Universitatea
Transilvania
din Brașov

ȘCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea: Inginerie Mecanica

Ing. Ioan TRIF

TEZĂ DE DOCTORAT

STUDIUL TEORETIC ȘI EXPERIMENTAL AL STĂRII DE TENSIUNI ȘI DEFORMAȚII LA MECANISMUL DE CUPLARE ÎN CAZUL ACCESORIILOR MONTATE PE UTILAJELE FOLOSITE ÎN CONSTRUCȚII

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDIES OF THE STATE OF STRESS AND STRAINS OF THE COUPLING MECHANISM OF THE CONSTRUCTION ACCESORIES

REZUMAT / ABSTRACT

Conducător ştiințific

Prof.dr.ing. Ioan SZAVA

BRAȘOV, 2021

D-lui (D-nei) .....

COMPONENȚA

Comisiei de doctorat

Numită prin ordinul Rectorului Universității Transilvania din Braşov
Nr. ..... din .....

PREŞEDINTE:	Prof.dr.ing. Ioan Calin ROSCA
CONDUCĂTOR ŞTIINȚIFIC:	Prof.dr.ing. Ioan SZAVA
REFERENȚI:	Prof.dr.ing. Sorin VLASE
	Prof.dr.ing. Polidor-Paul BRATU
	Prof.dr.ing. Cristian PAVEL

Data, ora şi locul susținerii publice a tezei de doctorat: 10.09.2021, ora .11.00, sala .....

Eventualele aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării vor fi transmise electronic, în timp util, pe adresa: ioan.trif@unitbv.ro

Totodată, vă invităm să luați parte la şedința publică de susținere a tezei de doctorat.

Vă mulțumim.

CUPRINS

	Pg. teza	Pg. rezumat
LISTA DE NOTAȚII ȘI ABREVIERI	16	6
INTRODUCERE		10
1. CAPITOL 1 - MOTIVAȚIA ȘI DELIMITAREA DOMENIULUI DE CERCETARE	22	10
1.1. Scopul capitolului	22	10
1.2. Concluzii	25	10
2. CAPITOL 2 - STUDIU DE NIVEL ASUPRA SOLUȚIILOR DE CUPLARE	28	11
2.1 Scopul capitolului	28	11
2.2. Concluzii si perspective	36	11
3. CAPITOL 3 OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT	38	12
3.1. Scopul capitolului	38	12
3.2. Concluzii	38	13
4. CAPITOL 4 - ASPECTELE DE BAZĂ ALE MODELĂRII	40	13
4.1 Consideratii generale	40	13
4.2 Fundamente ale Analizei Dimensionale Moderne (ADM)	41	13
4.3 Aplicarea Analizei Dimensionale Moderne la studiul excavatorului	45	14
4.3.1.Sistemul pneumatic (cu vid)	45	14
4.3.2 Sistem hidraulic (cilindru hidraulic)	49	14
4.4. Concluzii asupra utilizării Analizei Dimensionale Moderne	52	14

5. CAPITOL 5 - IDENTIFICAREA ȘI SIMULAREA SURSELOR DE TENSIUNI GENERATE DE SISTEMUL DE ACȚIONARE ȘI SARCINILE INDUSE ÎN ZONA DE CUPLARE A ACCESORIILOR MONTATE PE EXCAVATOR 53 15

5.1.Obiectivele capitolului 53 15

5.2. Identificarea forțelor de dislocare a solului 54 15

5.3.Modelarea și simularea sistemului de acționare al excavatorului folosind metode analitice 57 16

5.4. Modelarea și simularea multi-corp a ansamblului braț excavator – sistem de cuplare - cupă 77 17

6. CAPITOL 6 - CERCETAREA EXPERIMENTALĂ A SISTEMULUI DE CUPLARE HIDRAULIC APLICAT LA EXCAVATOR 91 18

6.1. Obiectivele cercetarii experimentale 91 18

6.2 Standul general de încercare 91 19

6.3. Metodologia cercetării experimentale 97 19

6.4. Aparatura de incercare 97 20

6.5. Conceperea sistemului de măsurare al forțelor din zona de fixare a cupei (organului de lucru) de corpul excavatorului 98 20

6.5.1.Calculul octogoanelor 98 20

6.5.2. Conceperea mesei dinamometrice pentru monitorizarea încărcărilor 3D 101 21

6.5.3. Principiului calibrarii mesei dinamometrice 105 21

6.5.4. Standul de calibrare al mesei dinamometrice 110 21

6.5.5. Rezulatele calibrarii mesei dinamometrice 114 22

6.5.6. Conceperea și realizarea modelului cupă-excavator (aplicarea ADM la conceperea modelului) 115 22

6.5.7. Rezultatele masuratorilor 117 22

6.5.8. Concluzii privind mărimea forțelor din zona joncțiunii cupei cu excavatorulși alegerea soluției favorabile transmiterii acestora 120 22

6.6. Analiza stării de tensiune pe direcție axială 121 23

6.7. Concluzii asupra rezultatelor cercetării experimentale a sistemului de măsurare axial 142 24

7. Capitolul 7 - SISTEME DE CUPLARE PNEUMO-HIDRAULICĂ ANALIZATE PORNIND DE LA STAREA DE TENSIUNE ÎN ZONA DE CUPLARE 143 24

7.1 Comparația cuplă fixă / cuplă rapidă pe baza analizei multicriteriale 143 24

7.2 Variante pneumo-hidraulice ale cuplelor rapide 147 25

7.2.1. Soluția de acționare pe baza principiului vacuumatic 149 26

7.2.2. Soluția de acționare pe baza principiului pneumatic 156 27

7.2.3. Soluția de acționare pe baza principiului hidraulic 159 28

8. CAPITOL 8 - SISTEMUL DE CUPLARE HIDRAULIC 164 29

8.1 Pre-dimensionarea hidraulică a sistemului de cuplare 164 30

8.2 Descrierea soluției tehnice – modelul CAD 168 30

8.3. Validarea funcționalității sistemului de cuplare realizat 174 31

9. CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DISEMINAREA REZULTATELOR. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE 181 32

BIBLIOGRAFIE 184 35

ANEXE

Anexa 1, Rezumatul tezei de doctorat 190 40

Lista abrevierilor, notațiilor și indicilor utilizați în lucrare

Capitolul 4

Abrevieri		Simboluri		Simboluri grecești		Indici	
AG	Analogia geometrică	A	Matrice parțială (ADM)	γ	Coeficientul de dilatare volumetrică	1	Prototip
TS	Teoria similitudinii	B	Matrice parțială (ADM)	δ	Variabilă dimensională	2	Model
ADC	Analiză dimensională clasică	C	Matrice parțială (ADM)	π	Element adimensional (ADM)	*cil*	cilindru
ADM	Analiză dimensională modernă	D	Matrice parțială(ADM) Diametrul cavității	β	Modulul volumetric	*dezv*	dezvoltată
		e	Rugozitatea suprafeței de contact	η	Variabilă fizică generică (ADM)	F_n	aferenți
		F	Variabilă generică (ADM)	Δ	Diferența	k	Numărul variabilelor adimensionale
		I	4.2	μ	Viscozitatea dinamică	p	presiunea
		L	Lungimea	θ	Temperatura	struct	structural
		Q	debit			V	volum
		S	Factor de scară				
		T	Matricea inversă (transpusă)				
		t	timpul				
		v	Viteza fluidului				
		W	Lucru mecanic				

Lista abrevierilor, notațiilor și indicilor utilizați în lucrare - continuare

Capitolul 5

Abrevieri		Simboluri		Simboluri grecești		Indici	
A	Articulație	a	braț	α	Unghi	i	Poziția momentană
AH	Articulația cilindru hidraulic	d	diametru	β	Unghi poziția relativă a brațului	p	piston
BI	Braț intermediar	E	Modulul de elasticitate al lichidului	ρ	Lungimea cilindrului hidraulic poziția unghiulară	s	săpare
BP	Braț principial	F	forța	μ	Viscozitatea dinamică		
C	Cupa	H	înălțime				
CH	Cilindru hidraulic α	G	greutate				
PC	Element port-cupă	J	moment de inerție maxim				
		p	presiune				
		Q	debit				
		r	raza				
		t	timp				
		V	volum				
		v	viteza				
		L	lungimea				
		W	Rezistența specifica				
		x	Poziția pistonului				

Lista abrevierilor, notațiilor și indicilor utilizați în lucrare - continuare

Capitolul 6

Abrevieri		Simboluri		Simboluri grecești		Indici	
ADM	Analiza Dimensională Modernă	b	grosime octogon	γ	Coeficientul de dilatare volumetrică	1	inferioară
C	Matricea de calibrare	E	modulul de elasticitate longitudinal	β	Modulul volumetric	2	superioară
ESA	electrotenso metrice	e	Rugozitatea suprafeței de contact	μ	Viscozitatea dinamică	a	axială
		F	forța	ε	Deformarea specifică liniară	*cil*	cilindru
		H	direcția de măsurare orizontală	θ	Temperatur a	*dezv*	dezvoltată
		K	rigiditatea			*H*	orizontală
		k	treaptă de încărcare			r	direcția radială
		L	distanța de dispunere (a planului de simetrie) a fiecărui octogon			p	presiunea
		M_i	momentul încovoietor			t	direcția circumferențială
		Q	debit			v	verticala
		R	Raza medie				
		t	timpul				
		V	direcția de măsurare verticală				
		v	Viteza fluidului				
		W	Lucru mecanic				

Lista abrevierilor, notațiilor și indicilor utilizați în lucrare - continuare

Capitolul 7

Abrevieri		Simboluri		Simboluri grecești		Indici	
		a	accelerația				
		C	Costul de fabricație				
		F	Fermitatea fixării forța				
		G	Greutatea sistemului de cuplare	γ	Coeficient de pondere		
		L	Modificarea lungimii brațului	μ	Coeficient de frecare		
		S	Siguranța in exploatare				
		T	Timpul necesar înlocuirii accesoriilor				
		V	Versatilitatea oferita utilajului				

INTRODUCERE

Una dintre problemele majore cu care se confruntă utilizatorii de utilje pentru construcții este eficientizarea și cresterea productivității acestor utilaje. Pentru ca utilajele folosite în construcții să fie folosite cât mai eficient și cu o productivitate cât mai mare, au fost concepute o serie de accesorii fiecare avand o anume destinație cum ar fi: cupe de excavare, cupe de nivelare, cupe malaxor, ciocane hidraulice, rippere, placi vibrante, freze, etc. Fixarea acestor accesorii pe bratul utilajelor se face in prezent în diferite moduri.
În lucrarea de față ne-am propus ca plecând de la analiza stării de tensiune și a deformațiilor din zona de amplasare a mecanismului de cuplare a accesoriilor să îmbunătățim calitatea sisteme de cuplare a accesoriilor pe brațul utilajelor.
Studiul a luat în considerare analiza surselor de tensiuni la nivelul brațului:

- Viteza de acționare si parametrii inerțiali ai brațului
- Perturbări induse de oscilațiile de presiune din sistemul de acționare
- Elasticitatea lichidului hidraulic de acționare, etc.

precum și sursele de tensiuni de la nivelul accesoriilor (cupei) - respectiv rezistența solului.
Având aceste informații s-a trecut identificarea stărilor de tensiune și a solicitărilor din zona de cuplare a accesoriilor folosind metode teoretice si experimentale și în final ne am îndreptat spre a dezvolta un sistem complet nou de cuplare rapidă.

1. CAPITOL 1 - MOTIVAȚIA ȘI DELIMITAREA DOMENIULUI DE CERCETARE

1.1 Scopul capitolului

Scopul acestui capitol este de a prezenta succint problematica sistemelor de cuplare a accesoriilor pe brațul utilajelor folosite in constructii, evindențierea necesității optimizării acestot sisteme, precum și delimitarea domeniului de cercetare.
Pentru a obține obiectivele pe care ni le-am propus în studiul forțelor care acționează în zona de fixare a cupei pe brațul utilajelor din construcții, toate studiile și experimentele care s-au făcut s-au bazat pe performanțele și caracteristicile tehnice si constructive ale mini-excavatorului marca Volvo, model EC27C.

1.2. Concluzii:

Luând in considerare cele prezentate in prezentul capitol a fost subliniata necesitatea efectuării de cercetări experimentale pentru a identificar stările de tensiune și deformații în zona de cuplare a accesoriilor de lucru, oportunitatea de a optimiza aceste sisteme precum și unificarea conceptului de cuplare rapidă.

2. CAPITOL 2 - STUDIU DE NIVEL ASUPRA SOLUȚIILOR DE CUPLARE

2.1 Scopul capitolului

Scopul acestui capitol este de a descrie pe scurt principalele sisteme de cuplare rapidă pentru fixarea accesoriilor pe brațul echipamentelor de construcții și principiile lor de funcționare, identificând avantajele și dezavantajele acestor sisteme în timpul funcționării și exploatării.

Acest capitol este dedicat unui studiu de nivel asupra mai multor principii tehnice de cuplare rapidă existente în exploatare, identificându-se limitele acestora în lipsa unei legături ferme între componente, fiind generate jocuri care ulterior duc la uzură rapidă sau chiar rupere

În acest capitol se prezintă :

- Cerinte pe care trebuie sa le indeplineasca sistemele de cuplare
- Metode de cuplare a accesoriilor pe bratul excavatoarelor.
    - Fixarea directă cu bolțuri;
    - Fixarea cu sisteme de cuplare rapidă.
- modalitati de functionare si de actionare a sistemelor de cuplare rapida

2.2.Concluzii și perspective

In momentul actual pe piață există prea multe tipuri de sisteme de cuplare de la mulți furnizori, ceea ce face imposibilă interschimbabilitatea accesoriilor. Se întâmplă astfel că în același șantier să fie două, sau mai multe excavatoare de aceeași dimensiune, dar de la producători diferiți și care pot folosi doar propriile accesorii fără a avea posibilitatea de a utiliza alte accesorii și asta datorită diferitelor sisteme de cuplare.

Ca urmare a unei analize atente a soluțiilor tehnice actuale se evidențiază necesitatea unui sistem complet nou de cuplare rapidă care să încorporeze câteva avantaje majore, după cum urmează:

- rapiditate și ușurința în schimbarea accesoriilor date de noul sistem de cuplare;
- reducerea numărului de elemente din componenta Sistemele de cuplare rapidă sunt supuse unor eforturi mari în timpul utilizării.
- înlocuirea ușoară și rapidă a accesoriilor;
- pentru punerea în mișcare a mecanismului de cuplare rapidă se utilizează fluidul hidraulic existent, furnizat de sistemul hidraulic al utilajului, astfel încât nu este nevoie de un alt sistem.

Dezavantajele sistemelor de cuplare rapidă sunt:

- fixarea accesoriului nu este fermă pentru că montajul se face cu joc între elementele în contact;
- număr mare de piese în mișcare care se uzează în timp;
- utilizarea unui sistem de cuplare cu mecanism complicat;

- multitudinea de tipuri și modele de sisteme de cuplare de pe piață;
- costuri mari de fabricație;

Ca urmare a unei analize atente a soluțiilor tehnice actuale se evidențiază necesitatea unui sistem complet nou de cuplare rapidă si in acest sens ne propunem:

- realizarea unui nou sistem de conectare rapidă care va asigura reducerea numărului de componente în mișcare din mecanismul sistemului de cuplare rapidă;
- elaborarea unei construcții de complexitatea mai redusă.

3. Capitolul 3 - OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT

3.1. Scopul capitolului

In acest capitol al tezei de doctorat s-au formulat obiectivele cercetării in baza studiilor de nivel facute. Aceste obiective sunt concentrate în special asupra modalităților de studiu și identificare a stării de tensiune în zona de cuplare, având în vedere că dinamica solicitărilor este diversificată pornind de la sarcini staționare până la sarcini sub formă de șoc / impact, existând contribuții și influențe din partea sistemului de acționare, sarcinii și nu în ultimul rând a lichidului de lucru.

S-au definit atât metode teoretice cât și experimentale de identificare a stării de tensiune si deformații precum și o gamă de variante constructive luate în considerare pentru studiu în diferite grade de detaliere.

Oiective generale de cercetare pentru sistemul de cuplare braț de excavator - cupă:

1. Concepția unor sisteme de cuplare folosind principii pneumo – hidraulice care să îndeplinească cerințele generale impuse ansamblului braț de excavare – cupă:
2. Dezvoltarea de metode de cercetare care să permită validarea soluțiilor în condiții dinamice a sistemului de cuplare braț – cupă asigurând funcționalitatea sistemului în condițiile reale de exploatare.

Obiective detaliate

1. Identificarea forțelor care apar în condiții dinamice
2. Dezvoltarea de soluții tehnice pneumo – hidraulice
3. Realizarea unei soluții tehnice aplicate cuplării brațului de excavator capabile să lucreze în condiții reale de funcționare
4. Realizarea unui stand de încercare care să permită:
5. Elaborarea bazelor teoretice și a suportului experimental care să permită continuarea cercetărilor pe baza analizei dimensionale în vederea creării suportului științific extrapolării soluției tehnice elaborate la alte game tipodimensionale de cupe, condiții de utilizare și sisteme de lucru diferite de cupa de săpare.

3.2Concluzii

In cadrul acestui capitol a fost evidentiata clar necesitatea dezvoltării de soluții inovative de cuplare prin identificarea stării de tensiune în zona de cuplare care constituie practic datele de intrare pentru dezvoltarea soluțiilor tehnice, motiv pentru care s-a efectuat o cercetare detaliata a acestei stări de tensiune ca premisă esențială în dezvoltarea de soluții tehnice inovative.

4. Capitolul 4 - ASPECTELE DE BAZĂ ALE MODELĂRII

4.1. Considerații generale

S-a plecat de la ideea de a efectua unele investigații experimentale cât mai simple, sigure și la un preț de cost cât mai scăzut si ne-am orientat spre analiza unor structuri reduse la scară, denumite *modele*, care asigură avantajele dorite, menționate mai înainte.

Transferul datelor/informațiilor obținute pe model la prototip s-ar fi putut realiza fie pe baza:

- *Analogiei Geometrice*
- *Teoriei Similitudinii*
- *Analizei Dimensionale Clasice*
- *Analizei Dimensionale Moderne*

4.2. Fundamente ale Analizei Dimensionale Moderne (ADM)

- *ADM* nu necesită cunoașterea aprofundată a fenomenului ci numai cunoașterea mulțimii variabilelor $(F_1, F_2, F_3, ..., F_n)$ implicate în descrierea fenomenului analizat și dimensiunile acestora;
- Prin formarea așa-numitei Matrice Dimensionale din totalitatea variabilelor implicate și dimensiunile de bază ale acestora $(\delta_1, \delta_2, ..., \delta_m)$ devine posibilă izolarea unei matrici nesingulare *A*, plecând din colțul dreapta de sus;
- Totalitatea variabilelor, care fac parte din matricea *A* vor deveni prin definiție variabile independente, ale căror mărime se alege a priori, atât pentru prototip, cât și pentru model;
- Restul variabilelor (denumite variabile dependente) vor forma matricea *B*, și ale căror mărime se alege a priori numai în cazul prototipului, pe când pentru model, acestea vor rezulta în mod obligatoriu numai prin aplicarea Legii Modelului, care se va deduce (după cum se va arăta în continuare);
- Printre aceste variabile dependente se află și aceea, pe care intenționăm să obținem pentru prototip, pe baza măsurătorilor efectuate pe model;
- Se completează această Matrice Dimensională cu două matrici:

$$C = -\left(A^{-1} \cdot B\right)^T \text{ si } D \equiv I_{kxk}$$

În cadrul acestor matrici numărul de linii la matricile *A* și *B* este egal cu numărul dimensiunilor de bază implicate (*m*), pe când la matricile *C* și *D*: cu numărul (*k*) al variabilelor adimensionale π_k, cu ajutorul cărora se va forma mulțimea completă a elementelor Legii Modelului.

În matricile *A, B* și *C* intervin exponenții dimensiunilor de bază implicate $(\delta_1, \delta_2, ..., \delta_m)$, care ne ajută să descriem mulțimea variabilelor implicate $(F_1, F_2, F_3, ..., F_n)$, iar în matricea *D* (care este o matrice unitate), aceste valori unitare vor reprezenta de asemenea exponenții variabilelor dependente.

Ulterior, variabilele implicate se vor înlocui prin factorii de scară aferenți (S_{F_n}), rezultând în final expresia pentru elementul căutat din Legea Modelului.

4.3. Aplicarea Analizei Dimensionale Moderne la studiul excavatorului

În vederea realizării unei cuplari rapide și sigure a cupei (sau al oricărui organ de lucru) la corpul excavatorului, doctorandul a conceput o serie de sisteme pneumatice și hidraulice:

4.3.1.Sistemul pneumatic (cu vid)

Sistemul pneumatic de bază consta dintr-o serie de cavități vidate, la nivelul cărora, vidul creat urma să echilibreze forțele normale pe direcția planului cavității.

4.3.2. Sistem hidraulic (cilindru hidraulic)

La *Sistemul actionat hidraulic* pentru fixarea organului de lucru de corpul excavatorului, setul variabilelor a putut fi completat cu câteva elemente, ținând seama de faptul că, atât aerul, cât și uleiul hidraulic reprezintă de fapt tot niște fluide:

Trebuie subliniată încă o facilitate a Analizei Dimensionale Moderne, respectiv faptul ca prin flexibilitatea ei de a include sau omite o anumită variabilă, în cazul în care s-a constatat relevanța sau irelevanța fizică sau dimensională a respectivei variabile.

4.4. Concluzii asupra utilizării Analizei Dimensionale Moderne

În acest capitol au fost prezentate în mod succint elementele de bază ale Analizei Dimensionale Moderne (*ADM*), în comparație cu restul metodelor aplicate în studiul pe modele a fenomenelor ce privesc prototipurile.

Au putut fi constatate o serie de avantaje incontestabile ale *ADM* în raport cu Asemănarea Geometrică, Teoria Similitudinii, respectiv a Analizei Dimensionale Clasice.

Au fost aplicate aceste principii ale *ADM* la deducerea Legii Modelului pentru cazurile unor camere vidate, respectiv unor acționări hidraulice (cilindri hidraulici speciali) care pot asigura fixarea organului de lucru de corpul excavatorului în condiții mai rapide, sigure și ușoare.

În capitolele ce urmează vor fi prezentate rezultatele măsurătorilor efectuate pe model și aplicarea Legii Modelului în scopul obținerii unor rezultate predictibile pe prototipul unui excavator real.

5. Capitolul 5 - IDENTIFICAREA ȘI SIMULAREA SURSELOR DE TENSIUNI GENERATE DE SISTEMUL DE ACȚIONARE ȘI SARCINILE INDUSE ÎN ZONA DE CUPLARE A ACCESORIILOR MONTATE PE EXCAVATOR

5.1. Obiectivele capitolului

- - Elaborarea unui model analitic, pentru a calcula forțele care apar în elementul de cuplare al cupei excavatorului pe baza ecuațiilor de moment scrise prin separarea corpurilor. Sistemul de ecuații diferențiale rezultat se rezolvă prin metoda diferențelor aplicată la variabilă independentă timp, astfel încât pornind de la condiții inițiale, se calculează toate necunoscutele la un pas de timp, variația unitară a mărimilor fizice, cu care se calculează valoare efectivă a mărimilor la următorul pas de timp.
- Elaborarea unui model multi-domeniu, folosind software comercial, pentru ansamblul element susținere cupă – element de cuplare – cupă. La acest model s-a creat cilindrul hidraulic de acționare al cupei, un cilindru hidraulic ca element de cuplare lucrând sub formă de cuplă de translație și un sistem de definire variabilă a sarcinilor. În acest mod este posibilă simularea dinamică, simultană a variației modului de acționare și a sarcinii, ambele variabile în timp și identificarea forțelor care apar la nivelul cuplei în regim dinamic și a oscilațiilor generate la nivelul cupei.
- Realizarea unui model multi-corp al ansamblului brat intermediar – cupă pentru a putea simula diferite moduri de aplicare a forțelor de cuplare și implicit a soluțiilor tehnice care ar putea fi utilizate.
- Simularea mai multor moduri de cuplare, prin forță aplicată nemijlocit de unul sau mai multe actuatoare, principial pneumo-hidraulice, și de asemenea mai multe soluții de cuplare prin intermediul unor elemente intermediare de împănare.

Astfel cele 10 soluții elaborate au permis evidențierea unui spectru de posibilități tehnice, care a permis identificarea unei soluții care să fie dezvoltată în detaliu pe parcursul lucrării.

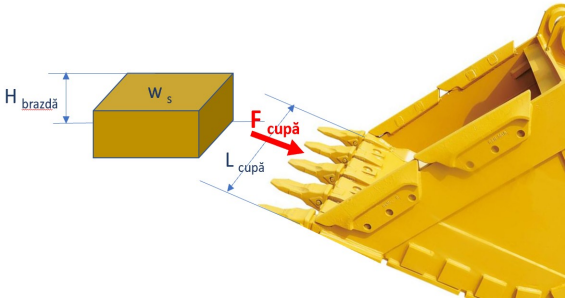
5.2. Identificarea forțelor de dislocare a solului

Analiza procesului săpării este necesară pentru determinarea caracterului dinamic al forțelor care apar la nivelul agregatului de lucru în contact cu terenul prelucrat (de exemplu cupă, compactor, etc.).

Interacțiunea agregatului de lucru cu solul în timpul lucrului, presupune patru etape:

1. deformația solului
2. apariția fisurilor și crăpăturilor
3. aglomerarea solului
4. desprinderea brazdei

În vederea determinării forței de rezistență a solului în tipul procesului de săpare, se definește rezistența specifică la săpare, w_s $\left[\frac{N}{m^2}\right]$, ca parametru de bază pentru calcul forței de acțiune asupra cupei:



- Modul de desprindere în timpul săpării pentru diferite tipuri de soluri

$$F_{cupă} = w_s \cdot L_{cupă} \cdot H_{brazdă}$$

Rezistența specifică a solului la săpare depinde de:

- Grosimea brazdei
- Unghiul de săpare
- Unghiul de ascuțire al dinților
- Viteza de săpare (0.4 – 1 m/s)

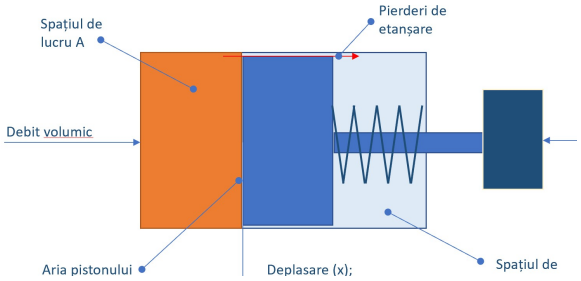
5.3. Modelarea și simularea sistemului de acționare al excavatorului folosind metode analitice

In prezentul subcapitol descrie modelul analitic și rezultatele simulării folosind acest model, urmărindu-se identificarea forțelor care apar în sistemul de cuplare, scopul fiind identificarea forțelor în punctul de cuplare a cupei. Se urmărește astfel să se identifice forțele care trebuie realizate la nivelul cuplei, ca date de intrare în elaborarea soluție tehnice efective si deasemenea se urmărește ca modelul de simulare să poată integra următoarele influențe care se pot manifesta simultan în timpul funcționări și implicit solicita elementul de cuplare:

1. Forțele hidraulice ale elementelor de execuție hidraulic (cilindri);
2. Forțele inerțiale
3. Forțele de greutate
4. Forțele de rezistență a solului
5. Forța din elementul de cuplare, care trebuie să compenseze toată dinamica combinată a influențelor menționate la punctul 1 – 4

Pasii parcursi pentru determinarea acestor forte au fost:

- Analiza forțelor la nivelul brațului intermediar
- Analiza fortei hidraulice a cilindrului de actionare a bratului principal



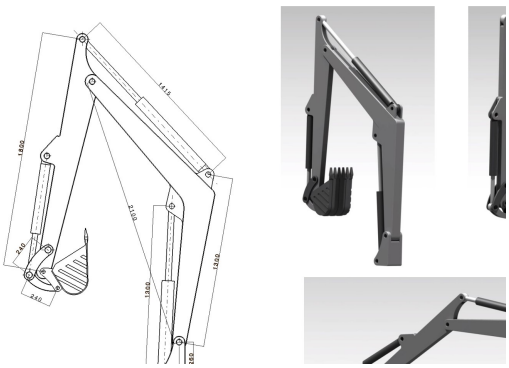
- Analiza forțelor la nivelul brațului intermediar
- Analiza forțelor la nivelul corpului de susținere al cupei
- Analiza forțelor la nivelul cupei
- Identificarea algoritmul de calcul al modelului analitic

5.4. Modelarea și simularea multi-corp a ansamblului braț excavator – sistem de cuplare - cupă

Modelarea conceptului cuplei în vederea identificării stării de tensiune a impus un model extins prin care să fie create posibilitățile:

1. simulării unor cuple multiple poziționate spațial;
2. modelării simultane a sarcinii variabile și a modului de acționare variabil;
3. pierderii contactului;
4. considerării de proprietăți de fricțiune în zona cuplei.

Pentru aceasta s-a realizat un model de simulare folosind software dedicat analizelor multi-corp, MSC - ADAMS.



Modelul multi-corp al brațului de excavator folosind software MSC - ADAMS

Etape de lucru parcurse pentru efectuarea analizei multi-corp dedicate analizei stării de tensiune în zona de cuplare, au fost:

1. Modelarea ansamblului sistemului de acționare al cupei cu posibilitatea definirii de legi de mișcare independente pentru fiecare cuplă de translație având corespondență într-un cilindru hidraulic real;

2. Definirea tipului cuplelor, a constrângerilor și gradelor de libertate;
3. Definirea parametrilor inerțiali ai componentelor sistemului de acționare;
4. Definirea legilor de mișcare luând în considerare modalitățile reale de comandă (momentul și cilindrii hidraulici care lucrează simultan);
5. Identificarea parametrilor cinematici și dinamici în cuplele și zona de cuplare ale cupei excavatorului.
6. Analiza rezultatelor având drept criteriu valoarea forțelor în zona de cuplare.

Identificarea forțelor în zona de cuplare a cupei

Analiza procesului definit anterior ca având sarcina maximă permite identificarea forțelor :

- cuplei C3
- cuplei de rotație a cupei față de brațul intermediar împreună cu parametrii cinematici;
- corelația unghiului de rotație al cupei față de brațul intermediar cu forța din zona de cuplare
- forțele în cuplele de fixare în timpul lucrului cu brațul întins
- corelația forțelor cuplelor de susținere cu cele din brațul principal de acționare – regim de acționare linear
- corelația forțelor cuplelor de susținere cu cele din brațul principal de acționare – regim de acționare curbliniu
- corelația deplasare – forțe pentru regimul extrem când apare suprapunerea deplasărilor la toți cei trei cilindri de acționare simultan, situație evitată în practică, dar considerată ca situație extremă în prezentul studiu
- parametrii deplasare ai cilindrilor pentru sarcina constantă maximă impusă de producător
- forțele în punctul de poziționare al sistemului de cuplare pentru regimul de sarcină maximă,
- amplitudinea forțelor la nivelul tijelor cilindrilor hidraulici în aceste condiții cinematice și pentru o sarcină constantă ca amplitudine de 24600, valoarea indicate de producător având direcție constantă față de cupă

6.Capitolul 6 - CERCETAREA EXPERIMENTALĂ A SISTEMULUI DE CUPLARE HIDRAULIC APLICAT LA EXCAVATOR

6.1. Obiectivele cercetării experimentale

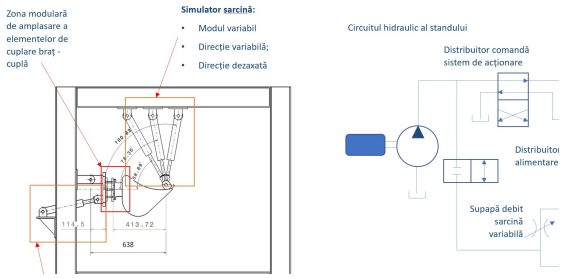
1. Realizarea unui stand care să permită crearea reproductibilă a:
    a. diferite condiții de acționare;
    b. diferite condiții de încărcare ca sarcină și direcție;

2. Stabilirea cu precizie a mărimii tuturor componentelor forței de ancorare a organului de lucru (aici: cupă) de structura excavatorului, în funcție de principalele solicitări;
3. Măsurarea solicitării axiale care ar urma să fie realizată de sistemul de acționare hidraulic selectat și dezvoltat din variantele
4. Efectuarea unor investigații experimentale de mare precizie și de bună reproductibilitate, în vederea validării soluției alese.
5. Validarea funcționalității sistemului de cuplare realizat

6.2. Standul general de încercare

În vederea implementării obiectivelor indicate la punctul 6.1 s-a realizat un stand general capabil să reproducă diferite condiții de acționare și sarcină și de asemenea adaptarea modulară a diferitelor componente pentru materializarea obiectivelor cercetării experimentale 2 – 5.

Conceperea și realizarea fizică a unui stand modular destinat testării modelului subansamblului cupă-corp excavator,



Zona modulară de cuplare între sistemul de acționare și cupă s-a realizat modular pentru a asigura condiții de solicitare similare pentru cele 3 obiective:

- Modulul 1: sistemul de încercare pe baza mesei dinamometrice pentru identificarea stării de tensiune tri-dimensionale (forțe și momente).
- Modulul 2: sistemul de încercare pe baza traductorului de forță axial pentru identificarea stării de tensiune respectiv forței axiale pe baza traductor axial și a elementelor de compensare
- Modulul 3: sistemul de cuplare inovativ dezvoltat de doctorand

6.3. Metodologia cercetării experimentale

În vederea evaluării precise a forțelor și momentelor din zona de joncțiune cupă-corp excavator, pentru stabilirea ulterioară a noului sistemul de fixare optim al acestui organ de excavator, s-a optat pentru utilizarea Tensometriei Electrice Rezistive (*TER*).

Cu ajutorul *TER* a fost concepută, realizată fizic și calibrată o masă dinamometrică, care asigură determinarea cu precizie a tuturor componentelor de forță și de moment ce se dezvoltă la nivelul joncțiunii cupă-corp excavator.
Această masă dinamometrică este formată din patru octogoane (traductoare de forță), ale căror calcul a reprezentat primul pas în soluționarea problemei propuse.
Traductorii de presiune și de forță, funcționând pe principii piezoelectrice s-au calibrat folosind metode gravimetrice.

6.4. Aparatura de încercare

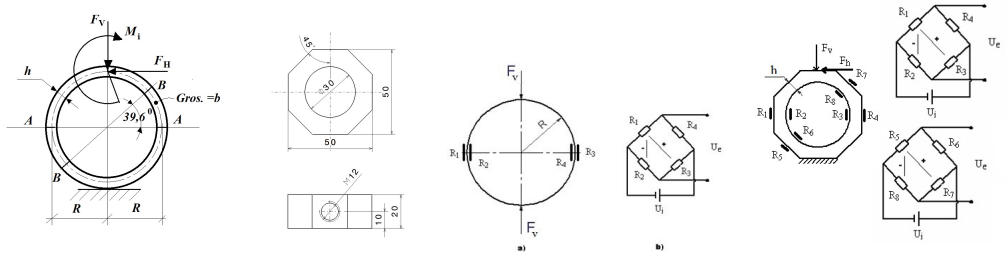
Pe baza celor de mai înainte, aparatura de încercare a fost formată în principiu din:

1. Două traductoare de forță, destinate calibrării masei dinamometrice, respectiv monitorizării forței aplicate pe modelul cupei;
2. Patru octogoane cu cate doua mărci eletrotensometrice, care formeaza masa dinamometrică;
3. Două punți tensometrice, destinate monitorizării semnalelor traductoarelor de forță, respectiv ale octogoanelor mesei dinamometrice;
4. O placă de achiziție a datelor cu rată de eșantionare suficient de mare monitorizării încărcărilor și în regim dinamic;
5. Traductori piezoelectrici de presiune
6. Traductorul de forță
7. Sistemul de achiziție date

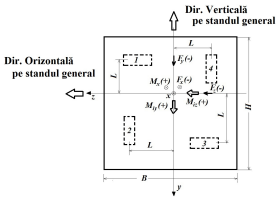
6.5. Conceperea sistemului de măsurare al forțelor din zona de fixare a cupei (organului de lucru) de corpul excavatorului

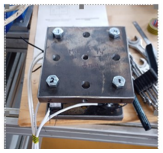
În acest fel, masa dinamometrică, oferă pe baza datelor sale de calibrare, cu precizie mărimea tuturor componentelor forțelor și momentelor din zona de ancorare a cupei de corpul excavatorului în funcție de solicitările induse fie la nivelul cupei fie la nivelul sistemului de acționare.
Etape de lucru:

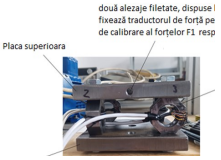
6.5.1.Calculul octogoanelor

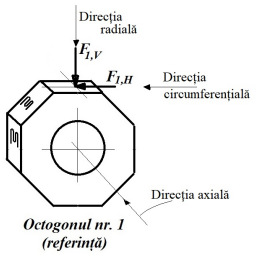


6.5.2. Conceperea mesei dinamometrice pentru monitorizarea încărcărilor 3D









$$F_{x,total} = F_{aplicata}\ ;\ F_{y,total} = F_{aplicata}\ ;\ F_{z,total} = F_{aplicata}\ ;$$

$$M_{x,total}\left[N \cdot mm\right] = 200 \cdot F_{aplicata}\ ;$$

$$M_{iy,total}\left[N \cdot mm\right] = 250 \cdot F_{aplicata}\ ;\ M_{iz,total}\left[N \cdot mm\right] = 250 \cdot F_{aplicata}\ .$$

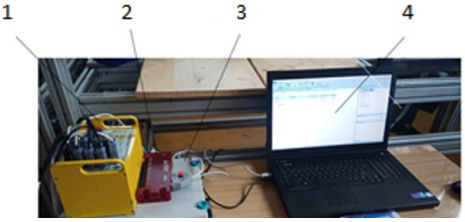
6.5.3. Principiului calibrarii mesei dinamometrice

- Stabilirea forțelor capabile pe cele două direcții $\left(F_V, F_H\right)$.
- Determinarea pantelor de regresie $\left(tg\alpha\right)$ ale dreptelor de regresie aferente
- Determinarea valorii deformației specifice liniare ε_k, corespunzatoare fiecarui ciclu de incarcare si aflarea matricei

$$\varepsilon_k^{\ *} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_{1,k}^{V} \\ \varepsilon_{1,k}^{H} \\ \varepsilon_{2,k}^{V} \\ \varepsilon_{2,k}^{H} \\ \varepsilon_{3,k}^{V} \\ \varepsilon_{3,k}^{H} \\ \varepsilon_{4,k}^{V} \\ \varepsilon_{4,k}^{H} \end{Bmatrix}$$ a deformnațiilor și a matricei $F = \begin{Bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ M_x \\ M_{i,y} \\ M_{i,z} \end{Bmatrix}$ a componentelor încărcărilor

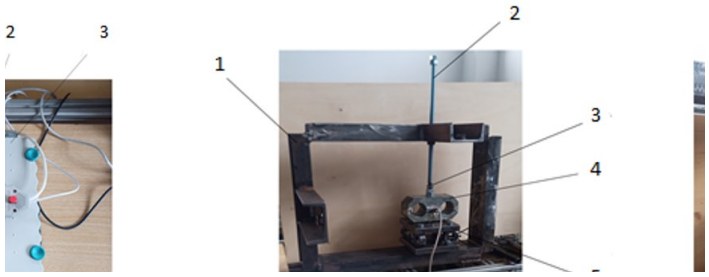
- Stabilirea matricei de tip $\varepsilon = B \cdot F$
- Determinarea matricei pseudo-inversată $B^+ = \left(B^T \cdot B\right)^{-1} \cdot B^T$, care asigură compatibilitatea dimensională a expresiei $B^+ \cdot \varepsilon_{test}^* = F$

6.5.4. Standul de calibrare al mesei dinamometrice



a

b



Imagine generală asupra sistemelor de achiziție date și calibrare

6.5.5. Rezulatele calibrării mesei dinamometrice

În urma trasării și analizei tuturor diagramelor a devenit posibilă completarea matricei *B*, definită prin relația (6.5.3.4), precum și a *matricei pseudo-inversate* $B^{+}=\left(B^{T}\cdot B\right)^{-1}\cdot B^{T}$

6.5.6. Conceperea și realizarea modelului cupă-excavator (aplicarea *ADM* la conceperea modelului)

În vederea ilustrării aplicării ADM prin intermediul Legii Modelului, aici pe baza relațiilor (6.5.6.1) sau (4.3.1.1'), se vor alege, în mod independent pentru prototip (cu indicele 1), respectiv pentru model (cu indicele 2), mărimea presiunii din cilindrul de acționare (p_1, p_2), timpul de acționare preconizat procesului de lucru în cilindru ((t_1, t_2), precum și lungimea elementului structural L_{struct}.

6.5.7. Rezultatele masuratorilor

Au fost monitorizate, atât forțele de la nivelul cupei, cât şi indicațiile celor opt traductoare de forță ale mesei dinamometrice. Forța maximă din acest cilindru a fost de $11000\ N$, pentru care, în cele trei cazuri, si au putut fi evaluate mărimile componentelor eforturilor secționale de la nivelul joncțiunii cupe cu structura de rezistență a excavatorului.

6.5.8. Concluzii privind mărimea forțelor din zona joncțiunii cupei cu excavatorul și alegerea soluției favorabile transmiterii acestora

Din analiza atentă a rezultatelor obținute cu ajutorul metodologiei propuse și validate de doctorand, reies o serie de concluzii utile celor din domeniu, și anume:

- Utilizarea unei mese dinamometrice în stabilirea eforturilor secționale din zone de joncțiune a cupei (organului de lucru) cu structura de rezistență a excavatorului prezintă o serie de avantaje incontestabile;
- Standul de calibrare al mesei dinamometrice și protocolul aferent reprezintă părți integrale și esențiale ale utilizării corecte a mesei;
- Această masă dinamometrică poate să fie concepută, calibrată și aplicată direct pentru structura reală însă poate să fie aplicată pe model redus la scară
- În acest ultim caz, când se va aplica metodologia bazată pe ADM, prezentată de doctorand, prin intermediul Legii Modelului în stabilirea acestor forțe,

protocolul descris poate reprezenta în viitorul apropiat o abordare inovatoare şi deosebit de eficientă de analiză a unor structuri complexe, cum este şi aceea a excavatorului, pe baza unor modele reduse la scară;

- Utilizării mesei dinamometrice permite o selectare obiectivă a diferitelor soluții de prindere, prezentate în continuare, ale căror selectare trebuie argumentată foarte temeinic în vederea obținerii unui produs finit competitiv;
- Analiza Dimensională Modernă (ADM), prin intermediul Legii Modelului, pentru acționarea pneumatică, respectiv hidraulică a sistemului de fixare al cupei asigură o abordare mult mai complexă decât aceea bazată numai pe Analogia Geometrică, sau a Teoriei Similitudinii, dar chiar și a Analizei Dimensionale Clasice, deoarece oferă setul complet al variabilelor adimensionale, care se pot deduce în urmărirea acestui fenomen;
- ADM-ul reprezintă o metodă de viitor, deoarece ea va conferi, atât diminuarea costului investigațiilor experimentale, cât şi a timpilor de concepere şi validare ale acestor structuri complexe.

6.6 Analiza stării de tensiune pe direcție axială

În vederea identificării forței pe direcție axială care ar urma să fie preluată de un actuator axial, iar compensarea stării de tensiune spațială să fie conceptual preluată de sisteme de ghidare s-a realizat un sistem care permite măsurarea forței axiale ce ar urma să fie preluată de sistemul hidraulic de cuplare și compensarea forțelor și momentelor pe celelalte direcții.

Etapele general valabile pentru efectuarea unei încercări au fost:

1. Verificarea funcționalității circuitului hidraulic;
2. Montarea sarcinii în poziția corespunzătoare experimentului;
3. Setarea poziției supapei de debit pentru realizarea sarcinii dorite;
4. Pornirea sistemului de acționare
5. Înregistrarea măsurătorilor experimentale

	Sarcină plană									
	Pozitie unghiulara sarcina 1				Pozitie unghiulara sarcina 2				Po	
	P1 [bar]	P2 [bar]	P3 [bar]	Traductor forta [N]	P1 [bar]	P2 [bar]	P3 [bar]	Traductor forta [N]	P1 [bar]	
Viteza actionare 1 -6s (Plan x_V1)	A1				A2					
	5.7	33	33	4200	5.7	44	43	6800	5.3	
Viteza actionare 2- 4s (Plan x_V2)	B1				B2					
	8.3	53	53	8900	9.2	62	60	11000	7.5	
Viteza actionare 3- 2s(Plan x_V3)	C1				C2					
	18.5	121	116	12800	20.7	127	123	12800	23	

	Sarcina inerțială					
	Masa 1 - 25kg			Masa 2 - 70kg		
	P2 [bar]	P3 [bar]	Traductor forta [N]	P2 [bar]	P3 [bar]	Traductor forta [N]
Viteza actionare 1 (Mas x_V1)	D1			D2		
	23	23	633	25	37	6200
Viteza actionare 2 (Mas x_V2)	E1			E2		
	50	36	1580	37	54	8800
Viteza actionare 3 (Mas x_V3)	F1			F2		
	96	72	5490	75	66	12700

	Sarcina inertiala de capat (oprire brusca)		
			Traductor forta

Matricea încercărilor pentru identificare stării de tensiune axiale în zona de cuplare

6.7. Concluzii asupra rezultatelor cercetării experimentale a sistemului de măsurare axial

- - Direcția de acțiune a sarcinii față de cupă nu induce influențe majore de la o poziția la alta mărimea sarcinii influențează proporțional starea de tensiune axială;
- Viteza de acționare s-a identificat ca o sursă majoră de variație a stării de tensiune tendință manifestată pentru toate mărimile și pozițiile sarcinii;
- Sarcinile inerțiale se dovedesc având amplitudini similare și ușor superioare față de sarcina continuă maximă impusă cupei, pentru viteze similare de acționare;
- Impactul este o sursă majoră pentru vârfuri de tensiune în zona de cuplare a cupei, precum și pentru un comportament relativ instabil după impact;
- Pentru valori ale solicitării sistemului de cuplare având valori de 8500 N, valoarea sarcinilor dinamice identificate este 13000 N.

7. Capitolul 7 - SISTEME DE CUPLARE PNEUMO-HIDRAULICĂ ANALIZATE PORNIND DE LA STAREA DE TENSIUNE ÎN ZONA DE CUPLARE

7.1. Comparația cuplă fixă / cuplă rapidă pe baza analizei multicriteriale

Etape in analiza multicriteriala:

- Stabilirea criteriilor de evaluare.
- Determinarea ponderii fiecărui criteriu
  1 - daca criteriul de pe linie este mai important decât criteriul de pe coloana;
  ½ - daca criteriul de pe linie este la fel de important decât criteriul de pe coloană;
  0 - daca criteriul de pe linie este mai puțin important decât criteriul de pe coloană.
- Calculul coeficientului de pondere aplicând formula FRISCO:

$$\gamma i = (p + \Delta p + m + 0,5) / (- \Delta p' + Ncrt/2)$$

- Identificarea variantelor de fixare a accesoriilor :

a.) Varianta (a) : Fixarea directa (cu bolțuri)
b.) Varianta (b) : Fixarea cu cupla rapida clasica
c.) Varianta (c) : Fixarea cu cupla rapida cu camera cu vid

- Acordarea notelor N

Se acordă o notă fiecărei variante conform criteriului de evaluare asociat și se analizează succesiv fiecare variantă. Ulterior se va raporta la fiecare criteriu considerat.

- Calcularea produselor dintre notele N si coeficienții de pondere

Pentru stabilirea ierarhiei finale a celor 3 variante propuse, se calculează produsul dintre coeficientul de pondere si nota acordata fiecărei variante prin raportarea la criteriul de selecție .

		Varianta (a)		Varianta (b)		Varianta (c)	
Criteriul	ɣi	*Ni*	*Ni* x ɣi	*Ni*	*Ni* x ɣi	*Ni*	*Ni* x ɣi
S	5,14	10	51,4	9	46,26	9	46,26
V	4	1	4	10	40	10	40
C	1,66	10	16,6	7	11,62	9	14,94
F	3,11	10	31,1	6	18,66	10	31,1
T	1,55	1	1,55	9	13,95	8	12,40
G	0,11	10	1,1	8	0,88	9	0,99
L	0,16	10	1,6	5	0,80	8	1,28
Clasament final			**107,35**		**132,17**		**146,97**

Se observă că varianta (c), respective fixarea accesoriilor cu cupla rapida cu camera cu vid se identifică drept soluția optimă având numărul maxim de puncte. Pornind de la analiza multicriterială studiată se abordează direcția generală de dezvoltarea a sistemelor pneumo – hidraulice de cuplare rapidă.

7.2. Variante pneumo-hidraulice ale cuplelor rapide

În vederea materializării concluziilor legate de starea de tensiune în zona de cuplare, ca suport pentru elaborarea unor soluții tehnice inovative, s-au considerat principii pneumo – hidraulice de acționare, grupate după cum urmează:

A . Soluții de cuplare bazate pe elemente de cuplare vidate

A1: cu un punct de fixare;

A2: cu două puncte de fixare;

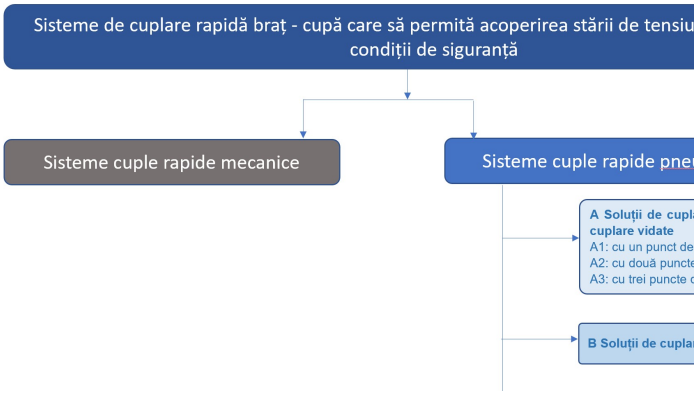
A3: cu trei puncte de fixare

B. Soluții de cuplare pneumatice;

C . Soluții de cuplare hidraulice:

C1 bazat pe forța de strângere generată hidraulic prin deplasarea unui sistem de strângere;

C2 bazat pe forța de strângere generată hidraulic prin deformarea elastică a elementului de strângere.

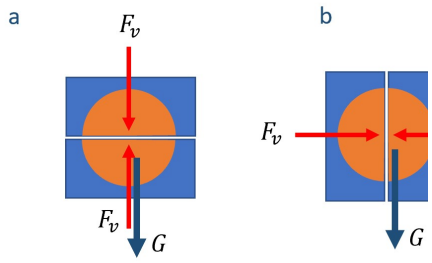


Arborele soluțiilor tehnice de cuplare rapidă cu detalierea soluțiilor pneumo – hidraulice considerate spre studiu

7.2.1 Soluția de acționare pe baza principiului vacuumatic

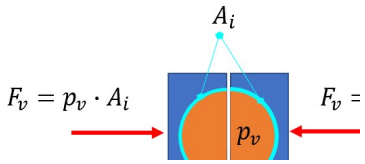
Principiul de acționare vacuumatic constă în crearea unei incinte vidate, astfel încât presiunea atmosferică acționând în exteriorul elementului de cuplare, creează forța de cuplare.

Coeficientul de siguranță ia în considerare posibilitatea depășirii valorilor forțelor teoretice în timpul condițiilor de funcționare și depinde de poziția de lucru a incintei de vidare. Valorile coeficientului de siguranță recomandate conform sunt:



Forța de cuplare vacuumatică

Forța vaccumatică este determinată de condițiile de presiune din incinta vacuumatică și de dimensiunile acesteia. Schema de calcul pentru predimensionare este :

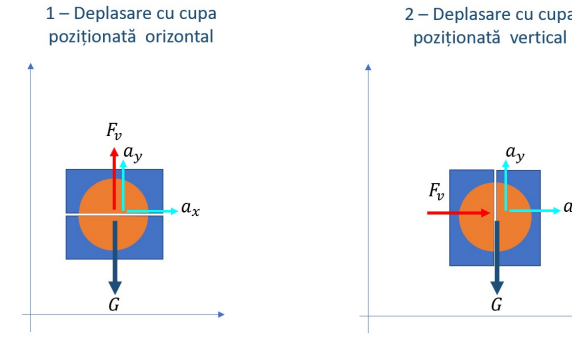


Forța de susținere

Forța de susținere este determinată de dimensiunile, masele, sarcinile și accelerațiile

În faza de predimensionare se disting după cazuri generale de calcul:

1. Deplasarea având cupa în poziție verticală
2. Deplasarea având cupa în poziție orizontală



Pe baza forței de vidare pe care o poate realiza o cuplă vaccumatică s-au studiat 3 variante de poziționare a cuplelor vacuumatice.

A1 Sistemul vacuumatic cu un punct de fixare

În vederea identificării stării de tensiune în zona de cuplare, pe baza analizei multi-corp se evidențiază, valori ale sarcinii peste limita pe care o poate asigura o cuplă vacuumatică la nivelul de gabarit posibil a fiimplementat.

A2 Sistemul vacuumatic cu două punct de fixare

În timpul acționării în schimb conform solicitării maxime forțele generate al nivelul punctelor de fixare ajung la valori depășind 45 kN, ceea ce depășește capacitatea principiului vacuumatic în două puncte.

A3 Sistemul vacuumatic cu trei puncte de fixare

În vederea compensării suplimentare a sarcinilor care pot apare în timpul manevrelor de lucru s-a elaborat soluția tehnică cu trei puncte de fixare vaccumatică care in cazul solicitării dinamice valoarea forțelor se păstrează la valori relativ ridicate.

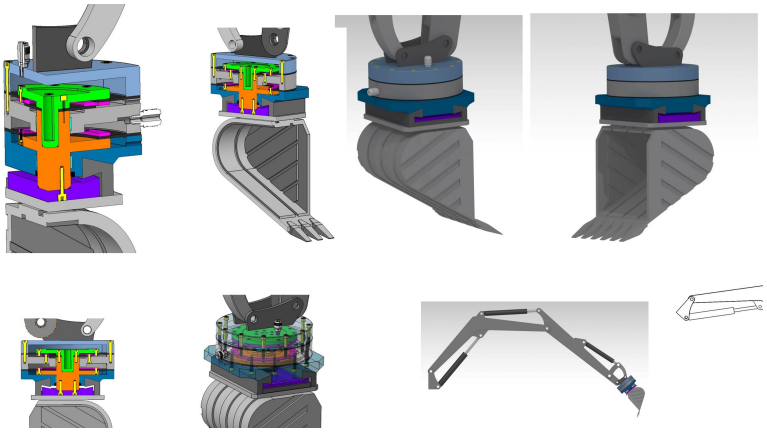
Soluția cu trei puncte de fixare menite a prelua sarcini și mai ales momente de rotație nu asigură în toate planele de lucru pe cale vacuumatică, forța necesară cuplării sigure. Suplimentar apare complexitatea constructivă asociată cuplării in trei puncte.

7.2.2 Soluția de acționare pe baza principiului pneumatic

În vederea creșterii suprafeței generatoare a forței de strângere s-a realizat un sistem care, principial urmărește realizarea unei forțe de strângere pe o singură direcție, restul solicitărilor mecanice urmând a fi compensate / preluate de elemente constructive de ghidare. În particular în acest caz, forțele laterale ar fi preluate de cilindrii de lucru. Forța fluidului considerată pentru această variantă este de natură vaccumatică sau pneumatică.

Folosind principiile constructive pentru sisteme pneumatice s-au considerat două pistoane acționând pe aceeași tijă pentru mărirea suprafeței de lucru a fluidului de lucru.

În vederea identificării condițiilor de desprindere, s-a monitorizat deplasarea cupei în timp ce forța de contact s-a redus deci o concluzie foarte importantă este reducerea semnificativă a forței pe care trebuie să o asigure sistemul de cuplare axial.

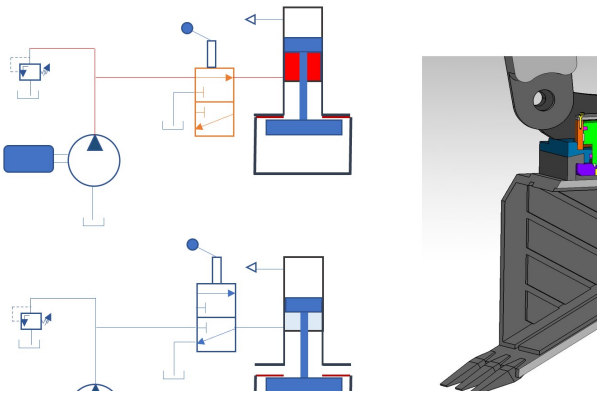


7.2.3 Soluția de acționare pe baza principiului hidraulic

Soluția tehnică bazată pe principii hidraulice se consideră în variantele:

- cu element de strângere deplasabil;
- cu element de strângere deformat elastic.

Soluția tehnică bazată pe principiul hidraulic cu element de strângere deplasabil conectat la circuitul hidraulic al excavatorului sau un circuit separat de acționare, utilizat pentru a acționa elementului de strângere folosind un distribuitor manual sau acționat electric. Prin deplasarea pistonului cilindrului hidraulic se strânge de elementul complementar dispus pe brațul excavatorului.

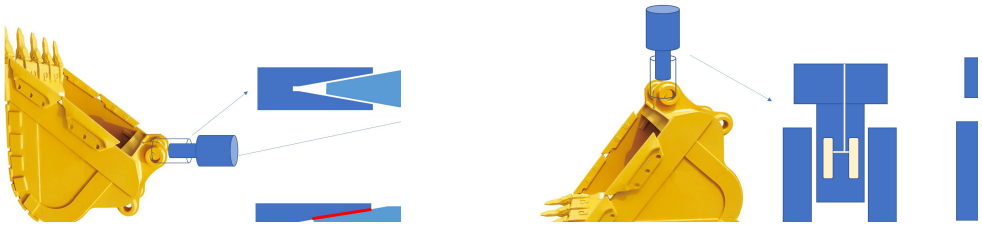


Forța care va trebui asigurată de sistemul de acționare pentru acest caz este mult redusă, astfel că se poate realiza un sistem compact la presiuni obișnuite de acționare.

Soluția tehnică bazată pe principiul hidraulic cu element de strângere elastic

În vederea aplicației la cuplarea cupei de excavator, se consideră materializarea principului de cuplare prin fricțiune cu acționare hidraulică prin două metode:

- Metoda împănării constă în deplasarea hidraulică a două corpuri aflate în contact prin suprafețe conice conjugate, până la împănarea acestora și cuplarea lor.
- Metoda deformării elastice constă în presurizarea unei incinte, deformația peretelui incintei spre piesa conjugată, fiind creată o forță normală care generează o forță de frecare necesară cuplării.



7.3.Concluzii legate de principiile constructiv / funcționale ale elementelor de cuplare

Analizând multicriterial diferitele soluții structurale, se pot formula următoarele concluzii:

1. Soluțiile bazate pe principiile vacuumatice deși simple constructiv nu realizează forța necesară să acopere starea de tensiune și variațiile acesteia
2. Soluțiile axiale pneumatice pot acoperi printr-o construcție de o complexitate mai ridicată forța necesară, astfel că avantajul unui mediu de lucru ieftin este anulat de complexitatea constructivă
3. Dintre soluțiile hidraulice, soluția bazată pe element deformabil elastic este cea mai compactă, însă se consideră tehnologicitatea elementului elastic este prea ridicată.
4. Soluția cu element de strângere deplasabil se consideră soluția tehnică viabilă din punct de vedere constructiv drept pentru care s-a materializareat într-o soluție constructiva pentru a fi testată pe standul dedicat identificării stăriilor de tensiune.

Fluid de lucru	Principiu funcțional	Variante constructive	Funcționalitate	Gabarit	Complexitate	C cons
Pneumatice	Vaccumatic	1 punct				
		2 puncte				
		3 puncte				
	Piston dublu					
Hidraulic	Volumic	Piston / membrană				

8.Capitolul 8 - SISTEMUL DE CUPLARE HIDRAULIC

Soluția tehnică dezvoltată pe baza recomandărilor și principiilor de proiectare, conform la nivel de model funcțional se bazează pe principiul hidraulic care acționează un element de strângere folosind principul cilindrului hidraulic dimensionat pentru condițiile dinamice având vârfuri de 50 kN care ar urma să fie asigurate pentru presiunea de 200 bar.

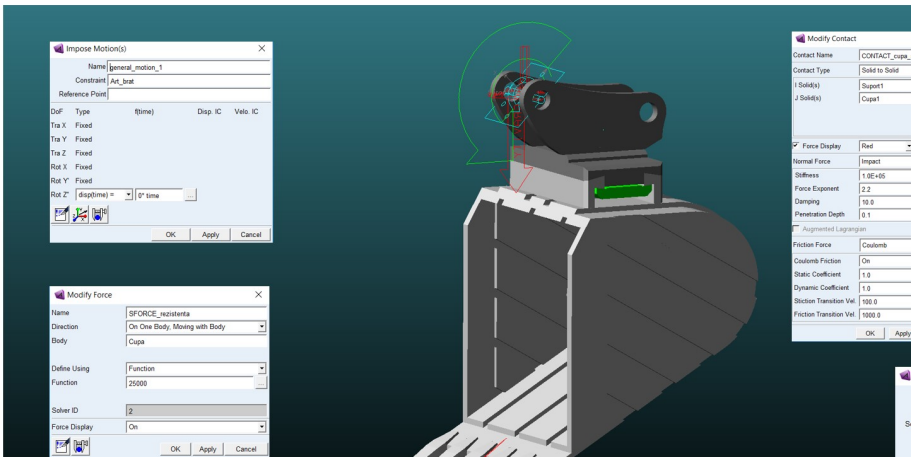
8.1. Pre-dimensionarea hidraulică a sistemului de cuplare

În vederea realizării sistemului hidraulic sa- efectuat un calcul de pre-dimensionare sintetizat în tabelul :

Preisunea de lucru		D_piston	d_tija	Aria pistonului de lucru		Forta de actiune
bar	Pa	mm	mm	mm2	m2	N
200	20000000	65	30	2610	0.00261	52203
100	10000000	65	30	2610	0.00261	26101
75	7500000	65	30	2610	0.00261	19576
200	20000000	40	20	942	0.00094	18840

Constructiv s-au adoptat din considerente de rigiditate diametrul pistonului 65 mm și 30 mm diametrul tijei. La presiunea de funcționare de 200 bar, forța realizată este acoperitoare pentru orice categorie de solicitări posibile.

Pentru soluția adoptată s-a realizat o analiză multi-corp pentru configurația bazată pe compensarea forțelor și momentelor, altele decât forța axială care ar urma să fie preluată de elementul de cuplare:



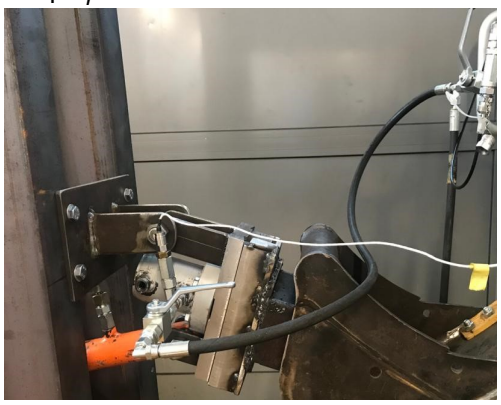
Rezultatul analizei ilustrează valorile reduse ale forței necesare a fi preluate de elementul de cuplare, valori în domeniul + / - 10 kN,

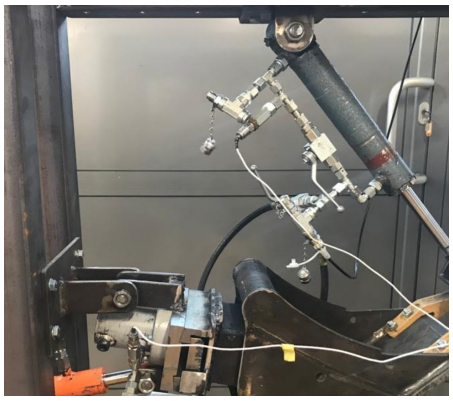
8.2. Descrierea soluției tehnice – modelul CAD

Au fost concepute detaliile mecanismului de cuplare integrat cu sistemul de acționare și până la desenele de execuție utilizate pentru realizarea modelului funcțional.

În vederea validării stării de tensiune pentru elementele compensatorii s-a realizat analiza structurală în condiții staționare a elementelor de susținere în ansamblu. Rezultatele arata că nu apar zone critice privind rezistența structurală a ansamblului și nici deplasări relative.

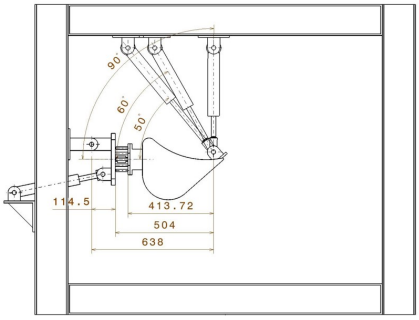
Pe baza datelor analizei structurale și a constrângerilor constructive s-a executat elementul de cuplare hidraulic cu deplasarea axială a elementului de strângere și compensare a stării de tensiune spațiale existente.



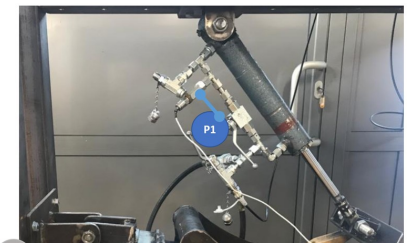


8.3. Validarea funcționalității sistemului de cuplare realizat

Ultima parte a încercărilor a fost dedicată validării funcționalității sistemului real folosit pentru acționare. Au fost prezentate condițiile geometrice de încercare precum și amplasarea traductorilor pentru a identifica presiunea în sistemul de cuplare, sistemul de acționare și sistemul de simulare a sarcinii.



Poziţiile un
aplicare a s



Amplasa
presiune
P1 – sar
P2 – sist
P3 – sist

În vederea validării conceptului s-au efectuat încercări luând în considerare diferite viteze de acționare și diferite poziții ale sarcinii, iar în final s-a efectuat o încercare la impact.

Vitezele diferite de încercare considerate în încercări corespund la parcurgerea cursei de 100 mm în timpul de 2, 4, 6 secunde.

Se constată că în timpul funcționării ciclice sistemul lucrează stabil și sigur.

Pentru a evidenția condiția de desprindere s-a mărit sarcina, identificată printr-o presiune mai mare necesară acționării si s-a constatat că presiunea în cilindrul de acționare prezintă oscilații și amplitudini ridicate (de ordinul 20 bar), ceea ce indică o deplasare a elementelor la nivelul sistemului de cuplare. Această oscilație de presiune nu se manifestă în alte situații de funcționare ceea ce indică o cuplare fermă la nivelul sistemului de cuplare.
În finalul cercetărilor s-a montat sistemul de cuplare validat pe standul de încercare pe excavator cu scopul de a identifica funcționalitatea sa. În figura 8.3.6 sunt prezentate figuri ale sistemului asamblat pe excavator.

Se constată că pentru variații de amplitudine ridicată a nivelului de solicitare a cupei, presiunea din sistemul de cuplare hidraulic se menține la o valoare constantă, ceea ce indică o fixare fermă între elementul de acționare al brațului și cupă.

9. Capitolul 9 - CONCLUZII, CONTRIBUȚIILE DOCTORANDULUI ȘI DIRECȚII NOI DE CERCETARE

În urma elaborării prezentei lucrări, doctorandul a putut formula următoarele concluzii majore:

- Analiza sistemului de fixare al cupei pe braul excavatorului reprezintă un subiect complex, plecând de la un calcul analitic clasic al mecanismului în care este inclus organul de lucru, la analiza multicorp, la evaluarea unor soluții posibile de fixare, până la validarea experimentală a soluției acceptate în final;
- Fiecare dintre domeniile sus-menționate ajută în evidențierea unor aspecte importante ale funcționării în condiții optime și de lungă durată a sistemului în ansamblu, motiv pentru care, toate acestea sunt imperios necesare unei evaluări eficiente;

- Determinarea prin măsurători de precizie a eforturilor din zone de joncțiune, combinată cu evaluarea/estimarea duratei de viață a soluției (soluțiilor) analizate, va conduce în final la obținerea unui produs competitiv și de durabilitate ridicată;
- Implicarea mesei dinamometrice, împreună cu standul și protocolul aferent de calibrare, reprezintă de asemenea elemente importante și utile ale acestui proces de concepere și realizare de produs eficient;
- Implementarea într-un viitor apropiat a Analizei Dimensionale Moderne, pe baza rezultatelor obținute și prezentate de doctorand, în acest tip de cercetare-dezvoltare, va contribui în mod eficient la obținerea, cu efort minim, unor produse competitive;
- Pe baza studiului de nivel s-a identificat problematica ameliorări calității sistemelor de cuplare braț - cupă (sisteme auxiliare)
- Pornind de la analiza complexă a stării de tensiune în zona de cuplare braț - cupă se dezvoltă un sistem tehnic funcțional la scară reală
- În activitatea de cercetare s-au integrat:
    - metode teoretice:
        - legea modelului;
        - modelarea și simularea folosind metode analitice;
        - modelarea și simularea folosind metode multi-corp;
    - metode experimentale:
        - analiza stării de tensiune 3D pe baza tensometriei rezistive;
        - analiza stării de tensiune axiale folosind metode piezoelectrice.
- Fiecare dintre domeniile sus-menționate ajută în evidențierea unor aspecte importante ale funcționării în condiții optime și de lungă durată a sistemului în ansamblu, motiv pentru care, toate acestea sunt imperios necesare unei evaluări eficiente;
- Metodele de cercetare aplicate constituie un suport metodologic pentru cercetarea / dezvoltarea de sisteme tehnice complexe care funcționează în condiții complexe

Dintre contribuțiile autorului la realizarea prezentei lucrări se pot evidenția și următoarele:

- Efectuarea unui studiu de nivel aprofundat, analizând în mod critic realizările de pe plan mondial din domeniu;
- Pe baza acestei analize critice au putut fi formulate principalele obiective ale tezei

- Efectuarea un studiu temeinic al Analizei Dimensionale Moderne, aplicând pentru două tipuri principale de sisteme de fixare (pneumatic, respectiv hidraulic) ale organului de lucru (aici: cupă) pe brațul excavatorului, prin elaborarea Legilor Modelului aferente;
- Elaborarea de soluții de fixare originale, ale căror eficiență se poate compara cu aceea ale produselor existente pe plan mondial
- Și-a însușit fundamentele investigațiilor experimentale, mai cu seamă a Tensometriei Electrice Rezistive, cu ajutorul căreia a conceput, realizat fizic și testat traductoare de forță, care au servit la realizarea unei mese dinamometrice performante;
- A conceput, realizat fizic și testat standul de calibrare original al mesei dinamometrice, destinat evaluării eforturilor secționale din joncțiunea organului de lucru de corpul excavatorului;
- S-a implicat în problemele de bază ale acționărilor hidraulice, concepând, realizând fizic și testând un stand original al organului de lucru din timpul unei activități simulate;
- Pe baza rezultatelor măsurătorilor experimentale a identificat principalele solicitări de la nivelul joncțiunii și astfel a putu argumenta în mod obiectiv alegerea unei soluții eficiente noi de fixare a organului de lucru;
- A oferit și o metodologie viitoare de abordare, bazată pe combinarea eficientă a investigațiilor experimentale cu rezultatele Analizei Dimensionale Moderne, exprimate prin elementele unor legi ale modelului;
- Bibliografia prezentată și prelucrată poate servi drept un punct de plecare solid pentru investigații similare viitoare ale celor din domeniu.
- Dezvoltarea unui model analitic integrând dinamica mecanismului de acționare (brațelor) cu proprietățile fluidului și condițiile de operare;
- Elaborarea de modele multi-corp pentru simularea stării de solicitare în zona de cuplare braț - cupă;
- Elaborarea a 3 modele de cuplare funcționând pe principiul vacuumatic - 1 model funcționând pe principiul pneumatic – 3 pe principii de cuplare hidraulice;
- S-au depus în urma cercetărilor 2 aplicații de brevet de invenție referitoare la soluțiile tehnice dezvoltate;
- Dezvoltarea metodologiei cercetării experimentale pentru:
- Identificarea stării de tensiune 3D pe baza principiilor tensometriei;
- Identificarea stării de tensiune axiale;

- Concepția și realizarea unui stand multifuncțional și modular pentru identificarea stării de tensiune 3D și axiale cu posibilitatea reglării:
    - direcției de acționare a sarcinii;
    - mărimii sarcinii;
    - vitezei de lucru a elementului de acționare al ansamblului braț - cuplă – cupă

Pe baza rezultatelor obținute de doctorand, se pot contura printre altele și următoarele *direcțiile noi de cercetare*:

- Aplicarea rezultatelor și experienței dobândite la eficientizare sistemelor de fixare ale altor tipuri de excavatoare, respectiv ale altor tipuri de organe de lucru;
- Crearea unei baza de date, care să cuprindă principalele rezultate teoretice și experimentele ale autorului;
- Perfecționarea standurilor de testare ale cupei (organului de lucru), atât în ceea ce privește metodologia testării, cât și al aparaturii implicate;
- Implementarea rezultatelor Analizei Dimensionale Moderne la optimizarea echipamentelor similare dintr-o altă gamă de produse

Bibliografie

Bibliografie capitolul 1

1.1 *** Broșură excavator Volvo EC27C https://www.volvoce.com/-/media/volvoce/global/products/excavators/compact-excavators/brochures/brochure_ec27c_t4i_en_21_20000494_f.pdf?v=swExPw

Bibliografie capitolul 2

2.1 *** Catalog accesorii Volvo 2014.12 / English-21 / EXC-EXW / Volvo, Global Marketing
2.2 ***https://youtu.be/ZQ8DjprApsk
2.3 ***Catalog accesorii Volvo 2014.12 / English-21 / EXC-EXW / Volvo, Global Marketing
2.4 ***https://youtu.be/Npauqju8opY
2.5 ***https://www.youtube.com/watch?v=CW3V_Mz2YU0
2.6 ***https://verachtert.nl/graafmachines/snelwissels/snelwissel-cw
2.7 *** https://mk0steelwrist20nt9wf.kinstacdn.com/wp-content/uploads/Brochure_2020_EN_low.pdf
2.8 ***https://nox.kinshofer.com/images/pdf/NOX-Tiltrotators_2020_en.pdf
2.9 ***http://www.oilquick.ca/wp-content/uploads/2017/08/produktkatalog.pdf
2.10***https://pampeiro.com.py/download/penetracao_e_movimento_de_solo/ESCO-Construction-Attachments.pdf

2.11***https://www.yanmar.com/en_th/construction/technical/quick_coupler.html
2.12***https://tagmfg.us/products/quick-couplers-buckets/

Bibliografie capitolul 4

4.1 Baker, W. et al., *Similarity Methods in Engineering Dynamics*, Elsevier, Amsterdam, 1991.
4.2 Barenblatt, G.I., *Dimensional Analysis*, Gordon and Breach, New York, 1987.
4.3 Bridgeman, P.W., *Dimensional Analysis*, Yale University Press, New Haven, CT, 1922 (Reissued in paperbound in 1963).
4.4 Buckingham, E., *On Physically Similar Systems*, Physical Review, 1914, Vol. 4, #4, 2nd Series, p. 345.
4.5 Chen, W.K., *Algebraic Theory of Dimensional Analysis*, Journal of The Franklin Institute, Vol. 292, #6, p. 403.
4.6 I. Deutsch, *Rezistența Materialelor*, Ed. Did. și Pedag. București, 1979.
4.7 Szirtes, Th., *The Fine Art of Modelling*, SPAR Journal of Engineering and technology, Vol. 1., p. 37, 1992.
4.8 Szirtes, Th., *Applied Dimensional Analysis and Modelling*, McGraw-Hill, Toronto, 1998.
4.9 Száva, I., Szirtes, Th., Dani, P., *An Application of Dimensional Model Theory in The Determination of The deformation of a Structure*, Engineering Mechanics, Vol. 13., 2006., No. 1, pp. 31-39.
4.10 Sedov, I.L., *Similarity and Dimensional Methods in Mechanics*, MIR Publisher, Moscow, 1982.

Bibliografie capitolul 5

5.1 Will, D. s.a, *Einfuhrung in die Hydraulik und Pneumatik*, VEB Verlag Technik, Berlin, 1981
5.2 Himmler, C, *Elektrohydraulische Steuersysteme* , Krausskopf-Verlag, Mainz, 1967
5.3 Woods, R. ș.a, *Modeling and Simulation of Dynamic Systems,* Prentice Hall, New Jersey, 1997
5.4 Murrenhoff, H, *Grundlagen der Fluidtechnik,* Shaker Verlag, Aachen, 2005
5.5 Beater. P*, Entwurf hydraulischer Maschien,* Springer, Berlin, 1999
5.6 Mihăilescu, Șt. ș.a, *Mașini de Construcții,* vol.1, Editura Tehnică, București, 1984
5.7 Mihăilescu, Șt. ș.a, *Mașini de Construcții,* vol.2, Editura Tehnică, București, 1984
5.8 Mihăilescu, Șt. ș.a, *Mașini de Construcții,* vol.3, Editura Tehnică, București, 1986

5.9 Popescu, P, ș.a, *Mașini de Construcții,* Editura Tehnică, București, 1966
5.10: Levy, D., Introduction to Numericla Analysis, University of Maryland, 2020, https://www.math.umd.edu/~diom/courses/AMSC466/Levy-notes.pdf

Bibliografie capitolul 6

6.1 P. Bârsănescu, *Creşterea preciziei în tensometria electrică rezistivă*. Oficiul de Informare
Documentară pentru Construc iilor de maşini, Bucureşti, 1977.
6.2 Gh. Buzdugan, ş.a. *Tensometria electrică rezistivă*. Editura Tehnică. Bucureşti,1966.
6.3 Tom Boyd, M.L.Hull, D.Wootten. *An improved accuracy six-load component pedal Dynamometer for cycling*. Journal of Biomechanics 29 (1996) 1105 – 1110.
6.4 Lu-Ping Chao, Ching-Yan Yin, *The six-component force sensor for measuring the loading of the feet in locomotion*. Materials and Design 20 (1999) 237 – 244.
6.5 Lu-Ping Chao, Kuen-Tzong Chen, *Shape optimal design and force sensitivity evaluation of six-axis force sensors.* Sensors and Actuators A Physical 63 (1997) 105 – 112.
6.6 Hsu, T. C., Choi, C. Y. – *Measurement and representation of cutting force due to oblique machining* – Tool Des. Res., 1970. P. 49-64.
6.7 Constantinescu, I.N., Ştefănescu, D.M., Sandu, M.Al. *Măsurarea mărimilor mecanice cu ajutorul tensometriei.* Editura Tehnică, Bucureşti, 1989.
6.8 I. Deutsch, *Rezistența Materialelor*, Ed. Did. și Pedag., București, 1979.
6.9 Doebelin, O.,E. *Measurement systems – Aplication and design*. McGraw – Hill Publishing Company. New York, 1990.
6.10 A. Freddi, G. Olmi, D. Croccolo, *A New Device For In – Field Measurement Of The Forces Transmitted By A Skier To Skies*, Danubia-Adria Symposium, 2009, Leoben, Austria.
6.11 B.P.Gálfi, *Proiectarea unei familii de captori (electrotensometrici) de for ă destinată evaluării sarcinilor pe două direc ii ortogonale în limitele 300...5000 N,* Proiect de diplomă, Universitatea Sapientia Tg.Mureș, 2006.
6.12 D. Gorinevsky, A. Formalsky, A.Schneider. *Force Control of Robotics Systems* CRC Press, New York.
6.13 Gab-Soon Kim, Dea-Im Kang, Se-Hun Ree, *Design and fabrication of a six-component*

force/moment sensor, Sensors and Actuators A Physical 77 (1999) 209 – 220.
6.14 S. Ito, ș.a. Bull. Jap.Soc. Precis. Engrs, 1980, pp. 14-25.
6.15 D.R. Mocanu, ş.a. *Analiza experimentală a tensiunilor*.Vol.I şi II. Editura Tehnică, 1977.
6.16 M. Petrican, ș.a*., Aplica ii ale tensometriei în industria lemnului*. Editura Tehnică. Bucureşti,
1980.
6.17 Ch. Rohrbach, *Handbuch für Experimentelle Spanungsanalyse*.VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1989.
6.18 M. Sandu, A. Sandu, *Captoare cu traductoare rezistive*. PRINTECH, Bucureşti, 1999.
6.19 M.C. Shaw, *Metal Cutting Principles*, Oxford, Claredon press, 1984.
6.20 S. Thimoshenko, *Strenght of Materials,* Part II, 2nd Edition, New York, D.Van Nostrand Company Inc, 1950.
6.21 R.M.Voyles, ș.a., *The shape from motion. Approach to rapid and precise Force/Torque Sensor Calibration*, Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control 119
(June 1997) 229 – 235.
6.22 S. Yaldiz, F. Ünsacar, Design, Development and testing of a Turning Dynamometer for Cutting Force measurement, Materials & Design, **27** (10), pp. 839-846, 2006, Elsevier.
6.23 *** Prospectele firmelor VISHAY şi HBM.
6.24 Cox, D.R. Planing of Experiments, John Wiles & Sons, Inc. New York, 1958

Bibliografie capitolul 7

7.1 Bobancu, Ș, Dumitrașcu, R., E.,. Creativitate și Inventică, Universitatea Transilvania din Brașov, Ediția XI-a, 2019
7.2 Marin, Gh. Tehnica vidului și aplicațiile ei în industrie, Ed. Tehnica, București, 1983
7.3 *** Schmalz Training Academy, suport de curs Vacuum Knowledge, 2019
7.4 Depert, W., ș.a. Pneumatische Steuerungen, Vogel Verlag, Wuerzburg, 1972
7.5. Radcenco, V., ș.a. Calculul și proiectarea elementelor și schemelor, Ed. Tehnică, București, 1985
7.6 Vasiliu, N., ș.a. Acționări hidraulice și pneumatice, vol 1., Ed. Tehnică, București, 2005
7.7 *** Hydraulics, Bsic and components, Hydac training Center – suport de curs, Sulzbach, 2013
7.8 Akers, A., ș.a. Hydraulic Power System Analysis, CRC Press Taylor & Francis, Boca Raton, 2006
7.9 Cundiff, J.S., Fludi Power Circuits and Controls, CRC Press, Boca Raton, 2002

Bibliografie capitolul 8

8.1 Korn, J., Hydrostatic Transmission Systems, Intertext Books, London, 1969

8.2 Panzer, P., ș.a. Arbeitsbuch de Oelhydraulik, Projektierung und Betrieb, Krausskopf Verlag, Mainz, 1969

8.3 Oprean, A., ș.a. Acționări hidraulice, Ed. Tehnică, București, 1976

Anexa 1 Rezumat / Appendix 1 Summary

Rezumatul tezei de doctorat

Lucrarea se înscrie în efortul general de eficientizare a proceselor de lucru al excavatoarelor, fiind dedicată identificării unei soluții tehnice pentru cupla braț / sistem. Pentru cupla respectivă care este solicitată la sarcini aleatorii, adesea manifestate prin șoc, există cerințe majore privind funcționalitatea, siguranța și costul. Cercetările au pornit de la identificare stării de tensiune în zona de cuplare. S-a utilizat Analiza Dimensionala Modernă, modelarea și simularea analitică, completate prin metode tensometrice de măsurare a stării de tensiune tridimensionale a solicitării axiale și a dinamicii presiunii. Având în vedere complexitatea solicitării s-au utilizat metode teoretice și experimentale complementare care au permis definire3a mai multor principii de cuplare, 3 vacuumatice, unul pneumatic și trei hidraulice. Analizând soluțiile dezvoltate s-a realizat un model funcțional pentru soluția cu acționare hidraulică validată funcțional pe standul experimental. Concluzionând, s-a pornit de la analiza stării de tensiune în zona de cuplare și s-a dezvoltat și validat un sistem tehnic aplicabil pe excavator.

The summary of the doctoral thesis

The paper presents research work dedicated to the efforts of increasing the effectiveness of working cycles of excavators, focusing on the coupling between excavator and working devices. The coupling, is exposed to intense variable, stochastic loads, including impact. For this conditions the requirements are focused un functionality, safety and cost. The research work started with the identification of the state of stress of the coupling zone, integrating advanced dimensional analysis, analytical and multibody simulations as theoretical support with experimental 3D and 1D stress identification methods. The complex investigation of the state of stress, allowed the development of multiple technical variants, three based on vacuum principle, one on pneumatics and other three using hydraulics. For practical validation it was chosen the most effective and safe technical solution based on fluid power displacement principle. Concluding it was demonstrated the process of system development and validation starting from the fundamental identification of the state of stress in the coupling zone of excavators.