



Școala doctorală de Științe Inginerești și
Matematică

Domeniul de doctorat: Inginerie Industrială

TEZĂ DE DOCTORAT

**DEZVOLTAREA UNOR ECHIPAMENTE
TEHNOLOGICE UTILIZATE ÎN
EFICIENTIZAREA OPERAȚIILOR DIN
DOMENIUL CONSTRUCȚIILOR PRIN
PRISMA MANAGEMENTULUI CICLULUI DE
VIAȚĂ AL PRODUSULUI**

Doctorand:

ing. Raluca, DIACONU
(căs. Apotrosoaei)

Conducător de doctorat:

Prof. dr. ing Paul Dan, BRÎNDAȘU

Teza a fost realizată prin accesarea
”Burse Universitare în România prin Sprijin European pentru Doctoranzi și Post-
doctoranzi (BURSE DOC-POSTDOC) ”
Cod contract POSDRU/159/1.5/S/133255



1.	INTRODUCERE.....	14
1.1.	MOTIVAȚIE.....	14
1.2.	STRUCTURA TEZEI DE DOCTORAT	14
2.	STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND DEZVOLTAREA ECHIPAMENTELOR PENTRU CONSTRUCȚII	16
2.1	EVOLUȚIA ECHIPAMENTELOR PENTRU CONSTRUCȚII	16
2.2	FORME ARHITECTURALE	32
2.3	ANALIZA FORMELOR ARHITECTURALE ȘI STUDIUL LINIILOR TIP SPLINE	37
2.3.1.	Studiul liniilor tip spline	37
2.3.2.	Analiza liniilor de tip spline.....	37
2.3.3.	Utilizarea liniilor spline în realizarea cofrajului	39
2.4	STADIUL ACTUAL ÎN DOMENIUL CERCETĂRILOR ASUPRA COFRAJELOR.....	43
2.4.1.	Cercetări privind cofrajele cu forme complexe.....	43
2.4.2.	Calculul de dimensionare și verificare a echipamentelor tip cofraj	48
2.4.3.	Abordarea MCVP în domeniul construcțiilor	57
2.4.4.	Stadiul actual al gestiunii echipamentelor pentru construcții.....	62
2.4.5.	Stadiul actual al noilor tehnologii de realitate augmentată, în zona construcțiilor.....	64
2.5	CONCLUZII.....	71
3.	SCOPUL ȘI OBIECTIVELE TEZEI	72
3.1.	SCOPUL TEZEI	72
3.2.	OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT	72
3.3.	METODE DE CERCETARE.....	72
3.4.	IPOTEZE DE LUCRU.....	73
4.	ABORDAREA PRIN PRISMA MCVP A CONCEPERII UNOR NOI SOLUȚII PENTRU ECHIPAMENTELE DE CONSTRUCȚII	74
4.1	CONCEPTUL MCVP APLICAT COFRAJELOR	74
4.2	CERCETAREA DE PIAȚĂ	76
4.3	CHESTIONARUL.....	81
4.4	STABILIREA FUNCȚIILOR NOULUI ECHIPAMENT	86
4.5	PRECONCEPȚIA PRODUSULUI	86
4.5.1.	Stabilirea soluției tehnice optime prin prisma MCVP	86
4.5.2.	Descrierea și funcționalitatea soluțiilor obținute.....	104
4.5.3.	Concluzii privind soluțiile constructive ale cofrajului personalizat	122
4.6	CONCLUZII.....	124
5.	DETERMINAREA CARACTERISTICILOR ELEMENTELOR COMPONENTE	

ALE ECHIPAMENTULUI.....	125
5.1 DETERMINAREA CARACTERISTICILOR DE MATERIAL PENTRU PANOUL COFRAJULUI PERSONALIZAT TIP MEMBRANĂ.....	125
5.1.1. Analiza cofrajului solicitat la tracțiune - generalități.....	125
5.1.2. Date introductive referitoare la cercetarea experimentală la tracțiune.....	126
5.1.3. Conceperea programului experimental.....	129
5.1.4. Efectuarea experimentului.....	129
5.1.5. Rezultatele experimentale și interpretarea lor.....	130
5.2 CONCLUZII.....	133
6. VALIDAREA ECHIPAMENTULUI ȘI ELABORAREA SOLUȚIEI ÎMBUNĂTĂȚITE.....	134
6.1 VERIFICAREA ȘI DIMENSIONAREA COMPONENTELOR NOILOR SOLUȚII DE COFRARE.....	134
6.1.1 Calculul plunjerelor.....	134
6.1.2 Calculul cablurilor.....	137
6.1.3 Calculul rigidizărilor.....	139
6.2 SIMULAREA NUMERICĂ ȘI ANALIZA CU ELEMENT FINIT A PANOULUI DE COFRAJ TIP MEMBRANĂ.....	143
6.2.1 Etapele utilizării FEM.....	143
6.2.2 Modelarea cofrajului personalizat.....	145
6.3 ELABORAREA SOLUȚIEI ÎMBUNĂTĂȚITE.....	160
6.4 CONCLUZII.....	172
7. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND COMPORTAMENTUL NOILOR SOLUȚII PENTRU ECHIPAMENTELE DE CONSTRUCȚII.....	173
7.1. DETERMINAREA DEFORMAȚIILOR ELASTICE MAXIME ALE PANOULUI DE COFRAJ.....	173
7.1.1 Analiza experimentului – generalități.....	173
7.1.2 Date introductive referitoare la cercetarea experimentală.....	173
7.1.3 Conceperea programului experimental.....	176
7.1.4 Efectuarea experimentului.....	176
7.1.5 Rezultatele experimentale și interpretarea lor.....	177
7.1.6 Concluzii.....	182
7.2. DETERMINĂRI EXPERIMENTALE REFERITOARE LA PANOUL DE COFRAJ TIP MEMBRANĂ FĂRĂ RIGIDIZĂRI.....	182
7.2.1. Analiza cofrajului solicitat la greutatea betonului – generalități.....	182
7.2.2. Date introductive referitoare la cercetarea experimentală.....	183
7.2.3. Conceperea programului experimental.....	189
7.2.4. Efectuarea experimentului.....	189
7.2.5. Rezultatele experimentale și interpretarea lor.....	190
7.2.6. Concluzii.....	195
7.3. DETERMINĂRI EXPERIMENTALE REFERITOARE LA MEȚINEREA FORMEI PANOULUI DE COFRAJ TIP MEMBRANĂ CU RIGIDIZĂRI	Error! Bookmark not defined.
7.3.1 Analiza cofrajului modelat cu cabluri și rigidizări solicitat la greutatea betonului – generalități.....	196

7.3.2	Date introductive referitoare la cercetarea experimentală.....	196
7.3.3	Conceperea programului experimental	201
7.3.4	Efectuarea experimentului	202
7.3.5	Rezultatele experimentale și interpretarea lor.....	202
7.3.6	Concluzii.....	210
8.	CONCLUZII GENERALE, CONTRIBUȚII PROPRII ȘI DIRECȚII DE CERCETARE VIITOARE	211
8.1.	CONCLUZII GENERALE.....	211
8.2.	CONTRIBUȚII PROPRII	211
8.3.	PROPUNERI PRIVIND CERCETĂRI VIITOARE	212
	REFERINȚE	214
	ANEXE.....	232

Cuvinte cheie

Prezenta teză de doctorat include următoarele cuvinte cheie: echipamente de construcții, managementul ciclului de viață al produsului, cofraj personalizat, forme complexe, linii spline, analiza MCVP, soluție optimă, membrană epoxidică, analiză element finit, gestiunea cofrajelor, Realitatea augmentată.



INTRODUCERE

Domeniul construcțiilor este în continuă schimbare prin viziuni arhitecturale noi, tehnologii moderne și cerințe personalizate.

Dintre toate echipamentele de construcții, cofrajul, deși, nu este parte integrantă din construcția în sine, are o influență semnificativă, de până la aproximativ 20% din costul lucrărilor comune de beton și 40% din consumul de manoperă (unde costurile includ atât modificările și achiziția de cofraje din lemn și placaje din lemn, cât și investițiile pentru cofraje metalice simple sau complexe – exemplu cofrajele glisante, cățărătoare).

Investițiile în acest sector sunt mari, tehnologia în țările cu putere financiară este dezvoltată, iar construcții din beton au forme arhitecturale complexe. Alinierea la aceste rezultate trebuie să se realizeze eficient, productiv și funcție de contextul macromediului.

EVOLUȚIA ECHIPAMENTELOR

Nevoia de supraviețuire și siguranță a dus la apariția spațiilor de locuit. Încă din cele mai vechi timpuri omul a fost preocupat de găsirea și ulterior, de construirea unui adăpost pentru familie (începând cu epoca pietrei și a bronzului). Acesta a fost punctul de pornire și de dezvoltare a construcțiilor.

Începând cu 600 î.Hr. romanii au utilizat un beton ”opus caementicium” (un amestec de cenușă vulcanică, mortar de var, nisip și pietriș) la scară largă. În această perioadă s-au ridicat foarte multe edificii ce aveau drept semn distinctiv arcele, bolțile și cupolele. După căderea Imperiului Roman, perioada ce a urmat a fost marcată îndeosebi de invazii și atacuri. Principalele construcții ridicate erau cele de tip militar. După încetarea acestei perioade, după anul 1000 d.Hr., în perioada Evului Mediu oamenii au început ridicarea de lăcașe de cult și ulterior de clădiri rezidențiale urbane. Astfel, în acea perioadă s-au utilizat des echipamentele de construcții de tipul celor de săpat (cazmale din lemn și metal), de ridicat (sisteme din lemn pe bază de scripeți), de transportat (care de lemn cu roți din lemn, piatră sau metal) și apoi schele, eșafodaje și cofraje care erau alcătuite predominant din lemn și metal.

După această perioadă a urmat cea Renascentistă, o mișcare culturală propice dezvoltării artei și literaturii, a descoperirilor de noi teritorii geografice, perioadă dominată de revolte și delimitări de noi frontiere. Continuând cu anii 1700, începe Revoluția Industrială, o etapă marcantă în evoluția echipamentelor de construcții, având la bază invențiile epocii. Prin urmare, după descoperirea betonului, reîncepe construirea de monumente cu forme aparte, cu tehnici ce puneau la încercare inginerii vremii.

ABORDAREA PRIN PRISMA MANAGEMENTULUI CICLULUI DE VIAȚĂ AL PRODUSULUI (MCVP) A CONCEPERII UNOR NOI SOLUȚII PENTRU COFRAJE

Dezvoltând partea de cercetări bibliografice, minusurile rezultate la studiul cofrajelor actuale pot fi acoperite prin utilizarea conceptului MCVP în cadrul proiectării unui produs. Aici, se vor utiliza eficient resursele materiale și se va urmări, ca timpii de fabricație, cei de utilizare și mentenanță să fie minimi.

Pentru că de la an la an cerințele impuse de tehnologie se dezvoltă, iar necesitățile actuale ale unui spațiu construit diferă de la un dezvoltator la altul și de la un beneficiar la altul, se impune crearea unui echipament care să satisfacă aceste exigențe.

Altfel spus, după analiza tipurilor de cofraj utilizate astăzi, apare necesitatea elaborării de noi soluții de cofrare care să satisfacă cerințele pieței.

Pentru a obține o variantă constructivă eficientă pentru echipamentul de construcții, se va utiliza conceptul MCVP, unde, în procesul de concepere de noi soluții, se va urmări produsul pe întreaga durată de viață, pornind de la cerințele de pe piață, proiectare, optimizare soluții constructive, fabricare, exploatare până la reciclare, de la idee și până la reintegrarea în mediu.

În prima etapă, cea a cercetării pieței se dorește, în primul rând identificarea aspectelor ce trebuie îmbunătățite, la elementele de cofraj, prin determinarea nevoilor/cerințelor la un astfel de produs.

După stabilirea cerințelor, se trece la următoarea etapă, respectiv stabilirea și analiza funcțiilor:

- identificarea funcțiilor pe baza cerințelor beneficiarilor (respectiv enumerarea funcțiilor și ierarhizarea lor) ;

- selecția funcțiilor cu pondere semnificativă.

Pentru stabilirea ierarhiei și selectarea celor mai importante funcții s-a utilizat metoda triplei cruci.

Apoi, funcțiile selectate se descompun în funcții primare, pentru care se propun o serie de soluțiile tehnice de implementare. Pentru validarea soluțiilor tehnice găsite, s-a utilizat metoda TRIZ și software-le aferent.

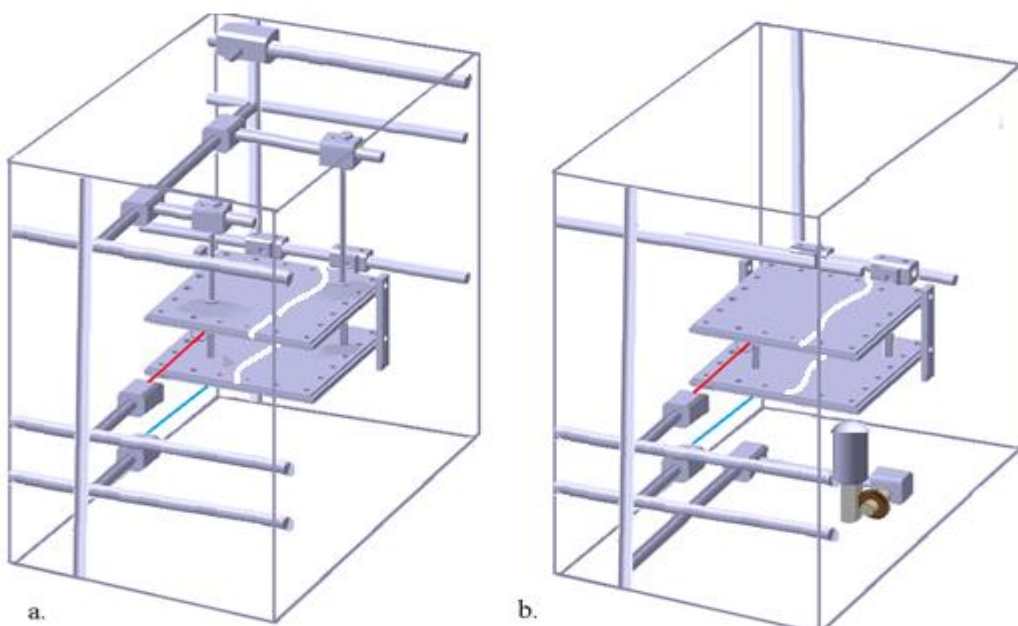
Pentru a elabora soluția optimă se utilizează metoda matricii morfologice, unde pe baza criteriilor de evaluare stabilite (și a ponderilor acestora) se analizează soluțiile constructive posibile și se identifică cele mai bune.

Sunt propuse două soluții cu cel mai mare punctaj pentru testare, verificare și validare. Aceste soluții sunt prezentate, analizate și este descrisă funcționarea și detaliate reperetele componente.

Cele două soluții optime propuse pentru testare, verificare și validare sunt:

- varianta 1 cu sistem de cabluri, compusă dintr-un cadru fix, pe care sunt poziționate și blocate elementele de modelare tip cabluri și care, pentru o rezistență superioară are sub membrana inferioară poziționate elementele de rigidizare. Prinderea cablurilor de membrană se realizează fără perforare prin utilizarea unor discuri lipite sau cu perforare, prin traversarea celor două membrane și a elementelor de spațiere. Pentru limitarea tensiunilor în zona perforată se pun șaibe deasupra și dedesubtul membranei cuplate (Fig. a).

- varianta 2 cu plunjere, compusă dintr-un echipament reutilizabil care permite, pe un cadru fix, poziționarea unor plunjere reglabile (cu dublu rol - elemente de împingere și tijă de susținere), prevăzute cu cap de diferite diametre și care acționează asupra panoului de cofraj - o membrană elastomerică compozită. Fixarea tijelor se face la baza cadrului fix prin elemente de blocare. Pentru cazul armărilor, în varianta armăturii active, se utilizează ochiuri/inele sudate/lipite de elementele de spațiere sau se folosesc piese de legătură (Fig. b).



DETERMINAREA CARACTERISTICILOR DE MATERIAL A PANOULUI DE COFRAJ

Pentru că în etapa de verificare a echipamentului, atât în secțiunea de calcul numeric cât și în cea de analiză cu element finit, se utilizează ca date de intrare anumite caracteristici de material a elementelor componente ale echipamentului, s-a dorit stabilirea exactă a valorilor acestora – pentru panoul de cofraj tip membrană.

Astfel, se stabilesc materialele utilizate, se proiectează experimentul, se elaborează fișa programului experimental (cu prezentarea: scopului, a tipului testului-respectiv solicitare la tracțiune, a epruvetelor, a aparatului folosite și cu stabilirea variabilelor și a domeniului de variație a variabilelor independente). Pentru teste, s-a utilizat mașina de încercare universală INSTRON 5587.

Urmează desfășurarea experimentului, culegerea datelor (rezultatelor) și interpretarea lor.

Rezultatele obținute pentru fiecare membrană în parte, mai precis, caracteristicile specifice de material, care se vor utiliza în calculul analitic și la analiza cu element finit a comportării membranelor modelate, la solicitările încărcării cu beton.

VALIDAREA ȘI ELABORAREA SOLUȚIEI ÎMBUNĂTĂȚITE

Se trece apoi la verificarea la solicitări a echipamentului propus și la validarea acestuia.

Astfel, se verifică la solicitările ce pot apărea în timpul turnării betonului:

- elementele de modelare tip plunjer;
- elementele de modelare tip cablu;
- elementele de rigidizare;
- membrana.

Echipamentul este verificat utilizând calculul analitic(plunjer, cablu, rigidizare) și modelarea numerică cu element finit (membrană).

Pentru calculul analitic este propus un algoritm de dimensionare a componentelor echipamentului de cofrat.

Calculul membranelor se face în domeniul elastic, la starea limită de exploatare normală.

Pentru partea de modelare cu element finit (FEM) s-au utilizat două programe de calcul: Simulia și Abaqus.

Ca și date de intrare pentru modelare s-au notat: tipul membranei (caracteristici de material), lungimea membranei, lățimea membranei, grosimea membranei, grosimea stratului de beton, poziția elementelor de modelare, diferența de nivel dintre punctele de modelare, forțele aplicate.

La utilizarea analizei cu element finit (cu ”Simulia”) s-a determinat valoarea înălțimii maxime de deformare a membranei în domeniul elastic și rezistența acesteia la presiunea betonului.

Pe baza datelor furnizate de programul de calcul s-a stabilit domeniul elastic al materialului compozit. Prin această analiză se demonstrează caracterul reutilizabil al soluției propuse. Astfel, membranele cu inserție lucrează în mediul elastic până la o deformare de până la 43 cm. Prin utilizarea unei rigidizări (tip plasă) în zona inferioară a membranei, deplasările sunt blocate și încărcările pot fi mult mai mari.

În paralel s-a realizat și o analiză în programul Abaqus, unde s-a dorit o analiză mai detaliată a solicitării panoului de cofrat tip membrană, aplicându-se mai multe puncte de modelare

După ce echipamentul este dimensionat se analizează: modul de funcționare, utilizarea, mentenanța cofrajului și reciclarea reperelor acestuia (conform etapelor MCVP).În final pe baza feed-back-ului de la etapele parcurse, se obține soluția îmbunătățită a cofrajului.

Astfel, se analizează soluțiile de cofrare propuse și este vizat fiecare reper pentru a se identifica ce trebuie să fie fabricat și ce trebuie să fie achiziționat de pe piață (cum ar fi: cadrul cofrajului, panoul de cofraj, elementele de fixare, membrana, elementele de modelare tip plunjer, elementele de modelare tip cabluri, elementele de blocare plunjere, elementele de blocare a cablurilor, distanțierii, elementele de blocare a armăturii și a rigidizărilor, rigidizările ș.a.m.d.).

Pentru stabilirea modului de realizare a montajului este necesară detalierea locului unde se desfășoară turnarea betonului.

Soluția aleasă, pentru echipamentul analizat anterior, este cea a turnării elementului într-o hală de producție. Apoi, se prezintă ordinea operațiilor de montaj al acestuia.

Pentru o execuție corectă a montajului reperelor echipamentului s-a propus elaborarea unui manual a cofrajului cu descrierea elementelor componente, a utilajelor necesare și cu pașii de urmat pentru realizarea acestuia.

Un alt criteriu luat în considerare este cel al modului de utilizare. Cofrajele propuse pentru realizarea suprafețelor arhitecturale vor fi folosite în cadrul unei hale de producție, pentru realizarea de elemente prefabricate, care se vor monta direct pe șantier. Sunt propuse două variante de utilizare. Dar, se arată, că este posibilă și o alta, mai pretențioasă, cu folosirea unor senzori de avertizare sau de informare.

Un alt aspect, pentru care echipamentul trebuie analizat, este cel al mentenanței. Astfel, se arată că părțile componente trebuie verificate, curățate, degresate și puse corespunzător în depozit.

Urmărind eficiența soluției propuse apare necesitatea unei gestiuni corecte. În acest sens s-a creat o schemă logică a gestionării reperelor echipamentului.

Cunoscând că fiecare reper poate fi achiziționat de la un furnizor sau comandat spre fabricare la un executat, schema ia în considerare timpii necesari de aprovizionare, pentru fiecare din reperele ce definesc echipamentul de cofrare. Astfel, este necesară cunoașterea permanentă a stocului de elemente componente ale echipamentului și a stării fiecăruia în parte. Selecția se realizează, în mod uzual, funcție de stoc: se optează pentru echipamentul disponibil necesar, care poate executa "sarcina". Se remarcă elaborarea unei diagrame de selecție a cofrajului din gestiune.

În continuare se arată avantajele utilizarea realității augmentate prin coduri de bare (QR), care se face pentru fiecare formă – material - dimensiune – furnizor.

Iar, pentru o mai bună gestionare a produselor, s-a propus un catalog de produse ce înglobează toate tipurile de cofraje din depozit.

Ultima etapă a analizei echipamentului este cea a scoaterii din uz- reciclarea.

Pentru echipamentul de cofrare s-au identificat patru categorii de deșeuri ce vor putea fi introduse în circuit: materialele neferoase, metalele, echipamentele electrice și/ sau electronice și componentele lemnoase.

Astfel, în urma analizei se identifică eventuale noi soluții tehnice mai eficiente, care să satisfacă standardele impuse.

Feed back-ul transmis proiectanților duce la obținerea unei soluții constructive îmbunătățite, care să fie analizată de la idee, până la reciclare.

CERCETĂRI EXPERIMENTALE

După dezvoltarea fiecărei etape din cadrul ciclului de viață, după partea de analiză, verificare și validare a soluției (soluțiilor), se realizează etapa experimentală ce reproduce la o anumită scară funcționarea și modul de utilizare al cofrajului personalizat.

În prima parte a capitoului se analizează elasticitatea membranelor, care sunt sollicitate la tracțiune echibiaxială, utilizând două plunjere sferice de diametre diferite.

Scopul studiului este de a determina valoarea maximă a deformației membranelor. Pentru o membrană de 1m x 1m, deformațiile maxime în domeniul elastic se află în jurul valorilor de 200 mm, confirmând rezultatele din analiza cu FEM și a experimentului la tracțiune.

Astfel, se validează posibilitatea reutilizării membranelor în limita unei valori de ± 200 mm a deformației acestora (cu ochi de încastrare la un metru). Cele mai bune membrane, conform datele obținute, sunt cele tip SBR 3mm și SBR 3mm cu inserție.

În continuare, se efectuează determinări experimentale pentru panoul de cofraj tip membrană fără rigidizări. Prin acest experiment s-a verificat rezistența membranei la greutatea betonului, utilizând pentru modelare plunjere cu capuri reglabile. Pentru acest test, s-au luat ca și variabile tipul membranei și distanța dintre elementele de modelare, iar încercările au fost

pentru unul, doua sau trei plunjere. Aici, nu s-au utilizat rigidizări la baza cofrajului, iar forțele ce acționează asupra sa s-au calculat anterior, pentru greutatea betonului cu grosimea de 5cm.

Rezultatele evidențiază modul cum tipul membranei influențează valoarea deformației. Pentru aceeași valoare a distanței dintre punctele de modelare se obțin deformații mai mici în cazul utilizării unor membrane cu caracteristici superioare, iar micșorarea distanței dintre elementele de modelare duce la o valoare mai mică de deformare.

Următoarea cercetare experimentală vizează panoul de cofraj tip membrană cu rigidizări, utilizând pentru modelare cabluri pereche și unde solicitarea membranei s-a făcut la greutatea betonului cu grosimea de 5cm. Pentru acest test, s-au luat ca și variabile tipul membranei și distanța dintre elementele de modelare, iar modelarea membranei s-a realizat prin utilizarea unui cablu, a două și a trei cabluri.

Urmărind comparativ soluția cu și fără rigidizări, se poate evidenția precizia ridicată la utilizarea sistemului de cabluri tip plasă pentru rigidizare, unde diferențele de înălțime (deformațiile) după turnare tind spre zero.

Pentru fiecare tip de cercetare s-a elaborat fișa programului de cercetare (cu definirea problemei, clasificarea variabilelor, tipul de investigație, metoda, tipul de analiză și concluzii), s-a prezentat standul experimental și pe baza programului experimental s-au desfășurat experimentele, s-au colectat datele și s-au analizat și interpretat.

Cercetările experimentale confirmă corectitudinea soluțiilor constructive propuse pentru cofrajul personalizat.

CONCLUZII GENERALE CONTRIBUȚII PROPRII ȘI DIRECȚII DE CERCETARE VIITOARE

Concluzii generale

Pentru a ajunge la obiectivele propuse în teză, s-a plecat de la o cercetare de piață, care a evidențiat faptul că „zona cofrajelor” este o arie puțin dezvoltată, apoi, că cerințele beneficiarilor referitoare la formele structurale din construcții sunt diverse, iar cofrajele utilizate, în general, astăzi, nu le satisfac pe deplin.

S-a apelat la analiza MCVP în ceea ce privește elaborarea unor soluții eficiente pentru un nou produs – cofraj, care să satisfacă nevoile, respectiv cerințele beneficiarilor, de la idee până la reciclare și reintegrarea în mediu.

În analiză, prin prisma MCVP, s-a insistat pe etapele de cercetare a pieței pentru identificarea corectă a cerințelor, care este esențială pentru un nou produs modern.

Astfel, s-a studiat macromediul, care influențează esențial cererea, motiv pentru care, trebuie să se efectueze permanent studii, care să fie în concordanță cu situația reală de pe piață.

Pe baza cercetărilor primare și secundare s-au identificat, cerințele pieței.

Metodologia propusă, prin selectarea cerințelor și stabilirea ponderii lor, conduce la stabilirea funcțiilor pentru un nou produs. Acest lucru permite, în final, divizarea în funcții primare și ierarhizarea lor în vederea găsirii de soluții constructive.

Astfel, s-au ales criteriile de evaluare, ce sprijină cererea: productivitate ridicată prin reducerea timpilor (de montaj, utilizare și mentenanță) și a costurilor (prin reutilizarea cofrajelor).

Elaborarea soluției optimizate, pentru produs, s-a realizat plecând de la funcțiile selectate, ca, apoi, utilizând metodele creative și evaluând mulțimea de variante posibile generate, să se ajungă în final la soluțiile care le satisfac cel mai bine.

Soluțiile tehnice de implementare a funcțiilor, alese, pe baza unor evaluări riguroase, permit construcția noului produs – cofraj personalizat folosit la realizarea unor forme complexe prin utilizarea de membrane elastomerice modelate cu plunjere sau cabluri.

A urmat „simularea” etapelor ce urmează în viața produsului, care prin „substituție” permit, prin întrebări, răspunsuri și feed back, să se obțină în final o soluție îmbunătățită a produsului cofraj, care să răspundă așteptărilor pe parcursul întregului ciclu de viață.

Astfel, se verifică: funcționarea, dimensionarea soluțiilor tehnice (prin calcul analitic și simulare numerică cu element finit), fabricarea, montajul, utilizarea și reciclarea.

De remarcat, că s-a propus o gestiune a reperelor echipamentului folosind R.A. și o mentenanță specifică.

Etapa finală a fost cea a validării soluțiilor propuse, prin realizarea de teste experimentale, care să confirme posibilitatea implementării unui astfel de echipament.

Contribuții proprii

Caracterul de originalitate al cercetării științifice este conferit de contribuțiile personale aduse prezentei lucrări. Acestea se pot remarca pe tot parcursul tezei de doctorat prin intermediul analizelor, sintezelor, soluțiilor constructive propuse, experimentelor de laborator și aplicațiilor realității augmentate.

Din analiza capitolelor tezei de doctorat se disting, o serie de contribuții proprii:

- Studiul domeniului, a cercetărilor efectuate aici și analiza originală a sistemelor de cofrare;
- Analiza prin prisma MCVP a elaborării unui nou produs – respectiv un cofraj eficient pentru realizarea unor suprafețe complexe, unde se remarcă:
 - analiza SWOT;
 - utilizarea metodelor creative de găsire de noi idei (brainstorming, brainwriting, diagrama fishbone Ishikawa);
 - analiza cerințelor (diagrama Pareto);
 - realizarea diagramei de idei (simple sau tip mind-map);
 - realizarea de cercetări primare a pieței prin munca pe teren (chestionarul);
 - analiza și ierarhizarea funcțiilor (metoda triplei cruci);
 - găsirea de soluții posibile (metoda TRIZ, metoda matricei morfologice);
 - determinarea unor soluții originale de cofrare pentru forme complexe: utilizarea de materiale auxiliare ca bază suport (coloană de lichid, materiale granulare – talc, nisip), utilizarea de fâșii compozite modelate și fixate prin agenți de întărire, modelarea prin elemente de tragere sau împingere (plunjere, cabluri) ș.a.m.d.;
 - determinarea soluției optime (metoda Pugh);
 - simularea numerică a comportării soluțiilor propuse;
 - analiza funcționării, fabricării, montării, utilizării, mentenanței și reciclării noului produs;
- Abordarea originală a modelării echipamentului de cofrare;
- Cercetarea experimentală pentru validarea soluțiilor constructive propuse;
- Elaborarea unui studiu de caz de analiză a montajului unui cofraj prin utilizarea

Realității augmentate;

- Gestiunea cofrajelor utilizând codurile QR.

În teza s-a urmărit atât analiza teoretică a soluțiilor, cât și caracterul lor aplicativ.

Astfel, calculul analitic privind cofrajul permite predimensionarea optimă a componentelor acestuia, iar studiul liniilor tip spline conduce la stabilirea corectă a punctelor de modelare a membranei.

Analiza numerică privind comportamentul cofrajului, respectiv a membranei solicitate la forțele din greutatea betonului a dus la validarea și determinarea domeniului de aplicativitate a acestui echipament. Studiul aprofundat pune în evidență situațiile cele mai defavorabile privind dimensiunile și elasticitatea membranei, dar și a rigidității cofrajului.

Așa cum s-a arătat mai sus, studiile experimentale validează soluția constructivă ce utilizează membrane, ca panou de cofraj.

Propuneri privind cercetări viitoare

Dezvoltarea soluțiilor tehnologice, descoperirea de noi materiale și în general dinamica mediului permit elaborarea de noi soluții constructive.

Pentru viitor se propun următoarele cercetări:

- studii privind automatizare reglajului, respectiv modelarii membranei (curba spline-puncte de modelare-calculator-comandă mișcare-motor pas cu pas-deplasare cablu-blocare automata-repetare...);
- studii privind stabilirea tehnologiei optime de realizare pentru suprafețe sculpturale complexe, cu variații pe înălțime mai mari de 300 mm, utilizând materiale compozite „turnate” pe suprafețe modelate cu ajutorul unor sisteme tip plase, ca în cazul soluției propuse;
- studii privind stabilirea tehnologiei optime de realizare pentru suprafețe sculpturale riglate folosind cofraje ce utilizează soluția propusă.

Această lucrare, elaborată pe parcursul mai multor ani de cercetare, lasă cale deschisă dezvoltării sistemelor experimentale inovative din acest domeniu.

În viitor, se pot elabora noi algoritmi, noi metode și programe care, utilizate pentru analiză, să permită obținerea unor soluții mult mai precise, pentru elementele structurale cu forme complexe.

Sperăm ca tema abordată în teza de doctorat, să trezească interes specialiștilor în domeniu și să fie un punct de plecare pentru alte aplicații.

- [1] Wen-Pei Sung, et al. „Evaluation Method for Performance of Formwork Process of Construction Industry,” *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 2018.
- [2] M. Schaeffer, „The top 10 ways to improve safety and productivity,” 2009. [Interactiv]. Available: https://www.concreteconstruction.net/business/management/the-top-10-ways-to-improve-safety-and-productivity_o.
- [3] K. Belajar, „Formwork - technical, functional & economic requirements,” 2021. [Interactiv]. Available: <https://ar-ar.facebook.com/coursetrainingkursusautocad3dsMaxmalaysia/posts/formwork-technical-functional-economic-requirementsformwork-is-a-temporary-mould/1332249006966540/>.
- [4] „Cimentul in Evul Mediu si Era Industrială,” [Interactiv]. Available: <https://winsec.us/cimentul-evul-mediu-si-era-industrială/>.
- [5] „Beton armat,” 2017. [Interactiv]. Available: <https://mihaivale.ro/beton-armat/>.
- [6] „ORDIN Nr. 1752 din 17 noiembrie 2005,” 2008. [Interactiv]. Available: http://www.conta-conta.ro/miscellaneous/1.077_miscellaneous_contabilitate_files%201.077_.pdf.
- [7] Micul dictionar academic vol. II, București: Institutului de Lingvistică „Iorgu Iordan – Al. Rosetti”, 2010.
- [8] „Istoria betonului,” [Interactiv]. Available: <https://organicindiatoday.com/ro/istoria-betonului/>.
- [9] „Secretele din spatele construirii piramidelor,” Media Max.ro, [Interactiv]. Available: <https://www.media-max.ro/secretele-din-spatele-construirii-piramidelor/>.
- [10] „Arhitectura egipteană antică,” 2021. [Interactiv]. Available: https://wikicro.icu/wiki/Ancient_Egyptian_architecture.
- [11] „Cum au fost construite piramidele din Egipt,” 2016. [Interactiv]. Available: <https://www.descopera.ro/istorie/15499559-cum-au-fost-construite-piramidele-din-egipt>.
- [12] „Cum au fost construite piramidele egiptene,” 2008. [Interactiv]. Available: <https://acasa.ro/auto-tehno-190/it-c-191/cum-au-fost-construite-piramidele-egiptene-70813.html>.
- [13] „Structura piramidei faopsilor faraonului. Piramidele egiptene: trebuie să știi,” [Interactiv]. Available: <https://hotel-all.ru/ro/afrika/stroenie-piramidy-faraona-heopsa-egipetskie-piramidy-eto-nado-znat/>.
- [14] „Week 32 – Calcio-crazy Roma, and Reed Centering for Roman Concrete Vaulting,” [Interactiv]. Available: <https://vitruviusfootsteps.wordpress.com/2010/04/19/week-32-%E2%80%93-calcio-crazy-roma-and-reed-centering-for-roman-concrete-vaulting/>.
- [15] „Constructorii catedralelor,” [Interactiv]. Available: <https://istoriiregasite.wordpress.com/2013/07/14/constructorii-catedralelor/>.
- [16] „Stone Age equipment from the Swiss stilt houses,” [Interactiv]. Available: <https://www.alamy.com/stone-age-equipment-from-the-swiss-stilt-houses-a-ax->

2-mallets-3-hirschorm-hoe-4-5-and-6-ax-hammers-7-and-8-stone-chisel-9-hoe-in-staghorn-and-wood-10-spearhead-11-arrowhead-12-15-stone-arrowheads-16-spearhead-17-leg-needle-1894-imag.

- [17] „Laborers,” [Interactiv]. Available: <https://slideplayer.com/slide/9379311/>.
- [18] „The History of Heavy Equipment: A Timeline,” [Interactiv]. Available: <https://heavyequipmentcollege.com/the-history-of-heavy-equipment-a-timeline/>.
- [19] „Ilustrație de stoc Antic excavator mecanic excavator ilustrare 1896,” [Interactiv]. Available: <https://www.istockphoto.com/ro/vector/antic-excavator-mecanic-excavator-ilustrare-1896-gm1185038014-333812385>.
- [20] J. Calvo-López, „Sixteenth-Century Spanish Cranes and Lázaro de Velasco's Translation of Vitruvius,” *Proceedings of the Second International Congress on Construction History*, 2006.
- [21] „Istoria macaralelor,” [Interactiv]. Available: <http://www.madis.ro/blog/istoria-macaralelor-2013-07-28/>.
- [22] „Industrial Cranes from the time of the industrial revolution,” [Interactiv]. Available: <https://www.alamy.com/stock-photo-industrial-cranes-from-the-time-of-the-industrial-revolution-53165975.html>.
- [23] „Transport on land,” 2011. [Interactiv]. Available: <https://www.sahistory.org.za/article/transport-land>.
- [24] „Road transport and its early development,” 1999. [Interactiv]. Available: https://cnx.org/contents/RLfcHevj@1.1:pU_3tEbP@1/Road-transport-and-its-early-development.
- [25] „Old Killingworth Locomotive,” [Interactiv]. Available: <https://corurate.ncl.ac.uk/resources/view/32293/>.
- [26] „125 de ani de la invenția care a revoluționat lumea transporturilor: Primul camion,” [Interactiv]. Available: <https://www.ziuacargo.ro/stiri/125-de-ani-de-la-inventia-care-a-revolutionat-lumea-transporturilor-primul-camion-184330.html/>.
- [27] „An old engraving of a Victorian three-wheel ‘road roller’,” [Interactiv]. Available: <https://www.alamy.com/an-old-engraving-of-a-victorian-three-wheel-road-roller-made-by-aveling-and-porter-of-rochester-kent-england-uk-it-is-from-a-mechanical-engineering-book-of-the-1880s-a-road-roller-roller-compactor-or-roller-is-used-to-surfaces-in-the>.
- [28] „Liner Concrete Machinery Company,” [Interactiv]. Available: https://tractors.fandom.com/wiki/Liner_Concrete_Machinery_Company.
- [29] „Paving Machine, 1879,” [Interactiv]. Available: <https://www.posterazzi.com/paving-machine-1879-njohnsons-steam-pavement-rammer-line-engraving-1879-poster-print-by-granger-collection-item-vargrc0098285/>.
- [30] „Cine a inventat aparatul de sudura?,” 2014. [Interactiv]. Available: <https://www.cineainventat.ro/aparatul-de-sudura/>.
- [31] „Inchirieri utilaje de constructii si mijloace de transport,” Selca, [Interactiv]. Available: <https://selca.ro/inchirieri-utilaje/>.
- [32] „Romcrete,” [Interactiv]. Available: <https://www.romcrete-echipamente.ro/portofoliu>.
- [33] „Curs de Arhitectura,” [Interactiv]. Available: <https://cursarhitectura.files.wordpress.com/2014/08/vitruvius-de-architectura.jpg>.
- [34] „Cofraje si esafodaje pentru lucrari din beton si beton armat,” [Interactiv]. Available: <https://pdfcoffee.com/curs-4-cofrajedoc-pdf-free.html>.

- [35] „Totul despre beton,” [Interactiv]. Available: <https://www.pret-beton.ro/totul-despre-beton>.
- [36] „Produse și sisteme cofrare,” Peri.ro, [Interactiv]. Available: <https://www.peri.ro/categorii-de-produse.html>.
- [37] „Sisteme de cofraj Doka,” Doka.com, [Interactiv]. Available: <https://www.doka.com/ro/solutions/overview/index>.
- [38] „Cofraje pentru turnarea tuburilor de beton,” Fluensys, [Interactiv]. Available: <https://dfr.ro/produse/cofraje-tuburi-beton/>.
- [39] „Textile Concrete Formwork,” [Interactiv]. Available: <https://textilesmithing.com/2011/01/18/textile-concrete-formwork/>.
- [40] „Cofraje, Sustineri Curs,” [Interactiv]. Available: <https://pdfcoffee.com/cofraje-sustineri-curs-pdf-free.html>.
- [41] „Cofraj catarator,” [Interactiv]. Available: <https://www.proidea.ro/hunnebeck-romania-srl-228386/sisteme-cataratoare-hunnebeck-339814.shtml>.
- [42] „Cofraj polistiren,” [Interactiv]. Available: <https://www.casatermo.com/>.
- [43] „Cofraj pierdut pentru plansee,” [Interactiv]. Available: <https://constructsteel.ro/cofrag-pierdut-pentru-plansee/>.
- [44] „Wall formwork,” [Interactiv]. Available: https://www.doka.com/doka_manuals/0000005788/en-gb/027/Framax_Xlife_plus/Framax_Xlife_plus/Wall_formwork.htm.
- [45] „Waling-to-bracket holder,” [Interactiv]. Available: <http://www.forprosh.com/en/h-pd-247.html>.
- [46] „Manto large frame panel formwork - components,” [Interactiv]. Available: <https://www.slideshare.net/JBuix/manto-large-frame-panel-formwork>.
- [47] „Educația plastică școala cu ceas,” [Interactiv]. Available: <https://scoalacuceaseducatieplastica.files.wordpress.com/2020/05/1086eca96f74efca576b9bd8a6ddc2fd-1.jpg?strip=info&w=728>.
- [48] „Istoria Betonului,” [Interactiv]. Available: <http://betonix.ro/totul-despre-beton/istoria-betonului/>.
- [49] R. Pepin, „The history of concrete,” Iunie 2017. [Interactiv]. Available: <https://www.giatecscientific.com/education/the-history-of-concrete/>.
- [50] T. Leslie, „Laborious and Difficult: Pier Luigi Nervi's Hangars for the Italian Air Force, 1936-42,” 2018.
- [51] „Clásicos de Arquitectura: Club Táchira / Fruto Vivas + Eduardo Torroja,” [Interactiv]. Available: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-332131/ad-classics-club-tachira-fruto-vivas-eduardo-torroja>.
- [52] „Die Meldung in Bildern,” [Interactiv]. Available: https://www.baunetz.de/meldungen/Meldungen-Zum_Tod_von_Heinz_Isler_791805.html?backurl=http://www.baunetz.de/meldungen/index.html&bild=5.
- [53] G. Tang, „An Overview of Historical and Contemporary Concrete Shells, Their Construction and Factors in Their General Disappearance,” *International Journal of Space Structures*, vol. 30, nr. 1, pp. 1-12, 2015.
- [54] „Istoria acum,” [Interactiv]. Available: <https://e-zeppelin.ro/istoria-acum/gara-decalatori-predeal-1967-1968/gara-din-predeal-observatii-si-date-suplimentare-ingildiko-bucur-horvath/>.

- [55] „Izvorul 24 din Olănești, primul acoperiș tip șa din România,” 2015. [Interactiv]. Available: <https://www.ramnicuvalceaweek.ro/izvorul-24-din-olanesti-primul-acoperis-tip-sa-din-romania/>.
- [56] „Bazinul Olimpic de înot din Bacău,” 2012. [Interactiv]. Available: Structura de rezistență a acoperișului - de forma unei șei (paraboloid hiperbolic) - este reprezentată de cabluri de oțel (similar copertinei stadionului din München).
- [57] V. Gioncu, Placi curbe subtiri din beton armat, Academia Republicii Socialiste Romania, 1974.
- [58] „Acoperisuri cu dubla curbura - Generalități,” 2019. [Interactiv]. Available: <https://dokumen.tips/documents/11stracoperis-dubla-curbura.html>.
- [59] Y. S. Tamanna Brar, Shell structure.
- [60] „Heinz Isler: A few important things,” 2009. [Interactiv]. Available: <https://blog.buildllc.com/2009/04/heinz-isler-a-few-important-things/>.
- [61] „Curbe si suprafete B-spline,” [Interactiv]. Available: <https://www.rasfoiesc.com/educatie/matematica/Curbe-si-suprafete-Bspline67.php>.
- [62] „B-spline rațională neuniformă - Non-uniform rational B-splineEnciclopedie site:wikiroro.top,” [Interactiv]. Available: https://wikiroro.top/wiki/non-uniform_rational_b-spline.
- [63] E. Catmull și R. Rom, „A class of local interpolation splines,” pp. 317-326, 1974.
- [64] U. Kochanek și H. Bartels, „Interpolating splines with local tension, continuity, and bias control,” vol. 18, nr. 3, p. 33-41, 1984.
- [65] D. Eberly, „Kochanek-Bartels Cubic Splines (TCB Splines),” [Interactiv]. Available: <https://www.geometrictools.com/Documentation/KBSplines.pdf>.
- [66] R. Trîmbițaș, „Interpolare spline,” [Interactiv]. Available: <http://math.ubbcluj.ro/~tradu/sliderom/splineint.pdf>.
- [67] C. Twigg, „Catmull-Rom splines,” [Interactiv]. Available: <http://graphics.cs.cmu.edu/nsp/course/15-462/Fall04/assts/catmullRom.pdf>.
- [68] F. Pop, G. Pantelimon Popescu și B. Marchis, „METODE NUMERICE,” [Interactiv]. Available: https://ocw.cs.pub.ro/courses/_media/mn/laboratoare/lab_mn_09.pdf.
- [69] A. M. Kvarving, „Natural cubic splines,” [Interactiv]. Available: <https://www.math.ntnu.no/emner/TMA4215/2008h/cubicsplines.pdf>.
- [70] D. Breen, W. Regli și M. Peysakhov, „B-Splines and NURBS,” [Interactiv]. Available: https://www.cs.drexel.edu/~david/Classes/CS430/Lectures/L-09_BSplines_NURBS.pdf.
- [71] [Interactiv]. Available: <https://www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/match-following-curves--hermite-b-b-spline-c-catmull-rom-d-bezier-q49147923>.
- [72] [Interactiv]. Available: <https://slideplayer.com/slide/9400186/>.
- [73] T. Sellarès, „Curves,” Universitat de Girona, [Interactiv]. Available: <http://ima.udg.edu/~sellares/MEG/CurvesMEG09.pdf>.
- [74] [Interactiv]. Available: <http://www.hao-li.com/cs420-fs2018/slides/Lecture04.2.pdf>.
- [75] D. Ma și A. Rodriguez, „Friction Variability in Planar Pushing Data: Anisotropic Friction and Data-Collection Bias,” în *IEEE Robotics and Automation Letters PP(99):1-1*, 2018.

- [76] T. A. Mohammed și A. Redzuan, „Traditional formwork system sustainability performance: experts’ opinion,” *GCoMSE2017*, vol. 271, 2017.
- [77] L. Wei-yi și D. Evison, „Consumption of plywood and sawn timber for concrete formwork in the Chinese construction industry,” vol. 62, nr. 4, pp. 30-37, 2018.
- [78] H. S. Abdelgader, M. West și J. Górski, „Fabric formwork - An alternative to traditional formwork,” *BFT International*, pp. 48-57, 2018.
- [79] W. Hawkins, M. Herrmann, B. Kromoser, A. Michaelski, J. Orr și M. West, „Flexible formwork technologies – a state of the art review,” *Structural Concrete*, vol. 17, nr. 6.
- [80] M. H. T. I. Will Hawkins, „Flexible formwork technologies – a state of the art,” *Structural Concret*, vol. 17, nr. 6, 2016.
- [81] L. Lilienthal, „Fireproof Ceiling”. SUA Brevet 619,769, 1899.
- [82] P. Eisenbach, *Processing of Slender Concrete Shells - Fabrication and Installation*, kassel university press GmbH, 2017.
- [83] M. West și R. Araya, „Fabric Formwork Construction Projects,” 2012.
- [84] A. . Lawton, „ArroDesign,” 2016. [Interactiv]. Available: <http://www..>
- [85] „Flexible fabric molds for precast trusses”. Canada 2006.
- [86] T. D. A. B. J. Ibell, „Fabric-formed concrete beams,” *Concrete*, vol. 41, nr. 1, pp. 28-29, 2007.
- [87] D. S. H. Lee, „Study of construction methodology and structural behaviour of fabric formed form-efficient reinforced,” în *Teza doctorat*, Edinburgh, 2011.
- [88] J. J. Orr, „Flexible formwork for concrete structures,” în *Teza doctorat*, Universitatea Bath, 2012.
- [89] M. Kostova, et al., „Innovative structural systems for architecturally expressive and sustainable concrete structures,” *Proceedings of 6th International Conference on Advanced Composite Materials in Bridges and Structures (ACMBS-VI)*, 2012.
- [90] R. Lawton, et al., „Case Study – Fabric Formed Stair,” *Proceedings of The Second International Conference on Flexible Formwork*, 2012.
- [91] G. Morrow, „Bomnong L’Or Projec,” 2016. [Interactiv]. Available: : <http://www.structuremode.com/>.
- [92] J. H. W. Waller, „Method of building with cementitious material applied to vegetable fabrics”. Brevet U.S. Pat. 1,955,716, 1934.
- [93] M. Cauberg, et. al. „Fabric formwork for flexible, architectural concrete,” *Proceedings of International Symposium on Fibre-reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structure*, 2009.
- [94] Fab-form, „Fabric-formed concrete,” 2016. [Interactiv]. Available: <http://fab-form.com>.
- [95] T. Verwimp, et. al. „Structural stay-in-place formwork in textile reinforced cememnt composites for very slender concrete columns,” *Proceedings of The Second International Conference on Flexible Formwork*, 2012.
- [96] R. Pedreschi, „Fabric formed concrete structures and architectural elements,” *Proceedings of Structures and Architecture: New concepts, applications and challenges*, 2013.
- [97] K. Kostova, „Design and constructability of fabric-formed concrete elements reinforced with FRP materials,” în *Teza doctorat*, Universitatea Bath, 2016.
- [98] D. Veenendaal, „The Fabric Formwork Book,” *Methods for Building New Architectural and Structural Forms in Concrete*, 2016.

- [99] J. Redjvani, et. al. „Fabulous flexible formwork,” *Australian Concrete Construction*, pp. 3-14, 1995.
- [100] A. Lawton, „ArroDesign,” 2016. [Interactiv]. Available: <http://www.arrodesign.org>.
- [101] L. P. Pronk, et al. „The production of free formed concrete elements in a flexible mould,” *Proceedings of International Association for Shell and Spatial Structures*, 2010.
- [102] A. Chandler, „ Fabric formwork – prototype to typology,” *The Journal of Architecture*, vol. 20, nr. 3, pp. 420-429, 2015.
- [103] W. Jack. [Interactiv]. Available: <http://walterjack.co.uk/crushedwall/>.
- [104] M. A. R. West, „Recent Fabric Formwork Construction Projects,” *Proceedings of The Second International Conference on Flexible Formwork*, 2012.
- [105] C. Waller, et. al., „Corrugated Concrete Shell Roofs,” *Proc. Instn Civil Engr*, vol. 4, nr. 153-182, 1953.
- [106] M. Pronk, et. al., „The reconstruction of the Philips pavilion,” *The reconstruction of Architectural Form, Theory and Practice*, vol. 1, 2007.
- [107] T. Tysmans, „Design of anticlastic shells in innovative textile reinforced cement composites,” în *Teza doctorat*, Universitatea Vrije, 2010.
- [108] B. Seracino, et. al., „Shell elements of textile reinforced concrete using fabric formwork: a case study,” *Advances in Structural Engineering*, vol. 15, nr. 4, pp. 677-690, 2012.
- [109] A. Adderley, „Building Matters: An investigation into the use of permanent formwork,” *Proceedings of The Second International Conference on Flexible Formwork*, 2012.
- [110] S. Oldfield, „Fabric-formed parabolic shapes for acoustic focusing,” în *Teza doctorat*, Universitatea Bath, 2013.
- [111] H. Pedreschi, et. al., „Structure, Form and Construction: Fabric formwork for concrete,” *Proceedings of Architectural Research through to Practice: 48th International Conference of the Architectural Science Association*, 2014.
- [112] D. B. P. Veenendaal, „Design process for prototype concrete shells using a hybrid cable-net and fabric formwork,” *Engineering Structure*, vol. 75, pp. 39-50, 2014.
- [113] R. T. G. Pedreschi, „Deployable gridshells as formwork for concrete shells,” *Proceedings of The International Society Of Flexible Formwork*, 2015.
- [114] T. Global, „Hypar Roof,” 2015. [Interactiv]. Available: <http://www.tscglobal.build/hyPar-roofs>.
- [115] S. Belton, „Digital Formfinding,” *Proceedings of The Second International Conference on Flexible Formwork*, 2012. [Interactiv].
- [116] N. Ramaswamy, et. al., „Casting and Testing a Shell Roof Unit,” *Civil Engineering and Public Works Review*, vol. 628, pp. 1155-1157, 1958.
- [117] M. West, „Thin shell concrete from fabric mold,” 2009. [Interactiv]. Available: http://www.fabwiki.fabric-formedconcrete.com/lib/exe/fetch.php?media=chile:thin_shell_panels.pdf.
- [118] C. W. D. Munro, „ Reconfigurable pin-type tooling: A survey of prior art and reduction to practice,” *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, vol. 129, nr. 3, pp. 551-565, 2007.
- [119] T. Nose, „Process of Constructing Culverts of Pipes of Concrete”. Brevet U.S. Pat. 1,600,353, 1926.
- [120] W. Neff, „Building construction”. Brevet U.S. Pat. 2,270,229, 1941.

- [121] H. A. Hawes. Marea Britanie Brevet GB668372-A, 1952.
- [122] D. Bini, „A new pneumatic technique for the construction of thin shells,” 1967.
- [123] R. Piano, „Progettazione sperimentale per strutture a guscio – experimental project of shell structures,” *Casabella*, pp. 38-49, 1969.
- [124] U. Eisel. Brevet DD137423 (A1), 1979.
- [125] H. Poggeler, „A solid form for a difficult shell roof,” vol. 2, pp. 139-145, 1982.
- [126] R. L. Nicholls, „Air-inflated fabric-reinforced concrete shells”. SUA Brevet 4,446,038, 1984.
- [127] J. S. W. Schlaich, „Suitable shell shapes,” *Concrete international*, vol. 1, pp. 41-45, 1986.
- [128] D. B. South, „Economics of Air-formed concrete domes,” *Concrete International Magazine*, vol. 8, pp. 24-29, 1990.
- [129] F. P. Kosche, „Schaltisch und Verfahren zur Herstellung von doppelt gekrümmten Bauteilen”. Brevet DEI 9823610B4, 1998.
- [130] B. Kolarevic, „Digital fabrication: manufacturing Architecture in the information age,” pp. 268-277, 2001.
- [131] H. J., „Een 3D blob huid Afstudeerverslag 3370,” Technische Universiteit Eindhoven, 2003.
- [132] „Concrete Canvas,” 2016. [Interactiv]. Available: www.concretcanvas.com.
- [133] S. Suzumori, *Cofrajul ca element de design*, Tokio: Institutul de Tehnologie Massachusetts, 2016.
- [134] V. S. H. R. Pronk D., „Making double curved forms with the use of a 3D fabric,” 2022.
- [135] K. Vollers și D. Rietbergen, „A method and apparatus for forming a double-curved panel from a flat panel,” 2008.
- [136] F. Huijben, „Vacuumatic formwork: a novel granular manufacturing technique for producing topology-optimised structures in concrete,” vol. 18, nr. 2, pp. 1-8, 2016.
- [137] K. Huyghe și A. Schoofs, „Precast double curved concrete panels,” Delft University of Technology, 2009.
- [138] R. C. Kristensen M. K., „A flexible mat for providing a dynamically reconfigurable double-curved moulding surface in a mould”. SUA Brevet 9168678 B2, 2011.
- [139] R. Schipper și B. Janssen, „Manufacturing double-curved elements in precast concrete using a flexible mould - first experimental results,” *Concrete Engineering Symposium for excellence and efficiency*, 2011.
- [140] S. Boers, „Flexi mould,” Agentschap, [Interactiv]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=Z-VLPO__o4I.
- [141] S. Grunewald, R. Schipper, P. Eigenraam, P. Raghunath și M. Kok, „Optimization of the flexible mould process for the production of double-curved concrete elements,” 2008.
- [142] S. Grunewald, B. Janssen, H. Schipper, K. Vollers și J. Walraven, „Deliberate deformation of concrete after casting,” 2008.
- [143] S. Grunewald și H. Schipper, „Efficient material use through smart flexible formwork method,” 2008.
- [144] S. Grunewald, R. Schipper și E. Schlangen, „Deliberate deformation of concrete in the fresh state-crack risk and efficient production of curved precast elements,” *High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet*, vol. Proceedings, 2017.

- [145] P. Eigenraam, „Flexible mould for production of double-curved concrete elements,” Delft University of Technology, 2013.
- [146] „BetonBallon, organic forms, simply amazing,” BetonBallon, [Interactiv]. Available: <https://www.betonballon.nl/sites/default/files/dscf1943.jpg>.
- [147] K. J. Kromoser B., „Herstellung von Schalenträgerkonstruktionen aus Beton mit der „Pneumatic Wedge Method,” *Beton- und Stahlbetonbau*, vol. 109, p. 557–565, 2014.
- [148] **R. Diaconu și P. D. Brîndașu, „Personalised formwork design by using PLM,” vol. 14, nr. 3, pp. 41-49, 2016.**
- [149] „On the,” Bartlett School of Architecture, 2015. [Interactiv]. Available: <https://unit22bartlett.wordpress.com/2015/03/01/reference-on-the-cover-cloud-9/>.
- [150] N. Pronk A., et. al., „Flexible mould by the use of spring steel mesh,” *Proceedings of Third international conference on flexible formwork*, 2015.
- [151] D. Pronk A., et. al., „The VaCo Mould, a new moulding technique for fluid architecture,” *Proceedings of International Society Of Flexible Formwork (ISOFF)*, 2015.
- [152] B. Hoppermann M., et. al., „Design to Installation of a free-form roof cladding with a flexible mould. The building of the public transport terminal,” *Proceedings of International Association for*, 2015.
- [153] R. Schipper, P. Eigenraam, S. Grunewald, M. Soru, P. Nap, B. Van Overveld și J. Vermeulen, „Kine-Mould: Manufacturing technology,” 2015.
- [154] R. Schipper și P. Eigenraam, „Concepts and prototypes for flexible moulds for production of double curved elements,” 2015.
- [155] R. Schipper și P. Eigenraam, „Mapping double-curved surfaces for production of precast,” vol. 61, nr. 3, 2017.
- [156] T. Henriksen, S. Lo și U. Knaack, „A new method to advance complex geometry thin-walled glass fibre reinforced concrete elements,” *Journal of Building Engineering*, vol. 6, pp. 243-251, 2016.
- [157] M. Janmaat, „An inflatable moulding technique for producing locally manipulated free-formed fibre,” 2016.
- [158] A. Borhani și N. Kalantar, „Transformative formworks: towards mass customization of double-curved surfaces,” 2017.
- [159] X. Yang, P. Loh și D. Leggett, „Robotic variable fabric formwork,” *Journal of Computational Design and Engineering*, 2018.
- [160] **R. Diaconu și P. D. Brîndașu, „Personalised Formwork – scientific approach for new solution variants,” vol. 290, nr. 1, 2019.**
- [161] **R. Diaconu și P. D. Brîndașu, „Experimental tests to validate the usage domain for personalised formworks,” 2021.**
- [162] NE 012/2-2010 Normativ pentru producerea betonului și executarea lucrărilor din beton, beton armat, beton precomprimat, 2010.
- [163] NE 012/2-2010 Normativ pentru producerea betonului și executarea lucrărilor din beton, beton armat, beton precomprimat-Partea I: Executarea lucrărilor din beton, 2010.
- [164] Normativ pentru producerea betonului și executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat. Partea 2: executarea lucrărilor din beton indicativ NE 012/2.
- [165] “Cod de proiectare. Evaluarea acțiunii vântului asupra construcțiilor”, indicativ CR 1-1-4/2012, Ministerul dezvoltării regionale și turismului, 2012.

- [166] Normativ pentru producerea betonului și executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat. Partea 2: executarea lucrărilor din beton, 2012.
- [167] Caiet de Sarcini Beton.
- [168] P. D. Brîndașu, „Managementul ciclului de viață,” Suport de curs, 2010.
- [169] „Managementul ciclului de viață al produsului,” 2018. [Interactiv]. Available: https://ro.wikipedia.org/wiki/Managementul_ciclului_de_via%C8%9B%C4%83_al_produsului.
- [170] „revista CIO,” 15 ed., vol. 16, 15.05.2003, [Interactiv]. Available: <https://www.cio.com/>.
- [171] I. N. d. S. s. T. (NIST), „The Role of Standards in Product Lifecycle Management Support,” 2006.
- [172] C. data, „Product Lifecycle Management (PLM) Definition,” [Interactiv]. Available: <https://www.cimdata.com/en/resources/about-plm>.
- [173] F. M. Company, „Ford selects PLM Solution,” [Interactiv]. Available: <https://www.mhlnews.com/technology-automation/article/22039407/ford-selects-plm-solution>.
- [174] M. W. Grieves, Product lifecycle management: the new paradigm for enterprises, 1-2 ed., vol. 2, 2055.
- [175] R. Florea, „O nouă cultură: managementul Lean,” 2014. [Interactiv]. Available: <https://www.learningnetwork.ro/articol/o-noua-cultura-managementul-lean/1537>.
- [176] P. Saunders, B. Cai, N. Orchard și P. Maropoulos, „Towards a definition of PLM-integrated Dimensional Measurement,” *Forty Sixth CIRP Conference on Manufacturing Systems*, 2013.
- [177] W. E. Niemann J., „The paradigm of product life cycle management – Continuous planning, operation and,” *International conference of integrated engineering*, pp. 29-30, 2005.
- [178] A. I. Antti Saaksvuori, Product Lifecycle Management, Springer, 2008.
- [179] C.-M. Băițoiu, „Contribuții privind concepția și utilizarea unor mijloace didactice specifice învățământului tehnologic,” Universitatea ”Lucian Blaga” Sibiu, Sibiu, 2011.
- [180] D. Căruțașu, „Contribuții privind optimizarea sistemelor tehnice cu aplicații la sistemele de armament din cadrul forțelor terestre,” Universitatea ”Lucian Blaga” Sibiu.
- [181] S. A. Mihai, „Metodă inovativă de concepție și realizare a unui produs nou,” Universitatea Politehnica din București, 2020.
- [182] D. A. Draghici Georgeș Savii George, „Platform for collaborative product and processes,” *Intelligent Manufacturing & Automation: Focus on Creativity, Responsibility and Ethics of Engineers*, 2007.
- [183] **Raluca Diaconu, Paul Dan Brîndașu „Plm analysis approach for formwork construction equipments,” *Academic Journal of of Manufacturing Engineering*, vol. 12, nr. 3, pp. 116-123, 2014.**
- [184] **Raluca Diaconu, Paul Dan Brîndașu „Solution Improvement for Existing Concrete Formwork Equipment by Using Creative Methods and PLM Concept,” *Applied Mechanics and Materials*, Vol. %1 din %2809-810, pp. 1486-1491, 2015.**
- [185] **Raluca Diaconu, Paul Dan Brîndașu „Personalised formwork design by using PLM,” *Academic Journal of Manufacturing Engineering*, vol. 14, nr. 3, pp. 41-49, 2016.**

- [186] [Interactiv]. Available: <https://josvoskuil.files.wordpress.com/2013/12/image12.png>.
- [187] [Interactiv]. Available: <https://www.bricoretail.ro/studii-de-piata/sectorul-constructiilor-la-nivel-mondial.html>.
- [188] [Interactiv]. Available: <https://agacad.com/blog/from-bim-to-building-how-to-get-maximum-utility-from-the-bim-model>.
- [189] [Interactiv]. Available: https://www.123rf.com/photo_127560641_stock-vector-banner-building-information-modeling-vector-illustration-concept-with-icons-and-keywords.html.
- [190] O. 96/2017, „Gestionarea dotărilor, echipamentelor, sculelor, pieselor, materialelor și a serviciilor utilizate | Regulament,” [Interactiv]. Available: <https://lege5.ro/Gratuit/ge4dqobshayq/gestionarea-dotarilor-echipamentelor-sculelor-pieselor-materialelor-si-a-serviciilor-utilizate-regulament?dp=giytgnbsgy2tony>.
- [191] „Yard Management Service,” [Interactiv]. Available: <https://www.doka.com/en/solutions/services/yard-management-service>.
- [192] S. p. management, „Construction formwork inventory control,” 2015.
- [193] „Îmbunătățește administrarea echipamentelor,” [Interactiv]. Available: <https://www.hilti.ro/content/hilti/E4/RO/ro/business/business/equipment.html>.
- [194] M. Waris, M. Liew, M. Khamidi și A. Idrus, „Criteria for the selection of sustainable onsite construction equipment,” vol. 3, nr. 1, pp. 96-110, 2014.
- [195] S. P. Major Virender și A. P. Singh, „Selection of Equipment for Construction of a Hilly Road Using Multi Criteria Approach,” *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 104, pp. 282-291, 2013.
- [196] M. Yılmaz și A. Bakış, „Sustainability in Construction Sector,” *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 195, pp. 2253-2262, 2015.
- [197] F. U. Rahman, „How to store, stack and handle construction materials,” [Interactiv]. Available: <https://theconstructor.org/practical-guide/store-stack-handle-construction-materials/43528/>.
- [198] G. Skipper, „How To Use Storage Yards,” [Interactiv]. Available: <https://www.forconstructionpros.com/equipment-management/article/20990399/construction-equipment-storage-yards-tips>.
- [199] R. Burrows, „Storage of Scaffold Components,” 2013. [Interactiv]. Available: <https://aztex.com.au/blog/storage-of-scaffold-components/>.
- [200] „Storage of formwork panels,” 2008. [Interactiv]. Available: <https://www.ihsa.ca/PDFs/Products/Id/M064.pdf>.
- [201] „Consumer Barometer Study 2017 - The Year of the Mobile Majority,” nov 2017. [Interactiv]. Available: <https://www.thinkwithgoogle.com/intl/en-cee/marketing-strategies/app-and-mobile/consumer-barometer-study-2017-year-mobile-majority/>.
- [202] M. L. Trani, B. Bossi, M. Cassano și D. Todaro, „BIM and QR-code. A Synergic Application in Construction Site Management,” *Procedia Engineering*, vol. 85, pp. 520-528, 2014.
- [203] R. Vasilyev, K. Losev, A. Cheprasov și D. Bektash, „BIM and QR-codes interaction on a construction site,” în *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series*, 2019.
- [204] A. Hegde, „QR Codes in Construction: 8 ways construction companies can use QR Codes,” [Interactiv]. Available: <https://blog.beaconstac.com/2020/03/qr-codes-in-construction/>.

- [205] A. Hegde, „QR Codes in Construction: 8 Ways for Leveraging QR Codes,” 2022. [Interactiv]. Available: <https://blog.beaconstac.com/2020/03/qr-codes-in-construction/>.
- [206] „QR Codes vs. Barcodes: What's the Difference?,” 2021. [Interactiv]. Available: <https://supercode.com/blog/qr-codes-vs-barcodes-whats-the-difference>.
- [207] „Are QR codes dead? The rise of QR codes in the pandemic,” 2022. [Interactiv]. Available: <https://www.qrcode-tiger.com/are-qr-codes-dead>.
- [208] „QR codes in Construction Industry,” 2012. [Interactiv]. Available: <https://www.nerdsonsite.com/blog/qr-codes-in-construction-industry/>.
- [209] S.-C. Kang și X. Wang, „Special issue on the applications of augmented reality in architecture, engineering, and construction,” vol. 33, pp. 1-2, 2013.
- [210] „Ce este realitatea augmentată?,” 23 dec 2017. [Interactiv]. Available: <https://www.vrstudio.ro/realitatea-augmentata-definitie-istoric/>.
- [211] „Ce este realitatea augmentată și ce impact are asupra metaversului?,” 2022. [Interactiv]. Available: <https://crypto.ro/educatie/ce-este-realitatea-augmentata-metavers/>.
- [212] D. Wagner și D. Schmalstieg, „ARToolKitPlus for Pose Tracking on Mobile Devices,” *Proceedings of 12th Computer Vision Winter*, pp. 139-146, 2007.
- [213] A. H. Behzadan, S. Dong și V. R. Kamat, „Augmented reality visualization: A review of civil infrastructure system applications,” *Advanced Engineering Informatics*, vol. 29, nr. 2, pp. 252-267, 2015.
- [214] D. Sahin și A. Togay, „Augmented reality applications in product design process,” *Global Journal on Humanites & Social Sciences*, pp. 115-125, 2016.
- [215] „Wearable Computer,” [Interactiv]. Available: <https://ro.pinterest.com/pin/303922674823548398>.
- [216] „BIM and Augmented Reality on the construction site: a future perspective,” 2011. [Interactiv]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=9oxPIlowgVE>.
- [217] [Interactiv]. Available: <https://cif.ie/news-feed/blog/541-augmented-reality-and-the-future-of-construction.html>.
- [218] S. Meža, Ž. Turk și M. Dolenc, „Measuring the potential of augmented reality in civil engineering,” *Advances in Engineering Software*, vol. 90, pp. 1-10, 2015.
- [219] J. M. D. Delgado, L. Oyedele, P. Demian și T. Beach, „A research agenda for augmented and virtual reality in architecture, engineering and construction,” *Advanced Engineering Informatics*, vol. 45, 2020.
- [220] F. Grudzewski, M. Awdziej, G. Mazurek și K. Piotrowska, „Virtual reality in marketing communication – the impact,” *Economics and Business Review*, vol. 4, nr. 18, pp. 36-50, 2018.
- [221] P. Pejic, M. Lakicevic, S. Krasic și S. Predrag, „Application of Augmented and Virtual Reality in Residential Complex Presentation, Case Study: Energoprojekt Sunnyville,” *Journal of Industrial Design and Engineering Graphics*, vol. 12, pp. 127-132, 2017.
- [222] „Trenduri in Tehnologia Constructiilor,” 2016. [Interactiv]. Available: <https://eurovialblog.wordpress.com/2016/04/01/trenduri-in-tehnologia-constructiilor/>.
- [223] I. Mutis și A. Ambekar, „Challenges and enablers of augmented reality technology for in situ walkthrough applications,” *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 25, pp. 55-71, 2020.

- [224] K. Tan și C. Lim, „Digital Heritage Gamification: An Augmented-Virtual Walkthrough to Learn and Explore Tangible Cultural Heritage,” *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer*, vol. 9, pp. 125-129, 2017.
- [225] C. Sandor și G. Klinker, „A rapid prototyping software infrastructure for user interfaces in ubiquitous augmented reality,” *Personal and Ubiquitous Computing*, vol. 9, pp. 169-185, 2005.
- [226] A. Y. C. Nee, S. K. Ong, G. Chryssolouris și D. Mourtzis, „Augmented reality applications in design and manufacturing,” *CIRP Annals*, vol. 61, nr. 2, pp. 657-679, 2012.
- [227] G. Schubert, D. Schattel, M. Tönnis, G. Klinker și F. Petzold, „Tangible Mixed Reality On-Site: Interactive Augmented Visualisations from Architectural Working Models in Urban Design,” *Communications in Computer and Information Science*, vol. 527, pp. 55-74, 2015.
- [228] J.-R. Lin, J. Cao, J.-P. Zhang, C. van Treeck și J. Frisch, „Visualization of indoor thermal environment on mobile devices based on augmented reality and computational fluid dynamics,” *Automation in Construction*, vol. 103, pp. 26-40, 2019.
- [229] G. M. Echevarria Sanchez, T. Van Renterghem, K. Sun, B. De Coensel și D. Botteldooren, „Using Virtual Reality for assessing the role of noise in the audio-visual design of an urban public space,” *Landscape and Urban Planning*, vol. 167, pp. 98-107, 2017.
- [230] G. Schubert, D. Schattel, M. Tönnis, G. Klinker și F. Petzold, „Tangible Mixed Reality On-Site: Interactive Augmented Visualisations from Architectural Working Models in Urban Design,” *Communications in Computer and Information Science*, vol. 527, 2015.
- [231] D. Şahin și T. Abdullah, „Augmented reality applications in product design process,” *Global Journal on Humanites & Social Sciences*, nr. 3, pp. 115-125, 2016.
- [232] I. Mutis și A. Ambekar, „Challenges and enablers of augmented reality technology for in situ walkthrough applications,” *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 25, pp. 55-71, 2019.
- [233] A. H. Behzadan, S. Dong și V. R. Kamatb, „Augmented reality visualization: A review of civil infrastructure system applications,” *Advanced Engineering Informatics*, vol. 29, nr. 2, pp. 252-267, 2015.
- [234] M. Chu, J. Matthews și P. E.D. Love, „Integrating mobile Building Information Modelling and Augmented Reality systems: An experimental study,” *Automation in Construction*, vol. 85, pp. 305-316, 2018.
- [235] M. Golparvar-Fard, F. Peña-Mora și S. Savarese, „Document details - Application of D4AR-A 4-Dimensional augmented reality model for automating construction progress monitoring data collection,” *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 14, pp. 129-153, 2009.
- [236] A. Z. Sampaio și O. P. Martins, „The application of virtual reality technology in the construction of bridge: The cantilever and incremental launching methods,” *Automation in Construction*, vol. 37, pp. 58-67, 2014.
- [237] Y. Zhou, H. Luo și Y. Yang, „Implementation of augmented reality for segment displacement inspection during tunneling construction,” *Automation in Construction*, vol. 82, pp. 112-121, 2017.
- [238] X. Li, W. Yi, H.-L. Chi, X. Wang și A. P. C. Chan, „A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety,” *Automation in Construction*, vol. 86, pp. 150-162, 2018.

- [239] Y. Mizuno, H. Kato și S. Nishida, „Outdoor augmented reality for direct display of hazard information,” în *Proceedings of the SICE Annual Conference*, 2004.
- [240] A. Albert, M. R. Hallowell, B. Kleiner, A. Chen și M. Golparvar-Fard, „Enhancing Construction Hazard Recognition with High-Fidelity Augmented Virtuality,” *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 140, nr. 7, 2014.
- [241] H.-L. Chi, Y.-C. Chen, S.-C. Kang și S.-H. Hsieh, „Development of user interface for tele-operated cranes,” *Advanced Engineering Informatics*, vol. 26, nr. 3, pp. 641-652.
- [242] J. Irizarry, M. Gheisari, G. Williams și B. N. Walker, „InfoSPOT: A mobile Augmented Reality method for accessing building information through a situation awareness approach,” *Automation in Construction*, vol. 33, pp. 11-23, 2013.
- [243] R. Palmarini, J. A. Erkoyuncu, R. Roy și H. Torabmostaedi, „A systematic review of augmented reality applications in maintenance,” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 49, pp. 215-228, 2018.
- [244] H.-M. Neges și C. Koch, „Augmented reality supported work instructions for onsite facility maintenance,” în *Conference: 23rd International Workshop of the European Group for Intelligent Computing in Engineering*, 2016.
- [245] A. Segura, A. Moreno, G. Brunetti și T. Henn, „Visualization for an Augmented Reality Construction Machinery Simulator,” în *Industrial Simulation Conference*, 2007.
- [246] R. Sekizuka, K. Koiwai, S. Saiki, Y. Yamazaki, T. Tsuji și Y. Kurita, „A virtual training system of a hydraulic excavator using a remote controlled excavator with augmented reality,” în *IEEE/SICE International Symposium on System Integration. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc*, 2017.
- [247] Y. Turkan, R. Radkowski, A. Karabulut-Ilgu, A. H. Behzadan și A. Chen, „Mobile augmented reality for teaching structural analysis,” *Advanced Engineering Informatics*, vol. 34, pp. 90-100, 2017.
- [248] X. Luo și C. D. Mojica Cabico, „Development and Evaluation of an Augmented Reality Learning Tool for Construction Engineering Education,” în *Construction Research Congress*, 2018.
- [249] D. H. Shin și P. S. Dunston, „Identification of application areas for Augmented Reality in industrial construction based on technology suitability,” *Automation in Construction*, vol. 17, nr. 7, pp. 882-894, 2008.
- [250] S. Meža, Ž. Turk și M. Dolenc, „Measuring the potential of augmented reality in civil engineering,” *Advances in Engineering Software*, vol. 90, pp. 1-10, 2015.
- [251] **R. E. Petrus, R. Diaconu și P. D. Brîndașu, Aplicații ale realității augmentate în concepția și fabricația produselor, Sibiu: Biblioteca Universitatii "Lucian Blaga", 2016.**
- [252] A. Lúðviksson, „Formwork time calculation,” 2004.
- [253] C. X. Putri Arumsari, „Cost and time analysis on the selection of formwork installation method,” *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 426, 2019.
- [254] S. Skibicki, „Optimization of Cost of Building with Concrete Slabs Based on the Maturity Method,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 245, nr. 2, 2017.
- [255] „ANOVA Test: Definition, Types, Examples, SPSS,” 2018. [Interactiv]. Available: <https://www.statisticshowto.com/probability-and-statistics/hypothesis-testing/anova/>.

- [256] F. Chichernea, „Analiza funcțională , o metodă de modelare în proiectarea utilajelor,” Universitatea ”Transilvania” Brasov, 2012.
- [257] E. Gurel, „SWOT analysis: a theoretical review,” *Journal of International Social Research*, vol. 10, nr. 51, pp. 994-1006, 2017.
- [258] „Analiza SWOT: Ce este, importanță și limitări,” 2021. [Interactiv]. Available: <https://termene.ro/articole/analiza-swot>.
- [259] „Ishikawa Diagram,” 2021. [Interactiv]. Available: <https://www.investopedia.com/terms/i/ishikawa-diagram.asp#:~:text=An%20Ishikawa%20diagram%20is%20a,are%20required%20at%20specific%20times..>
- [260] B. Mullen, C. Johnson și E. Salas, „Productivity Loss in Brainstorming Groups: A Meta-Analytic Integration,” *Basic and Applied Social Psychology* , vol. 12, nr. 1, pp. 2-23, 2010.
- [261] T. N. R., Instrumentele calității, Ed. II, 2010.
- [262] M. Alkiayat, „A Practical Guide to Creating a Pareto Chart as a Quality Improvement Tool,” *Global Journal on Quality and Safety in Healthcare* , vol. 4, nr. 2, 2021.
- [263] L. Trașă, „Metode si tehnici de cercetare in psihologie”.
- [264] „Obțineți rapid statistici folosind Google Forms,” [Interactiv]. Available: <https://www.google.com/intl/ro/forms/about/>.
- [265] „Chestionarul ca instrument de cercetare,” [Interactiv]. Available: <http://www.qreferat.com/referate/marketing/CHESTIONARUL-CA-INSTRUMENT-DE-432.php>. [Accesat februarie 2018].
- [266] J. Lanzing, „Concept Mapping: Tools for Echoing the Minds Eye,” pp. 1-14, 2016.
- [267] „TOP 10 metode de brainstorming pentru grupuri mici și mari,” 2022. [Interactiv]. Available: <https://www.debonaire.ro/blog/top-10-metode-de-brainstorming-pentru-grupuri-mici-%C8%99i-mari.html>.
- [268] F. Chichernea, „Analiza funcțională, o metodă de modelare în proiectarea utilajelor,” Buletinul AGIR, 2012.
- [269] I. Ilevbare, D. Probert și R. Phaal, „A review of TRIZ, and its benefits and challenges in practice,” vol. 33, nr. 2-3, pp. 30-37, 2013.
- [270] G. Oniță, „Conceperea unei scule de frezat componentă a unui sistem inteligent de aschiere,” în *Teza Doctorat*.
- [271] C.-M. Pleșca, „Conceptia și utilizarea unor mijloace didactice specifice învățământului tehnologic,” Universitatea „Lucian Blaga” Sibiu, 2011.
- [272] P. D. Brîndașu, „Conceptie - Produs conceptual și constructiv,” suport de curs.
- [273] „Pugh Method: How to decide between different designs?,” 2012. [Interactiv]. Available: <https://sites.nd.edu/jlugo/2012/09/24/pugh-method-how-to-decide-between-different-designs/>.
- [274] M. -. A. Cordos, M. C. Dudescu și M. Bejan, „Considerații privind încercarea la tracțiune a materialului uzual folosit pentru parapetele de protecție la drumuri,” *Conferința Internațională multidisciplinară – “Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești” Sebeș – Alba*, vol. 25, 2014.
- [275] M. -. A. Cordos, M. C. Dudescu și M. Bejan, „Considerații privind încercarea la tracțiune a materialului uzual folosit pentru parapetele de protecție la drumuri,” Sebeș, 2014.

- [276] D. Bota, „Determinarea proprietăților mecanice ale materialelor - <http://www.sim.utcluj.ro/wp/>,” [Interactiv]. Available: http://www.sim.utcluj.ro/stm/download/tehnologie/LucrariLab_TM.pdf.
- [277] U. ”. B. Sibiu, „Dotari - presare și injectare,” [Interactiv]. Available: <http://centers.ulbsibiu.ro/cscdp/presare.html>.
- [278] P. Vasiluță, „Contribuții privind studiul comportamentului mecanic al geomembranei folosite la căptușirea depozitelor ecologice de deșeuri,” Univeristatea Lucian Blaga, Sibiu, 2016.
- [279] N. Cofaru, „Problematica generala a cercetarilor experimentale,” în *suport de curs*, Universitate "Lucian Blaga" Sibiu.
- [280] D. G. Lakatos și M. Bejan, „Metode de detrminare a constantelor elastice de material,” Sebeș, 2013.
- [281] „Rahmenschalungen für Decken,” [Interactiv]. Available: <https://www.baunetzwissen.de/gerueste-und-schalungen/fachwissen/wand--deckenschalungen/rahmenschalungen-fuer-decken-4822142>.
- [282] M. Waris, et al. „Criteria for the selection of sustainable onsite construction equipment,” *International Journal of Sustainable Built Environment*, vol. 3, nr. 1, pp. 96-110, 2014.
- [283] „Depositphoto,” [Interactiv]. Available: <https://depositphotos.com/7194837/stock-photo-forklift-truck-hand-truck-and.html>.
- [284] „Dreamstime,” [Interactiv]. Available: <https://www.dreamstime.com/stock-photos-warehouse-shelves-front-view-shadows-image19994303>.
- [285] „Alamy,” [Interactiv]. Available: <https://www.alamy.com/stock-photo-warehouse-shelves-pallets-and-a-hand-truck-part-of-a-blue-warehouse-37047789.html>.
- [286] S. Terzi, A. Bouras și D. Dutta, „Product lifecycle management – from its history to its new role,” *Int. J. Product Lifecycle Management*, vol. 4, no. 4, 2010.
- [287] „STEALTH KIOSK 3D MODEL,” [Interactiv]. Available: <https://www.formfonts.com/3D-Model/12009/1/equipment-furnishings/e10-equipment/e1050-other-equipment/stealth-kiosk/>.
- [288] „Surub cu cap bombat si git patrat STAS 925 DIN 603,” [Interactiv]. Available: https://www.surubexpert.com/detalii_produ.php?id=12.
- [289] „Calculul îmbinărilor sudate,” [Interactiv]. Available: <https://www.scribd.com/doc/135000285/calculul-imbinarilor-sudate-2>.

- [290] Z. Ying, L. Hanbin și Y. Yiheng, „Implementation of augmented reality for segment displacement inspection during tunneling construction,” *Automation in Construction*, vol. 82, pp. 112-121, 2017.
- [291] S. Skibicki, „Optimization of cost of building with concrete slabs based on the maturity method,” *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, vol. 245, nr. 2, 2017.
- [292] C. X. Putri Arumsari, „Cost and time analysis on the selection of formwork,” *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, vol. 426, nr. 1, 2020.
- [293] A. Lúðviksson, „Formwork time calculation,” 2004.
- [294] X. Li, W. Yi, H.-L. Chi, X. Wang și A. P. Chan, „A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety,” *Automation in Construction*, vol. 86, pp. 150-162, 2018.

- [295] X. Ferrada, D. Núñez, A. Neyem, A. Serpell și M. Sepúlveda, „A Cloud-based Mobile System to Manage Lessons-learned in Construction Projects,” *Procedia Engineering*, vol. 164, pp. 135-142, 2016.
- [296] A. Fazel și A. Izadi, „An interactive augmented reality tool for constructing free-form modular surfaces,” *Automation in Construction*, vol. 85, pp. 135-145, 2018.
- [297] „Morphological Matrix,” [Interactiv]. Available: <https://www.benchmarksixsigma.com/forum/topic/36191-morphological-matrix/>.
- [298] P. D. Brîndașu, Managementul ciclului de viață, Sibiu: Suport de curs, 2010.
- [299] în *Revista CIO*, 15 ed., vol. 13, 2003, [Interactiv]. Available: <https://www.cio.com/cio-digital-magazine/>.
- [300] Institutul National de Standarde si Tehnologie (NIST), [Interactiv]. Available: <https://www.nist.gov/>
- [301] C. data, „CIM data,” [Interactiv]. Available: www.cimdata.com/en/.
- [302] F. M. Company, „Ford selects PLM Solution,” [Interactiv]. Available: <https://www.mhlnews.com/technology-automation/article/22039407/ford-selects-plm-solution>.
- [303] M. Grieves, „Product lifecycle management: the new paradigm for enterprises,” vol. 2, nr. 1-2, pp. 71-84.
- [304] J. Niemann și E. Westkamper, „I.F Struttgard”.
- [305] M. Grieves, Product Lifecycle Management: Driving the Next Generation of Lean Thinking, McGraw Hill Company, 2006.
- [306] L. Yan, S. van Nederveen și M. Hertogh, „Understanding effects of BIM on collaborative design and construction: An empirical study in China,” vol. 35, nr. 4, pp. 686-698, 2017.
- [307] D. Villanueva, T. Haftka și V. Sankar, „Accounting for future redesign to balance performance and development costs,” vol. 124, pp. 56-67, 2014.
- [308] L. Xie, L.-S. Shieb, J. S.-h. Tsai, S.-M. Guo și A. C. Dunn, „Digital redesign of analog smith predictor for systems with long input time delays,” *Journal of the Franklin Institute*, vol. 354, nr. 14, pp. 5797-5812, 2017.
- [309] V. Ramnath, C. Elanchezian, E. Naveen, G. Rekha, M. Vidhyarajan, M. Manivannan și J. Dhanush, „Implementation of Concurrent Redesign & Manufacture,” în *PMME 2016*, 2018.
- [310] R. Briner și S. Reynolds, „The costs, benefits, and limitations of organizational level stress interventions,” *Journal of Organizational Behavior*, nr. 20, pp. 647-664, 1999.
- [311] B. Blonigen, C. Knittel și A. Soderbery, „Keeping it fresh: Strategic product redesigns and welfare,” *International Journal of Industrial Organization*, vol. 53, pp. 170-214, 2017.
- [312] X.-y. Zhang și Z.-g. Qu, „The Study on Collaborative Manufacturing Platform Based on,” *International Conference on Solid State Devices and Materials Science*, vol. 25, pp. 1569-1575, 2012.
- [313] B. Stelzle, A. Jannack și J. R. Noennig, „Co-Design and Co-Decision: Decision Making on Collaborative Design Platforms,” *International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering*, nr. 112, pp. 2435-2444, 2017.
- [314] M. Matsas, G. Pintzos, A. Kapnia și D. Mourtzis, „An Integrated Collaborative Platform for managing Product-Service across,” vol. 59, pp. 220-226, 2017.

- [315] J. S. Baek, S. Kim, Y. Pahk și E. Manzini, „A sociotechnical framework for the design of collaborative services,” vol. 55, pp. 54-78, 2018.
- [316] M. Mandolini, A. Brunzini și M. Germani, „A collaborative web-based platform for the prescription of Custom-Made Insoles,” vol. 33, pp. 360-373.
- [317] L.-L. Lin, Y.-T. Song, Y.-X. Tang, Q.-Q. Du și Y.-P. Gong, „Implementation and application study on 3D collaborative design for CFETR based on ENOVIA VPM,” vol. 100, pp. 198-203, 2015.
- [318] F. Hasby și D. Roller, „Sharing of Ideas in a Collaborative CAD for Conceptual Embodiment,” *26th CIRP Design Conference*, vol. 50, pp. 44-51, 2016.
- [319] G. Andreadis, G. Fourtounis și K.-D. Bouzakis, „Collaborative design in the era of cloud computing,” vol. 81, pp. 66-72, 2015.
- [320] T. El-Diraby, T. Krijnen și M. Papagelis, „BIM-based collaborative design and socio-technical analytics of green buildings,” vol. 82, pp. 59-74, 2017.
- [321] M. Zhiliang, Z. Dongdong și L. Jiulin, „A dedicated collaboration platform for Integrated Project Delivery,” vol. 86, pp. 199-209, 2018.
- [322] Paris, 2014.
- [323] „Conceptul BIM,” Free Form Factory, 2011. [Interactiv]. Available: <http://3form.ro/conceptul-bim-building-information-modeling-in-proiectarea-cladirilor/>. [Accesat 2016].
- [324] GenieBelt, „Construction Software, Future of Construction, Project Management, Trending,” 9 Mai 2017. [Interactiv]. Available: <https://geniebelt.com/blog/bim-maturity-levels>.
- [325] „Industria construcțiilor în Europa,” 2016. [Interactiv]. Available: <https://buildingradar.com/construction-blog/construction-industry-europe/>.
- [326] „Construction of buildings statistics - NACE Rev. 2,” 2017. [Interactiv]. Available: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Construction_of_buildings_statistics_-_NACE_Rev._2.
- [327] PLM for Asset Intensive Industries: From Product Lifecycle Management to Capital Asset Lifecycle Management. [Interactiv] Available: <https://blogs.sap.com/2022/01/07/plm-for-asset-intensive-industries-from-product-lifecycle-management-to-capital-asset-lifecycle-management/>.
- [328] „Interpolare cu funcții spline,” [Interactiv]. Available: http://swarm.cs.pub.ro/~alexj/facultate/mn/Parial/c6_07.pdf.
- [329] Y. Zhou, H. Luo și Y. Yang, „Implementation of augmented reality for segment displacement inspection during tunneling construction,” *Automation in Construction*, vol. 82, pp. 112-121, 2017.
- [330] S. Meža, Ž. Turk și M. Dolenc, „Measuring the potential of augmented reality in civil engineering,” vol. 90, pp. 1-10, 2015.
- [331] A. H. Behzadan și V. R. Kamat, „Enabling discovery-based learning in construction using telepresent augmented reality,” vol. 33, pp. 3-10, 2013.
- [332] Y. Turkan, R. Radkowski, A. Karabulut-Ilgu, A. H. Behzadan și A. Chen, „Mobile augmented reality for teaching structural analysis,” vol. 34, pp. 90-100, 2017.
- [333] J. Huang, S. Ong și A. Nee, „Real-time finite element structural analysis in augmented reality,” vol. 87, pp. 43-56, 2015.
- [336] D. H. Shin și P. S. Dunston, „Identification of application areas for Augmented Reality in industrial construction based on technology suitability,” vol. 17, nr. 7, pp. 882-894, 2008.

- [337] N. Raajana, S. Suganya, R. Hemanand, S. Janani, S. Nandi și S. V. Ramanan, „Augmented Reality for 3D Construction,” vol. 38, pp. 66-72, 2012.
- [338] A. Cirulis și K. B. Brigmanis, „3D Outdoor Augmented Reality for Architecture and Urban,” în *2013 International Conference on Virtual and Augmented Reality in Education*, 2013.
- [339] Y. Zhou, H. Luo și Y. Yang, „Implementation of augmented reality for segment displacement inspection during tunneling construction,” vol. 82, pp. 112-121, 2017.
- [340] D. H. Shin și P. S. Dunston, „Evaluation of Augmented Reality in steel column inspection,” vol. 18, nr. 2, pp. 118-129, 2009.
- [341] A. Z. Sampaio și O. P. Martins, „The application of virtual reality technology in the construction of bridge: The cantilever and incremental launching methods,” vol. 37, pp. 58-67, 2014.
- [342] A. H. Behzadan, S. Dong și V. R. Kamat, „Augmented reality visualization: A review of civil infrastructure system applications,” vol. 29, nr. 2, pp. 252-267, 2015.
- [343] X. Li, W. Yi, H.-L. Chi, X. Wang și A. P. Chan, „A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety,” vol. 86, pp. 150-162, 2018.
- [344] H. Kim, „Image-based construction hazard avoidance system using augmented reality in wearable device,” vol. 83, pp. 390-403, 2017.
- [345] G. Younes, R. Kahil, M. Jallad, D. Asmar, I. Elhajj, G. Turkiyyah și H. Al-Harithy, „Virtual and augmented reality for rich interaction with cultural heritage sites: A case study from the Roman Theater at Byblos,” vol. 5, pp. 1-9, 2017.
- [346] „scule si echipamente,” Mafcom, [Interactiv]. Available: https://www.sculesiechipamente.ro/pene-din-otel/?gclid=Cj0KCQjw0JiXBhCFARIsAOSAKqAVgR5i7TAhe6GP9YZjXMJcjK_xoC_bOnIx5GRRvhlxSFLHYk04z74aAtmuEALw_wcB.
- [347] „Uni-max - Pene de siguranță TF,” Uni-max, [Interactiv]. Available: https://www.uni-max.ro/produse/tehnica-auto/echipament-suplimentar-vehicule/parcare/pene-de-siguranta-tf?wdph=on&gclid=Cj0KCQjw0JiXBhCFARIsAOSAKqDLMTiwTA8z9ekNHywAA4IYbSKrRAYVXqTUDNdPLbyH46r5Yw41XgkaAhfxEALw_wcB.