte de fixare.
- Sisteme de Prindere:
 - Conexiuni modulare inter-blocante care asigură îmbinarea perfectă între module.
 - Utilizarea conectorilor și a elementelor de prindere rapide pentru a fixa modulele între ele, permițând demontarea și relocarea ulterioară, dacă este necesar.

c. Conectarea la Infrastructura Existentă:

- Integrarea Utilităților:
 - Sistemele de conectare rapidă pentru apă, electricitate, ventilație și alte utilități, asigurând integrarea seamless cu infrastructura existentă.
 - Utilizarea racordurilor flexibile și a conectorilor modulari pentru a facilita conectarea și deconectarea facilă.
- Adaptarea la Structuri Existente:
 - Modulele sunt configurate pentru a se potrivi cu clădirile existente, utilizând puncte de ancorare și cadre structurale adaptabile.

d. Stabilitate și Rezistență:

- Ancorarea Modulelor:
 - Utilizarea ancorelor chimice și mecanice pentru a fixa modulele la fundații și pentru a asigura stabilitatea în fața forțelor laterale, cum ar fi vânturile puternice sau cutremurele.
- Rigidizarea Structurilor:
 - Integrarea cadrelor de rigidizare în module pentru a preveni deformările și a asigura integritatea structurală.
 - Utilizarea panourilor de consolidare și a întăriturilor metalice pentru a spori rezistența la forțele seismice.

3.1. Satisfactia Utilizatorilor:

Satisfacția utilizatorilor, inclusiv a pacienților și personalului medical, este un indicator esențial al succesului implementării HMA. Modulele prefabricate oferă un mediu de lucru modern și bine echipat, care contribuie la creșterea moralului și productivității personalului medical. Pacienții beneficiază de spații de tratament confortabile și bine dotate, care îmbunătățesc experiența de îngrijire și satisfacția generală. În plus, flexibilitatea designului modular permite adaptarea rapidă a spațiilor în funcție de feedback-ul utilizatorilor,

asigurând un nivel ridicat de personalizare și răspuns prompt la nevoile specifice, module ATI, module complexe cu bloc operator, module de decontaminare, module pentru neonatal, module pentru UPU, module pentru distribuirea pacienților. Astfel, implementarea HMA contribuie la crearea unui mediu de îngrijire mai eficient și mai satisfăcător pentru toți utilizatorii. [5]

3.2. Evaluarea Globală a impactului

Evaluarea globală a impactului implementării HMA în spitale arată beneficii clare în termeni de reziliență, costuri, eficiență și satisfacția utilizatorilor. Modul de construcție modulară permite spitalelor să se adapteze rapid la schimbările demografice și la creșterea cererii de servicii medicale, oferind o soluție scalabilă și durabilă. Analizele comparative indică economii substanțiale de costuri pe termen lung datorită eficienței energetice și durabilității materialelor utilizate. De asemenea, îmbunătățirea rezilienței infrastructurii medicale asigură continuitatea serviciilor critice în condiții adverse, consolidând capacitatea spitalelor de a face față provocărilor viitoare. [6]

3.3. Concluzii

Implementarea Arhitecturii Modulare Hibride în spitale reprezintă o soluție posibilă și eficientă pentru extinderea și modernizarea infrastructurii medicale. Beneficiile multiple,



Fig. 6 - Concept 3D Modul Tip
Sursă: Aparține Autorului

de la reziliență crescută și eficiență operațională la costuri reduse și satisfacția utilizatorilor, demonstrează valoarea adăugată a HMA în contextul actual al provocărilor din domeniul sănătății. Planificarea atentă, utilizarea materialelor durabile și tehnologiilor avansate, precum și capacitatea de integrare cu structurile existente, fac din HMA o alegere strategică pentru dezvoltarea infrastructurii spitalicești. Această abordare modulară nu doar că răspunde nevoilor actuale, dar pregătește și spitalele pentru un **viitor mai rezilient și mai sustenabil**.

4. Exemple de Concept HMA

Coridoare mobile de decontaminare cu module hibride reprezintă o soluție arhitecturală funcțională și adaptabilă, proiectată pentru a răspunde cerințelor stringente asociate situațiilor de urgență, precum incidentele chimice, biologice, radiologice sau nucleare (CBRN). Aceste structuri sunt concepute ca elemente modulare prefabricate, ușor de transportat și asamblat, care pot fi integrate în infrastructura unui oraș inteligent pentru a asigura o intervenție eficientă și bine coordonată. Modulele includ sisteme specializate, precum dușuri de decontaminare, unități de filtrare avansată și dozatoare automate pentru echipamente de protecție personală (EPP), toate gestionate prin tehnologii digitale pentru optimizarea proceselor.

Designul modular al coridoarelor permite o adaptabilitate ridicată în funcție de cerințele situației. Modulele pot fi interconectate pentru a forma coridoare de dimensiuni variabile, capabile să gestioneze fluxuri de persoane contaminate sau expuse, în funcție de capacitatea necesară. Integrarea tehnologiilor IoT (Internet of Things) asigură monitorizarea constantă a nivelului de contaminare și ajustarea automată a parametrilor operaționali, ceea ce permite o utilizare rațională a resurselor și o eficiență crescută. Transportabilitatea modulelor este facilitată de designul lor compact, acestea fiind ușor de desfășurat în proximitatea zonelor afectate, inclusiv prin utilizarea rețelelor de transport autonome ale orașelor inteligente.

Funcționalitatea coridoarelor este susținută de integrarea unor sisteme complexe de ventilație și filtrare, care previn răspândirea contaminanților în mediu. Apa utilizată în procesul de decontaminare este colectată, tratată și reciclată în mod sustenabil, reducând impactul asupra resurselor naturale. Modulele sunt proiectate pentru a fi alimentate cu surse de energie regenerabilă, cum ar fi panouri solare sau generatoare ecologice, ceea ce le permite să funcționeze independent de rețelele energetice convenționale.

Procesul de decontaminare este organizat în etape clare, fiecare modul fiind responsabil pentru o funcție specifică, precum îndepărtarea îmbrăcămintei contaminate, curățarea cu soluții decontaminante, uscarea și reechiparea. Senzorii inteligenți integrați în module analizează nivelurile de contaminare și ajustează parametrii procesului în timp real, asigurând astfel conformitatea cu protocoalele de securitate. Tehnologiile digitale, inclusiv realitatea augmentată, pot fi utilizate pentru a ghida personalul și persoanele afectate prin întregul proces, ceea ce sporește eficiența și siguranța operațiunilor.



Fig. 7 - Concept 3D Modul Tip
Sursă: Aparține Autorului

Integrarea acestor coridoare mobile de decontaminare în planurile generale de intervenție urbană este facilitată de conectivitatea lor cu infrastructura digitală a orașelor inteligente. Acestea pot comunica direct cu centrele de comandă și cu alte sisteme urbane, cum ar fi spitalele sau rețelele de transport, contribuind la o coordonare eficientă a răspunsului. În plus, terminalele de telemedicină integrate în module permit evaluarea medicală la distanță, facilitând trierea pacienților și ghidarea echipelor de intervenție în timp real. Datele colectate de module sunt analizate și arhivate, oferind o bază solidă pentru îmbunătățirea continuă a protocoalelor și pentru adaptarea

la scenarii viitoare.

Prin caracteristicile sale, această soluție arhitecturală și tehnologică reprezintă o integrare eficientă între principiile arhitecturii modulare și cerințele tehnologice ale orașelor inteligente. Coridoarele mobile de decontaminare contribuie la consolidarea rezilienței urbane și oferă un model scalabil și sustenabil pentru gestionarea situațiilor de criză.

Mulțumiri

Colegilor și mentorilor pentru sprijinul acordat, în deosebi doamnei prof.em.dr.arh. Cristina Olga Gociman în dezvoltarea acestei cercetări, care este mult mai amplă și complex decât ce s-a prezentat mai sus, precum și organizatorilor conferinței pentru oportunitatea de a împărtăși aceste rezultate.

Referințe

- [1] M. Afsaneh Khademi Jolgehnejad, P. Reza Ahmadi Kahnali and M. P. ALi Heyrani, "Factors Influencing Hospital Resilience," *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 2018.
- [2] Anna Anaker MSc, PhD(c) Ann Heylighen, PhD, Susanna Nordin MSc PhD(c), Marie Elf PhD, "Design Quality in the Context," *Health Environments Research & Design Journal*, 2016.

- [3] Irina Bulakh, Margaryta Didichenko, Olena Kozakova, and Olena Chala, "Sustainable futures in the context of architectural design of," *E3S Web of Conferences 166, 08001*, 2020.
- [4] R. Mark Lawson, M.ASCE; Ogden, Ray G.; Bergin, and Rory, "Application of Modular Construction," *American Society of Civil Engineers*, 2012.
- [5] J Birnbach, I Nevo, S R Scheinman, M Fitzpatrick, I Shekhter, J L Lombard, "Patient safety begins with proper planning," *Error Management*, 2015.
- [6] Sally A. Shumaker, Willo Pequegnat, *Hospital Design, Health*, 1989.