

# **MONITORIZAREA PARAMETRILOR MECANICI PRIN SOLUȚII WIRELESS ȘI INTERNET**

Teză destinată obținerii  
titlului științific de doctor inginer  
la  
Universitatea "Politehnica" din Timișoara  
în domeniul Inginerie Mecanică  
de către

**ing. Ionel-Valentin Nicolae**

Conducător științific:  
Referenți științifici:

prof.univ.dr.ing Titus Gh. Cioară  
associate prof. dr. ing Shen En Chen  
prof.univ.dr.ing. Polidor Bratu  
prof.univ.dr.ing. Mircea Radeș

Ziua susținerii tezei: 23 octombrie 2009

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- |                        |   |
|------------------------|---|
| 1. Automatică          | 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații |
| 2. Chimie              | 8. Inginerie Industrială                    |
| 3. Energetică          | 9. Inginerie Mecanică                       |
| 4. Ingineria Chimică   | 10. Știința Calculatoarelor                 |
| 5. Inginerie Civilă    | 11. Știința și Ingineria Materialelor       |
| 6. Inginerie Electrică |   |

Universitatea „Politehnica” din Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2006

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității „Politehnica” din Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,  
tel. 0256 403823, fax. 0256 403221  
e-mail: editura@edipol.upt.ro

## Cuvânt înainte

Teza de doctorat a fost elaborată pe parcursul activității mele în cadrul Catedrei de Mecanică și Vibrații a Facultății de Mecanică din Universitatea „Politehnica” din Timișoara între anii 2005-2009.

Mulțumiri deosebite se cuvin conducătorului de doctorat prof.dr.ing. Titus Cioară precum și domnului ing. Cristian Cucuiet și firmei Datronic-NCIP SRL fără a căror contribuție nu ar fi fost posibile transpunerile în practică a unora dintre ideile prezentate în teză.

Conform Dicționarului explicativ al limbii române DEX-1998 la cuvintele inginer și inginerie găsim: „Specialist cu o pregătire tehnică și teoretică obținută într-un institut de învățământ superior, care prestează o activitate tehnică de proiectare, de cercetare, de organizare și de conducere a proceselor tehnologice dintr-o întreprindere; titlul deținut de această persoană.” respectiv „profesiunea inginerului” . O altă definiție găsită pe wikipedia.org definește ingineria ca fiind știința, disciplina, arta și profesia de obținere și aplicare a cunoștințelor tehnice, științifice și matematice pentru proiectarea și realizarea de structuri, mașini, echipamente, sisteme și procese cu care se pot realiza în condiții de siguranță un obiectiv dorit sau chiar invenții. National Society of Professional Engineers(NSPE) consideră că inginerul este persoana preocupată de găsirea soluțiilor practice în condiții economice, tehnice și de siguranță impuse prin aplicarea cunoștințelor matematice și științifice. Personal mă simt atras mai mult de ultimele două definiții, iar problematica din cadrul tezei am abordat-o prin spiritul lor. În științele ingineresti verificarea ultimă este confruntarea cu practica. Toate soluțiile din teză au fost verificate practic cu tehnologia și echipamentele avute la dispoziție, acestea fiind uneori un avantaj, iar alteori o constrângere. O dotare și un buget mai mare probabil ar fi dus la alte rezultate sau la obținerea mai rapidă a celor înregistrate. Întreaga cercetare a avut un scop final foarte clar, obținerea de echipamente care să probeze corectitudinea considerațiilor expuse în teză.

Mă bucur să am privilegiul de a fi fost, cel puțin pe axa timpului, împreună cu domnii menționați mai sus, printre primii dezvoltatori de sisteme de achiziții de date folosind tehnologii wireless și internet mobil pentru achiziția parametrilor mecanici. Mai sunt multe de cercetat, tot ce am considerat o posibilă poartă de cercetare este menționat în teză. Nu sunt trecute în teză multele încercări fără succes ci doar concluziile rezultatelor pozitive. Pentru obținerea rezultatelor finale, încercările au fost mai numeroase decât s-ar putea crede, le-am considerat ca pe o acumulare de experiență. Este un început de drum pentru acest domeniu, iar tendința companiilor de a folosi aceste tehnologii este evidentă. Sper că experiența acumulată și descrisă în această lucrare să îi ajute pe toți cei interesați de acest domeniu.

Utilitatea echipamentelor proiectate și realizate pe parcursul tezei a fost dovedită și practic și științific , măsurătorile furnizate fiind punctul de pornire a unor articole la conferințe internaționale precum și obiectul unor beneficiari din industria energetică și extractivă.

Timișoara, octombrie 2009

Ionel-Valentin Nicolae

Nicolae, Ionel+Valentin

**Monitorizarea parametrilor mecanici prin soluții wireless și internet**

Teze de doctorat ale UPT, Seria 9, Nr. 68, Editura Politehnica, 2009, 117 pagini, 39 figuri, 27 tabele.

ISSN:1842-4937

ISBN : 978-973-625-993-7

Cuvinte cheie: monitorizare, wireless, internet, parametrii mecanici , punte tensometrică, oscilații lente, excavator minier

*Rezumat, Pornind de la evoluția parametrilor critici pe durata de viața a utilajelor și structurilor mecanice teza propune ca soluție monitorizarea și analiza acestora. Date fiind necesitatea achiziției simultane a mai multor parametrii pe structuri în mișcare și plasarea acestora în locuri îndepărtate unul față de altul pentru a putea fi înregistrate cu un singur echipament, teza găsește ca optimală folosirea soluțiilor wireless. Toate aceste aspecte sunt detaliate, principalele structuri mecanice de studiu fiind agregatele din minieritul de suprafață pentru care în capitolul 2 se crează modele matematice adecvate. Bazat pe spectrul de evoluție și amplitudinile parametrilor astfel estimați în capitolul 3 se descriu toate cerințele care ar trebui să le ofere un sistem capabil să facă monitorizarea în condițiile date. În cadrul tezei sistemul și elementele sale au fost realizate la nivel de prototip și cu ajutorul lor s-au făcut toate determinările experimentale expuse în capitolul 4 care , pe lângă faptul ca au servit la verificarea sistemului de monitorizare astfel conceput, au și condus la rezolvări punctuale cum ar fi determinarea centrului masic la excavatoare și au probat o metodă de determinare optică a mișcărilor subhertziene, ambele descrise in extenso in capitol. Teza se incheie cu capitolul de concluzii si contribuții.*

## CUPRINS

1. INTRODUCERE.....	7
1.1. Structura tezei.....	7
1.2. Considerații privind necesitatea abordării acestei teme.....	7
1.3. Wireless și internet mobil în măsurători mecanice.....	10
2. STRUCTURI DE UTILAJE ȘI CONSTRUCȚII INDUSTRIALE CU NECESITATEA MONITORIZĂRII CONTINUE A STĂRII LOR TEHNICE.....	11
2.1 Considerații privind necesitatea monitorizării continue a principalelor subansamble ale unui utilaj.....	11
2.2 Monitorizarea structurală de ansamblu .....	17
2.2.1 Modelul dinamic simplificat al mișcării în plan vertical a structurii excavatorului .....	17
2.2.2 Simularea dinamicii suprastructurii excavatorului după date de proiect și experimentale .....	26
2.2.2.1 Date de proiectare.....	26
2.2.2.2 Analiza modală a sistemului.....	29
3. PARCURSUL INFORMAȚIEI DE LA SENZOR ÎN FIȘIERUL CALCULATORULUI.....	33
3.1. Schema de principiu.....	33
3.1.1 Considerații despre consumul de energie al echipamentului.....	36
3.2 Partea de amplificare electronică.....	36
3.2.1. Cauze de erori și soluțiile adoptate pentru reducerea acestora .....	37
3.2.2 Soluții pentru reglajul de nul .....	38
3.2.3 Soluții pentru autoscalarea domeniului de măsură.....	41
3.3. Achiziția numerică a semnalului .....	43
3.3.1 Soluții pentru extinderea gamei de măsură.....	44
3.3.2 Mod de achiziție ideală.....	45
3.3.3 Corelarea informațiilor cu timpul.....	46
3.3.4 Buffer circular pentru surprinderea începutului evenimentului.....	48
3.3.5 Stocarea locală a datelor .....	50
3.4 Transmiterea datelor în mod wireless.....	52
3.4.1.Realizarea unei rețele locale wireless pentru senzori pentru parametrii mecanici.....	54
3.4.2. Considerații privind sincronizarea la rețele locale wireless.....	59
3.5.Transmiterea datelor prin internet.....	60
3.5.1 Sincronizarea modulelor dintr-o rețea de monitorizare.....	61
3.5.2 Conexiunea printr-o rețea internet mobilă.....	62
3.5.3 Formatul fișierelor de stocare.....	63
3.5.4 Server de senzori.....	64
3.5.5 Folosirea serverelor de e-mail.....	64
3.5.6 Modul de programare dpdv utilizator a echipamentului creat.....	65
4. APLICAȚII EXPERIMENTALE.....	71
4.1 Monitorizarea stabilității structurale și determinarea poziției centrului de masă a suprastructurii rotative a unui excavator.....	71
4.1.1 Principiul metodei.....	71
4.1.2 Calibrarea pseudosenzorilor cu masă adițională .....	73
4.1.3 Rezultate experimentale .....	75
4.1.4 Calibrarea pseudosenzorilor prin încărcarea brațului cu o forță cunoscută.....	86
4.2 Controlul stabilității dinamice a structurii unui excavator .....	91
4.3 Măsurarea vibrațiilor structurilor cu moduri naturale situate în domeniul joaselor frecvențe ( $\approx 0,2-5$ Hz).....	94

4.3.1 Metoda determinării vibrațiilor pe verticală folosind procesarea imaginilor....	94
4.3.2.1 Înregistrarea mișcării brațului unui excavator.....	97
4.3.2.2 Testarea modală a unei palete mari de vânt.....	98
5. Contribuții personale și concluzii.....	100
Anexe .....	102
Bibliografie.....	110

# 1. INTRODUCERE

## 1.1. Structura tezei

Lucrarea cuprinde 5 capitole . În primul capitol se evidențiază actualitatea temei în contextul activităților practice de măsurare și monitorizare. Deasemenea sunt expuse considerații privind plasarea în timp a cercetărilor efectuate, domeniul fiind foarte dinamic realizările pot fi apreciate doar ținând seama de acest context.

În capitolul 2 se prezintă necesitatea monitorizărilor în general, iar în particular problematica uzurilor și modelul matematic al uneia dintre acestea , respectiv al unui excavator de suprafață.

În capitolul 3 se prezintă parcursul informației de la senzor până în fișier cu descrierea tuturor etapelor de transformare a semnalului și problematica întâlnită la fiecare etapă precum și soluția pentru rezolvarea ei.

Capitolul 4 este dedicat prelucrării datelor obținute de la echipamentele descrise anterior prin câteva exemplificări experimentale.

Capitolul 5 evidențiază contribuțiile personale și concluziile.

## 1.2. Considerații privind necesitatea abordării acestei teme.

Orice măsurătoare prin care se dorește aducerea datelor sub forma digitală în memoria unui calculator presupune, simplificat, un lanț format din Traductor – Sistem de achiziție – Calculator. În forma clasică lanțul de mai sus se prezintă fizic ca o înșiruire de fire și aparate, la un capăt al lanțului privește senzorul spre parametrul dorit a fi măsurat , la celălalt este monitorul calculatorului pe care pot fi vizualizate datele culese. Parametrii mecanici pot fi măsurăți de regulă convertind într-o mărime electrică parametrul care interesează. Pentru aceasta se folosesc diferite tipuri de senzori și traductori. Spre exemplu timbrele tensometrice prezintă interes datorită proporționalității rezistenței lor cu alungirea mecanică care i se aplică , accelerometrele piezo generează o tensiune proporțională cu forța inerțială aplicată pe pastila traductoare. În ambele exemple datorită caracteristicilor diferite a traductoarelor acestea se cuplează la o electronică de instrumentație fie pentru a amplifica variația rezistenței (primul caz) sau a adapta impedanța (al doilea caz) . În majoritatea cazurilor rolul instrumentației electronice este de a transpune semnalul obținut de la traductor într-o tensiune electrică ușor măsurabilă. De acum vine rândul echipamentului de achiziție care transformă semnalul analogic în informație digitală ce poate fi transmis calculatorului.

Principala grijă în orice măsurătoare este eliminarea perturbațiilor sau a semnalelor care nu reflectă evoluția fenomenului măsurat dar sunt prezente în semnal. Lanțul prezentat mai sus este vulnerabil atât pe partea analogică cât și pe cea digitală.

A doua mare limitare sunt constrângerile fizice legate de amplasament. Distanța dintre traductor și electronica instrumentală trebuie să fie cât mai mică pentru a nu avea perturbații în acest segment, influențele mediului extern sunt cu atât mai mari cu cât firele de legătură sunt mai lungi. Din același motiv nici partea

de achiziție nu trebuie să fie prea departe de traductor. Ideal este să fie grupate în același modul. Comunicarea acestuia cu calculatorul este limitată la lungimea corespunzătoare tipului de comunicație ales. Spre exemplu pe cablu USB nu putem avea echipamentul mai departe de 2 metri , iar pe clasică serială RS232 mai departe de 12 metri, chiar și comunicațiile fără fir bluetooth și WIFI sunt limitate la 9 și respectiv 30 de metri în clădiri. Dacă pentru măsurarea unui singur parametru nu apare nici o problemă în situația măsurătorilor distribuite problema apare chiar dacă avem mai multe sisteme de măsură pentru că lungimea unui fir peste cea admisă înseamnă automat erori sau chiar compromiterea măsurătorii. Ca să nu mai vorbim despre cazul în care parametrul de măsurat se află într-o poziție mobilă față de calculator.

Condițiile în care am abordat această temă în anul 2005 au venit din necesitatea de a face măsurători tensometrice sincronizate în timp pentru mai mulți parametri. Traductorii fiind plasați la distanțe de zeci de metri unul de altul , utilajele miniere de escavat la suprafață fiind foarte mari și pericolul de a te afla în jurul acestora în timpul funcționării au fost factorii care ne-au determinat să concepem inițial sistemele de achiziție în mod distribuit. Adică un echipament pentru fiecare parametru și toate să transmită datele digital folosind transmisii de curent greu perturbabile. Soluția s-a dovedit rezonabilă, dar au fost cazuri când interferențele electromagnetice au dat peste cap întreaga transmisie de date, iar mișcarea părților componente ale excavatorului impunea în permanență grija ca și cablurile să nu fie distruse. Această experiență a fost prima care ne-a condus la abordarea măsurătorilor și monitorizărilor în condiții fără fir.



Fig 1.1 Excavator minier în carieră, senzorii trebuie dispuși la șenile, la roata cu cupe și la rulmentul de rotire a părții superioare



La nivelul anului 2009 aproape toate firmele constructoare de echipamente de achiziție au și soluții wireless. Ușurința în folosire dar și extinderea domeniului în cazul măsurătorilor distribuite sunt atu-urile principale pentru aceste echipamente. Și nu în ultimul rând rapiditatea cu care se pot face măsurători. Timpul desfășurării întregii activități de măsură în cazul nostru a fost lung și datorită tragerii firelor și conectării între ele a aparatelor. Numai în acest caz o oră de excavat înseamnă aproximativ 1000 m.c. iar normarea actuală este de 7 USD/mc , deci fiecare oră economisită înseamnă 7000 USD. Soluția wireless care am implementat-o reduce timpul aceluiași set de măsuratori cu aproximativ doua ore.

Reducerea dimensiunilor fizice ale cablajului imprimat și comasarea părții analogice împreună cu cea digitală a redus partea de interferențe cu mediul. Dezavantajul folosirii soluțiilor de transmitere a datelor în contextul măsurătorilor de semnal mic este că transmisiile pot perturba măsurătorile, lucru care va fi prezentat în teză împreună cu soluțiile de eliminare a acestor perturbații nedorite.

Concluzia este că , fără a fi considerate o modă, în multe condiții unde se doresc înregistrări simultane provenite de la traductori plasați la distanță mare între ei, soluția wireless este cea care rezolvă toate problemele, iar ușurința efectuării măsurătorilor și timpul câștigat sunt un plus.



Fig. 1.2 Măsuratori tensometrice multicanal cu fir, partea de achiziție . Fiecărui canal îi erau atribuite un fir precum și un set de interfețe.

O a doua problemă ridicată în exploatarea miniere unde am făcut măsurători este monitorizarea funcționării acestor giganti. Aceasta presupune amplasarea senzorilor la distanțe mari unul de altul , achiziția simultană a parametrilor și transmiterea lor local în cabinele de lucru și central la dispeceratul minier. Pentru ca o astfel de soluție să fie fiabilă cel mai la îndemână este folosirea unei rețele deja

existente oferită de operatorii de telefonie mobilă, internetul mobil sau pachetul de transfer al datelor GPRS.

Ambele sisteme, cel al colectării datelor prin soluții wireless și cel al transmiterii acestora prin internet mobil se potrivesc în exemplul nostru. În domeniul monitorizării semnalelor nu avem aplicații în domeniul minier, echipamentul conceput a fost exclusiv pentru cercetări didactice și a fost folosit doar pentru monitorizarea unui pod de cale ferată.

Marele avantaj adus de un sistem de monitorizare așa cum este prezentat în teză este acela de a avea permanent la dispoziție date despre starea structurilor monitorizate și de a avea înregistrate toate semnalele relevante. Acestea aranjate structural împreună cu informații adiacente despre locul și momentul măsurării pot fi un material valoros chiar și peste ani.

### **1.3. Wireless și internet mobil în măsurători mecanice**

S-ar putea spune că este o modă a acestor ani tot ce ține de internet și în mod particular de wireless. Consider că este mai degrabă un curs firesc oferit de tehnologie și de raportul beneficii/costuri. Tehnologia de transmitere a datelor a cunoscut în anii recentți o dezvoltare puternică oferind nu numai calculatoarelor posibilitatea de a transfera date între ele. În timp perifericele au ajuns să aibe procesoare mai puternice decât calculatoarele de numai câțiva ani vechime, iar microcontrolerele ultimilor ani au cu siguranță o putere de calcul mai mare decât calculatoarele anilor '70 care au beneficiat primele de conexiune internet. Un alt aspect de menționat este apariția telefoniei mobile pe care o putem privi ca o primă rețea wireless cu acoperire foarte mare ce ofera acces la internet. Astfel se pot realiza cu o tehnologie obișnuită echipamente care să încorporeze și funcțiunea de măsură și pe cea de transmitere a datelor fără fir.

Scopul propus pentru această teză este de a găsi modalitățile prin care, bazându-ne pe tehnologia actuală, să putem aduce semnalele senzorilor și traductorilor direct în calculatorul nostru. Aceasta realizându-se fără constrângeri de amplasament sau dispunere teritorială a traductorilor, sau altcumva spus ne-am propus să eliminăm toate constrângerile oferite de clasicele sisteme de achiziție și măsură. Prima mare întrebare a fost cum transferăm datele și răspunsul cel mai firesc, actual, a fost internetul. Și asta pentru că este cea mai ieftină și comodă cale de a aduce datele acolo unde este calculatorul. Punerea la punct a unei astfel de metode ar permite studierea fenomenelor nu numai de la fața locului ci de la orice distanță nefiind obligat să stai la locul măsurătorii, putând lăsa echipamentul să surprindă evenimentele relevante pentru cercetarea dorită.

La momentul 2006, anul începerii studiului, existau pe piață dar la puțini producători soluții wireless de achiziție a semnalelor, majoritatea foloseau semnale provenite de la accelerometrele MEMS ( Micro Electrical Mechanical System ). Astăzi în 2009, aproape toată lumea oferă soluții wireless sau cel puțin aparatura de măsură se poate lega la o rețea de calculatoare sau în Internet. Așa cum se detaliază în lucrare, abordarea problematicii a trebuit restrânsă pentru o categorie de parametrii mecanici și pentru un anumit tip de senzori și traductori. De asemenea am considerat doar studiul parametrilor structurilor mari a căror eșantionare nu necesitau frecvențe mai mari de 4 kHz.

Abordarea a dus la o soluție ca pentru senzorii și traductorii cuprinși într-o zonă de ordinul sutelor de metrii, achiziția wireless a semnalelor să o facem cu o rețea locală fără fir, iar pentru traductorii dispuși în locuri izolate să găsim o modalitate de achiziție direct prin internet, soluțiile putând fi combinate.

---

## 2. STRUCTURI DE UTILAJE ȘI CONSTRUCȚII INDUSTRIALE CU NECESITATEA MONITORIZĂRII CONTINUE A STĂRII LOR TEHNICE

### 2.1 Considerații privind necesitatea monitorizării continue a principalelor subansamble ale unui utilaj

De-a lungul vieții unui utilaj acesta își exprimă starea sa de sănătate prin uzurile subansamblelor lui. Uzurile sunt însoțite de creșterea nivelelor unor mărimi mecanice și electrice cum sunt: tensiunile statice și dinamice ce se dezvoltă pe structura utilajului, vibrațiile structurii respective și ale mecanismelor de acționare, temperaturile pe lagărele mecanismelor, curenții absorbiți de la rețea de motoarele mecanismelor de acționare. Urmărirea continuă a acestor mărimi duce la detectarea în timp a unor defecțiuni ce pot afecta funcționarea corectă a utilajului sau la avarii majore ce necesită reparații costisitoare, cu oprirea pe timp îndelungat a utilajului.

Participând la numeroase lucrări experimentale legate de echilibrarea masică a unor utilaje tehnologice din exploatarea miniere de suprafață din bazinul Gorj, cum sunt excavatoarele cu cupe, (fig.2.1a), mașinile de scos din depozit, (fig.2.1b) și mașinile de haldat, (fig.2.1c), am constatat și din discuțiile purtate cu personalul de exploatare necesitatea implementării unor sisteme senzoriale de supraveghere permanentă a acestor utilaje. La ora actuală există o serie de senzori care dau informații generale operatorului privind temperaturi, limite de curse sau curenți absorbiți de motoarele de acționare, mărimi ale căror evoluții în timp depășesc competența de analiză a operatorului.

Pentru o diagnoză eficientă a utilajului, cu prognozarea evenimentelor ce ar putea apărea în exploatare este necesară transmiterea informației într-un locație fixă situată la distanță de utilaj, cu transmiterea bidirecțională a informației, primară pentru sistemul de analiză complexă și diagnoză, și secundară, de avertizare și consultanță pentru operator.

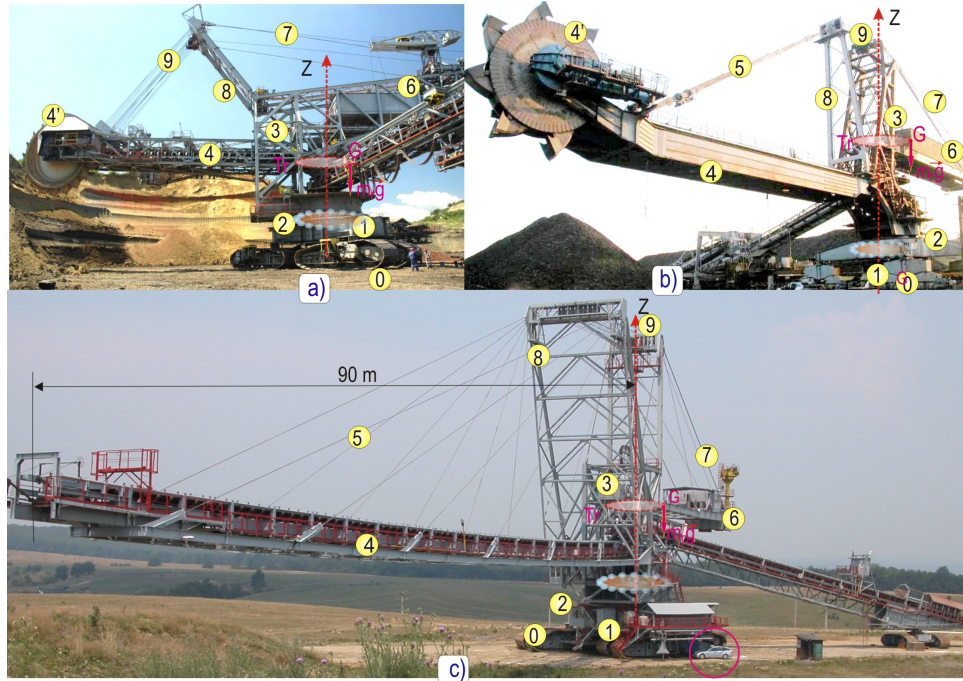


Fig. 2.1 Vederi de ansamblu ale unui, excavator (a), mașină de scos din depozit(b) și mașină de haldat(c)

Un asemenea sistem necesită transmisii wireless pe distanțe relativ mari fie folosind metode radio directe fie folosind serviciul GPRS al rețelelor GSM și constituie principala tematică a tezei de doctorat, sistem ce poate avea o largă utilizare și pentru alte structuri importante cum sunt podurile rutiere sau feroviare (fig. 2.2).

O primă fază a tezei o constituie analiza complexă a structurii utilajului vizat de a fi monitorizat prin sistemul vizat de transfer date on line. Cele trei utilaje sunt constructiv asemănătoare, un sistem de transport pe trei perechi de șenile, (0). Intreaga suprastructură a utilajului este rotativă în plan orizontal, în jurul axei verticale Oz, greutatea,  $m \cdot g$ , a suprastructurii fiind preluată de rulmentul plan, (2), și mai departe la tripodul, (1), care se sprijină pe trei reazeme sferice situate pe grinzile de legătură dintre perechile de șenile, astfel că sprijinul utilajului pe sol este static determinat.



Fig. 2.2 Pod metalic de cale ferată (Șag-Timiș )

Partea rotativă a utilajului minier se compune dintr-un turn, **(3)**, pe care se sprijină articulat brațul, **(4)**, care în cazul excavatorului și al mașinii de scos din depozit, la capătul liber al brațului este amplasată roata cu cupe, **(4')** iar în cazul mașinii de haldat brațul format din tronsoane suportă banda deversoare. Brațul excavatorului se poate deplasa în plan vertical de la cota  $-7.000$  mm, (deci sub planul solului), până la cota  $+30.000$  mm, poziționarea fiind realizată prin planul format din tamburul de cablu, **(6)**, și înfășurările demultiplicatoare **(7)** și **(9)** cu șirul de role demultiplicatoare amplasate pe catargul **(8)**. Tamburul de cablu **(6)** este amplasat pe contrabraț pe care este amplasat și lestul de echilibrare masică a utilajului, astfel încât, central de masă  $G$  a suprastructurii rotativă să fie plasat în spre contrabraț la o cotă la care  $G$  trebuie situate pe o traiectorie circular orizontală, cu o rază mai mică decât raza rulmentului plan **(2)**.

Una dintre ansamblele cele mai solicitate ale unui excavator este roata cu cupe  $R_c$ , (fig. 2.3) și mecanismul de acționare compus din motorul asincron de acționare,  $M_a$ , și reductorul planetar,  $R_{ed}$ . Cupele cu dinți,  $C_{dinț}$ , escavează straturi heterogene din punct de vedere al rezistenței mecanice a stratului excavat, componentele  $F_x(t)$ ,  $F_y(t)$  și  $F_z(t)$  ale reacțiunii stratului excavat au o evoluție aleatoare, extrem de greu de determinat pe calea unui model constitutiv.

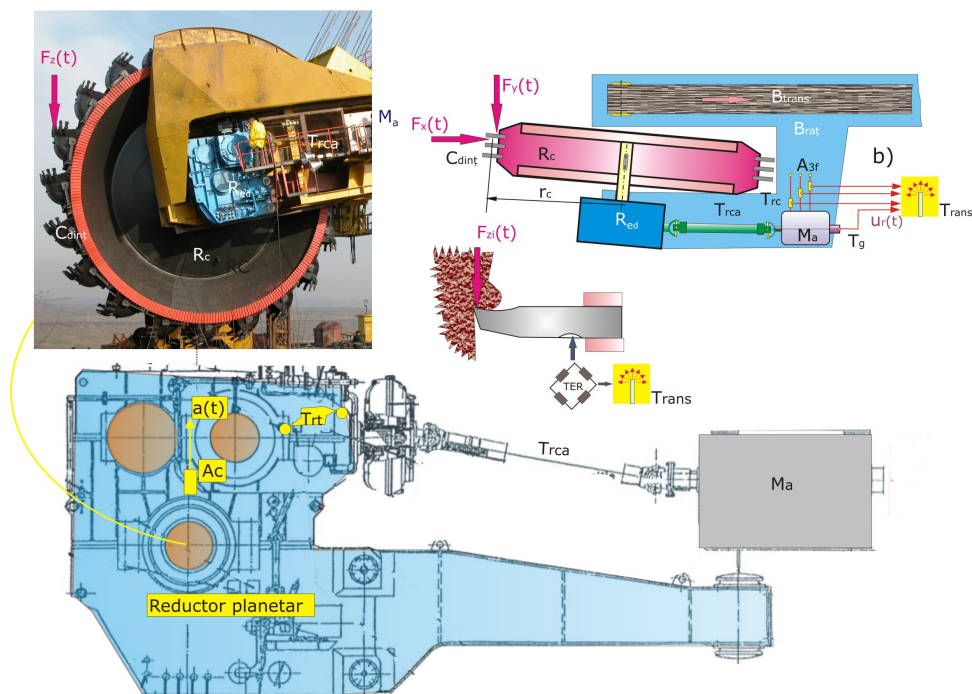


Fig. 2.3 Acțiunea roții cu cupe la excavator

Din acest motiv componentele forțelor de excavație trebuie determinate pe cale experimentală. Una dintre metode este măsurarea curenților absorbiți de motorul asincron a cărui putere transferată câmpului magnetic învârtitor în rotor este

$$P_m(t) \approx 3 \operatorname{Re} |U_1(t) I_1(t)| \quad (2.1)$$

$U_1$  și  $I_1$  fiind tensiunea și curentul pe una dintre faze, considerate echilibrate. Cu puterea  $P_m(t)$  înregistrată se poate determina forța tangențială  $F_z(t)$  de excavație

$$F_z(t) \approx \frac{P_m(t)}{\omega_{Rc} r_c} \quad (2.2)$$

unde  $\omega_{Rc}$  și  $r_c$  sunt viteza unghiulară și respectiv raza de excavație ale roții cu cupe. Curenții absorbiți se pot măsura prin intermediul a trei traductoare de curent  $T_{rc}$  a căror semnale se transmit wireless prin transmițtorul  $T_{rans}$ . Semnalele curenților pot fi utilizate pentru diagnosticarea motorului de antrenare.

O altă metodă experimentală constă în măsurarea forței de tăiere  $F_{zi}(t)$  pe un dinte, prin aplicarea unui montaj de traductoare electrorezistive (TER) la baza de încastrare a unui dinte ( $Dt$ ). Se poate avea o informație utilă asupra uzurii dinților, uzura ducând la creșterea forței de tăiere, cu mărirea puterii solicitată de la motorul de acțiune. De altfel, uzura generală a danturii cupelor duce la creșterea curenților absorbiți de motor. Elementele mecanice ale motorului de acțiune,  $M_a$ , transmisiei cardanice,  $T_{rca}$ , reductor planetar,  $R_{ed}$ , și roată cu cupe, conțin rulmenți și roți dințate care sunt supuse uzurii.

Gradul uzurii este corelat cu creșterea nivelelor de vibrații și a temperaturii locale. Astfel, prin amplasarea unor accelerometre  $A_c$  și traductoare de temperatură

pe carcasa lagărelor se obțin câte două semnale,  $a(t)$ , de accelerație, și  $u_t(t)$ , de temperatură. Semnalul de accelerație  $a(t)$  conține componente cuprinse într-un spectru larg de frecvență, 0.5Hz la 50 kHz. În acest domeniu intră răspunsul modurilor naturale de vibrații modurile naturale de vibrații ale arborilor, roților dințate, rulmenților, carcaselor, roții cu cupe și reductorului, excitate prin perturbațiile specifice care provin din:

- procesul de escavație, cu periodicitate intrării cupelor în escavație, dar cu niveluri variind aleatoriu;
- dezaxări ale liniilor arborilor, fisurări de arbori, arcuiri de arbori, etc.;
- defecte de angrenare, prin uzura flancurilor dinților, fisurarea unor dinți;
- defecte pe căile de rulare ale rulmenților;

Toate acestea își semnalează prezența prin componente în semnalul de vibrații  $a(t)$  ce contribuie la creșterea în timp a nivelului acesteia. De asemenea în cazul defectelor la căile de rulare ale unui rulment se înregistrează o creștere a temperaturii pe carcasa acestuia.

Datorită sarcinii variabile la roata cu cupe, prin care variază și viteza unghiulară a motorului de acționare, conform caracteristicii mașinii sincrone

$$\frac{M(t)}{M_{cr}} = \frac{1}{\frac{s(t)}{s_{cr}} + \frac{s_{cr}}{s(t)}} \quad (2.3)$$

unde  $M(t)$  este momentul la axul motorului,  $M_{cr}$  este momentul critic specificat de producător, iar

$$s(t) = \frac{\omega_{cel} - \omega(t)}{\omega_{cel}} \quad (2.4)$$

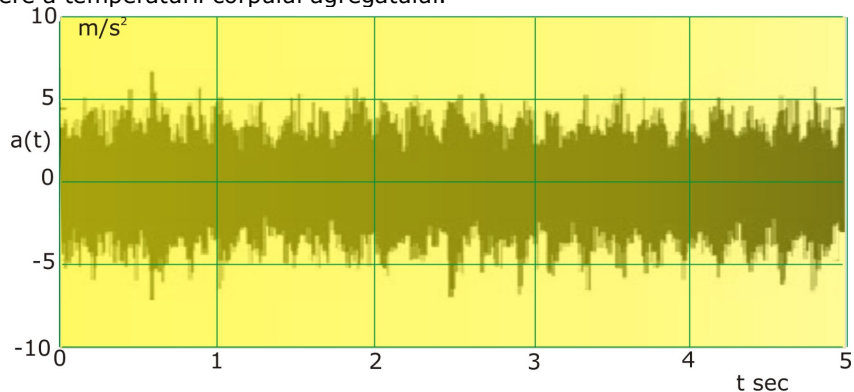
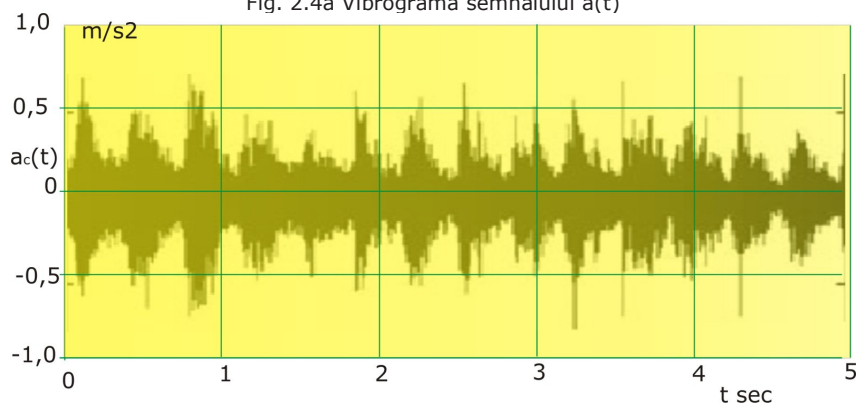
este alunecarea,  $\omega_{cel}$  și  $\omega(t)$ , fiind vitezele unghiulare ale câmpului electric învârtitor, ( $\omega_{cel} = 2\pi f_r / p$ ,  $f_r = 50$  Hz și  $p$  număr de poli ai statorului), respectiv viteza unghiulară instantanee la axul motorului. Alunecarea critică  $s_{cr}$  este dată de asemenea de producător. Deoarece viteza unghiulară  $\omega(t)$  a motorului de antrenare este variabilă funcție de sarcină, iar componentele semnalului  $a(t)$ , au periodicități corelate cu  $\omega(t)$  prin cinematica mecanismelor, este necesar înregistrarea unui semnal de rotație  $u(t)$  prin intermediul unui tahogenerator  $T_g$ . Prin corelarea dintre semnalul  $a(t)$  cu semnalul  $u(t)$  și ținând cont de componenta urmărită, se poate extrage, printr-o filtrare adaptivă, semnalul  $a_c(t)$  a componentei urmărite

În figurile 2.4a și 2.4.b sunt date vibrogramele semnalelor de accelerații,  $a(t)$ , captat pe carcasa reductorului planetar și, respectiv, semnalul  $a_c(t)$  al componentei corespunzătoare angrenării perechilor de roți ale planetarului. Urmărirea în timp a grupului planetar se poate face prin intermediul componentei  $a_c(t)$ , prin valoare efectivă definită prin forma integrală continuă

$$\tilde{a}_c(t) = \sqrt{\frac{1}{T_m} \int_0^{T_m} (a_d(\tau))^2 d\tau} \quad (2.5)$$

integrala extinzându-se pe o bandă de timp de lățime  $T_m$ , care se mută împreună cu timpul  $t$ . Evoluția în timp a semnalului de nivel de vibrații se petrece de-a lungul unei durate de viață a produsului și se produce după o cunoscută formă - în literatură "*bathtub*" - de *cadă de baie* sau definită de unii curba caracteristică de viață a produsului.

Porțiunea A-B corespunde perioadei  $0-t_r$ , de rodaj a pieselor ce compun produsul, cum ar fi procesul de ajustarea a flancurilor unui angrenaj, ceea ce duce la micșorarea forțelor perturbatoare dintre flancurile în contact și la scăderea nivelului de vibrații pe structura agregatului și a nivelului de zgomot emis de suprafața acestuia în mediul înconjurător. Micșorarea forțelor de contact în ajustaje, prin procesul de rodaj, duce la scăderea energiei disipate prin frecare, deci la o scădere a temperaturii corpului agregatului.

Fig. 2.4a Vibrograma semnalului  $a(t)$ Fig. 2.4b Vibrograma semnalului  $a_c(t)$  filtrate adaptiv din semnalul  $a(t)$ 

Urmează o porțiune B-C, de durată mare de timp,  $t_v-t_r$ , de-a lungul căreia produsul, sub exploatare normală în parametrii proiectați își păstrează nivelul de vibrații aproape constant, fapt ce demonstrează că nu apar uzuri semnificative care să modifice spectrul forțelor perturbatoare cauzate de jocuri anormale în mecanismele mașinii. După perioada B-C, apare o ușoară creștere a nivelului de vibrații, semnalându-se începutul perioadei  $t_v-t_d$  de apariție a unor defecțiuni care, în timp, pot deveni majore, periculoase pentru integritatea structurii produsului. Procesul de degradare rapidă este însoțit de o creștere semnificativă a nivelului de vibrații, zgomote și temperatură, după porțiunea abrupt crescătoare C-D.

În mod accidental, durata de viață se poate reduce, degradarea începând în punctul  $C'$  la timpul  $t'_v$ . Aceasta se datorează unor vicii ascunse ale componentelor sau sarcini accidentale ce depășesc capacitatea ansamblului.



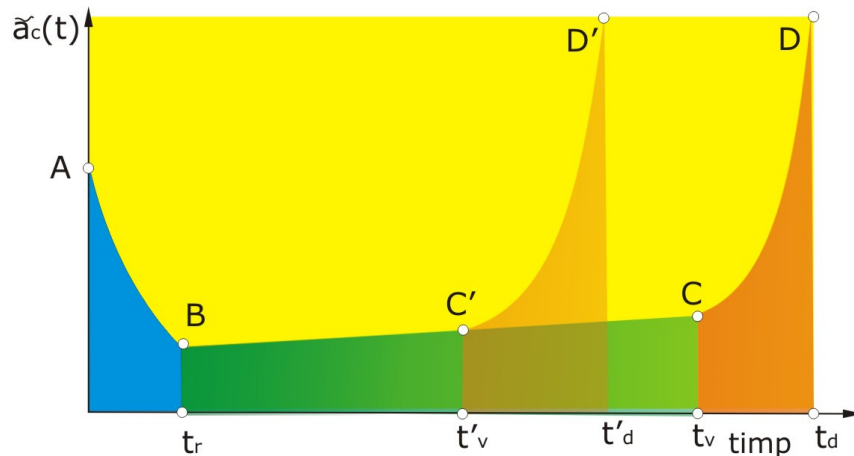


Fig. 2.5 caracteristică de viață a unui produs după forma de cadă de baie, "bathtub". Pentru anticiparea apariției unei asemenea defecțiuni este necesară o monitorizare continuă.

Aceleași probleme de monitorizare se pun și pentru celelalte mecanisme ale unui utilaj minier de suprafață, cum ar fi mecanismele, de ridicare a brațului, de rotire a suprastructurii în plan orizontal, și de marș pe sistemele de șenile. Toate aceste mecanisme conțin angrenaje și asamblări pe rulmenți ceea ce face necesară monitorizarea semnalelor de accelerație.

## 2.2 Monitorizarea structurală de ansamblu

Privind în ansamblu un utilaj de dimensiunile celor utilizate în exploatările miniere de suprafață, acestea au primele moduri naturale de vibrații de frecvențe situate în domeniul frecvențelor foarte joaselor-frecvențe de la 0,35 la 5 Hz, ceea ce face dificilă alegerea senzoricității prin care se poate determina forma frecvențelor proprii și forma modurilor naturale de vibrații care sunt necesare pentru realizarea unui model simplificat, hibrid, ținând seama de datele de proiect ajustate după rezultatele experimentale.

### 2.2.1 Modelul dinamic simplificat al mișcării în plan vertical a structurii excavatorului

Perturbațiile principale ale excavatorului în timpul procesului de excavație sunt în plan vertical, unde lucrează forța  $F_z$ , (fig.2.6) a cărei variație în timp are un caracter aleatoriu, de bandă îngustă, în jurul frecvenței de intrare în excavație a cupelor roții,  $f_e = z \times \omega_{rc} / 2\pi$ ,  $z$  fiind numărul de cupe a roții (7), iar  $\omega_{rc}$  fiind viteza unghiulară a roții.

Din investigațiile experimentale a reieșit că mișcările vibratorii ale suprastructurii rotative sunt de niveluri mult mai mari decât a substructurii inferioare compusă din platforma de deplasare 1, (fig. 2.6 a), pe grupul de trei perechi de șenile 2, pe care se sprijină tripodul 3, prin lagărele sferice A, B și C.

Suprastructura rotativă se sprijină pe platforma de deplasare prin intermediul rulmentului plan 4, permițând rotirea suprastructurii în plan orizontal, în jurul axei verticale OZ. Suprastructura rotativă se compune din turnul 5 pe care sunt montate, prin articulații brațul 6, (axa de rotație orizontală ce trece prin  $O_1$ ) și catargul 10, (axa de rotație orizontală ce trece prin  $O_2$ ). La capătul liber al brațului este amplasată roata cu cupe 7. Brațul este suspendat prin intermediul unui palan, (fig.2.6 și 2.7) compus din grupul de role 8, (ax  $O_3O_3$ ), situate pe brațul 6 și grupul de role 9, (ax  $O_4O_4$ ), situate pe catargul 10.

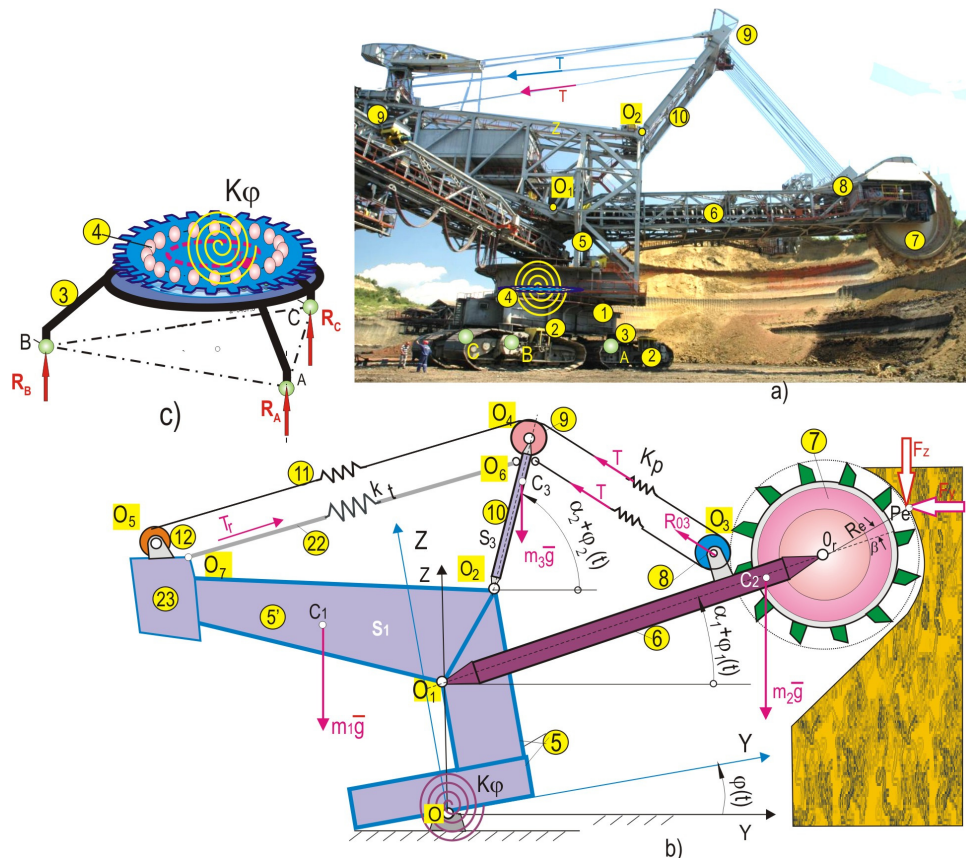


Fig. 2.6 Modelul simplificat al excavatorului

Cele două ramuri ale 11 ale cablurilor palanului 10 sunt prinse la un câte un capăt în punctele  $A_1$  și  $B_1$  pe axul grupului de role 9, iar la celelalte capete cele două ramuri înfășurându-se pe tamburul 12 (puncte de contact  $A_0$  și  $B_0$ )

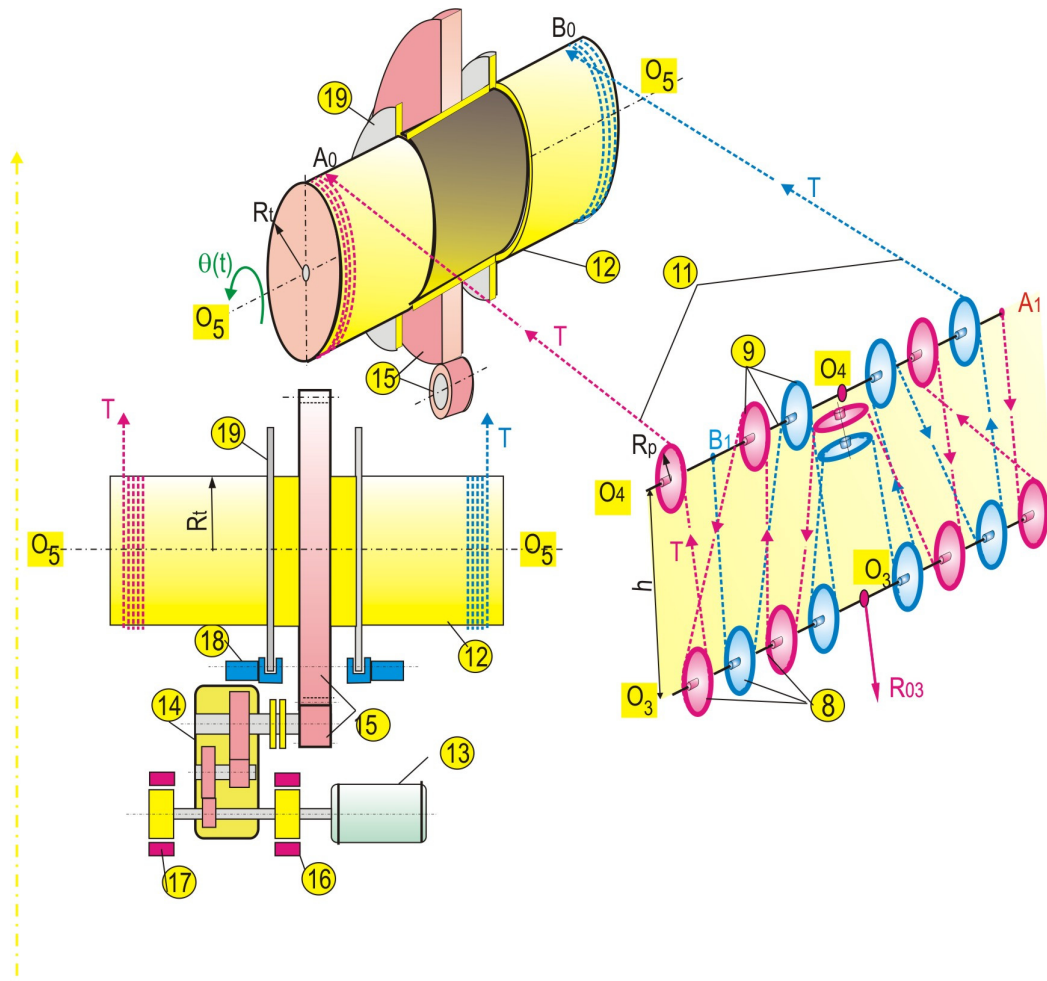


Fig. 2.7 Palanul de ridicare a brațului excavatorului

Tamburul 12 este antrenat printr-un lanț cinematic acționat de un motor asincron 13 (275kW, 1000 rot/min), un reductor 14 (raport de demultiplicare 14.75) și un angrenaj demultiplicator 15 (raport de demultiplicare 9.05). În poziție de lucru brațul este menținut la aceeași înălțime, tamburul palanului fiind blocat prin frânele 16 și 17 și prin cleștii 18 ce se fixează pe discurile 19 solidare cu tamburul 12. Centrul de masă  $G$  al suprastructurii rotative se deplasează pe o traiectorie circulară  $Tr$  a cărei rază trebuie să fie inferioară razei rulmentului plan, iar față de suprastructură  $G$  trebuie adus înspre contra brațul 5', solidar cu turnul 5.

Poziționarea centrului de masă la cota dorită se realizează prin intermediul lestului 23. Constructiv, catargul este ancorat prin doi tiranți 22, punctele de ancorare fiind în  $O_6$  pe catarg și  $O_7$  pe capătul contra brațului. Din considerațiile de mai sus se neglijează mișcările structurii platformei de sprijin a suprastructurii pe rulmentul plan, care se consideră deformabil elastic turnul 5 care se sprijină pe el rotindu-se după legea de rotație  $\varphi(t)$ , momentul care se opune acestei rotații de

răsturnare fiind  $-k_\varphi\varphi(t)$ . De turnul 5 se consideră atașate rigid, contrabrațul 5', o parte din mecanismul palanului constituind structura rigidă  $S_1$ . De structura  $S_1$  a turnului este atașată prin cupla de rotație, a cărei axă trece prin  $O_1$ , structura  $S_2$  fiind compusă din brațul 6, roata cu cupe 7, mecanismul de acționare a roții și grupul de role 8 ale palanului. O altă substructură,  $S_3$  compusă din catargul 10 și grupul de role 9 ale palanului, este articulată de  $S_1$  prin o axă orizontală ce trece prin  $O_2$ . Mișcările relative dintre cele trei structuri considerate rigide sunt împiedicate de conexiunile elastice prin ramurile 11 elastice ale palanului și prin tiranții elastici 22. Astfel, pozițiile instantanee ale celor trei substructuri la momentul  $t$  sunt date de unghiurile,  $\varphi(t)$ , pentru substructura  $S_1$ ,  $\alpha_1 + \varphi_1(t)$  pentru substructura  $S_2$  și  $\alpha_2 + \varphi_2(t)$  pentru substructura  $S_3$ . Unghiurile  $\alpha_1$  și  $\alpha_2$  dau pozițiile geometrice, iar  $\varphi(t)$ ,  $\varphi_1(t)$  and  $\varphi_2(t)$  sunt deformațiile unghiulare, ale căror elongații sunt mici, sub  $5^\circ$ .

Utilizând metoda ecuațiilor lui Lagrange modelul dinamic al ansamblului suprastructurii excavatorului este de forma,

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial E_c}{\partial \{\dot{q}\}^T} \right) - \frac{\partial E_c}{\partial \{q\}^T} + \frac{\partial E_d}{\partial \{q\}^T} + \frac{\partial E_p}{\partial \{q\}^T} + \frac{\partial E_{diss}}{\partial \{q\}^T} = \{Q(t)\} \quad (2.6)$$

unde s-a notat vectorul legilor de rotație

$$\{q\} = \{\varphi(t) \quad \varphi_1(t) \quad \varphi_2(t)\}^T \quad (2.7)$$

$E_c$ , este energia cinetică,  $E_d$ , energia de deformație,  $E_p$ , energia potențială, and  $E_{dis}$ , energia de disipație, iar  $\{Q(t)\}$  matricea vector coloană a forțelor generalizate.

Energia cinetică însumează trei componente corespunzătoare celor trei substructuri,

$$E_c = E_{c_1} + E_{c_2} + E_{c_3} \quad (2.8)$$

unde energia cinetică a substructurii  $S_1$

$$E_{c_1} = \frac{1}{2} J_0 (\dot{\varphi}(t))^2 \quad (2.9)$$

$J_0$  fiind momentul de inerție al substructurii  $S_1$  în raport cu axa de rotație orizontală din planul rulmentului, axă ce trece prin articulația elastică  $O$ ,

$$E_{c_2} = \frac{1}{2} J_{2-1} \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} J_2 \dot{\varphi}_1^2 + \dot{\varphi} \dot{\varphi}_1 M_{s_{2O1}} (Y_1 \cos(\alpha_1 + \varphi_1 - \varphi) + Z_1 \sin(\alpha_1 + \varphi_1 - \varphi)) \quad (2.10)$$

unde

$$J_{2-1} = m_2 (Y_1^2 + Z_1^2) \quad (2.11)$$

$m_2$  fiind masa substructurii  $S_2$ ,  $M_{s_{O1}}$  momentul static al substructurii  $S_2$  în jurul articulației  $O_1$ .

$X_1$  și  $Y_1$  sunt coordonatele articulației  $O_1$ , raportate la sistemul de axe  $Oxyz$ .

În aceeași manieră se scrie energia cinetică pentru substructura  $S_3$

$$E_{c_3} = \frac{1}{2} J_{3-1} \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} J_3 \dot{\varphi}_2^2 + \dot{\varphi} \dot{\varphi}_2 M_{s_{3O_2}} (Y_2 \cos(\alpha_2 + \varphi_2 - \varphi) + Z_2 \sin(\alpha_2 + \varphi_2 - \varphi)) \quad (2.12)$$

unde

$$J_{3-1} = m_3 (Y_2^2 + Z_2^2) \quad (2.13)$$

iar  $M_{s_{O2}}$  momentul static al structurii  $S_3$  în raport cu articulația  $O_2$ .

Energia de deformație însumează trei componente,

$$E_d = E_{d_{ber}} + E_{d_{qt}} + E_{d_r} \quad (2.14)$$

în care,

$$E_{d_{ber}} = \frac{1}{2} k_\varphi \varphi^2 \quad (2.15)$$

este energia de deformație în zona rulmentului plan (deformație prin rotația  $\varphi$  în jurul articulației O, considerată) iar  $k_\varphi$  constanta elastică echivalentă.

Energia de deformație conservată în ramurile cablurilor 11 ale palanului, Ea depinde de variația distanței dintre articulațiile  $O_3$  și  $O_4$

$$\Delta L_{3-4} = \left| \overline{O_3 O_4} \right|_{(t)} - \left| \overline{O_3 O_4} \right|_{(0)} \quad (2.16)$$

$\left| \overline{O_3 O_4} \right|_{(t)}$  fiind distanța în timpul mișcărilor celor trei substructuri, iar  $\left| \overline{O_3 O_4} \right|_{(0)}$ , aceeași distanța cu cele trei substructuri complet descărcate, cu ramurile cablurilor netensionate  $T=0$ .

În această situație energia de deformație a palanului poate fi scrisă sub forma

$$E_{d_{pt}} = \frac{1}{2} k_{pt} (\Delta L_{3-4})^2 \quad (2.17)$$

$k_{pt}$  fiind constanta elastică echivalentă a palanului

Din condițiile geometrice distanța dintre punctele  $O_3$  și  $O_4$  are expresia

$$\left| \overline{O_3 O_4} \right|_{(t)} = \sqrt{(\Delta y_{3-4})^2 + (\Delta z_{3-4})^2} \quad (2.18)$$

unde  $\Delta y_{3-4}$ ,  $\Delta z_{3-4}$ ,

$$\begin{cases} \Delta y_{3-4} \\ \Delta z_{3-4} \end{cases} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} Y_2 - Y_1 \\ Z_2 - Z_1 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos(\alpha_2 + \varphi_2) & -\sin(\alpha_2 + \varphi_2) \\ \sin(\alpha_2 + \varphi_2) & \cos(\alpha_2 + \varphi_2) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} Y_4 \\ Z_4 \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} \cos(\alpha_1 + \varphi_1) & -\sin(\alpha_1 + \varphi_1) \\ \sin(\alpha_1 + \varphi_1) & \cos(\alpha_1 + \varphi_1) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} Y_3 \\ Z_3 \end{Bmatrix} \quad (2.19)$$

$Y_3$  și  $Z_3$  fiind coordonatele locale ale punctului  $O_3$  relative la substructura  $S_2$ , iar  $Y_4$  și  $Z_4$  fiind coordonatele locale ale punctului  $O_4$  relative la substructura  $S_4$ .

Deoarece rotațiile  $\varphi(t)$ ,  $\varphi_1(t)$  și  $\varphi_2(t)$  au niveluri mici, cu elongații maxime sub  $5^\circ$ , variația (2.16) poate fi dezvoltată în serie Taylor din care se păstrează termenii de prim ordin

$$\Delta L_{3-4}(\varphi, \varphi_1, \varphi_2) = e_0(\alpha_1) \varphi(t) + e_1(\alpha_1) \varphi_1(t) + e_2(\alpha_1) \varphi_2(t) + \dots \quad (2.20)$$

unde parametrii

$$\begin{aligned} e_0(\alpha_1) &= \left( \frac{\partial \left| \overline{O_3 O_4} \right|}{\partial \varphi} \right)_{(\varphi=\varphi_1=\varphi_2=0)} & ; & \quad e_1(\alpha_1) = \left( \frac{\partial \left| \overline{O_3 O_4} \right|}{\partial \varphi_1} \right)_{(\varphi=\varphi_1=\varphi_2=0)} & ; \\ e_2(\alpha_1) &= \left( \frac{\partial \left| \overline{O_3 O_4} \right|}{\partial \varphi_2} \right)_{(\varphi=\varphi_1=\varphi_2=0)} & , & \end{aligned} \quad (2.21)$$

sunt funcții, variabile geometric, de poziția unghiulară a  $\hat{a}$  a brațului 6, poziția unghiulară  $\alpha_2$  a catargului 10 fiind constantă.

Constanta elastică echivalentă a palanului  $k_{pt}$  se determină ținând cont de lungimea unei ramuri 11 a cablului tensionat cu tensiunea  $T$ , capetele celor două ramuri de cablu fiind ancorate între punctele,  $A_0$  și  $A_1$  (fig 2.7), pentru prima ramură și  $B_1$  și  $B_0$  pentru cea de a doua ramură.

Lungimea totală a cablului pe o ramură este

$$L_t = \left| \overline{O_5 O_4} \right| + 8 \left| \overline{O_3 O_4} \right| + 8\pi R_p \quad (2.22)$$

care, fiind elastic se lungeste, sub acțiunea tensiunii  $T$ , cu

$$\Delta L_t = \frac{T}{k_c} \quad (2.23)$$

$k_c$  fiind constanta elastică a cablului de lungime  $L_t$

$$k_c = \frac{E_c A_c}{L_t} \quad (2.24)$$

$E_c$  fiind modulul elastic al cablului (pentru cablul utilizat  $E_c = 3/8E$ ,  $E = 2.1 \times 10^{11}$  N/m<sup>2</sup>), iar  $A_c$  aria transversală a secțiunii cablului de diametru  $d_c = 40$  mm ( $A_c = 12.57$  cm<sup>2</sup>). Considerând că deformația  $\Delta L_t$  se repartizează uniform de-a lungul întregii ramuri de cablu, aceasta prin neglijarea frecărilor dintre role și cablul, variația distanței dintre punctele  $O_3$  and  $O_4$

$$\Delta |O_3 O_4| = \Delta L_{3-4} \approx \frac{\Delta L_t}{8} \quad (2.25)$$

Grupul de 8 role, 8, suportă forța de legătură cu brațul

$$R_{O_3} = 16T \quad (2.26)$$

rezultând constanta echivalentă a palanului

$$k_{pl}(\alpha_1) = \frac{R_{O_3}}{\Delta L_{3-4}} = \frac{16T}{\frac{\Delta L_t}{8}} = 128 \frac{T}{\Delta L_t} = 128 k_c = 128 \frac{E_c A_c}{L_t} \quad (2.27)$$

fiind variabilă, dependentă de poziția unghiulară  $\alpha_1$ .

Intr-un mod similar se poate determina constanta elastică a tiranților 22, cu punctele de ancorare  $O_6$ , pe catargul 10 și punctul  $O_7$  pe contra brațul 5'.

$$E_{dtr} = \frac{1}{2} k_{tr} (\Delta L_{6-7})^2 \quad (2.28)$$

unde,

$$\Delta L_{6-7} = |O_6 O_7|_{(t)} - |O_6 O_7|_{(0)} \quad (2.29)$$

$$|O_6 O_7|_{(t)} = \sqrt{(\Delta Y_{6-7})^2 + (\Delta Z_{6-7})^2} \quad (2.30)$$

$$\begin{Bmatrix} \Delta Y_{6-7} \\ \Delta Z_{6-7} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} Y_2 - Y_6 \\ Z_2 - Z_6 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos(\alpha_2 + \varphi_2) & -\sin(\alpha_2 + \varphi_2) \\ \sin(\alpha_2 + \varphi_2) & \cos(\alpha_2 + \varphi_2) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} Y_7 \\ Z_7 \end{Bmatrix} \quad (2.31)$$

apoi prin liniarizare

$$\Delta L_{6-7}(\varphi, \varphi_2) = f_1 \varphi(t) + f_2 \varphi_1(t) + f_3 \varphi_2(t) \dots \quad (2.32)$$

unde

$$f_1 = \left( \frac{\partial |O_6 O_7|}{\partial \varphi} \right)_{(\varphi=\varphi_1=\varphi_2=0)} ; f_2 = \left( \frac{\partial |O_6 O_7|}{\partial \varphi_1} \right)_{((\varphi=\varphi_1=\varphi_2=0))} ; f_3 = \left( \frac{\partial |O_6 O_7|}{\partial \varphi_2} \right)_{((\varphi=\varphi_1=\varphi_2=0))} \quad (2.33)$$

Constanta elastică a tirantului este

$$k_{tr} = \frac{E_c A_{tr}}{|O_6 O_7|_{(0)}} \quad (2.34)$$

$A_{tr}$  fiind aria secțiunii tirantului constituit din cablu de oțel cu diametru de  $r_{dtr} = 87$  mm ( $A_{tr} = 59.45$  cm<sup>2</sup>)

Energia potențială are trei termeni

$$E_p = m_1 g z_{C_1} + m_2 g z_{C_2} + m_3 g z_{C_3} \quad (2.35)$$

$m_1$ ,  $m_2$  and  $m_3$  fiind masele celor trei substructuri  $S_1$ ,  $S_2$  și  $S_3$ , iar  $z_{C_1}$ ,  $z_{C_2}$  și  $z_{C_3}$  sunt coordonatele centrelor de masă  $C_1$ ,  $C_2$  and  $C_3$ .

$$\begin{aligned} z_{C_1} &= Y_{c1} \sin \varphi - Z_{c1} \cos \varphi \\ z_{C_2} &= Y_1 \sin \varphi - Z_1 \cos \varphi + Y_{c1} \sin(\alpha_1 + \varphi_1) - Z_{c1} \cos(\alpha_1 + \varphi_1) \\ z_{C_3} &= Y_2 \sin \varphi - Z_2 \cos \varphi + Y_{c3} \sin(\alpha_2 + \varphi_2) - Z_{c3} \cos(\alpha_2 + \varphi_2) \end{aligned} \quad (2.36)$$

Formularea energiei de disipație este dificilă și se aplică modelul proporțional cu energia de disipație urmând ca factorul de proporționalitate să fie ajustat .

Forțele generalizate sunt date prin intermediul forțelor de excavație  $F_{ey}$  și  $F_{ez}$  care depind de un număr mare de parametrii ca: caracteristicile mecanice ale stratului excavat, adâncimea și avansul de tăiere, uzura danturii cupelor, etc.

Lucrul mecanic virtual al forțelor de excavație are expresia

$$\delta L_F = -F_{ey} \delta y_{pe} - F_{ez} \delta z_{pe} \quad (2.37)$$

unde

$$\begin{aligned} y_{pe} &= Y_1 \cos \varphi - Z_1 \sin \varphi + L_b \cos(\alpha_1 + \varphi_1) + R_c \cos(\alpha_1 + \varphi_1 + \beta) \\ z_{pe} &= Y_1 \sin \varphi + Z_1 \cos \varphi + L_b \sin(\alpha_1 + \varphi_1) + R_c \sin(\alpha_1 + \varphi_1 + \beta) \end{aligned} \quad (2.38)$$

unde  $L_b = |\overline{O_1 O_r}|$  este lungimea brațului 6 excavatorului, iar  $R_c$  raza de excavație a roții cu cupe.l.

În această fază, având determinate expresiile tuturor energiilor și a lucrului mecanic virtual al forțelor de excavație se poate scrie ecuațiile Lagrange, (2.6), ajungându-se la sistemul de ecuații,

$$[J] \begin{Bmatrix} \dot{\varphi}(t) \\ \dot{\varphi}_1(t) \\ \dot{\varphi}_2(t) \end{Bmatrix} + [D] \begin{Bmatrix} \varphi(t) \\ \varphi_1(t) \\ \varphi_2(t) \end{Bmatrix} + [K] \begin{Bmatrix} \varphi(t) \\ \varphi_1(t) \\ \varphi_2(t) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} M_{Fe-\varphi}(t) \\ M_{Fe-\varphi_1}(t) \\ M_{Fe-\varphi_2}(t) \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} M_{g-\varphi} \\ M_{g-\varphi_1} \\ M_{g-\varphi_2} \end{Bmatrix} \quad (2.39)$$

unde, matricea de inerție

$$[J(\alpha_1)] = \begin{bmatrix} J_0 + J_{2-1} + J_{3-1} & Ms_{201}(Y_1 \cos \alpha_1 + Z_1 \sin \alpha_1) & Ms_{302}(Y_2 \cos \alpha_2 + Z_2 \sin \alpha_2) \\ Ms_{201}(Y_1 \cos \alpha_1 + Z_1 \sin \alpha_1) & J_2 & 0 \\ Ms_{302}(Y_2 \cos \alpha_2 + Z_2 \sin \alpha_2) & 0 & J_3 \end{bmatrix} \quad (2.40)$$

Matricea de rigiditate  $[K]$  este o sumă

$$[K] = [K_{rul}] + [K_{pt}] + [K_{tr}] + [K_g] \quad (2.41)$$

unde matricea,

$$[K_{rul}] = \begin{bmatrix} k_\varphi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.42)$$

corespunde rigidității în zona rulmentului plan (4), constanta elastică  $k_\varphi$  necesitând ajustarea după datele experimentale.

$$[K_{pt}(\alpha_1)] = 2k_{pt}(\alpha_1) \begin{bmatrix} (e_0(\alpha_1))^2 & e_0(\alpha_1)e_1(\alpha_1) & e_0(\alpha_1)e_2(\alpha_1) \\ e_0(\alpha_1)e_1(\alpha_1) & (e_0(\alpha_1))^2 & e_1(\alpha_1)e_2(\alpha_1) \\ e_0(\alpha_1)e_2(\alpha_1) & e_1(\alpha_1)e_2(\alpha_1) & (e_0(\alpha_1))^2 \end{bmatrix} \quad (2.43)$$

este matricea de rigiditate corespunzătoare palanului, elementele acesteia depinzând, cum e și normal, de poziția  $\alpha_1$  a brațului.

$$[K_{tr}] = 2k_{tr} \begin{bmatrix} f_1^2 & f_1 f_2 & f_1 f_3 \\ f_1 f_2 & f_2^2 & f_2 f_3 \\ f_1 f_3 & f_2 f_3 & f_3^2 \end{bmatrix} \quad (2.44)$$

este matricea de rigiditate corespunzătoare celor doi tiranți 22 considerați elastici, de constantă  $k_{tr}$ .

Ultima matrice derivă din energia potențială, corespunzătoare pozițiilor, pe verticală a celor trei centre de masă  $C_1$ ,  $C_2$  și  $C_3$  ale celor trei substructuri  $S_1$ ,  $S_2$  și  $S_3$

$$[k_g(\alpha_i)] = -g \begin{bmatrix} m_1 Z_{c1} + m_2 Z_1 + m_3 Z_2 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 (-Y_{c2} \sin \alpha_1 + Z_{c2} \cos \alpha_1) & 0 \\ 0 & 0 & m_3 (-Y_{c3} \sin \alpha_2 + Z_{c3} \cos \alpha_2) \end{bmatrix} \quad (2.45)$$

Un alt termen ce derivă din aceeași energie potențială este matricea vector coloană din membrul drept al sistemului de ecuații diferențiale (2.39)

$$\begin{Bmatrix} M_{g_{-\varphi}} \\ M_{g_{-\varphi 1}} \\ M_{g_{-\varphi 2}} \end{Bmatrix} = -g \begin{Bmatrix} m_1 Y_{c1} + m_2 Y_1 + m_3 Y_2 \\ m_2 (Y_{c2} \cos \alpha_1 + Z_{c2} \sin \alpha_1) \\ m_3 (Y_{c3} \cos \alpha_2 + Z_{c3} \sin \alpha_3) \end{Bmatrix} \quad (2.46)$$

Echilibrul static al suprastructurii excavatorului este dat prin matricea vector coloană

$$\{\Phi_s\} = \begin{Bmatrix} \varphi_s \\ \varphi_{1-s} \\ \varphi_{2-s} \end{Bmatrix} = [K]^{-1} \begin{Bmatrix} M_{g_{-\varphi}} \\ M_{g_{-\varphi 1}} \\ M_{g_{-\varphi 2}} \end{Bmatrix} \quad (2.47)$$

care verifică sistemul de ecuații diferențiale (2.39), elementele matricei vector coloană  $\{\Phi_s\}$  fiind unghiurile de poziție corespunzătoare din încărcările proprii.

Excitația dinamică dată prin componentele  $F_{ey}$  și  $F_{ez}$  ale forței de excavație este dată prin matricea vector coloană

$$\begin{Bmatrix} M_{Fe_{-\varphi}}(t) \\ M_{Fe_{-\varphi 1}}(t) \\ M_{Fe_{-\varphi 2}}(t) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_{ey} Z_1 - F_{ez} Y_1 \\ -F_{ey} (L_b \cos(\alpha_1 + \beta) - R_c \sin(\alpha_1 + \beta)) - F_{ez} (-L_b \sin(\alpha_1 + \beta) + R_c \cos(\alpha_1 + \beta)) \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (2.48)$$

Cele două coponente,  $F_{ey}$  și  $F_{ez}$  ale forței de excavație se determină pe cale experimentală.

Surse importante de excitații dinamice în cazul structurii excavatorului și ale celorlalte utilaje miniere de suprafață, sunt mecanismele de acționare, rotație și ridicare braț.

Astfel, dinamica mecanismul de ridicare a brațului, prin palan, este dată prin ecuația diferențială

$$J_{rt} \frac{d^2 \theta(t)}{dt^2} = M_{rt} (\dot{\theta}(t)) - 2T(\alpha_1) R_t - M_{fr} \quad (2.49)$$

unde  $\theta(t)$  este legea de rotație a tamburului 12 în jurul axei sale  $O_5O_5$ .

$J_{rt}$  este momentul de inerție al tamburului la care se adaugă momentele de inerție ale transmisiei, motor 13, tamburi frână, 16 și 17, reductor 14 și grup de demultiplicare 15. Raportul total de demultiplicare al mecanismului este  $i_t=133,5$ . Cu  $M_{fr}$  s-a notat momentul de frânare la cele două frâne, trebuind a fi luate în considerare și procesul de frânare prin cles

Momentul motor redus la axa tamburului  $M_{rt}(\dot{\theta}(t))$  depinde de caracteristica

motorului asincron de inducție, 13,  $M_m(\omega)$ , care este aproximată prin forma

$$M_m(\omega(t)) = \frac{2M_{cr}}{\frac{\omega_n - \omega(t)}{\omega_n - \omega_{cr}} + \frac{\omega_n - \omega_{cr}}{\omega_n - \omega(t)}} \quad (2.50)$$

$M_{cr}$  fiind momentul motor critic la viteza unghiulară critică  $\omega_{cr}$  iar  $\omega_n$  viteza unghiulară la momentul nominal

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} \quad (2.51)$$



Puterea nominală a motorului asincron este de  $P_n=275$  kW, la o turație nominală  $n=1000$  rot/min ( $\omega_n=\pi n/30$ ).

Ținând cont de raportul de demultiplicare  $i_t$  momentul, de acționare al motorului, redus la axa tamburului va fi

$$M_{rt}(\dot{\theta}(t)) = i_t M_m(\omega(t)) \quad (2.52)$$

Acum, tensiunea  $T$  dezvoltată în una dintre cele două ramuri 11 ale cablurilor palanului, depinde de încărcarea brațului 6, poziționat la un anumit unghi  $\alpha_1$ , cablulace înfășoară pe tamburul 12, de rază,  $R_t$ .

Pe de altă parte tensiunea  $T$  poate fi calculată ținând cont de deformația din cele 16 ramurile de cablu  $\Delta L_{3-4}(\varphi, \varphi_1, \varphi_2)$  și constanta echivalentă  $k_{pt}(\alpha_1)$  a palanului

$$T = \frac{k_{pt}(\alpha_1)}{16} \Delta L_{3-4}(\varphi, \varphi_1, \varphi_2) = \frac{k_{pt}(\alpha_1)}{16} [e_0(\alpha_1)\varphi(t) + e_1(\alpha_1)\varphi_1(t) + e_2(\alpha_1)\varphi_2(t)]. \quad (2.53)$$

Viteza de înfășurare a unei ramuri de cablu este

$$v_c = R_t \frac{d\theta}{dt} = \frac{dL_t}{dt} = \frac{d}{dt} (|O_5O_4| + 8|O_3O_4| + 8\pi R_r) = 8 \frac{d}{dt} |O_3O_4(\alpha_1(t), \varphi_1(t), \varphi_2(t))| \quad (2.54)$$

care prin intermediul variabilelor  $\theta(t)$ ,  $\alpha_1(t)$ ,  $\varphi(t)$ ,  $\varphi_1(t)$ , and  $\varphi_2(t)$  se atașează sistemului de ecuații diferențiale a mișcărilor în plan vertical a suprastructurii rotative

$$[J] \begin{Bmatrix} \ddot{\varphi}(t) \\ \ddot{\varphi}_1(t) \\ \ddot{\varphi}_2(t) \end{Bmatrix} + [D] \begin{Bmatrix} \dot{\varphi}(t) \\ \dot{\varphi}_1(t) \\ \dot{\varphi}_2(t) \end{Bmatrix} + [K] \begin{Bmatrix} \varphi(t) \\ \varphi_1(t) \\ \varphi_2(t) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} M_{Fe-\varphi}(t) \\ M_{Fe-\varphi_1}(t) \\ M_{Fe-\varphi_2}(t) \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} M_{g-\varphi} \\ M_{g-\varphi_1} \\ M_{g-\varphi_2} \end{Bmatrix} \quad (2.39)$$

care se cuplează:

- cu ecuația diferențială a mișcării tamburului

$$J_{rt} \frac{d^2\theta(t)}{dt^2} = M_{rt}(\dot{\theta}(t)) - 2T(\alpha_1)R_t - M_b \quad (2.49)$$

- ecuația caracteristică a motorului de acționare

$$M_{rt}(\dot{\theta}(t)) = \frac{2i_t M_{cr}}{\frac{\omega_n - i_t \dot{\theta}(t)}{\omega_n - \omega_{cr}} + \frac{\omega_n - \omega_{cr}}{\omega_n - i_t \dot{\theta}(t)}} \quad (2.50)$$

și relațiile

$$T = \frac{k_{pt}(\alpha_1)}{16} [e_0(\alpha_1)\varphi(t) + e_1(\alpha_1)\varphi_1(t) + e_2(\alpha_1)\varphi_2(t)]. \quad (2.53)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = 8 \frac{1}{R_t} \frac{d}{dt} |O_3O_4(\alpha_1(t), \varphi_1(t), \varphi_2(t))| \quad (2.54)$$

Prin acest sistem complex de ecuații diferențiale pot fi simulate diverse situații extreme, care vor oferi date ce pot fi utilizate la realizarea unui program de monitorizare continuă a suprastructurii rotative a excavatorului și a celorlalte structuri de utilaj minier.

## 2.2.2 Simularea dinamicii suprastructurii excavatorului după date de proiect și experimentale

### 2.2.2.1 Date de proiectare

Pe baza datelor din proiectul de execuție al excavatorului ERC 1400 se dau, în tabelul 1, valorile coordonatelor locale, maselor, momentelor statice și momentelor de inerție ale substructurilor  $S_1$ ,  $S_2$  și  $S_3$ .

tabel 1, coordonatele locale, și masele ansamblelor elementelor ce compun substructurile  $S_1$ ,  $S_2$  și  $S_3$

	Y	Z	m		
	M	m	kg		
$S_{11}$	6,11	11,63	51.000	turn	$M_{sy} = \sum_{i=1}^4 m_i Y_i = -7.299 \times 10^6 \text{ kgm}$ $M_{sz} = \sum_{i=1}^4 m_i Z_i = 8.405 \times 10^6 \text{ kgm}$ $M_{s_0} = \sum_{i=1}^4 m_i \sqrt{Y_i^2 + Z_i^2} = 1.198 \times 10^7 \text{ kgm}$ $J_0 = \sum_{i=1}^4 m_i (Y_i^2 + Z_i^2) = 3.1 \times 10^8 \text{ kgm}^2$ $m = \sum_{i=1}^4 m_i = 559050 \text{ kgm}$ $Y_{c1} = \frac{M_{sy}}{m} = -13.057 \text{ m}$ $Z_{c1} = \frac{M_{sz}}{m} = 15.035 \text{ m}$
$S_{12}$	-12,53	17,12	207.500	contrabrat	
$S_{13}$	2,43	1,5	86.600	Mecanism de ridicare	
$S_{14}$	-24,4	19,3	214.000	lest	
<b><math>S_1</math></b>	<b>-13,057</b>	<b>15,035</b>	<b>559.050</b>	<b>Structura S1</b>	
<b><math>S_2</math></b>	<b>26</b>	<b>0,5</b>	<b><math>m_2=246240</math></b>	<b>Braț</b>	$M_{s_{201}} = m_2 \sqrt{Y_1^2 + Z_1^2} = 4.762 \times 10^6 \text{ kgm}$ $J_2 = m_2 (Y_1^2 + Z_1^2) = 1.665 \times 10^8 \text{ kgm}^2$ $J_{2\_1} = m_2 (Y_{01}^2 + Z_{01}^2) = 1.531 \times 10^7 \text{ kgm}^2$
	$Y_{01}=1.7$	$Z_{01}=7.7$			
<b><math>S_3</math></b>	<b>11</b>	<b>0</b>	<b>43290</b>	<b>Catarg</b>	$M_{s_{302}} = m_3 \sqrt{Y_2^2 + Z_2^2} = 6.403 \times 10^6 \text{ kgm}$ $J_3 = m_3 (Y_2^2 + Z_2^2) = 5.238 \times 10^6 \text{ kgm}^2$ $J_{3\_2} = m_3 (Y_{02}^2 + Z_{02}^2) = 1.541 \times 10^7 \text{ kgm}^2$
	$Y_{02}=9.5$	$Z_{02}=16.3$			

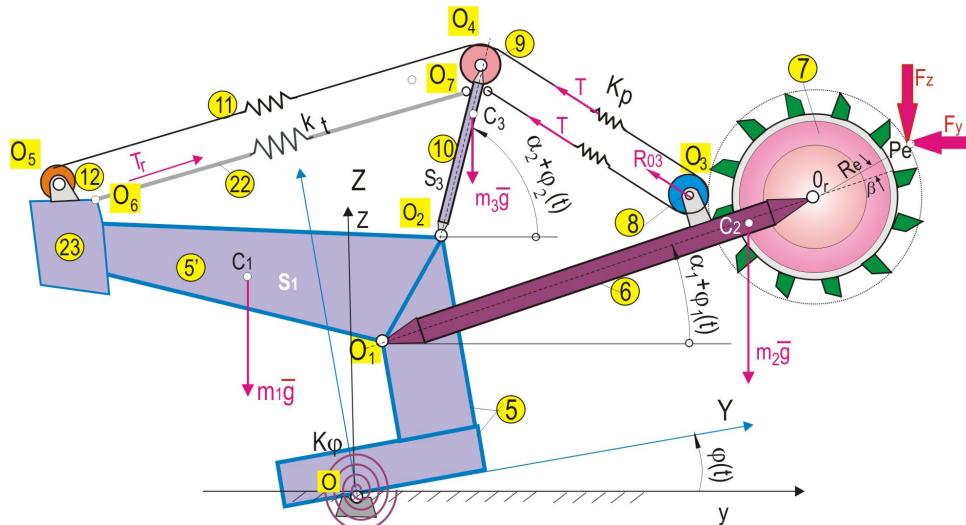


Fig 2.8 Modelul dinamic simplificat al excavatorului

**cabluri: constante elastice tiranți și palan**

$ac = 6.21 \text{ cm}^2$  aria secțiunii cablului de ridicare

$at = 58.09 \text{ cm}^2$  aria secțiunii cablului tirant

$Ac = ac/10000'$  in  $\text{m}^2$

$At = at/10000$  in  $\text{m}^2$

$E = 2.15 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$

$E_c = 3/8$  modul de elasticitate cablu

$nr = 8$  număr de ramuri pe o înfășurare

$nif = 7.25$  număr de inflexiuni la treceri peste role

$dr = 2Rp = 1.175 \text{ m}$  diametru role

$li = \pi \times dr \times nif / 2$  lungimea cablului înfășurat pe rolele palanului

$\alpha_2 = 56 \times \pi / 180'$  înclinație catarg

$Yo5 = -25.2$ ;  $Zo5 = 21.8'$  coordonate axa tambur cablu(5)

$Yo6 = -20.7$ ;  $Zo6 = 20.8'$  coordonate punctului de ancorare O6 tirant

$a7 = 13.5$ ;  $b7 = 1'$  coordonate locale punct de ancorare O7, tirant pe catarg

$Y_{O7} = Yo6 + a7 \cos(\alpha_2) - b7 \sin(\alpha_2)$

$Z_{O7} = Zo6 + a7 \sin(\alpha_2) + b7 \cos(\alpha_2)$

$DY = Y_{O7} - Yo6$ ;  $DZ = Z_{O7} - Zo6$

$|O_6O_7| = \sqrt{DY^2 + DZ^2}$  distanța între punctele  $O_6$  și  $O_7$  de prindere a tirantului

$k_{tr} = \frac{EcAt}{|O_6O_7|}$  constanta elastică a tirantului

$DY_f = a7 \sin(\alpha_2) + b7 \cos(\alpha_2)$

$DZ_f = -a7 \cos(\alpha_2) + b7 \sin(\alpha_2)$

$f_1 = \frac{DY \times DY_f + DZ \times DZ_f}{|O_6O_7|}$ ;  $f_2 = 0$ ;  $f_3 = -f_1$

$[K_{tt}] = 2k_{tr} \begin{bmatrix} f_1f_1 & f_1f_2 & f_1f_3 \\ f_2f_1 & f_2f_2 & f_2f_3 \\ f_3f_1 & f_3f_2 & f_3f_3 \end{bmatrix}$   $[K_{tr}] = 2.573 \times 10^9 \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$  N/m ← matrice rigiditate tiranți

$a_3 = 28.3$ ;  $b_3 = 3.7$   $a_4 = 14.6$ ;  $b_4 = 0$  ← coordonatele locale ale articulațiilor O3 și O4

**Șirul de matrice pentru 100 poziți  $\alpha_1$  ale brațului de la  $-25^\circ$  la  $+25^\circ$**

$j=0\dots 100$

$$\alpha_{i,j} = \left( -25 + \frac{j}{2} \right) \frac{\pi}{180} \leftarrow -25 \leftrightarrow +25$$

$$Y_{O3,j} = Y_{O1} + a_3 \cos(\alpha_{i,j}) - b_3 \sin(\alpha_{i,j})$$

$$Z_{O3,j} = Z_{O1} + a_3 \sin(\alpha_{i,j}) + b_3 \cos(\alpha_{i,j})$$

$$Y_{O4} = Y_{O2} + a_4 \cos(\alpha_2); \quad Z_{O4} = Z_{O2} + a_4 \sin(\alpha_2)$$

$$DY_j = Y_{O3} - Y_{O4}; \quad DZ_j = Z_{O3} - Z_{O4}$$

$$|O_3O_4|_j = \sqrt{DY_j^2 + DZ_j^2}$$

$$DY_3f_j = a_3 \sin(\alpha_{i,j}) + b_3 \cos(\alpha_{i,j})$$

$$DZ_3f_j = -a_3 \cos(\alpha_{i,j}) + b_3 \sin(\alpha_{i,j})$$

$$DY_4f_j = a_4 \sin(\alpha_2); \quad DZ_4f_j = -a_4 \cos(\alpha_2)$$

$$DY_3f1_j = -DY_3f_j; \quad DZ_3f1_j = -DZ_3f_j;$$

$$DY_4f1 = 0; \quad DZ_4f1 = 0; \quad DY_3f2 = 0; \quad DZ_3f2 = 0;$$

$$DY_4f2 = -a_4 \sin(\alpha_2); \quad DZ_4f2 = a_4 \sin(\alpha_2)$$

$$e1_j = \frac{DY_j (DY_3f_j - DY_4f) + DZ_j (DZ_3f_j - DZ_4f)}{|O_3O_4|}$$

$$e2_j = \frac{DY_j (DY_3f1_j - DY_4f1) + DZ_j (DZ_3f1_j - DZ_4f1)}{|O_3O_4|}$$

$$e3_j = \frac{DY_j (DY_3f2_j - DY_4f2) + DZ_j (DZ_3f2_j - DZ_4f2)}{|O_3O_4|}$$

$$DY_{4-5} = Y_{O4} - Y_{O5}; \quad DZ_{4-5} = Z_{O4} - Z_{O5}$$

$$|O_4O_5| = \sqrt{(DY_{4-5})^2 + (DZ_{4-5})^2}$$

$$Lt_j = |O_4O_5| + nr |O_3O_4|_j + \frac{nr}{2} nf$$

$$kp_j = 2 \frac{acEc}{Lt_j} nr$$

$$[Kp_j] = kp_j \begin{bmatrix} e1_je1_j & e1_je2_j & e1_je3_j \\ e2_je1_j & e2_je2_j & e2_je3_j \\ e3_je1_j & e3_je2_j & e3_je3_j \end{bmatrix} \Leftrightarrow \text{matrice rigiditate palan}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2; \quad Y_{C,1} = -13.057 \quad Z_{C,1} = 15.035$$

$$Y_{C,2} = 26 \quad Z_{C,2} = .5 \quad Y_{C,3} = 11 \quad Z_{C,3} = 0$$

$$[k_g(\alpha_{i,j})] = -g \begin{bmatrix} mZ_{C1} + m_2Z_1 + m_3Z_2 & 0 & 0 \\ 0 & m_2(-Y_{C2} \sin \alpha_{i,j} + Z_{C2} \cos \alpha_{i,j}) & 0 \\ 0 & 0 & m_3(-Y_{C3} \sin \alpha_2 + Z_{C3} \cos \alpha_2) \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} M_{g_{-\varphi}} \\ M_{g_{-\varphi 1}} \\ M_{g_{-\varphi 2}} \end{cases} = -g \begin{cases} m_1 Y_{c1} + m_2 Y_1 + m_3 Y_2 \\ m_2 (Y_{c2} \cos \alpha_{1,j} - Z_{c2} \sin \alpha_{1,j}) \\ m_3 (Y_{c3} \cos \alpha_2 - Z_{c3} \sin \alpha_3) \end{cases}$$

$$[J(\alpha_{1,j})] = \begin{bmatrix} J_0 + J_{2-1} + J_{3-1} & M_{S_{201}}(Y_1 \cos \alpha_{1,j} + Z_1 \sin \alpha_{1,j}) & M_{S_{302}}(Y_2 \cos \alpha_2 + Z_2 \sin \alpha_2) \\ M_{S_{201}}(Y_1 \cos \alpha_{1,j} + Z_1 \sin \alpha_{1,j}) & J_2 & 0 \\ M_{S_{302}}(Y_2 \cos \alpha_2 + Z_2 \sin \alpha_2) & 0 & J_3 \end{bmatrix}$$

$$[K_\varphi] = k_\varphi \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \Leftrightarrow k_\varphi \approx 6 \times 10^9 \text{ Nm/rad rigiditate zona rulment plan}$$

$[K_j] = [K_\varphi] + [K_{tr}] + [Kp_j] + [K_g(\alpha_{1,j})]$  matricea de rigiditate a ansamblului la poziția  $\alpha_{1,j}$  a brațului

$[C_j] = c_r [K_j]$  matricea de amortizare proporțională cu  $c_f=0.001$

### 2.2.2.2 ANALIZA MODALĂ A SISTEMULUI

$$[J(\alpha_{1,j})]\{\ddot{\Phi}\} + [C_j]\{\dot{\Phi}\} + [K_j]\{\Phi\} = \{0\}; \quad \{\Phi\} = \{\varphi \quad \varphi_1 \quad \varphi_2\}^T$$

REZOLVARE PRIN **MathCad**

- Se dă poziția unghiulară  $\alpha$  a brațului

- Se determină indicele  $j := 2(\alpha + 22)$

- Se notează  $m0 := [J(\alpha_{1,j})]; \quad c0 := [C_j] \quad k0 := [K_j]$

- Se formează matricele  $m01 := \text{stack}(m0, \text{zer}); \quad k01 := \text{stack}(k0, k0)$

$$m02 = \text{stack}(\text{zer}, -k0); \quad k02 = \text{stack}(k0, \text{zer})$$

$$\text{zer} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$m = \text{augment}(m01, m02); \quad k = \text{augment}(k01, k02)$$

- Vectorul valorilor proprii  $\lambda = \text{genvals}(-k, m)$

- Vectorul propriu  $v = \text{genvecs}(-k, m)$

- Vectorul valorilor proprii la  $\alpha_{1,j}=0$   $\frac{\lambda}{2\pi} = \begin{cases} -0.0007 + 0.4778i \\ -0.004 + 1.1191i \\ -0.0834 + 5.151i \end{cases}$

- Vectorul frecvențelor proprii la  $\alpha_{1,j}=0$   $\text{Im}\left(\frac{\lambda}{2\pi}\right) = \begin{cases} 0.4778 \\ 1.1191 \\ 5.151 \end{cases} \text{ Hz}$

Din numeroasele teste experimentale pe care le-am efectuat asupra excavatoarelor tip ERC 1400 din bazinul Gorj, (Capitolul 4), în figura 2.9 se prezintă vibrograma unui semnal  $u_{RA}(t)$  al reacției  $R_A(t)$ , în reazimul A (fig.2.6.c), semnal înregistrat în regim de frânare ridicare braț, în poziție orizontală, la  $\alpha_1=0^0$ . Spectrul Fourier al semnalului  $u_{RA}(t)$  (fig.2.10) relevă trei vârfuri la frecvențele 0,47, 1,13 și 5 Hz, apropiate valoric frecvențelor proprii calculate prin intermediul modelului dinamic simplificat 0.4778, 1.1191 și 5.151 Hz.

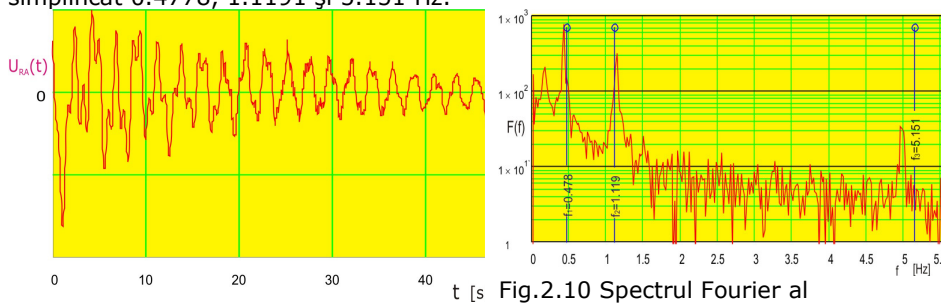


Fig. 2.9 Vibrograma semnalului  $U_{RA}(t)$ , al reacției  $R_A$  (fig.2.6) în reazimul A

Fig.2.10 Spectrul Fourier al semnalului  $U_{RA}(t)$ ,

Tabel 2.2 Valori ale frecvențelor proprii  $f_1$ ,  $f_2$  și  $f_3$  și ale factorilor de amortizare  $\eta_1$ ,  $\eta_2$  și  $\eta_3$ , pentru un șir de valori ale poziției unghiulare  $\alpha_1$  ale brațului, cuprinse între  $-25^0$  și  $25^0$

$\alpha_1$ [ $^0$ ]	MODUL 1	MODUL 2	MODUL 3	Observații
	$\lambda_1/2\pi=-\eta_1+f_1i$	$\lambda_2/2\pi=-\eta_2+f_2i$	$\lambda_3/2\pi=-\eta_3+f_3i$	
	Hz			
-22	-0.0007+0.4844i	-0.003+0.9719i	-0.0673+4.6275i	
-20	-0.0007+0.4841i	-0.0031+0.9849i	-0.0685+4.6669i	
-18	-0.0007+0.4838i	-0.0031+0.9979i	-0.0697+4.7076i	
-16	-0.0007+0.4833i	-0.0032+1.0111i	-0.071+4.7498i	
-14	-0.0007+0.4828i	-0.0033+1.0244i	-0.0723+4.7936i	
-12	-0.0007+0.4823i	-0.0034+1.0377i	-0.0736+4.8389i	
-10	-0.0007+0.4816i	-0.0035+1.0511i	-0.0751+4.886i	
-8	-0.0007+0.4809i	-0.0036+1.0646i	-0.0766+4.9349i	
-6	-0.0007+0.4802i	-0.0037+1.0782i	-0.0782+4.9857i	
-4	-0.0007+0.4794i	-0.0038+1.0918i	-0.0798+5.0386i	
-2	-0.0007+0.4786i	-0.0039+1.1054i	-0.0816+5.0936i	
<b>0</b>	-0.0007+0.4778i	-0.004+1.1191i	-0.0834+5.151i	<b>BRAȚ ORIZONTAL</b>
2	-0.0007+0.4769i	-0.004+1.1328i	-0.0854+5.2109i	
4	-0.0007+0.4761i	-0.0041+1.1465i	-0.0875+5.2735i	
6	-0.0007+0.4752i	-0.0042+1.1602i	-0.0896+5.339i	
8	-0.0007+0.4743i	-0.0043+1.1739i	-0.092+5.4076i	
10	-0.0007+0.4734i	-0.0045+1.1876i	-0.0944+5.4796i	
12	-0.0007+0.4725i	-0.0046+1.2013i	-0.097+5.5551i	
14	-0.0007+0.4716i	-0.0047+1.2149i	-0.0998+5.6345i	
16	-0.0007+0.4707i	-0.0048+1.2284i	-0.1028+5.718i	

18	-0.0007+0.4699i	-0.0049+1.2418i	-0.106+5.806i	
20	-0.0007+0.469i	-0.005+1.255i	-0.1094+5.8985i	
22	-0.0007+0.4681i	-0.0051+1.268i	-0.113+5.9959i	
24	-0.0007+0.4673i	-0.0052+1.2807i	-0.1169+6.0981i	
25	-0.0007+0.4668i	-0.0052+1.2869i	-0.119+6.1509i	

În tabelul 2 .2 sunt date valorile frecvențelor proprii  $f_1$ ,  $f_2$  și  $f_3$  și ale factorilor de amortizare modali  $\eta_1$ ,  $\eta_2$  și  $\eta_3$ , pentru un șir de 25 valori ale poziției unghiulare  $\alpha_1$  ale brațului, cuprinse între  $-25^\circ$  și  $25^\circ$ . Pe baza acestora în figurile 2.11 a,b,c s-au trasat grafic curbele de variații ale frecvențelor proprii  $f_1$ ,  $f_2$  și  $f_3$ .

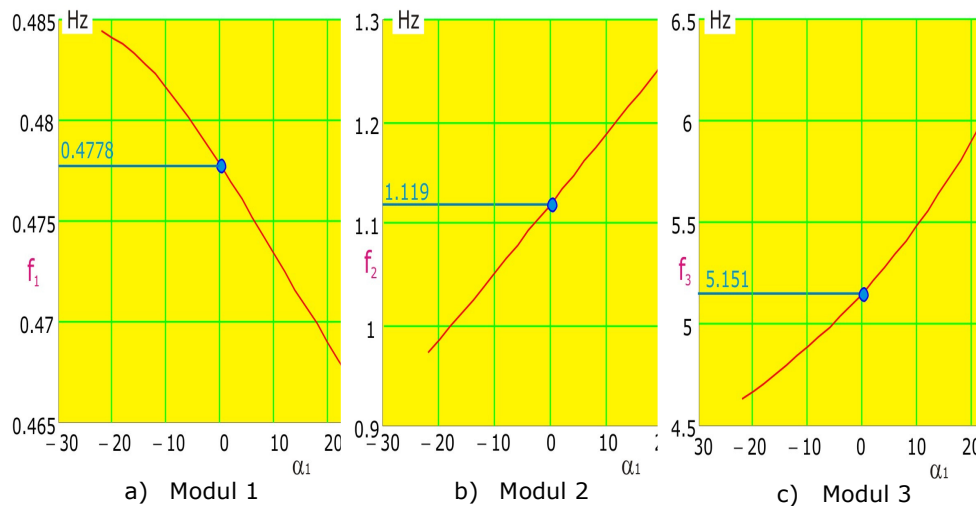


Fig. 2.11 Variațiile frecvențelor proprii ale modelului dinamic al excavatorului funcție de poziția unghiulară  $\alpha_1$  a brațului

După cum se observă din graficele figurilor 2.11, frecvența  $f_1$  a primului mod scade valoric în raport cu creșterea valorii  $\alpha_1$ . Astfel, în poziția cea mai de jos a brațului, la  $\alpha_1 = -22^\circ$ ,  $f_1 = 0.4844$  Hz în poziția orizontală la  $\alpha_1 = 0^\circ$ ,  $f_1 = 0.4778$  Hz și în poziția cea mai de sus, la  $\alpha_1 = 25^\circ$ ,  $f_1 = 0.4673$  Hz, rezultând o variație procentuală a frecvenței proprii fundamentale  $f_1$  de 1.363 %.

Pentru celelalte două frecvențe modale  $f_2$  și  $f_3$ , valorile cresc, frecvențele cresc, pentru  $f_2$ , de la 0.9719 Hz ( $\alpha_1 = -22^\circ$ ), la 1.2869 Hz, cu o creștere procentuală de 32.4 %, iar pentru  $f_3$  de la 4.6275 Hz ( $\alpha_1 = -22^\circ$ ), la 6.1509 Hz, cu o creștere procentuală de 24.8 %. Acestea se explică prin influența rigidității palanului a cărei variație funcție de poziția unghiulară  $\alpha_1$  a brațului este dată în figura 2.12, care influențează puternic valorile frecvențelor proprii  $f_2$  și  $f_3$ , lucru observat și experimental.

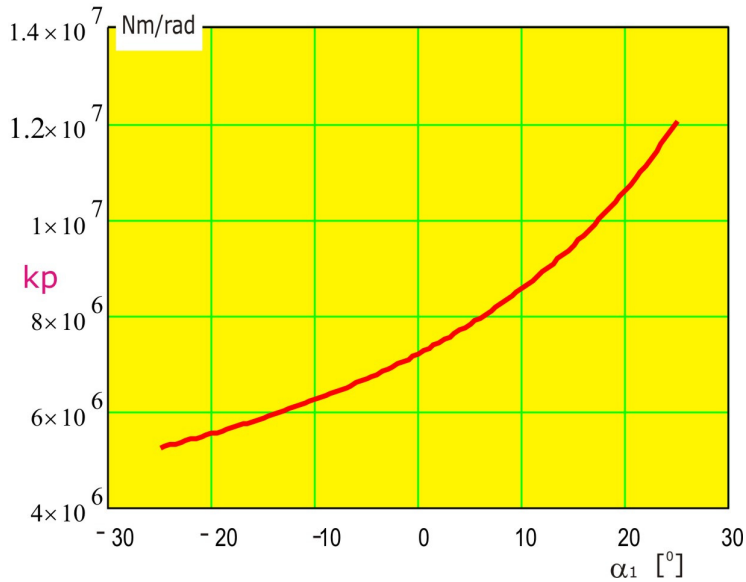


Fig. 2.12 Variația rigidității palanului funcție de poziția unghiulară  $\alpha_1$  a brațului

De asemenea, scăderea valorii frecvenței proprii  $f_1$  a primului mod se explică tot prin intermediul creșterii rigidității palanului, o rigiditate mai mare a palanului făcând ca forța de legătură  $R_{O_3}$  dintre braț și palan să crească, astfel că cele trei substructuri pentru primul mod aproape să se rigidizeze, iar ca o consecință frecvența proprie  $f_1$  să varieze foarte puțin, cu numai 1.363 %.

În cele de mai sus se demonstrează utilitatea unui astfel de model, care poate fi luat în considerare pentru o strategie de amplasare a unui sistem senzorial de monitorizare continuă a structurii excavatorului.

La fel se poate proceda și în cazul altor structuri cum sunt mașinile de haldat și de scos din depozit. Pe lângă ajutorul dat în alegerea optimă a sistemului senzorial de supraveghere a utilajului, modelul permite și simularea comportării dinamice la diverse excitații, așa cum este simularea excitației prin excavație prezentată prin programul din Anexa 2.1.



### 3. Parcurusul informației de la senzor în fișierul calculatorului

În acest capitol vom exemplifica cazul sistemului de monitorizare dezvoltat împreună cu firma Datronic. Vom arăta care este parcurusul informației prin toate blocurile electronice și echipamentele din internet până ajung sub formă de fișier în calculator. Deasemenea vor fi punctate toate problemele apărute și modul de rezolvare a lor .

#### 3.1. Schema de principiu.

În figura 3.1 este redată schema de principiu a echipamentului realizat. Echipamentul poate fi împărțit în patru module cu funcționalitate distinctă : partea de procesare electronică a semnalului de la timbrele tensometrice, partea de achiziție numerică , modulul care furnizează reperul de timp, partea de transmitere a informației în internet și partea de comandă a primelor 4 module enumerate.

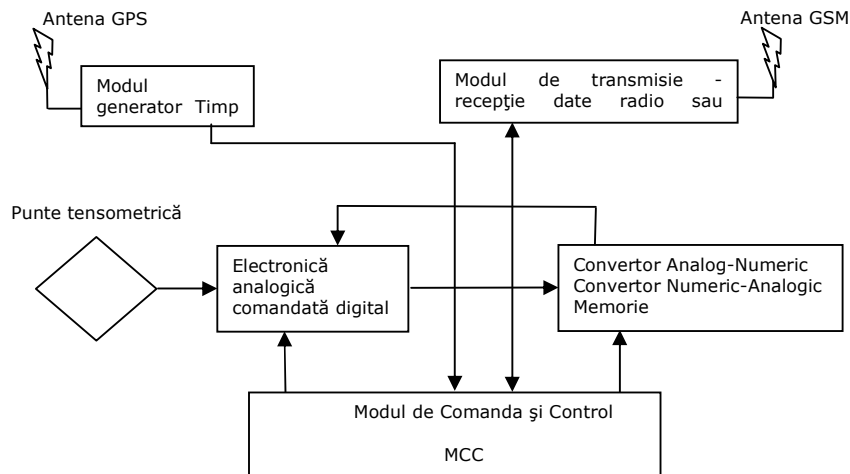


Fig. 3.1 Schema de principiu a unui sistem de achiziție și transmitere de date pentru timbre tensometrice.

O achiziție similară ar putea fi făcută în mod clasic cu un lanț de echipamente compuse din cel puțin un calculator (ilustrată în figura 3.3). O astfel de soluție față de cea prezentată de noi, pe lângă dimensiuni, costuri și consum energetic mult mai mari ar avea în principiu nevoie și de un operator pentru că și în condițiile de automatizare a programului orice blocare a sistemului de operare sau setări la placa de achiziție trebuie local realizate de un operator.

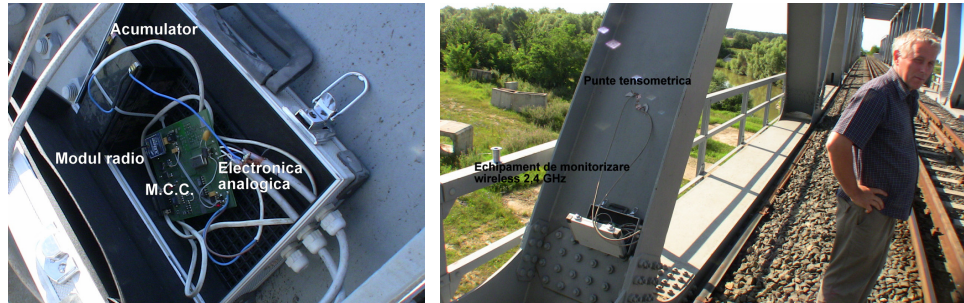


Fig. 3.2 Echipament de monitorizare wireless 2,4 GHz instalat pe un pod de cale ferată

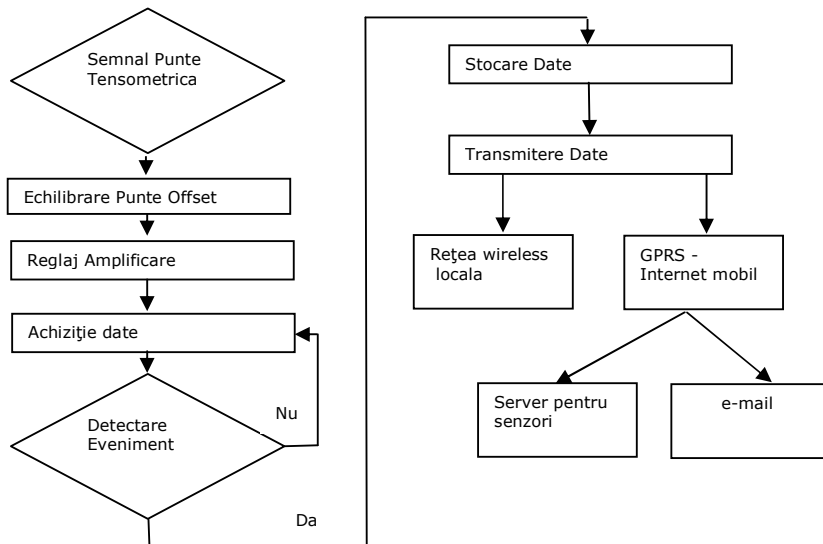


Fig. 3.3 Schema globala de circulatie a informatiei in echipament

Sistemul propus poate fi setat de la distanță și practic a luat de la sistemul clasic doar părțile strict necesare nefiind astfel nevoie de un sistem de operare, ci doar de programul care deservește punctual toate părțile din echipament.

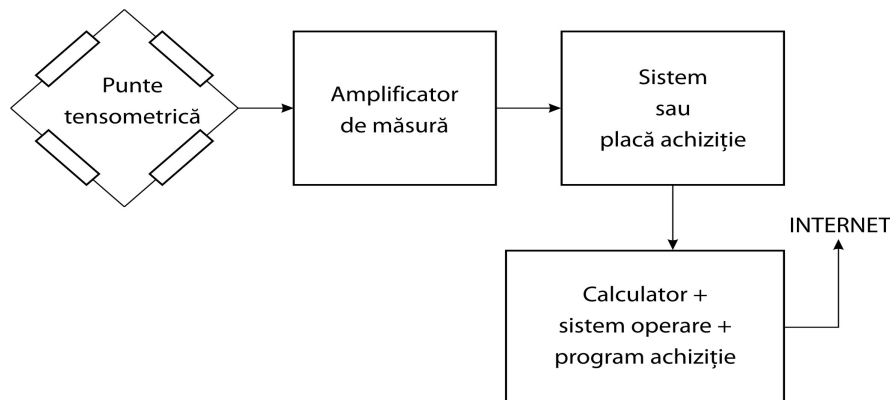


Fig. 3.4 Sistem clasic de măsură pentru timbre tensometrice

Ca și prezentare generală , pentru a putea realiza setarea de la distanță și scalarea automată, inclusiv blocul de electronică analogică este controlat numeric. Fără aceasta posibilitate nu ar putea fi realizat funcțional un astfel de sistem. Sistemul are ca intrare o punte tensometrică, iar blocul electronic care preia această punte are rolul de a transforma variațiile punții în semnal suficient de mare și cât mai fidel cu aceste variații pentru al doilea bloc al echipamentului.

Acesta din urmă, numit bloc de conversie numerică a informației și de stocare a datelor obținute , transformă semnalul analogic rezultat în informație numerică. Stocarea acestei informații trebuie corelată cu un reper de timp universal altfel datele provenite de la mai multe astfel de sisteme nu ar putea fi corelate. Tot în acest bloc se rezolvă partea de setare care permite și punților neechilibrate să poată fi măsurate și de asemenea detectează evenimentele care merită să fie înregistrate din punct de vedere mecanic.

Următorul bloc, blocul de timp universal are ca principal scop obținerea unui reper de timp universal acceptat , am ales ca acesta să fie UTC, recepția acestuia este realizată prin satelit cu un cost modic.

Blocul de transmitere a datelor are propriul procesor , el primind de la modulul de comandă și control doar informația brută și la cine trebuie trimisă . Partea de conexiune, sincronizarea în timp cu celelalte dispozitive , etc. Sunt în treaba procesorului intern al acestui bloc.

Și în final, dar cel mai important este modulul de comandă și control , care este un microcontroler împreună cu programul pe care îl rulează . Acesta face toate setările pentru celelalte module , stabilește toate succesiunile și pentru rezolvarea anumitor situații intervine în schimbarea ordinii lucrurilor .

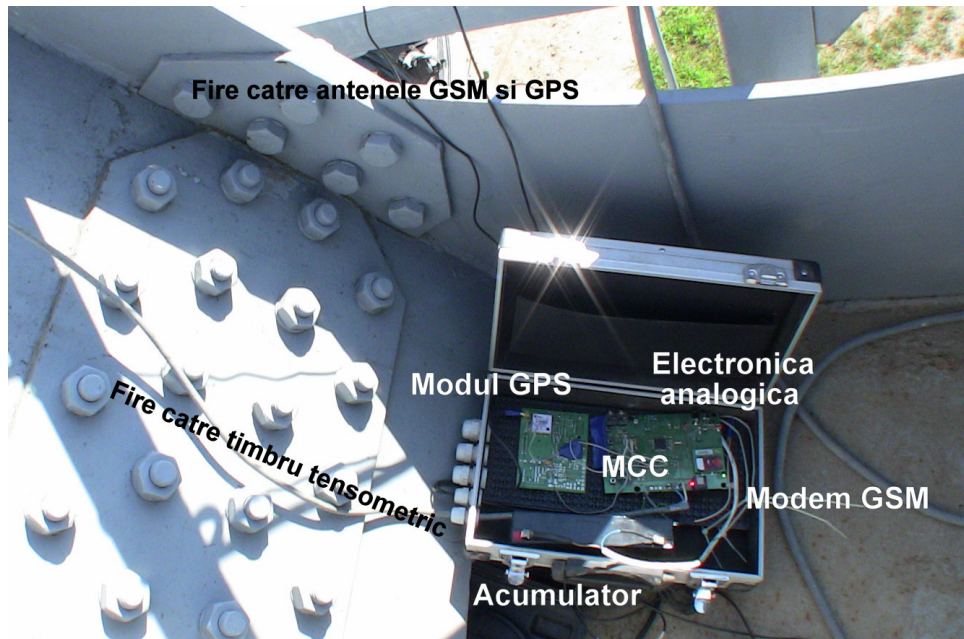


Fig. 3.5 Echipament de monitorizare prin rețeaua GSM

Pe parcursul subcapitolelor urmatoare se vor prezenta la nivel mai amănunțit atât funcțional cât și ca soluții adoptate pe fiecare bloc în parte.

### 3.1.1 Considerații despre consumul de energie al echipamentului

Toate echipamentele de măsură sau monitorizare trebuie să fie proiectate astfel încât pe durata funcționării să aibă asigurată energia necesară. În cazul celor insulare cum e și în cazul acesta, care nu pot fi alimentate de la rețeaua de energie, s-au folosit acumulatori. În cazul măsurărilor continue acumulatorii sunt suficienți pentru 3-4 ore. Pentru a prelunge durata de funcționare o rutină pune întregul sistem în stand by și îl readuce la funcționare pentru detectarea evenimentelor. În funcție de densitatea acestora, cu o astfel de rutină implementată, durata de funcționare până la epuizarea acumulatorului poate fi de ordinul zilelor. Soluția pentru funcționare pe durata nelimitată este folosirea panourilor solare de dimensiuni mici care pot asigura încărcarea acumulatorului.

### 3.2 Partea de amplificare electronică

Fără a intra în detalii despre puntea tensometrică ca și traductor, măsurarea forțelor și momentelor se realizează prin efectul produs de acestea asupra timbrului tensometric. Această întindere produce o variație infimă a rezistenței timbrului tensometric. În principiu, blocul electronic ar trebui să transforme variația de rezistență a timbrului în variație de tensiune de un nivel acceptabil intrării într-un sistem de măsură digital. Metoda cea mai practică este legarea timbrului în punte. Tensiunea obținută la ieșirea punții va fi proporțională cu tensiunea de excitație a punții și de deformarea timbrului.

În literatura de specialitate este abordată pe larg această problemă , recomandarea autorului este pentru poziția [1] din bibliografie. Ca și concluzie întinderea materialului sau schimbarea rezistenței unuia din timbre poate fi generată și de alți factori decât parametrul pe care dorim să-l măsurăm (forță sau moment) . Una din preocupări a fost, ca partea electronica să elimine cât se poate de mult toate efectele secundare care pot apărea și care suprapuse peste efectul parametrului mecanic dorit a fi măsurat poate cauza erori. În continuare vom detalia aceasta abordare.

### 3.2.1. Cauze de erori și soluțiile adoptate pentru reducerea acestora

În cazul unei punți tensometrice blocul electronic preia o tensiune foarte mică . Cu cât tensiunea de excitație este mai mare cu atât și răspunsul în punte va fi mai mare. Dar un efect al unei tensiuni mari de excitație este creșterea curentului în timbre . Căldura degajată crește cu pătratul curentului și este proporțională cu valoarea rezistenței timbrului. Această căldură se disipă și direct pe fața nelipită a timbrului și prin materialul pe care este lipit timbrul . Cert este că și în condiția necesară ca timbrele să fie compensate termic cu materialul pe care se aplică, cantitatea de căldură creată de tensiunea de excitație a timbrelor duce la modificarea rezistenței acestora și poate genera erori de măsurare.

Pentru a reduce la minim aceste erori ar trebui folosită o tensiune de excitație a punții cât mai mică , dezavatajul este că și tensiunea de răspuns în acest caz este mică. Pentru un sistem de monitorizare care trebuie să supravegheze timp îndelungat o variație cauzată de căldura generată de timbre precum și consumul energetic mai ridicat, ne-a condus ca să ajungem la folosirea unei tensiuni de excitație de 2.5 Volt. Cum am arătat căldura degajată este proporțională cu tensiunea de excitație dar este invers proporțională cu valoarea nominală a timbrelor. Deci ca și recomandare este folosirea timbrelor de rezistența nominală mai mare.

Al doilea aspect considerat pentru a obține rezultate de precizie este cel provenit din microtensiunile electromotoare generate de realizarea lipirilor electrice . Între echipamentul de măsură și timbrul lipit pe material trebuie făcută o conexiune cu fire. Aceste fire și legăturile dintre ele trebuie să aibe stabilitate electrică , este cunoscut că efectul triboelectric este sesizabil în cadrul măsurătorilor tensometrice. Singura soluție este folosirea de cabluri care prezintă un minim pentru acest efect. A doua problemă din acest enunț este cea legată de lipiturile electrice. Timbrele sunt făcute dintr-un material electric care să genereze o variație cât mai mare la alungirea lui. Pentru a face legătura cu firele timbrului, de regulă se folosește un suport izolator peste care este lipită o folie de cupru. Pe aceasta folie pot fi lipite atât firele care vin de la modulul electronic cât și firele timbrelor. Lipirea se face cu aliaj de lipit în mare parte staniu.



Fig. 3.6 Amplasarea timbrelor tensometrice pe bughiul șenilelor

Toate aceste materiale, cupru , staniu precum și cel din care este făcut timbrul tensometric când sunt lipite împreună produc propriile microtensiuni electrice care sunt uneori comparabile cu cele produse de variația timbrelor. Soluția pentru a elimina aceste microtensiuni este alimentarea punții în curent aternativ , soluție care am adoptat-o și pentru acest sistem. Pe partea de conversie analogica s-au observat îmbunătățiri semnificative prin aplicarea celor două soluții prezentate mai sus.

### 3.2.2 Soluții pentru reglajul de nul

Din motive tehnologice timbrele sunt realizate fizic cu valori nominale ce diferă într-o gama de ordinul procentelor. Deci, ca o primă concluzie , nici o punte tensometrică nu poate fi perfect echilibrată. O altă situație se prezintă atunci când lipirea timbrelor se face pe porțiuni de metal care sunt în stare netensionată, iar măsurătorile încep după ce materialul ajunge într-o stare tensionată considerată ca fiind de referință. În acest ultim caz se poate întâmpla ca tensiunea de ieșire a punții și plaja ei de variație să fie deja în afara domeniului de intrare pentru amplificatoarele din blocul electronic. În astfel de condiții o așa zisă tragere în poziția de nul este necesară. Pentru a realiza echilibrarea punții , având un control digital asupra părții electronice, cea mai la îndemână soluție este folosirea unui convertor numeric-analogic care să funcționeze ca un potențiomtru de offset. Din câteva încercări ieșirea punții poate fi poziționată la mijlocul scalei de măsura . În figura de mai jos este prezentată schema principală de rezolvare a acestei probleme.

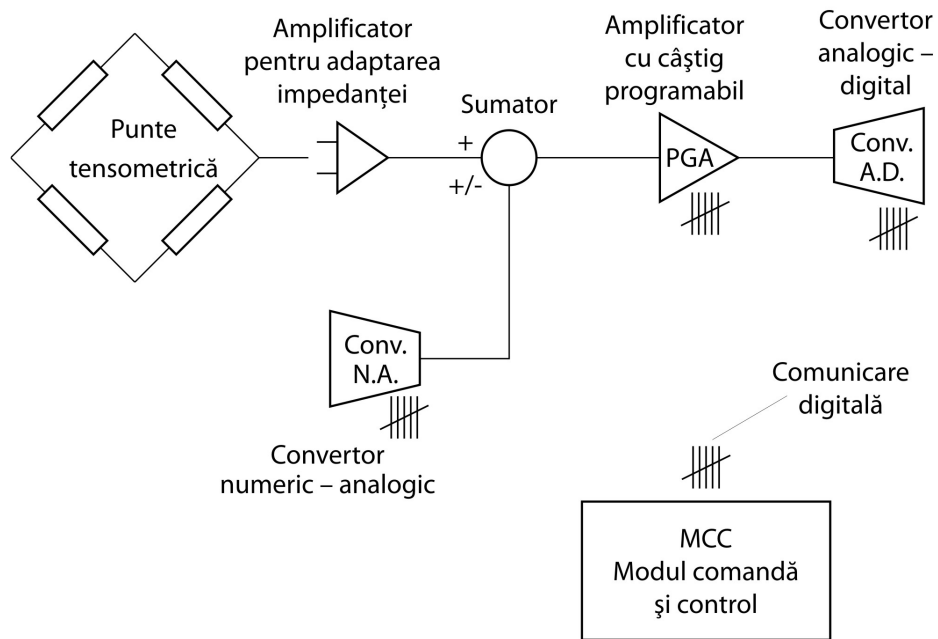


Fig. 3.7 Rezolvarea offsetului în mod digital

Odată offsetul realizat, semnalul este transmis amplificatoarelor diferențiale știind sigur că semnalul va fi în plaja de intrare. Nerealizarea corectă a offsetului poate produce pierderi ale vârfurilor oscilațiilor.

La nivel funcțional realizarea offsetului se face într-o buclă logică figurată mai jos și este prima buclă realizată de modulul de comandă și control MCC .

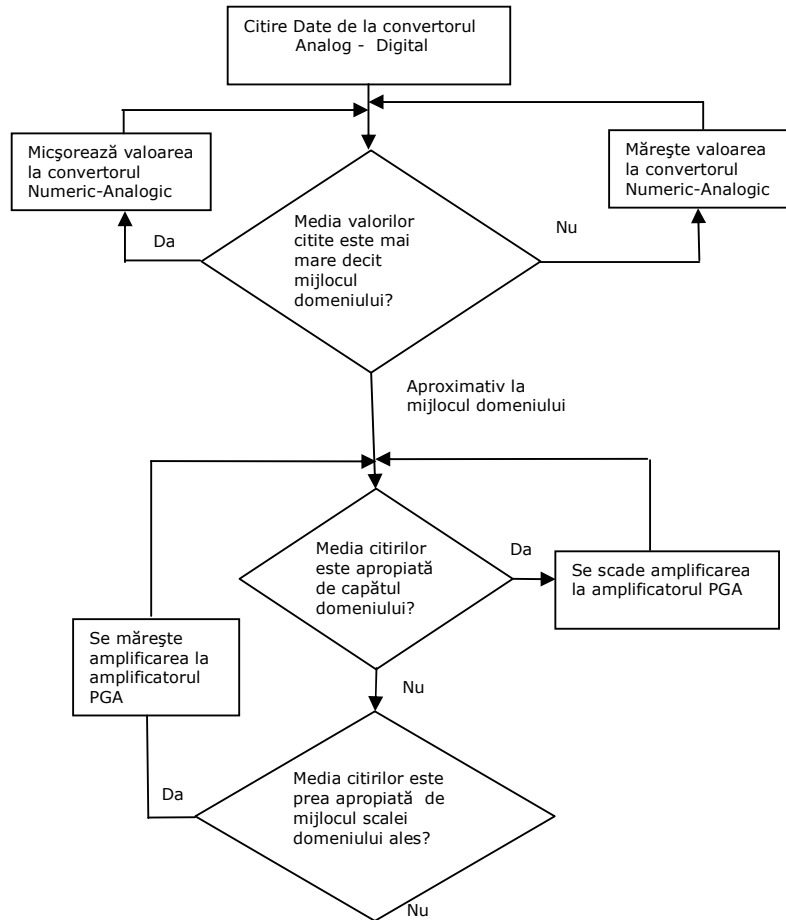


Fig. 3.8 Bucla de reglaj al offsetului

MCC-ul citește ieșirea de la convertorul analog-numeric. În cazul cel mai defavorabil și anume atunci când ieșirea punții determină ca la ieșirea operaționalelor acestea să fie în limitare, la ieșirea convertorului analog-numeric MCC-ul citește ca fiind unul din capetele de scală și comandă CNA-ul în sensul aducerii valorii în zona de mijloc. Operațiunea se repetă ciclic până când poziționarea intrării în operaționalul de măsură corespunde cu o valoare situată în apropierea mijlocului intervalului de măsură. Această operațiune se face în câteva zecimi de secundă. Setarea de offset se poate face în orice moment fiind controlată de MCC, dar conjunctura în care se face trebuie notată fiind un punct de referință în măsurătoare. Situațiile în care se poate folosi reglajul de offset, în afară de momentul pornirii sistemului de achiziție, sunt prezentate mai jos.

În cazul monitorizărilor de lungă durată, trebuie corelată fuga nulului cu factorii externi. Este cunoscut și încă neexplicat punctual științific că în cazul măsurătorilor mecanice există o variație de până la 5% pusă pe seama condițiilor meteo. Deci o fuga a nulului în condiții de încărcare constantă doar datorită



variațiilor meteo este foarte posibilă. O alta cauză poate fi apariția unor eforturi care să depășească scala de măsură inițială, caz în care datorită controlului numeric al offsetului nulul punții poate fi programat să „fugă” după semnal în așa fel încât acesta să nu iasă din scală. Convertorul numeric-analogic fiind suficient de precis toate mișcările de offset pot fi controlate și corelate cu eforturile care le provoacă.

Din punct de vedere electronic implementarea unei astfel de soluții înseamnă un control riguros al valorilor de offset . Cu alte cuvinte dacă se efectuează măsuratori de ordinul nanovoltilor, atunci și offsetul dacă se schimbă trebuie să prezinte precizii similare . Această problemă a fost rezolvată prin folosirea unor referințe de tensiune foarte precise. Principalul inamic al electronicii de precizie este fuga cu temperatura . Pentru că în cazul electronicii analogice combinate cu parte digitală este nerelevant exactitatea unei valori , este mai important reproductibilitatea ei în timp și variația cu temperatura. În cazul nostru nu am încercat să găsim referințe de tensiune exact de 2.50000 volt, ci ne-am focusat pe găsirea unei surse cu cea mai mică fugă termică pentru ca etalonarea față de o referință de mare precizie putea fi memorată de MCC, dar deriva termică este mult mai greu de controlat.

Astfel s-a găsit o referință de tensiune de 5 ppm derivă termică. O discuție care nu o detaliem ci doar o menționăm la nivel de principiu , mai mult pentru a arată încă odată influența factorilor externi, este importanța realizării corecte a cablajului imprimat pentru componentele electronice folosite în echipamente de mare precizie. Spre exemplu în cazul acestei surse producătorul a pus la dispoziție un studiu în care arată cauzele deviațiilor cauzate de temperatura. Una dintre ele este legată de faptul că dilatarea mecanică a cablajului pe care este lipită piesa diferă de cea a piesei , diferența ducând la o tensiune mecanică aplicate picioarelor de prindere a piesei pe cablaj. Această tensiune se transmite structurii de semiconductor din care este realizată referința și aceasta generează deviații ale tensiunii de ieșire. În mod uzual toate referințele de tensiune au tăieturile în semiconductor făcute cu lasere de mare precizie, dar forțele aplicate picioarelor se transmit într-o oarecare măsură și semiconductorului și afectează această dimensiune care generează constanta tensiunii de ieșire. Este arătat în studiul comparativ cum reacționează piesele dispuse de-a lungul sau de-a latul cablajului sau în funcție de dispuneri , la mijloc sau în colțuri. Concluzia studiului este că referința să fie dispusă pe cablajul electronic într-un loc cât mai izolat în care eforturile mecanice cauzate de diferențele de temperatura , fixarea în locașul cutiei sau oricare alte cauze să fie cât mai mică . Ideal este realizarea unei peninsule de cablaj care astfel nu preia eforturile care pot apărea .

### 3.2.3 Soluții pentru autoscalarea domeniului de măsură

Ca la orice aparat de măsură primul lucru este setarea unui domeniu de măsurare. De multe ori acest lucru este greu de estimat în cazul măsurilor tensometrice. Spre exemplu în cazul determinării centrelor de greutate la echipamentele miniere , dacă centrul de greutate este situat la nivelul metrilor față de axa de rotație, atunci semnalul este de ordinul milivoltilor și poate fi relativ ușor măsurat. Cu cât centrul de greutate este mai aproape de axa de rotație, excursia semnalului la o rotire completă este din ce în ce mai puțin vizibilă, teoretic ea nu există dacă centrul de greutate este exact pe axa de rotație. În cazuri din acestea echipamentele trebuie să perceapă și cea mai mică deviație. Prima soluție dar și cea mai înșelătoare este amplificarea semnalului. O prezentăm aici pentru că experimental s-a încercat și această soluție, dar cu rezultate mult mai proaste decît

soluția finală. Ca la orice amplificare este amplificat tot, și semnalul util și zgomotul. Chiar și folosirea unor amplificatoare operaționale cu factor foarte mare de rejecție rezolvă parțial problema. Din încercările făcute, bazându-ne și pe domeniul de frecvențe în care am dorit să intrăm adică frecvențe joase, cea mai bună metodă este folosirea convertoarelor analog-numerice tip sigma-delta. Acestea au avantajul că în mod uzual se fabrică în variante de 24 biti, adică domeniul de măsură poate fi împărțit teoretic în aproximativ 16 milioane de intervale distincte.

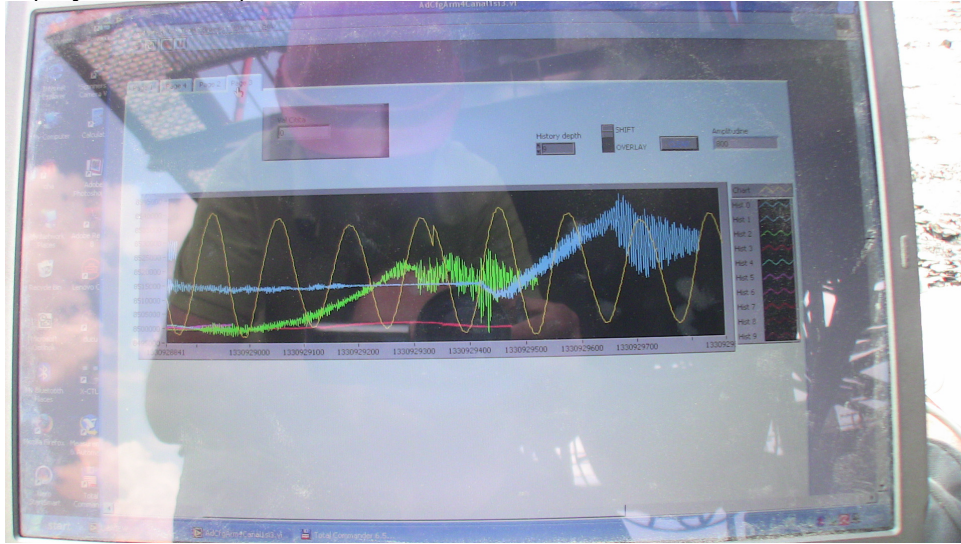


Fig. 3.9 Vizualizarea înregistrărilor

Ca o paranteză, în cazul PSD-urilor (Position sensing devices) care sunt foarte sensibile la lumină, lumina ambientală provocând offseturi uriașe, pentru a compensa (zicem noi elegant) aceasta, am folosit convertoare sigma-delta pe 48 biti.

Astfel chiar dacă în mod util folosim doar a zecea, a suta sau a mia parte din interval, semnalul achiziționat este încă reprezentat în suficiente intervale pentru a fi considerat util la prelucrările ulterioare.

Foarte important este de avut la îndemână o astfel de soluție pentru evenimente unice în care eforturile pot fi cu greu estimate și astfel deformările timbrelor nu se cunosc. Din experiența acumulată gama maximă (eforturi uzuale) am stabilit-o la nivelul de  $\pm 80$  mV/V, iar gama minimă la nivelul  $\pm 10$  mV/V, iar nivelurile intermediare le-am obținut prin folosirea amplificatoarelor cu amplificare controlată digital. Cu siguranță aceasta gama nu acoperă întreaga deformare elastică dar pe gama minimă cu convertoare sigma-delta de 24 biti am reușit să surprindem toate efectele de care am fost interesați la toate măsurătorile efectuate în ultimii 4 ani.

O comparație a unui semnal mic achiziționat printr-un convertor de 12 biti comparativ cu unul de 24 biti este redat în desenul de mai jos, exemplul concludent pentru semnal foarte mic.

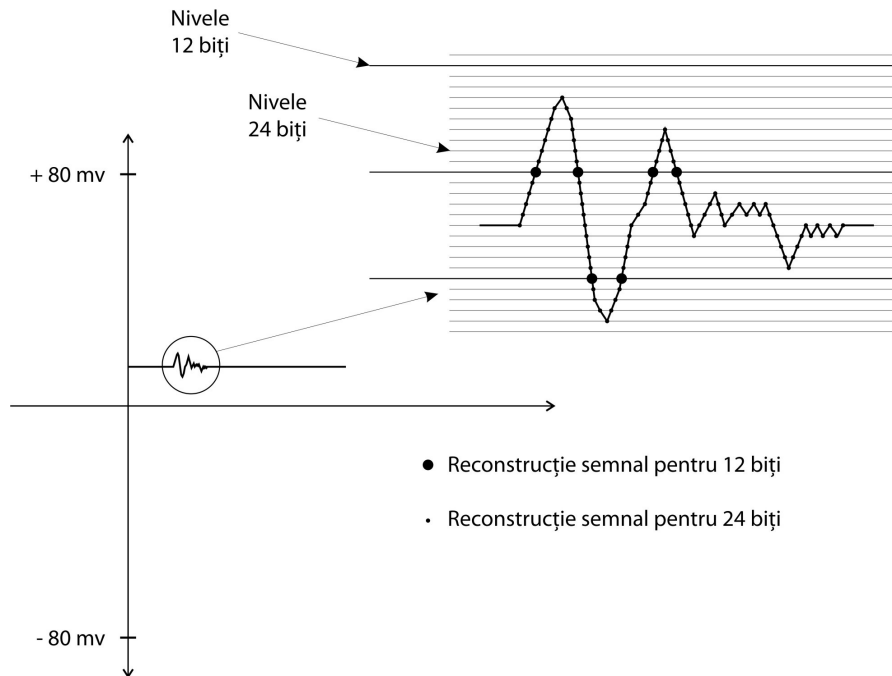


Fig . 3.10 Comparație între achiziția de 12 si 24 biti pentru semnale mici.

Trebuie menționat că nu se pot aplica metode de autoscalare precum cele ale aparatelor de măsură cu autoscalare, care trec foarte rapid din domeniul cel mai extins spre domeniul optim în câțiva pași. Asta pentru că inițierile de conversie nu permit salturi ale amplificatoarelor de intrare decât cu prețul pierderii datelor pe un interval de timp de ordinul zecimilor de secundă sau chiar secunde, timp în care s-ar putea desfășura chiar momentul care interesează.

### 3.3. Achiziția numerică a semnalului

Convertoarele analog numerice se prezintă sub formă de circuite integrate care conțin în interior atât straturi de semiconductori specifice circuitelor analogice cât și specifice circuitelor digitale. Din punct de vedere al proiectării acestor circuite se spune că proiectarea structurilor mixte este cea mai anevoioasă pentru că anumiți parametrii neimportanți pentru partea digitală sunt vitali în partea analogică . Am făcut această remarcă pentru că precizia de măsurare nu este întotdeauna dată de numărul de biti pe care se face conversia și nici de timpul de conversie cum pare la prima vedere. Rejecția și obținerea biților utili neperturbați de zgomot este mai importantă.

Eșanționări de ordinul miilor pe secundă , o rezoluție de măsură cât mai mare, intrare cu capacitor pe intrare care are și proprietăți de filtrare pentru zgomote , iată trei caracteristici importante care au făcut ca cel mai util pentru această aplicație să fie convertoarele de tip sigma-delta.



Fig.3.11 Ecranul de monitorizare pentru mai multe achiziții simultane

După transformarea semnalului analogic în informație aceasta trebuie corelată cu timpul, iar apoi stocată pentru ca după o perioadă de timp dată de rata de eșantionare, o alta valoare va fi reținută. Pentru orice sistem de monitorizare corelarea informației cu timpul este vitală pentru că de cele mai multe ori informația se va analiza în mod offline .

### 3.3.1 Soluții pentru extinderea gamei de măsură.

Așa cum am arătat anterior, un convertor pe mulți biti duce la extinderea gamei de măsură, practic fiecare bit o dublează. În mod uzual , în monitorizări uzuale 12 biti utili ( domeniul de măsura având 4095 de intervale) este considerat suficient. Un convertor de 16 biti are de 16 ori mai multe intervale decât unul de 12 biti, iar unul de 22 biti are de 1024 de ori mai multe . Aceasta este în teorie, dar în realitate trebuie să ne bazăm pe bitii utili , cei care dau o informație neperturbată de zgomot. Chiar dacă am folosit convertoare pe 24 biti , la un semnal așa de mic pentru amplificări mici ale operaționalelor de la intrare am considerat informație utilă doar primi 16-18 biti . Dacă amplificările cresc, atunci bitii utili pot ajunge la ordinul 21-22. Ultimii doi trei biti nu am putut considera că aduc informație reală .

Extinderea bazei de măsură nu este deci un atribut exclusiv al convertorului analog-numeric ci al combinației dintre acesta și convertorul numeric-analogic pentru fixarea offsetului .

### 3.3.2 Mod de achiziție ideală

Achiziția datelor se face la momentul când MCC-ul dă comandă de achiziție. De regulă într-o unitate de timp se fac mai multe măsurători la intervale egale, interval care definește rata de eșantionare. Orice măsurătoare este corelată cu fenomenul care interesează a fi măsurat. În cazul monitorizărilor există două abordări, prima se referă la faptul că oricând se poate vedea valoarea parametrului monitorizat. Operatorul uman care vizualizează parametrul respectiv poate fi atent doar la câțiva parametri în același timp. Practic, datele achiziționate merită să fie stocate doar pentru un interval relativ scurt de timp în acest caz, presupunându-se că operatorul ia decizii în funcție de mărimile vizualizate. Acest mod de monitorizare consumă multe resurse, în primul rând energetice – permanent măsoară și transmite date- și în al doilea rând de costuri, transmisia având o componentă de cost mică dar acumulabilă. În realizarea echipamentului am dorit să reducem cât mai mult costurile de exploatare și am recurs la o altă formă de monitorizare nu înainte de a o optimiza pe cea deja menționată prin introducerea unui pachet de date și de la operator înspre traductor astfel că sistemul transmite date doar la cererea operatorului în modul de monitorizare continuă.

Al doilea mod implementat este bazat pe evenimente și echipamentele au fost proiectate să culeagă informațiile doar puțin înainte și până la terminarea unui eveniment. Evenimentele pot fi definite spre exemplu poate fi considerat eveniment atunci când valorile date de senzor cresc cu un factor față de valorile normale, sau când valoarea efectiv măsurată depășește un anumit prag sau scade sub un altul. În cazul monitorizărilor la podul de cale ferată am calculat media unui număr setabil de înregistrări consecutive, medie ce este calculată permanent. În momentul la care valorile citite cresc peste această medie și sunt mai mult de un anumit număr din nou setabil, atunci considerăm că avem un eveniment ce merită înregistrat. Înregistrarea și transmiterea evenimentelor are două avantaje: reduce semnificativ costurile și scutește operatorul uman în a parcurge toate înregistrările pentru a detecta ce anume îl interesează. Este adevărat că se pot pierde și lucruri semnificative sau interpretabile dar avantajele în acest mod de achiziție sunt ideale.

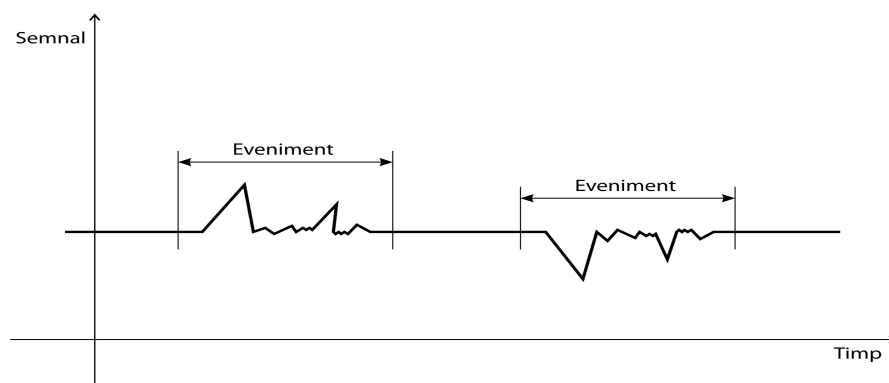


Fig 3.12 Modul de achiziție bazat pe evenimente

Modul de achiziție ideal este acela prin care reușim să captăm absolut toată informația, nu numai evenimentele, ci și evoluția în timp a comportării banale. El poate fi implementat și strict electronic dar la acest moment nu este un cip care să genereze singur datele așa cum sunt explicate mai jos. Implementarea poate fi făcută cu o serie de comparatoare și circuite sample/hold urmate de multiplexoare care să livreze semnalul de achiziționat către convertoarele analog numerice. Avantajul ar fi că un astfel de mecanism permite achiziționarea cu rată variabilă de eșantionare. Folosind un convertor ultrarapid același efect se poate obține prin eliminarea componentelor nedorite cu ajutorul unui software.

Principiul este inversul trasării unui grafic prin puncte. Dacă folosim cel mai mic caroiaj pentru redarea evoluției unei mărimi în timp, atunci trebuie să stabilim care este valoarea unității din caroiaj. Suprapunând un grafic, la toate trecerile prin liniile de caroiaj orizontal se înregistrează valoarea și timpul corespunzător perechile de valoare-timp putând reda variația mărimii. La implementarea unei astfel de metode se elimină foarte multe din datele achiziționate clasic când semnalul nu prezintă variații semnificative rezultând o micșorare a volumului de date obținut.

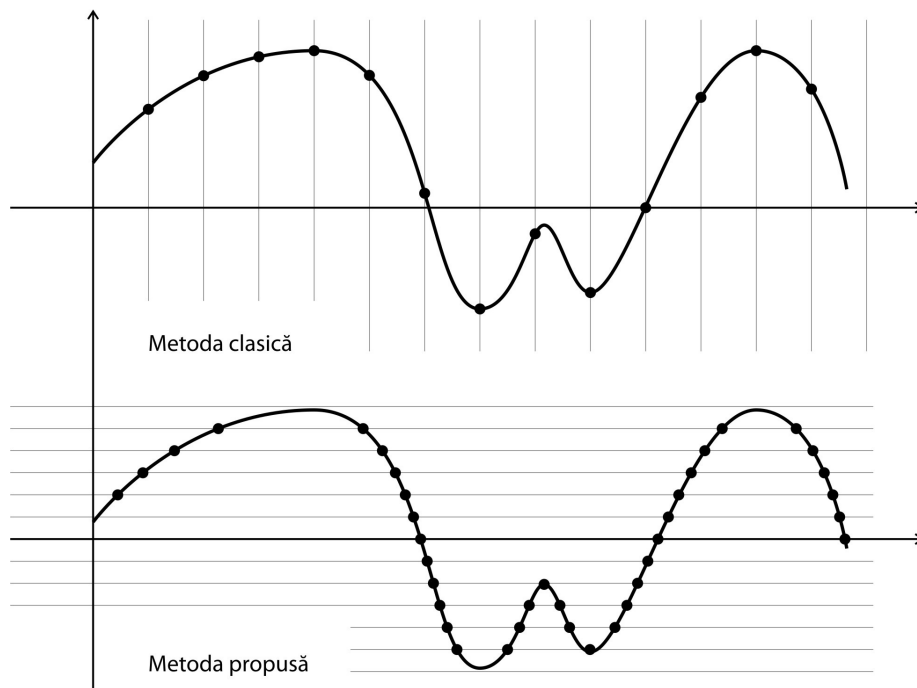
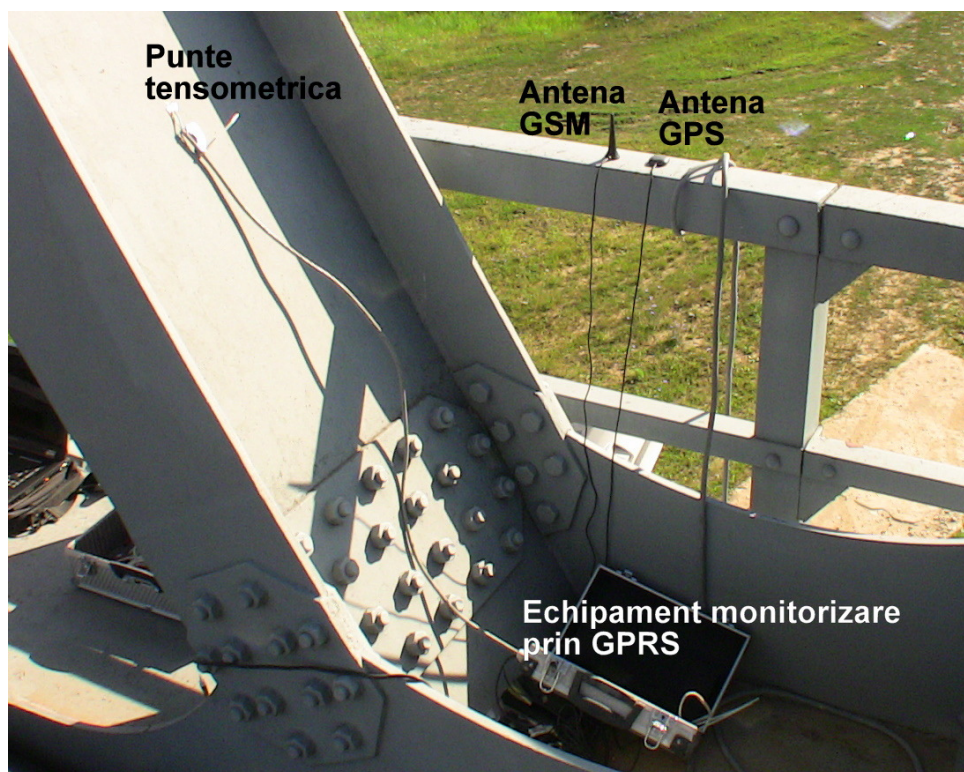


Fig. 3.13 Comparăție între metoda clasică și cea propusă

### 3.3.3 Corelarea informațiilor cu timpul

În marea majoritate a formulelor și a reprezentărilor grafice găsim timpul. Totul este raportat la timp și cu toate acestea este o simplă setare în orice

măsurătoare, setarea care stabilește de regulă rata de eșantionare. Fiecare sistem de achiziție are propria referință de timp, iar precizia ei este dată de precizia oscilatorului sistemului. În mod greșit este o percepție că acest parametru este cel mai ușor de măsurat. La echipamente de mare precizie, unde stampila de timp trebuie să aibe o precizie foarte mare, se folosesc oscilatoare de precizie corespunzătoare exigențelor. Cel mai mare dușman al oscilatoarelor este temperatura, ele variază cu temperatura în gama părților pe milion pentru cele mai performante (care include compensare termică) și zeci sau sute de ppm pe grad Celsius pentru cele uzuale. Cu alte cuvinte, dacă stabilim un moment ca baza timpului obținerea de eșantioane se face cu o precizie acceptabilă la orice nivel pentru măsurători de ordinul secundelor sau minutelor. Dar pe măsură ce trec orele încep să apară întârzieri de ordinul secundelor la un anumit număr de zile. Astfel că pentru monitorizarea mai multor parametri care sunt citiți de sisteme diferite, timpul unui sistem va diferi de cel al echipamentului vecin.



O soluție pentru rezolvarea acestei probleme este o resincronizare a tuturor echipamentelor la un interval de timp la care erorile generate de dispersia preciziei oscilatoarelor să nu fie supărătoare. Această problemă a apărut încă de la primele ceasuri electronice cu quartz. Și mai toate calculatoarele o prezintă dacă nu ar fi setarea de sincronizare care în sistemul de operare Windows se face zilnic. Sunt deja cunoscute ceasurile (foarte ieftine) cu sincronizare radio, în Europa sistemul de sincronizare de la Frankfurt transmite cu o putere de 50kW și este detectabil pe o

rază de aproape 2000 km. Frecvența pe care este transmis este de aproximativ 77 kHz , un receptor pentru o astfel de frecvență ar trebui să conțină o bobină pe o ferită ca și antenă. Trebuie menționat pentru că este o metoda de sincronizare, impulsul se deplasează cu viteza luminii. În cazul în care am module plasate în Europa care s-ar sincroniza în acest mod, diferența timpului unuia față de celalalt ar fi de maxim o jumătate de sutime de secundă.

Cum vorbim de module de achiziție care se pot conecta la internet putem folosi metoda care o folosesc mai toate sistemele de operare ale calculatoarelor . Există servere conectate la ceasul atomic care furnizează timpul exact. Ziulnic, la o oră prestabilită pentru fiecare calculator în parte , sistemul de operare lansează o cerere de informație asupra orei exacte care este primită în câteva milisecunde și ora este corectată în ceasul electronic al calculatorului care se bazează tot pe un oscilator cu quartz. Precizia este de ordinul zecilor de milisecunde sau mai mare , cauza fiind că statistic cererile la un astfel de server primesc răspuns nu în mod identic ca și întârziere, iar pachetul de date suferă datorită traseului sau prin nodurile de internet prin care trece, o anumită întârziere care poate fi determinată doar statistic. Pentru noi ca utilizatori, un ceas sincronizat cu restul lumii la nivel de sutime de secundă este mai mult decât acceptabil .

Soluția ideală ar fi ca toate modulele dintr-un sistem de monitorizare să fie sincronizate perfect. Aplicația imediată ar fi studiul undelor seismice . Iar sursa ideală ar fi ceasul atomic. Acesta poate fi recepționat prin intermediul sateliților GPS. Una din ultimele standarde în telefonie mobilă de generație 3G numita TD-SCDMA (Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access) impun o sincronizare foarte strictă a pachetelor de date între stațiile de transmitere. Precizia care o folosesc este obținerea orei exacte cu incertitudine de a cincisprezecea miliardime dintr-o secunda folosind anumiți receptori de semnal GPS dedicați nu atât aflării poziției ci a timpului exact. Orice receptor GPS furnizează informația de timp , acuratețea uzuală fiind de ordinul zecilor de nanosecunde. Un astfel de receptor cu capacitatea de a prelucra și undele reflectate (poate funcționa și în interiorul clădirilor) este similar ca preț cu un oscilator compensat termic de mare precizie, adică între 10 și 20 de euro. Avantajul este că erorile nu se mai propagă .

În ultimii ani timpul universal poate fi obținut la precizie de ceas atomic cu ajutorul unui modu GPS și a unei antene . Ultimele astfel de module sunt așa de sensibile încât prelucrează și undele reflectate și deci pot detecta informația de timp și dacă sunt plasate în interiorul clădirilor. Undele transmise de sateliții GSM care toți sunt perfect sincronizați cu ceasul atomic care generează ora universală, UTC emit înspre pământ cu intensitate foarte mică, comparabilă cu cea a radiației cosmice , antena și electronica aferentă reușesc să extragă semnalul util doar datorită frecvenței foarte precise pe care acesta este transmis.

Astfel am adăugat sistemului nostru un receptor GPS care s-a dovedit foarte util nu numai pentru obținerea timpului dar și pentru aflarea poziției așa cum se va arăta în capitolele următoare.

### 3.3.4 Buffer circular pentru surprinderea începutului evenimentului

Am arătat pîna acum cum achiziționăm mărimile și cum timpul, teoretic avem la acest moment perechile valoare-timp. Am arătat că folosim un sistem de monitorizare bazat pe evenimente pentru a reduce achiziția datelor neconcludente. Vom prezenta exemplul monitorizării podului de cale ferată. Dacă dorim să avem datele doar la trecerea trenului, atunci va trebui să citim în permanentă semnalul de la traductor și prin programul echipamentului să detectăm când avem o încărcare pe



pod . Din acel moment declarăm că avem un eveniment și până nu revine nivelul semnalului la valorile obișnuite, eșantionăm și reținem datele culese.

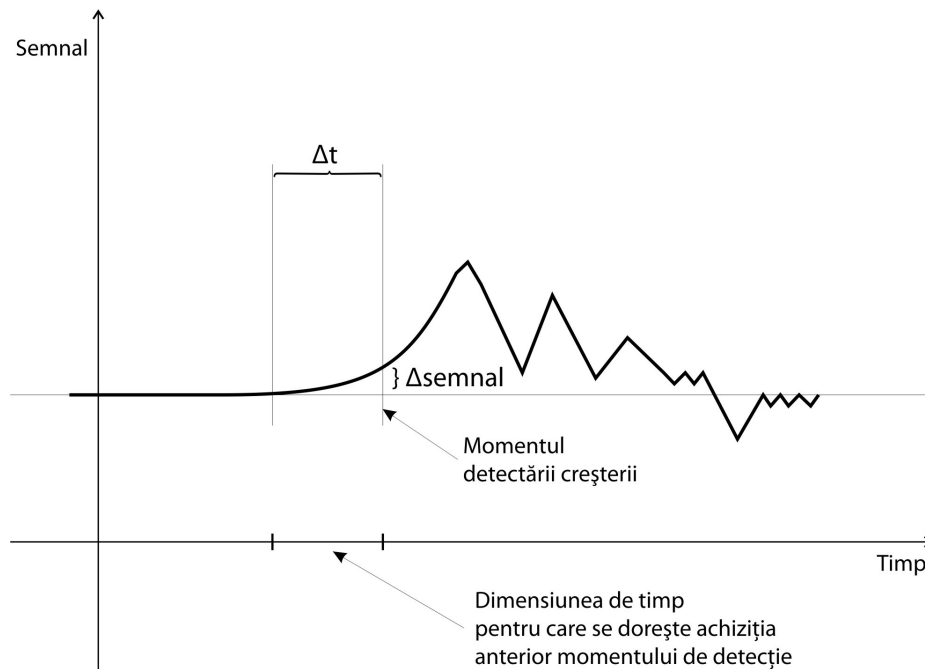


Fig. 3.14 Momentul detectării unei oscilații

Dacă de la acest moment începem să înregistrăm oscilația până când aceasta se stinge măsuratoarea poate fi considerată doar parțial utilă , pierderea începutului furnizează informații importante cum ar fi poziția de plecare a punții (poziția de nul) care comparativ cu momentul terminării oscilației poate da informații importante despre statica podului.

Pentru a nu pierde valorile de început am implementat un așa zis buffer circular, o memorie care pe măsură ce trece timpul se rescrie în așa fel încât cea mai nouă valoare memorată să fie scrisă în locul celei mai vechi valori reținute. Astfel se păstrează ultimele valori măsurate, una fiind lungimea bufferului circular .

La momentul în care am hotărât că avem de a face cu un eveniment , primul lucru este să înghețăm bufferul circular, iar la reconstituirea datelor fișierul să înceapă cu datele din bufferul circular . În acest mod nu se pierde începutul evenimentului, iar redarea evenimentului este redat în contextul de început și sfârșit.

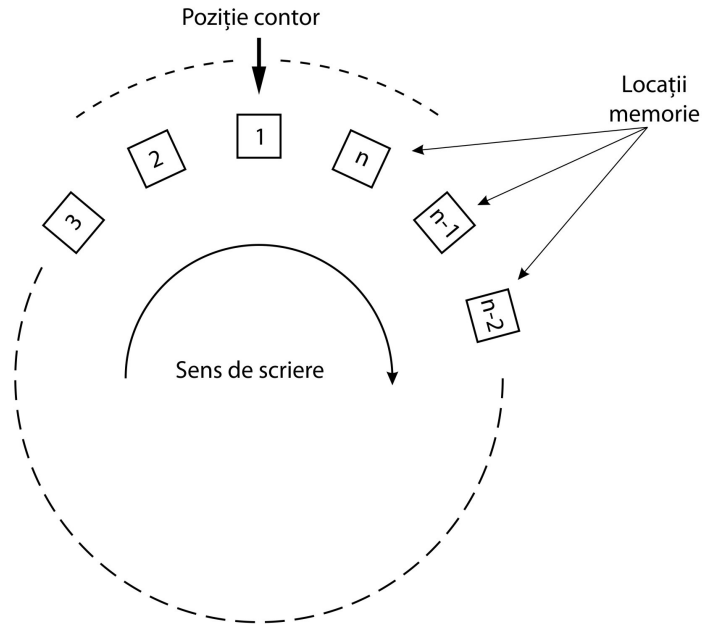


Fig. 3.15 Buffer circular de memorie

În figura 3.15 contorul reprezintă locația de memorie unde se scrie, iar cifrele indică ultima valoare memorată. La următoarea citire a convertorului, datele vor fi scrise în locația unde acum este scrisă a n-a citire, locația cu a n-a citire se va transforma în 1, locația cu prima citire se va transforma în 2, iar locația cu a n-1 citire se va transforma în n. La orice moment bufferul circular redă ultimele citiri.

### 3.3.5 Stocarea locală a datelor

După ce este detectat evenimentul, oprim scrierea în bufferul circular și începem să scriem într-o locație nouă de memorie până când evenimentul se consumă. Evident dacă evenimentul este prea lung și nu am reușit să transferăm mai departe datele, sistemul nu mai citește date noi. La transmiterea datelor în mod wireless folosind o rețea wireless locală, deci nu prin rețeaua de telefonie mobilă, trebuie alocate resurse diferențial în funcție de volumul potențial pe care senzorii s-ar putea să îl genereze. În acest mod și extragerea datelor din sisteme de către locul de depozitare a tuturor datelor nu duce la blocaje cum este cel menționat mai sus. Cu siguranță dacă mai mulți senzori monitorizează o aceeași structură, probabilitatea ca la apariția celor mai defavorabile cazuri cum sunt avariile, toți senzorii să genereze date este maximă. Astfel în proiectarea fluxurilor de date trebuie ținut seama de cel mai dezavantajos scenariu.

Tot legat de posibilitatea ca un senzor să nu poată transmite datele, în situația în care nu este găsită o soluție pentru ca în cel mai dezavantajos caz toți senzorii să transmită, trebuie făcută o alocare de priorități între senzori, astfel ca în caz de congestie de date să aibă prioritate senzorii mai importanți.

Cu aceste considerații, luând în seamă că de regulă pe frecvențele libere unde se face transmiterea avem în cadrul fiecărei frecvențe câteva canale la dispoziție, sunt suficiente posibilități pentru a evita congestiile și implicit pierderea de informație.

Pentru sistemul creat, soluția pe care s-a mers a fost folosirea unui modul de transmitere de date cu procesor propriu. Deja taskurile sistemului de măsură sunt așa de multe că ar fi fost inefficient ca același microcontroler să rezolve și problema comunicației care va fi detaliată în capitolele următoare. Astfel pe măsură ce se strâng date cauzate de un eveniment MCC-ul livrează datele părții de transmisie, iar acesta își face treaba înștiințând MCC-ul doar dacă datele au fost corect transmise. În acest fel MCC-ul doar trebuie să aibă evidența blocurilor de date trimise și odată ce acestea au fost trimise cu succes poate să folosească respectivul bloc la înregistrarea altor date noi.

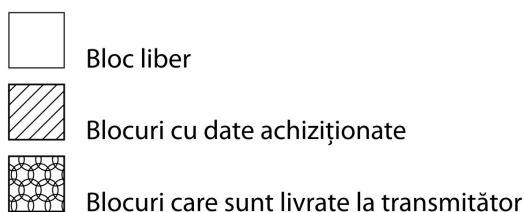
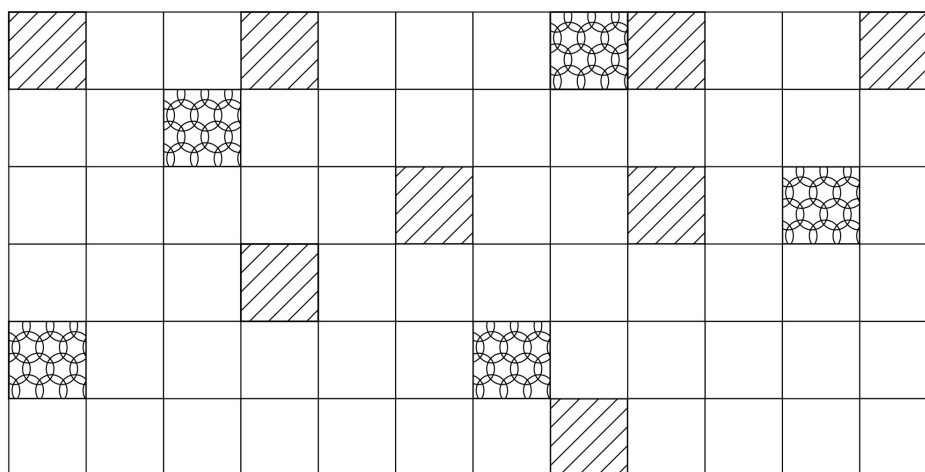


Fig. 3.16 Gestionarea blocurilor de memorie cu date

Dacă inițial toate blocurile sunt libere, la un moment dat situația poate arăta ca cea din figura de mai sus, unde blocurile ocupate așteaptă să fie transmise de modulul radio, cele care au fost transmise așteaptă să fie confirmate că transmiterea lor a fost efectuată, iar cele care au fost confirmate redevin blocuri disponibile.

Dacă se dorește ca informațiile corespunzătoare evenimentelor să nu fie șterse, se pot utiliza memorii flash de mare capacitate existând astfel o copie permanentă a datelor achiziționate și transferate. Se poate seta ca atunci când respectivul card de memorie a ajuns să fie plin peste un anumit procent să fie șterse

cele mai vechi fișiere corespunzătoare celor mai vechi înregistrări astfel ca întotdeauna să avem păstrate cele mai noi înregistrări.

### 3.4 Transmiterea datelor în mod wireless

Modul de transmitere a datelor fără fir a devenit în ultimii ani o modă , nu întotdeauna o necesitate. Așa cum am arătat în introducere, în cazul de față necesitățile practice au condus la acest studiu, dar începem cu această afirmație ca să marcăm faptul că peste tot în jurul nostru sunt transmisii radio generate de oameni. Calitatea și volumul datelor transmise sunt uneori mai bune decât la transmisile pe fir, marele dezavantaj asupra cărora studiile sunt abia la început este efectul radiațiilor asupra mediului și a omului. Dacă firul duce exact la destinatar transmisia wireless se propagă peste tot în raza de acțiune. Deci dacă privim din punct de vedere al destinatarului cu siguranță că vom fi în raza de acțiune a mai multor expeditori nu numai a celui dorit a fi recepționat. Fără a intra în detalii trebuie amintite modalitățile prin care o transmisie nu interferează cu altele.

În acceptul general prin transmiterea de date wireless se înțelege mai mult folosirea undelor electromagnetice ca suport fizic pentru transmiterea datelor în cadrul rețelelor locale de calculatoare cunoscute ca WLAN sau WIFI, iar în cazul conectării a două dispozitive între ele prin Bluetooth. Acest gen de transmitere a datelor este răspândit din cauza numărului mare al echipamentelor care posedă fizic posibilitatea de a se conecta în acest fel. Cu o răspândire din ce în ce mai mare sunt modemurile care folosesc rețeaua de telefonie mobilă și care au fost create pentru a oferi abonaților conexiune la internet mobil. În ultimii 3-4 ani, s-a pus la punct standardul echivalent al unei rețele de citire a senzorilor , așa numita rețea Zig-Bee al cărei scop a fost crearea de rețele ( similare cu rețelele locale wireless ale calculatoarelor) pentru senzori . Și nu în ultimul rând trebuie amintite modemurile de date capabile să se conecteze în mod punct la punct sau punct -multipunct disponibile pe frecvențele libere.



Fig 3.17 Citirea datelor folosind un laptop si receptor wireless

WLAN	54 Mbps	30 m
Bluetooth	2 Mbps	9m
Zig-Bee	250 Kbps	75 Metrii
Modem	1 Mbps	300 Metrii
GPRS	56 Kbps	INCOMPARABIL aproape în toate zonele locuite
	Rată de transfer	Rază de acțiune

Fig. 3.18 WLAN, Bluetooth, Zig-bee GSM, Modem PP-PMP

Limitările și performanțele în cadrul conexiunilor wireless se referă la distanța de conectare, numărul de echipamente conectabile și traficul maxim specific fiecărei rețele. În figura de mai sus am schițat acești parametri. Nu vom intra în detaliu, dar trebuie amintit că fiecare tehnologie în parte folosește moduri de împachetare a datelor diferite și cu diferite tipuri de modulații. Este important de cunoscut acest mod pentru că în anumite cazuri, anumite frecvențe devin indisponibile datorită multitudinii de echipamente ce sunt situate în același spațiu fizic și folosesc aceleași moduri de transmitere a datelor, caz în care partea radio poate interfera.

În cazul transmisiilor digitale WIFI și Bluetooth, apare un management al transmisiilor care scade traficul de date individual al fiecărui participant din zona fizică, în care toți participanții au acces astfel încât rețelele să funcționeze totuși. În cazul GSM, la încărcarea excesivă a unor celule încep să intre prioritățile prin eliminarea serviciilor de date în favoarea celor de voce, iar în cazul modem-urilor, folosirea a două transmisiilor în același spațiu fizic cu aceeași frecvență duce la interferențe care pot definitiv compromite transmiterea de date. Pe măsură ce sistemul este mai evoluat și mai cunoscut a fost supus standardizării, iar producătorii care respectă standardizarea au echipamente care și funcționează cu rezultate foarte bune în medii considerate poluate electromagnetic.

Așa cum vom arăta în continuare echipamentele realizate pentru măsurarea și monitorizarea parametrilor mecanici combină anumite facilități de la unele standarde pentru a îndeplini condițiile impuse.

### 3.4.1. Realizarea unei rețele locale wireless pentru senzori pentru parametrii mecanici

La abordarea unui astfel de subiect răspunsul trebuie să pornească de la definirea modului de folosire. În cazul abordării noastre, structurile de analizat au fost metalice localizate în medii izolate. Asta pentru că amplasarea timbrelor se face pe metal, iar firele de legătură între electronică și timbre au trebuit să fie cât mai scurte. Dezavantajul transmiterii din interiorul unei structuri metalice este că o bună parte din radiație se pierde, aceasta fiind absorbită de structură. Din punct de vedere al transmisiei radio randamentul scade datorită faptului că impedența antenei în interiorul structurilor metalice se schimbă, iar energia emisă devine oricum mai mică. Soluția găsită pentru trecerea peste această problemă a fost folosirea unor emițătoare și receptoare mai puternice. Pentru amplasări de lungă durată ar trebui făcută o monitorizare a undelor transmise și reflectate de structuri cu scopul de a se încerca o reconfigurare a antenei pe impedența ideală, transferul de energie fiind maxim dacă impedența de ieșire a circuitului electronic este identică cu cea a antenei. Având în vedere că în majoritatea cazurilor am lucrat pe structuri mobile sau la poduri, unde trenurile treceau relativ aproape de electronică, o soluție ar fi amplasarea antenelor într-un loc cât mai puțin influențabil. Acest lucru se poate face mai degrabă prin testări decât prin calcule sau alte măsurători.



Fig. 3.19 Amplasarea echipamentelor în cazul măsurătorilor simultane pentru 2 mărimi

Cum am spus în cazul nostru am avut de a face cu locuri izolate. Față de un laborator sau un institut unde sunt multe rețele WLAN active, mediul a fost mai puțin poluat din punct de vedere electromagnetic. Cu cât structurile sunt mai mari și trebuie mișcate cu atât partea de acționare este mai puternică. În funcție de vechimea utilajelor acționările electrice ale acestora sunt cu atât mai mari generatoare de șocuri electromagnetice cu cât vechimea acestora este mai mare. Pornirea și oprirea invertoarelor, cuplarea și decuplarea anumitor acționări creează mari perturbații în comunicarea radio. Perturbațiile au două cauze determinate experimental. Partea de emisii de unde cu spectrul larg care poate duce la bruierea comunicării radio este prima cauză și este relativ mică. Folosirea echipamentelor cu emisie suficient de puternică și rejecție destul de bună, adică un buget de sensibilitate + putere în dB cât mai mare poate să asigure o calitate foarte bună a transmisiei radio și devine imună la această perturbație. O putere prea mare folosită pentru transmiterea datelor induce efecte nedorite pe partea de măsură. Sistemul de timbre și firele de legătură chiar ecranate fiind la depășirea unor puteri ale radiației acționează ca o antenă și microtensiunile induse pot provoca erori foarte mari de măsură. Această situație am observat-o la folosirea unor puteri de emisie de ordinul wattilor.

A doua cauză apare datorită mediului electromagnetic total ostil de la tensiunile de alimentare aflate pe platformele miniere. Acesta se poate propaga pe

partea de alimentare a echipamentelor radio injectând armonii superioare provenite de la choperele electronice de pe platformă, care se traduc pe partea de radio de la funcționări aleatorii până la oprirea transmisiei radio din cauza injectării de prea mult zgomot prin partea de alimentare.

Ca o primă concluzie ostilitatea mediului nu provine de la densitatea de echipamente care folosesc transmisii radio ci de la mediu puternic poluat electromagnetic datorat acțiunilor electrice de mare putere . Ca și soluție generală fiecare pachet de date în mod impus trebuie verificat dacă este valid sau nu , implementare care se realizează din soft prin folosirea la fiecare pachet a unei sume de control , următorul pachet fiind transmis doar dacă nu este nevoie de retransmiterea celui precedent.

Următoarea considerație luată în calcul este distanța de transmitere. În situațiile în care am avut de transmis date de pe brațul macaralelor sau de pe bughiurile escavatoarelor chiar corelate între ele distanțele până la punctul de recepție a fost de ordinul zecilor de metri. WLAN-urile au prin standard o rază de 30 metri, iar modulele Bluetooth sunt prin standard limitate la 9 metri. Cu siguranță că echipamentele alese pentru a face față transmiterii trebuie să asigure o distanță de ordinul sutelor de metri , aceasta și în condițiile în care o parte din semnal se pierde din cauza structurii metalice.

O a treia considerație este volumul de date . Făcând achiziția pe 24 de biti și mergând la maximum 4 KHz rata de achiziție, rezultă un transfer de peste 12 kbps. Asta în condițiile în care nu se pierd date , fără CRC și doar pentru un singur senzor. Dacă avem de a face cu 30 senzori, iar pe lângă datele efective se dorește transmiterea și separatorilor de date , a stampilelor de timp , a sumelor de control și a unui sistem de comunicare pentru setări între module ajungem cu ușurință la 1Mbps. Pentru a avea nivele ridicate de rate de transfer trebuie folosite frecvențe cât mai înalte. Nu ne-am pus problema folosirii decât a frecvențelor libere puse la dispoziție în acest scop.

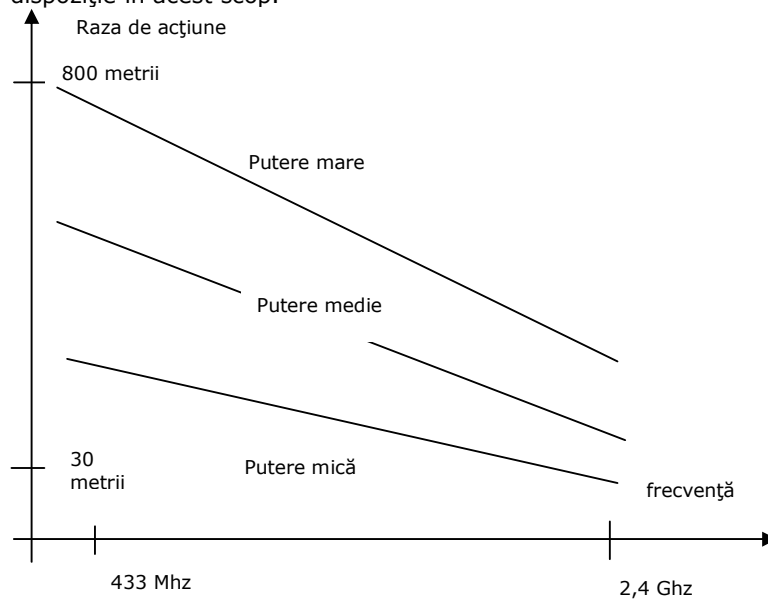


Fig. 3.20 Variația frecvenței cu raza de acțiune

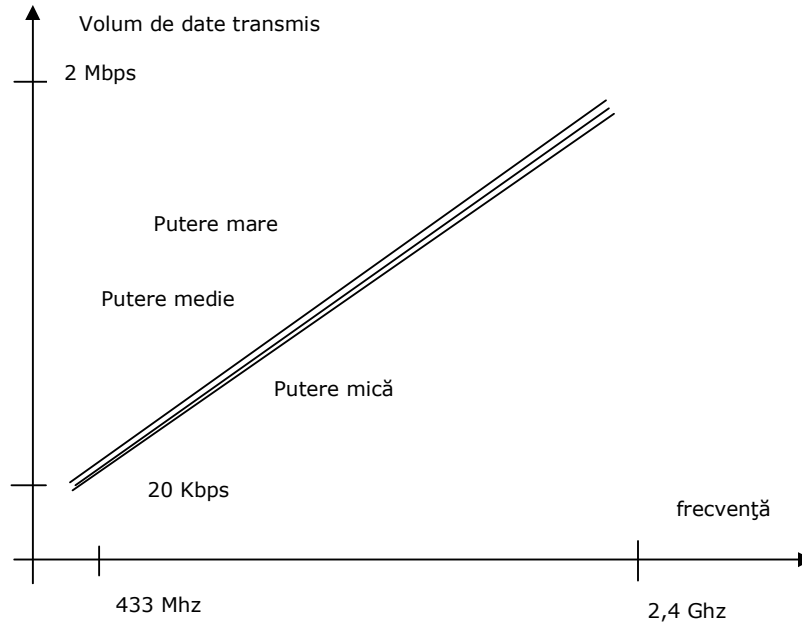


Fig 3.21 Variația frecvenței cu volumul de date transmis

Așa cum se vede, trebuie realizat un compromis între volumul de date și raza de acțiune a transceiverului. Cu cât este mai mică frecvența cu atât bătaia în linie dreaptă crește, dar scade volumul de date. La frecvențe mari putem transmite multe date, dar distanțele sunt mici. Totuși, conform calculului anterior doar frecvența de 2,4 Ghz poate să transporte ratele care solicită o rețea pentru senzorii mecanici pentru suprinderea de mărimi relativ lente.

Din păcate chiar și cu noile specificații din 2007 ale rețelelor ZigBee acestea nu ne sunt de folos (primele au apărut cu un an înainte de începerea acestui studiu în 2004) pentru că o astfel de configurație nu garantează transferuri decât de maximum 250 kbps, ea fiind concepută mai mult pentru senzori care citesc valori medii și a căror durată de viață la nivelul unei încărcări (pentru senzorii izolați) să fie de ordinul anilor. Dacă am fi acum în situația la care s-a cerut realizarea unei monitorizări „statice” probabil că aceasta ar fi soluția. La acest moment încă nu există un standard care să aducă împreună achiziția wireless a surselor generatoare de volum de informații mare cum ar fi vibrațiile mecanice. Oricum la începutul studiului adică în 2005 acest standard care se dovedește de succes numit Zig Bee era doar la nivel de specificații, primele module Zig Bee ready au apărut în 2008. Marii producători de echipamente de măsură de abia în acest an au început să folosească acest standard în produsele lor.

Concluzia finală este că încercările care au început în 2005 luând în considerare toate aspectele menționate au dus la folosirea modemurilor radio punct-multipunct în implementarea unei rețele locale wireless pretabilă la achiziția de date provenite de la timbrele tensometrice, cum am spus cu maxim 4Khz rata de eșantionare. Numărul maxim de canale simultan pe care am lucrat a fost de 8 folosind un număr de 4 transceivere pentru transmiterea datelor și unul pentru



recepția lor care au trebuit să achiziționeze simultan încărcările pe o macaralelor de pe coșurile de fum ale termocentralei de la Rovinari.

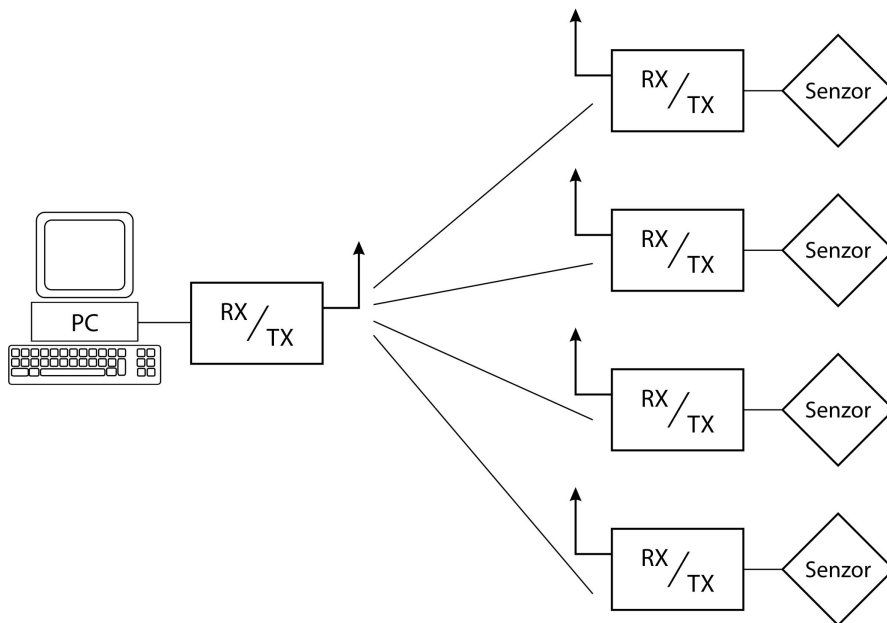


Fig 3.22 Realizarea unei rețele wireless punct -multipunct

La realizarea unei rețele punct –multipunct au fost alocate senzorilor transceiverile multipunct, iar cel aflat în punct a fost conectat la calculatorul care prelua datele. Fiecare bloc de date avea un identificator de bloc precedat de identificatorul traductorului, blocul sfârșindu-se cu suma de control. Realizarea colectării datelor se face ținând seama de toate referirile anterioare și anume că nu poate fi lăsat un echipament să stocheze prea mult în memoria internă așa că fiecare echipament era interogată pe rând. Dacă blocul era recepțat corect la următoarea interogare i se spunea că totul a fost în regulă, iar echipamentul furniza următorul bloc de date. Dacă blocul anterior de date nu a fost recepționat în mod corect (nu corespunde CRC-ul ), atunci era transmis din nou împreună cu cel actual. Între interogările senzorilor este lăsat un timp special calculat, deoarece orice interogare distrăgea echipamentul senzorului din cea mai importantă activitate și anume culegerea datelor. Motivul din care , așa cum am mai spus, soluția a fost ca echipamentele să conțină două microcontrolere, unul pe post de MCC și unul pentru realizarea comunicației astfel că dacă un modul este apelat acesta să poată răspunde chiar dacă MCC-ul în exact acea perioadă de timp tocmai citește informațiile de la conversia datelor.

MCC-ul alocă mai mult timp cu modulul de comunicație doar când echipamentul este pornit , la realizarea setărilor și a sincronizării. Apoi, pe măsură ce încep achizițiile, transmiterea datelor trece pe planul doi ca și importanță și ca resurse, modulul de transmitere a datelor având un buffer atât pentru emisia cât și

pentru recepția datelor. Faptul că sunt date recepționate în buffer este comunicat MCC-ului, dar acesta are timp să termine și cel mai lung task până când bufferul să se umple. La umplerea buffer-ului, dacă acesta nu este citit datele ulterioare pot fi pierdute.

Balansul alocării de resurse pentru MCC pentru ca cele două sarcini importante, respectiv achiziția datelor și transferul lor, să nu producă pierderi de date se realizează din soft, preferabil utilizând un sistem de operare în timp real. Rolul acestui sistem de operare este ca la momente bine definite să comute între sarcinile date spre rezolvare unui MCC. Am descris la începutul capitolului modul de detectare al unui eveniment, apoi realizarea unei achiziții, transmiterea unui bloc de date. Toate aceste sarcini luate separat necesită fiecare o durată de timp diferită. Ordinea și importanța fiecăreia țin de managementul programului. Spre exemplu pentru a avea o eșantionare strictă ca și durata dintre eșantioane trebuie să ne asigurăm ca la momentele respective MCC-ul să dea comanda ca o nouă achiziție să pornească. Acest lucru trebuie să se întâmple chiar dacă exact în acel moment MCC-ul rezolva o altă treabă mai puțin importantă și se face prin oprirea sarcinii prin salvarea tuturor variabilelor, rezolvarea sarcinii nou apărute după care se reia rezolvarea sarcinii vechi de unde a rămas nerezolvată.

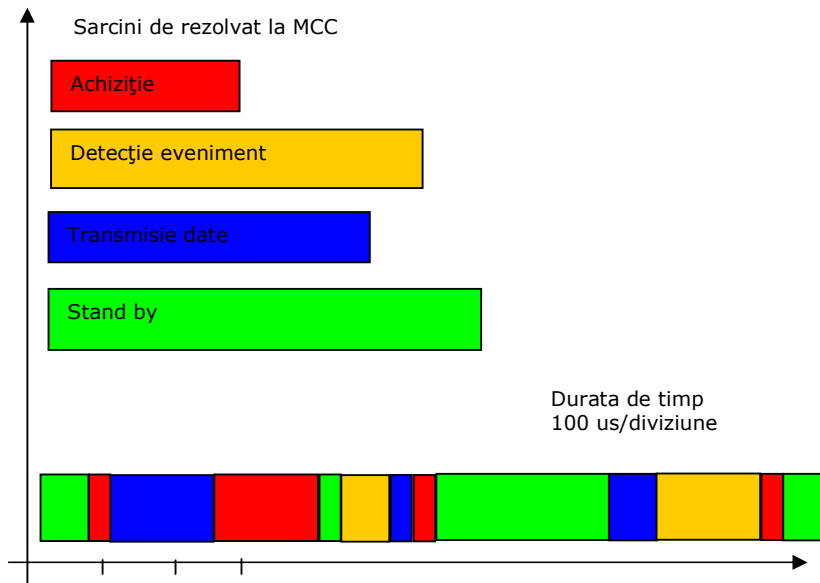


Fig 3.23 Succesiunea și timpul aordat de MCC pentru rezolvarea a 3 task-uri

În exemplul ilustrat mai sus achiziția de date este considerată o operațiune care nu permite solicitarea MCC-ului și pentru altceva. În schimb calculul apariției unui eveniment poate fi întrerupt de câte ori este nevoie, iar verificarea stării modulului de comunicație și a faptului că trebuie transferate date se face relativ des. Cu aceste

sarcini astfel programate gradul de ocupare al microcontrolerului este complet ocupat, uneori transmiterea datelor durează ca timp mai mult și nu poate fi întreruptă decât de un nou ciclu de eșantionare.

Este evident că față de sistemele analogice unde întârzierile sunt de ordinul zecilor de nanosecunde la sistemele digitale ruperea timpului este evidentă. Totuși pentru un operator uman întârzierile pe monitor nu sunt sesizabile.

### 3.4.2. Considerații privind sincronizarea la rețele locale wireless

Un amănunt foarte important în achizițiile făcute a apărut datorită faptului că datele trebuie corelate în timp între ele sau cu alte cuvinte toate achizițiile se doresc a fi făcute cu aceeași rate de eșantionare și în mod simultan. Cum am arătat la considerațiile despre timp, fiecare echipament are timpul propriu, iar diferențele de la unul la altul sunt de ordinul a zecilor ppm. Pentru a nu trebui să dotăm toate echipamentele dintr-o rețea mai sus descrisă cu module GPS, am considerat suficientă sincronizarea la intervale de ordinul minutelor a modulelor între ele. Dacă monitorizările au loc pe o perioadă de timp mai lungă, aceste sincronizări sunt necesare și trebuie ținut seama de ele.



Fig 3.24 Patru echipamente wireless sincronizate pentru măsuratori la macaralele de serviciu de pe termocentrala Rovinari

În timpul sincronizării MCC-ul este în stare de ascultare și la primirea unui impuls de sincronizare el își resetează ceasul propriu intern. Dacă acest ceas a fost setat să aibe unitatea de timp la nivelul de 10 us spre exemplu, la fiecare sincronizare contorul este resetat pe 0 și cu certitudine acest lucru se realizează în același timp în toate modulele, procesul având cel mai mare grad de prioritate, iar numărul de instrucțiuni prin care acest lucru se realizează este aproximativ același la fiecare modul, modulele fiind practic similare ca și structura hardware și software.

Dacă sincronizarea are loc la intervale care în cel mai defavorabil caz găsesc timpul intern nemodificat ci doar contoarele care generează următoarea unitate de timp modificate atunci toate sistemele au o corecție doar unitate de timp, timpul comun contorizat rămâne neschimbat.

### 3.5. Transmiterea datelor prin internet

La acest capitol vom începe descrierea soluției de monitorizare prin internet și considerațiile avute pentru realizarea ei. Odată avute datele achiziționate sistemului descris până acum îi trebuie doar o ieșire spre internet pentru a transmite datele folosind acest mediu. Topologiile realizabile sunt schițate în figurile de mai jos pentru o mică rețea wireless de senzori așa cum am descris până acum și pentru un singur traductor.

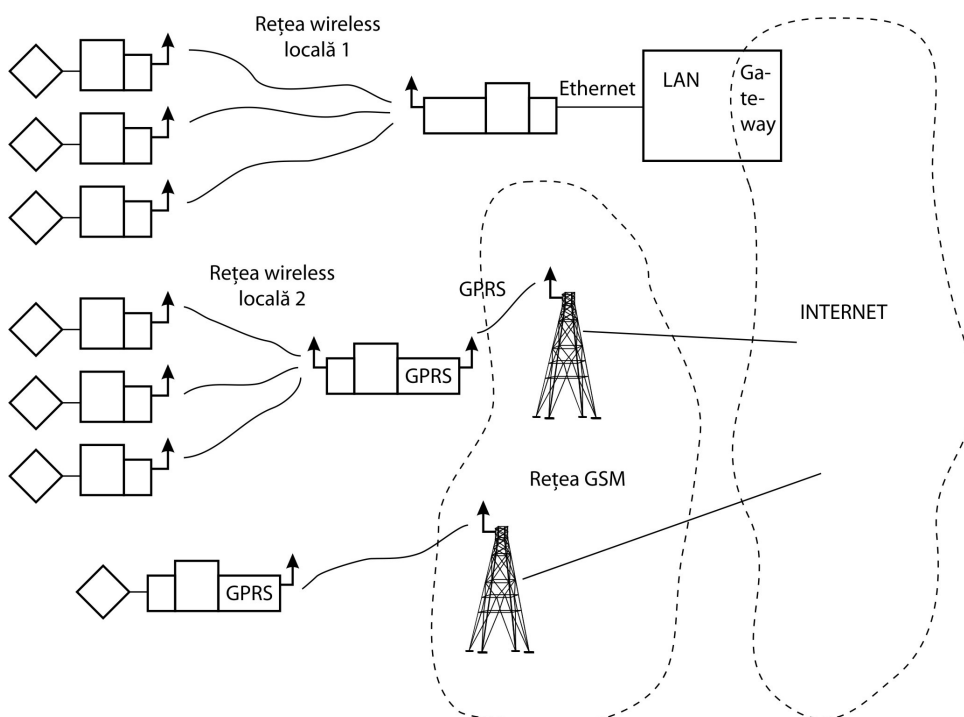


Fig. 3.25 Topologii pentru unul sau mai mulți senzori de conectare în internet

Modalitățile cele mai uzuale de conectare sunt folosirea unei interfețe ethernet și a unei stive TCP/IP implementate fie pe MCC fie pe un alt microcontroler. La acest moment pe piață sunt deja zeci de tipuri de module cu stiva TCP/IP implementată, MCC-ul văzându-le ca un port serial pe care poate transmite datele. Fiind deja soluții dezvoltate în ultimii 5-6 ani nu vom insista asupra lor, remarcabil este faptul ca implementarea de cât mai multe protocoale pe microcontrolere a fost posibilă în ultimii ani datorită creșterii capacității de calcul a acestora. Capacitatea microcontrolerelor este acum suficient de mare că pot servi ca mici servere pentru câțiva utilizatori simultan. Din punct de vedere științific sau experimental acest lucru ar fi suficient, din punct de vedere practic nu recomand aceasta soluție datorită următoarelor impedimente: în primul rând pentru astfel de sisteme providerul de internet trebuie să ofere IP-uri statice, aceste dispozitive se vor identifica practic prin IP-ul lor. Monitorizarea unor senzori în mod server poate să

---

ducă și la blocarea sistemului din motivul că nu pot fi implementate pe el sisteme de securizare care implică mult mai multă putere de calcul. Un astfel de sistem server ar trebui să răspundă și apelărilor nepermise , acestea ar putea deveni suficient de mari încât să consume resursele mici ale microcontrolerului. Motiv pentru care recomand folosirea modului client. În mod client putem să ne conectăm la internet prin intermediul oricărei rețele locale cu acces indirect la internet, iar conexiunile le realizăm noi către un server unde problemele de securitate sunt rezolvate. De altfel folosind internetul rețelelor de telefonie mobilă prin serviciul GPRS sau chiar 3G intrarea în mod server este relativ complicată , operatorul de telefonie trebuie să aloce cartelei un IP de internet nu de rețea locală , cerință care presupune un contract mai special cu operatorul .

În concluzie conectarea o facem întotdeauna în mod client , folosirea adaptoarelor Ethernet pentru rețele locale cablate este o posibilitate dar nu este utilă decât în laborator, deoarece toate măsurătorile și structurile monitorizate în ultimii ani nu au avut internet disponibil decât prin acoperirea GSM pe care ne-am și focusat.

### 3.5.1 Sincronizarea modulelor dintr-o rețea de monitorizare

La fel ca și în cazul rețelei zonale wireless și în cazul folosirii internetului pentru transmisia de date trebuie să ținem seama de posibilitatea sincronizării acestora în timp. Toate transmisiile în internet sunt supuse întârzierilor. Însăși prin construcția sa, internetul nu garantează că două pachete de date transmise de la același expeditor către același destinatar folosesc același traseu între routere și chiar dacă ar fi același întârzierea între transmiterea și recepția pachetului este aceeași. Marele avantaj este că dacă optăm pentru modul TCP, pachetul cu siguranță va ajunge, în caz că undeva s-a pierdut vom primi un mesaj că nu a putut fi transmis ceea ce este un mare avantaj.

Pentru echipamentul conceput am folosit pentru sincronizare echipamente de recepție GPS , așa cum am menționat în capitolul destinat achiziției de timp , ștampila de timp pentru ancorarea datelor achiziționate nu poate fi mai precisă cu nici o alta metodă. Această ștampilă de timp împreună cu șirurile de date obținute și cu alte informații pot da o măsură univocă asupra evenimentului achiziționat . Mai multe detalii urmează în capitolul 3.5.4.

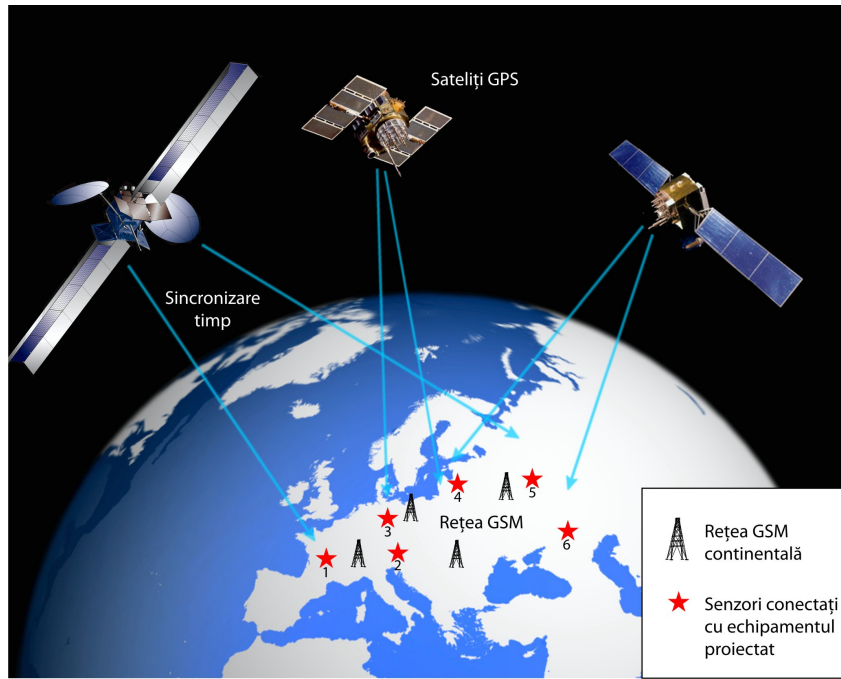


Fig. 3.26 Sincronizarea timpului prin rețeaua de sateliți GPS și transmiterea datelor prin rețeaua de internet a sistemului GSM

### 3.5.2 Conexiunea printr-o rețea internet mobilă

Cum am menționat, majoritatea structurilor fiind amplasate în zone izolate singurele posibilități de conexiune la internet ar fi fost fie folosirea echipamentelor de date direct prin satelit, fie folosirea pachetului de date oferit de rețelele mobile GSM care au o acoperire de peste 90% din suprafața geografică. Prima soluție implică costuri enorme comparativ cu cel al unui abonament de date, iar prețul modulelor hardware este de asemenea în avantajul modemului GSM. Aceste modeme au și avantajul (modelele actuale) că au implementată stiva TCP/IP și protocolul PPP pentru conectarea efectivă în internet. La nivel de MCC a trebuit doar o implementare a setului de comenzi AT specifice modemurilor de acest fel. Odată conectați la internet, ar fi două posibilități pentru transmiterea datelor.

Odată optat pentru acest tip de conexiune trebuie ales modul de conectare. Așa cum am descris anterior, putem poziționa echipamentele atașate punții tensometrice în mod server dar balanța dintre avantajul de a te conecta direct și a vedea informațiile online și dezavantajul creat de setările necesare în rețeaua mobilă și posibilitatea blocării serverului, a condus la alegerea modului client. În acest mod datele trebuie furnizate fie unui server de date, care ca și principiu va fi detaliat în capitolul 3.5.4 .

În cazul folosirii echipamentului în mod client, acesta folosește principiul comunicației în mod invers ca și trafic de date. În mod normal, clientul inițializează o cerere serverului care-i furnizează datele cerute. În cazul nostru clientul deține

datele care trebuie aduse la server. Dar, pentru că numai clientul poate inițializa o comunicație peste internet, folosim „cererea” cu un conținut mare de date, iar răspunsul în loc să fie consistent ca în cazul clasic, este doar unul de confirmare. Dacă într-un sistem clasic discuția este de forma :

Client: Solicit date.

Server: Datele urmează.Data.data.data.data.....data.

În cazul nostru solicitarea este de forma:

Client: Solicit păstrarea datelor. Data.data.data.data.....data

Server: S-a realizat.

Acest mod de trimitere de date nu se pretează pentru volumuri mari de date, caz în care fie volumul de date se împarte în mai multe conexiuni de tipul celor descrise mai sus, fie se folosește un alt protocol dedicat transferului de fișiere FTP și fișierul este upload-uit pe server folosind acest protocol. De aici și importanța capitolului următor.

### 3.5.3 Formatul fișierelor de stocare

Este foarte importantă această abordare din următoarele considerente: pentru început am stabilit că este util doar înregistrarea a ceea ce am numit evenimente sau o posibilitate de a intra direct în contact cu echipamentul pentru a vedea ce se întâmplă online. Altfel înregistrarea a prea multor date devine nerelevantă și greu de procesat. Considerând că putem avea simultan cu sute sau mii de astfel de echipamente, spre exemplu în cazul unui sistem de monitorizare de poduri, datele care se culeg devin în timp foarte mari ca volum, iar procesarea lor trebuie automatizată. La fel este cazul și în cazul măsurătorilor uzuale dar repetate. Soluția de a păstra informațiile revine fiecărui utilizator în parte, modul de stocare și de prelucrare a lor de asemenea. Totuși, în cazul unui sistem de monitorizare trebuie punctate niște aspecte care pot duce la automatizarea prelucrării fișierelor.

În primul rând datele stocate trebuie să fie brute, neprelucrate exact așa cum au ieșit ele din convertor. Ca și volum aceste date reprezintă cea mai mare parte a informației. Pentru a putea face calcule ulterioare toate setările care țin de amplificarea punții tensometrice trebuie notate separat, reglajele de offset , amplificările și dezechilibrul inițial al punții . Acestea sunt importante pentru că dacă se urmărește în timp îndelungat variația unei punți în cazul în care se trece de la o amplificare la alta sau orice alte reglaje care le face echipamentul pentru a rămâne cât se poate pe mijlocul domeniului de măsură, trebuie notate și corelate cu rezultatul final. Un al treilea set de mărimi sunt mărimile termice globale dacă sunt înregistrate . Cum am spus, este cunoscut că mediul este un factor determinant în comportamentul structurilor și trebuie cunoscut și corelat. Un al patrulea set de mărimi sunt cele legate de eșantionări, durata între eșantioane, numărul de eșantioane cuprinse într-o măsurătoare, iar al cincilea set de mărimi este corelarea măsurătorii cu timpul universal și poziția pe glob unde s-a desfășurat , facilitate oricum oferită de receptorii GPS care sunt folosiți pentru sincronizarea cu timpul.

În concluzie un eveniment trebuie să conțină un pachet de minim 5 tipuri de informații care toate corelate pot oricând spune unde, când, în ce condiții și ce fel de măsurătoare reprezintă. O a doua întrebare se pune în ce format ar trebui păstrat acest tip de informație , la această problemă mai putem adăuga și posibilitate ca ulterior să putem adăuga seturi definitorii de date care acum nu le-am considerat. Răspunsul vine se pare de la psihologi care au ajuns în urmă cu mai bine de 10 ani că se poate realiza un format de fișier, ușor lizibil și utilizabil. Formatul acestui fișier este XML. Pe lângă avantajul că toate considerentele expuse mai sus sunt imediat

implementabile, un al doilea mare avantaj este că aceste tipuri de fișier și-au demonstrat deja eficiența și sunt deja cunoscute programatorilor și există multe implementări pentru vizualizarea acestora.

### 3.5.4 Server de senzori

Pentru motivele invocate mai sus ideal ar fi existența unui server de senzori. Acesta este în fond un server de baze de date. Pentru a corespunde necesităților noastre ar trebui să fie creat pe două paliere, unul pentru introducerea datelor și celălalt pentru vizualizarea lor. Partea de introducere a datelor ar trebui să dea posibilitatea conectării a oricarui echipament ca cel descris până acum. Un set minimal de specificații ar trebui să se găsească pentru a permite mai multor producători să folosească același format în conectarea și transmiterea datelor. De asemenea trebuie conceput și un mecanism de siguranță pentru a nu permite altora conectarea sau introducerea de date false în banca de date. Partea de securitate dacă este implementată între server și echipamente trebuie să țină seama de puterea scăzută de calcul ale acestora, soluțiile de securitate trebuie deci ajustate după puterea microcontrolerelor și nu după server.

Partea de vizualizare din nou trebuie securizată astfel că doar utilizatorii înregistrați să își vadă propriile semnale. Un mecanism pentru accesarea datelor fie prin download, fie prin trimiterea acestora prin e-mail către utilizator ar trebui implementat, la datele brute trebuie adăugate și setările. Cum am menționat formatul ideal este XML, datele fiind prelucrabile ușor în Matlab sau alte programe de analiză.

La acest moment anumite firme au creat astfel de structuri pentru colectarea datelor proprii, dar care pentru a fi folosite trebuie echipamente de achiziție proprii. Realizarea de specificații pentru un astfel de server ar trebui făcute împreună cu alți potențiali utilizatori motiv pentru care ne limităm la mențiunile de mai sus. Dar cu siguranță, la fel ca și dezvoltarea paginilor de web, pe măsură ce internetul va fi folosit ca și mediu de transfer a datelor de la senzori și necesitatea serverelor dedicate senzorilor va pune o presiune suficient de mare în acest domeniu. Firma cu care s-a realizat echipamentul de monitorizare a achiziționat în acest scop un domeniu, pornind de la www (world wide web) și dorindu-se o rețea mondială de senzori s-a ajuns la world wide sensors sau wwsensors, extensia fiind net, de la rețea. Sperăm într-o implementare rapidă pe wwsensors.net care cu siguranță va ține seama de considerentele expuse până aici.

Ce este foarte important, dacă în cazul trimiterii de fișiere la server, avem informația de timp inclusă în formatul fișierului, în cazul datelor punctuale trimise la server trebuie ținut seama că protocolul TCP nu garantează decât ajungerea corectă a datelor fără nici o referire la stampila de timp care nu poate fi generată pe server. Chiar dacă în anumite situații uzuale chiar datele ajung pe un server din partea cealaltă a lumii în sute de milisekunde, pot fi situații în care datele au întârzieri de ordinul minutelor. Deci pentru o reconstrucție riguroasă a datelor oferite de senzor o stampila de timp (sau un mecanism prin care se poate reda și componeta de timp) trebuie implementat la orice transmitere de date.

### 3.5.5 Folosirea serverelor de e-mail

O alternativă facilă pentru transmiterea datelor prin internet este folosirea serverelor de e-mail direct de către echipament. Această variantă a și fost implementată dar este perfectibilă. În principiu transmiterea datelor într-un format



identic unui e-mail cu atașament este implementabilă și pe un echipament cu microcontroler ca și în cazul de față. Astfel la fiecare apariție de eveniment, acesta se înregistrează local după care este trimis ca atașament într-un e-mail. Mecanismul de formare și trimitere implementat la echipamentul nostru nu mai folosește un server propriu de e-mail care la rândul său să se conecteze la serverul de email corespondent adresei destinatarului, ci folosește serverul de e-mail al operatorului de telefonie mobilă. Aceasta metodă este simplă, dar uneori sistemele de antispam pot considera că mesajul nu corespunde și poate fi șters din motivul că la crearea header-ului de e-mail nu este indicată o adresă de expeditor validă. Avantajul este că nu trebuie să asigurăm fiecărui senzor o adresă de e-mail și nici nu trebuie folosit un server de e-mail (care de obicei vine împreună cu unul de web și are un cost).

Implementarea a constat din realizarea unui format de e-mail după toate regulile de bază; bloc care a fost livrat serverului de e-mail al operatorului de telefonie mobilă. Acesta îl distribuie recipienților după toate regulile clasice. Principalul motiv de îngrijorare este că în timp tehnologiile antispam ce se vor implementa să considere acest mod neconform și să apară limitări. Oricum, din încercările noastre pe anumiți destinatari mesajul a fost șters dacă s-au aplicat filtre antispam puternice.

Din punct de vedere al programării și al detaliilor de implementare, folosirea acestei metode este perfectibilă, cu siguranță rămâne ușor de implementat și fiecare utilizator o poate folosi în mod imediat. Costurile sunt de asemenea reduse, actual pentru transferul în rețelele mobile în GPRS se percepe o taxă medie de 20 centi/Mb indiferent de timpul de conectare, putem estima costul transmiției unui eveniment la o medie de 0,002 euro.

### 3.5.6 Modul de programare dpdv utilizator a echipamentului creat

Programarea echipamentului nu necesită nici un program special, se face doar prin conectarea la un calculator și folosirea unei aplicații tip terminal care direcționează mesajele de la tastatură spre echipament, meniurile create fiind relevante. Acest echipament a fost produs în mod unicat și au fost implementate toate considerațiile de până acum enunțate la modul general, particularizările țin de implementarea efectivă și nu își găsesc spațiul pentru a fi prezentate într-o astfel de teză.

Echipamentul se alimentează de la o sursă de 12 V cc. Consumul echipamentului este de circa 120 mA.

Echipamentul are în componență un modul GSM. Cartela introdusă în echipament trebuie să fie activată pentru serviciul GPRS. Trebuie verificată cartela să nu fie activ codul PIN.

Echipamentul se conectează la puntea tensiometrică cu 6 fire. Conectarea punții tensiometrice:

- Pin 1 și 2 intrările de pe diagonala de măsură.
- Pin 3 și 4 intrările de pe diagonala de excitație
- Pin 4 și 6 ieșire tensiune excitație

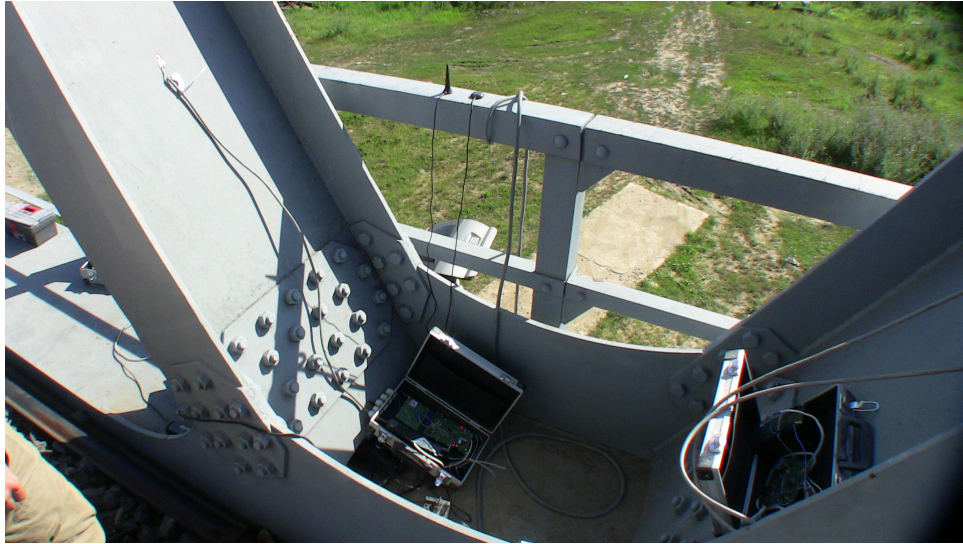


Fig. 3.27 Amplasarea echipamentelor de monitorizare pe grinzile podului

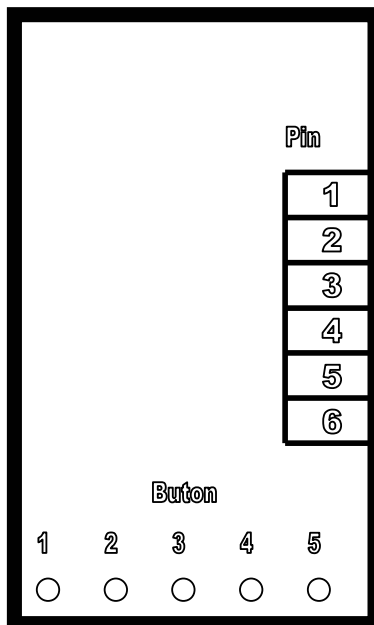


Fig. 3.28 Plasarea butoanelor și pinilor de legătură în echipament

Echipamentul se poate configura local prin intermediul interfeței seriale sau la distanță prin mesaje SMS.

Meniu configurare locală

Se introduce interfața serială în calculator și se porneste o aplicație de tip Terminal. Terminalul trebuie configurat cu baud de 38400 , 8N1, iar liniile DTR respectiv RTS să fie în starea unasserted . Echipamentul trimite mesajul "Buna:". Intrarea în meniu configurare se poate face doar la pornirea echipamentului. Dacă nu se apasă nici o tastă, programul rulează în continuare după o așteptare de 4 sec. Dacă se răspunde cu caracterul 1, atunci echipamentul inițiază un meniu de configurare. In max 70 de secunde trebuie aleasă una din opțiunile din meniu . În caz contrar echipamentul repornește.

Opțiuni meniu:

1 Listează conținut memorie.

2 Modificare telefon dispecer. În echipament se pot memora două numere de telefon. Dacă este sunat echipamentul, de unul din aceste numere atunci se generează un e-mail cu datele strânse în memoria sistemului. Cele două numere de telefon le-am denumit Telefon Dispecer, respective Telefon Client. Dacă este aleasă opțiunea 2, apare textul "Introduceți telefon dispecer:". Se introduc cele 10 cifre după care se dă un Enter.

3 Modificare telefon client. Operațiile sunt identice cu cele de la modificare telefon dispecer.

4 Modificare adresa Email1. În echipament se pot memora două adrese de email la care se trimite email. Dacă este aleasă opțiunea 4, apare textul "Introduceți adresa Email1:". Se introduce adresa de email după care se dă Enter. Dacă doriți să ștergeți din memorie adresa de email după selectarea opțiunii de modificare a adresei de Email se dă Enter. Dacă lungimea șirului introdus este 0 șterg din memorie adresa de email respectivă.

5 Modificare adresa Email2. Operațiile sunt identice cu cele de la modificare Email1.

6 Modificare durată eșantion. Se poate seta pe ce interval de timp se face achiziția după ce a fost detectată condiția de start achiziție. Echipamentul face o medie pe ultimele 128 de achiziții. Dacă se observă că diferența între media anterioară și media curentă e mai mare decât un prag(setabil) pornește achiziția pentru un interval specificat în acest parametru. Dacă este aleasă această opțiune apare textul " Introduceți durata eșantionului(în sec)". Introduceți valoarea în secunde și apăsați Enter. Dacă se dă Enter fără să se specifice durata(șir de lungime 0) atunci nu se modifică acest parametru în memorie.

7 Modificare prag declanșare. Dacă diferența dintre două medii succesive depășește valoarea parametrului "prag declanșare" pornește memorarea valorilor citite pe un interval specificat în parametrul "durată eșantion".

8 Această opțiune nu apare în consolă .Am folosit-o pentru ștergerea conținutului memoriei unde sunt stocați parametrii(Adresa de la care sunt înregistrați parametrii în memorie este 0xE0084000)

9 Această opțiune nu apare în consolă. Am folosit-o pentru debug. Dacă se alege această opțiune apare în consolă conținutul primului bloc din memorie.

a Modificare prag trimitere SMS. Echipamentul memorează blocuri de 128 de înregistrări. Se poate seta ca după ce se strâng un număr de blocuri să fie generat automat un email către adresele specificate în parametrii email1 respectiv email2.

b Modificare frecvența eșantionare. Echipamentul poate face achiziții de la puntea tensiometrică cu o rată de 50,100 sau 200 Hz.

10 Părăsire meniu configurare.

Configurare echipament prin SMS

Echipamentul poate fi configurat și de la distanță prin mesaje SMS. Mesajele au un identificator format din 4 caractere după care imediat,fără spațiu, se introduce

parametrul. Un SMS se folosește pentru modificarea unui singur parametru. Mesaje acceptate:

1 Mesaj setare telefon dispecer. Mesajul are ca identificator caracterele "memo". Exemplul "memo0720101010". Numărul telefonului trebuie să fie de 10 caractere.

2 Mesaj setare telefon client. Mesajul are ca identificator caracterele "telc". Exemplu "telc0720101011". Numărul telefonului trebuie să fie de 10 caractere.

3 Mesaj setare adresa email1. Mesajul are ca identificator caracterele "eml1". Exemplu "eml1office@vibra.edu". Adresa de email să nu depășească 30 de caractere.

4 Mesaj setare adresa email2. Mesajul are ca identificator caracterele "eml2". Exemplu "eml2mrX@vibra.edu". Adresa de email să nu depășească 30 de caractere.

5 Mesaj setare prag declanșare. Mesajul are ca identificator caracterele "aqpg". Exemplu "aqpg4000". Prag declanșare să nu depășească 7 caractere.

6 Mesaj setare durată eșantion. Mesajul are ca identificator caracterele "aqtm". Exemplu "aqtm20". Durată eșantion să nu depășească 7 caractere. Durata este în secunde.

7 Mesaj setare prag trimitere SMS. Mesajul are ca identificator caracterele "aqbk". Exemplu "aqbk200". Parametrul să nu depășească 7 caractere. Parametrul reprezintă numărul de blocuri de 128 de înregistrări după care se trimite automat e mail .

8 Mesaj raport setari. Mesajul are ca identificator caracterele "list". Exemplul "listservice@vibra.edu" .Acest SMS are ca efect generarea unui e mail care conține setările curente ale echipamentului.

9 Mesaj setare frecvența eșantionare. Mesajul are ca identificator caracterele "aqfq". Exemplu "aqfq200". Parametrul poate lua doar valoarea 50,100 sau 200. Parametrul reprezintă frecvența cu care se fac citiri de la puntea tensiometrică .

Meniu butoane

Echipamentul are 5 butoane. De la stânga la dreapta butoanele au asiguate următoarele funcții:

Buton 1 : Trimite la consola valorile citite de la punte. Valoarea trimisă conține doar cei mai semnificativi 16 biti din cei 24 de biti citiți. Valoare afișată este în format ASCII hexazecimal. După fiecare valoare se mai trimite caracterele <0x0D><0x0A>. Această rutină doar citește și trimite la consola valorile citite până când se apasă Buton 5.

Buton 2: Înregistrează în memorie date de la puntea tensiometrică pe perioada specificată în parametrul durata eșantion.

Buton 3: Șterge înregistrările din memorie.

Buton 4: Trimite înregistrările din memorie la adresele specificate în parametrii email1 respectiv email2.

Buton 5: E folosit pentru părăsirea rutinelor .

Formatul datelor din atașament.

Convertorul face achiziții cu o perioadă de 20ms ,valoarea convertită având 24 de biti. Sistemul memorează blocuri de 512 octeti, care cuprind 128 de înregistrări. Primul bloc dintr-un eșantion are următorul format:

Primii 4 octeti conțin stampila de timp din momentul detectării condiției care a provocat memorarea eșantionului.

Octet 0: Conține secunda corespunzătoare stampilei de timp

Octet 1: Conține Minutul

Octet 2: Conține Ora

Octet 3: Conține informația despre ziua când a fost luat eșantionul

Următorii 2 octeti au următoarea semnificație:

Octet 4: perioada la care se face sampling în milisecunde

Octet 5: sensibilitatea amplificatorului în mV/V

Urmează doi octeti folosiți pentru identificarea primului bloc din eșantion.

Octet 6: 0xA3

Octet 7: 0xA0

Se mai pot pune date aici. În varianta aceasta am sacrificat doar 8 octeti pentru descrierea datelor ce urmează.

În continuare sunt înregistrate datele de la convertor în grupuri de 4 octeti .Primii 3 octeti sunt valoarea de la convertor(primul octet e cel mai puțin semnificativ, iar al treilea e cel mai semnificativ) ,iar al patrulea octet reprezintă valoarea contorului care se incrementează la fiecare 20 ms de către uC ul echipamentului. L-am folosit pentru a verifica continuitatea datelor memorate. În primul bloc acest octet are valoarea 0 . Abia începând cu blocul 1 memorez această valoare. Datele din blocul 0 sunt dinaintea evenimentului care generează startul achiziționării unui eșantion. Stampila de timp este pentru octetul 0 din blocul 1. La citirea datelor din fișier trebuie făcută mască la datele de tip ID eșantion și la octetii care reprezintă valoarea contorului de 20 ms.

Funcționare:

După alimentare, echipamentul parcurge următoarele etape:

Inițializare echipament

1 Verifică dacă se dorește configurarea din consolă

1.0 Pornesc Meniu Configurare din Consolă

2 Verifică dacă e pornit modemul și face inițializarea modemului

2.0 Porneste Modemul

3 Inițializează convertorul ADC

4 Inițializează valorile parametrilor memorate

5 Citește 128 de valori de la punte și inițializează valoarea mediei

Bucă program

6 Verifică dacă sunt caractere noi în bufferul de comunicare cu modemul

6.0 Dacă sună cineva

6.0.0 Verifică cine sună și dacă sună Dispecer sau Client trimite un e mail

6.1 Dacă vine un SMS tratează SMS-ul

7 Verifică dacă s-a apăsă un din butoane

7.0 Tratează rutina asignată butonului apăsă

8 Verifică dacă trebuie să facă o nouă conversie

8.0 Face o nouă conversie

8.1 Face media ultimelor 128 de conversii

8.2 Verifică dacă media anterioară diferă de media actuală cu mai mult de valoarea prag declanșare

8.2.0 Dacă timp de 10 înregistrări succesive valoarea medie actuală diferă de valoarea medie anterioară, atunci pornesc un proces de memorare eșantion.

8.2.0.0 Memorez un nou eșantion

8.2.0.1 Verifică dacă trebuie să trimit datele acumulate

8.2.0.1.0 Trimit un e-mail cu datele memorate

Am activat WDT -ul .În cazul în care echipamentul rămâne "agățat" mai mult de 70 de secunde repornesc aplicația.

## 4. APLICAȚII EXPERIMENTALE

### 4.1 Monitorizarea stabilității structurale și determinarea poziției centrului de masă a suprastructurii rotative a unui excavator.

#### 4.1.1 Principiul metodei

Prin construcție, structura a excavatorului (fig.4.1) se sprijină pe sol prin intermediul a trei mecanisme de deplasare pe șenile. Greutatea excavatorului este suportată de grupul celor trei mecanisme cu șenile încărcate prin intermediul reazemelor sferice A, B și C, care formează în plan orizontal, un triunghi echilateral, centrul O al cercului circumscris / exinscris fiind situat pe axa OZ, verticală de rotație în plan orizontal a suprastructurii. Sprijinul pe cele trei reazime sferice este static determinat, astfel că greutatea  $m_s g$  ( $g=9,61 \text{ m/s}^2$ ) și poziția, în planul ABC, pot fi determinate cunoscând valorile reacțiunilor  $R_A$ ,  $R_B$  și  $R_C$ , măsurate în reazimele A, B și C, ecuațiile de echilibru ale forțelor conducând la relațiile:

$$\begin{aligned} R_A &= \frac{m_s g}{a} (c + r \cdot \cos(\alpha + \beta)) \\ R_B &= \frac{1}{2} m_s g \left( 1 - \frac{c}{a} \right) + m_s g \cdot \frac{r}{a} \cos(\alpha + \beta + 120^\circ) \\ R_C &= \frac{1}{2} m_s g \left( 1 - \frac{c}{a} \right) + m_s g \cdot \frac{r}{a} \cos(120^\circ - \alpha - \beta) \end{aligned} \quad (4.1)$$

unde  $r$  este raza traiectoriei  $T_r$  circulare centrului de masă  $G$ , în plan orizontal (fig.4.1b), pe care acesta se deplasează la rotirea cu unghiul  $\alpha$  a axei longitudinale  $Ox$  a brațului, rotire față de poziția  $OX$  fixă ce trece prin sprijinul A și perpendiculară pe linia BC, iar  $\beta$  este poziția unghiulară a razei vectoriale  $\vec{OG}$  față de axa longitudinală  $Ox$  a brațului.

După cum se observă, din (4.1), fiecare din reacțiunile  $R_A$ ,  $R_B$  și  $R_C$  are câte două componente, primele

$$\begin{aligned} R_{S_A} &= \frac{m_s g}{a} c \\ R_{S_B} &= \frac{1}{2} m_s g \left( 1 - \frac{c}{a} \right) \\ R_{S_C} &= \frac{1}{2} m_s g \left( 1 - \frac{c}{a} \right) \end{aligned} \quad (4.2)$$

care sunt constante, sumă lor echilibrând greutatea  $m_s g$  la fel ca suma reacțiunilor

$$R_A + R_B + R_C = m_s g \quad (4.3)$$

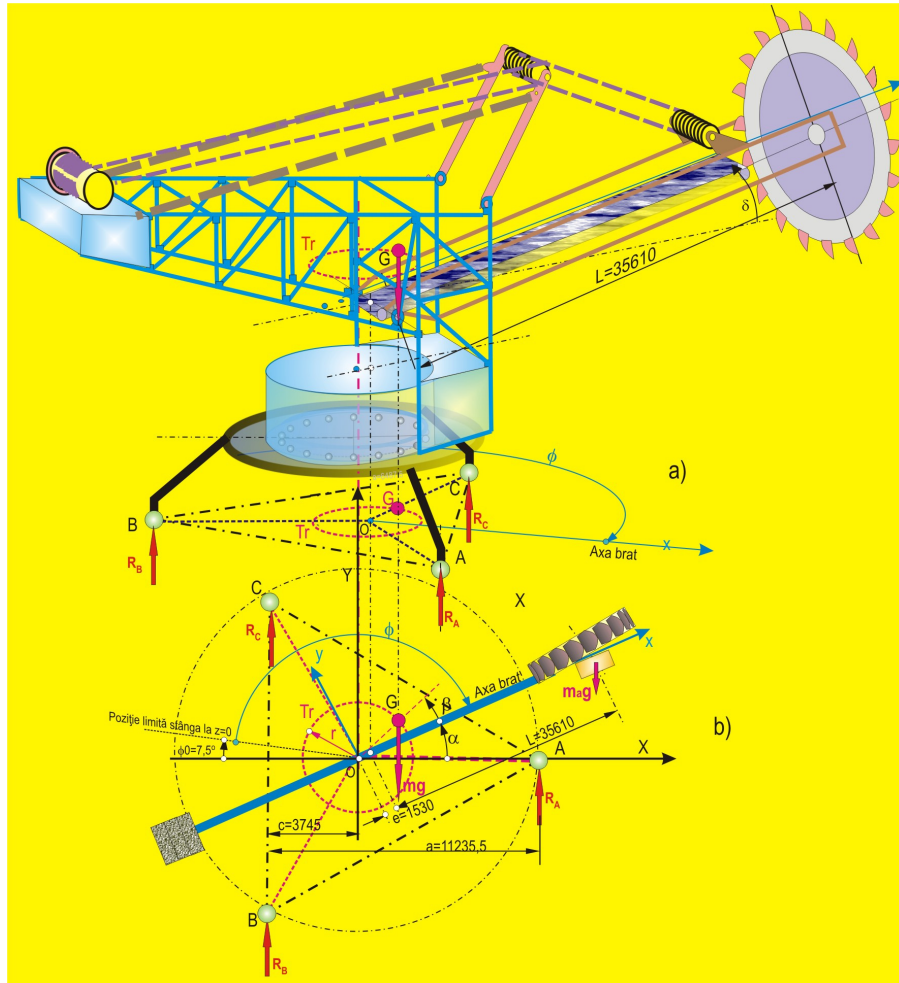


Fig.4.1 Schema structurală a excavatorului ERC 1400

Cea de a doua componentă, ale fiecăreia din cele trei reacțiuni, dau funcții armonice, de unghiul de poziție  $\alpha$  al brațului,

$$\begin{aligned} R_{v_A} &= m_s g \frac{r}{a} \cdot \cos(\alpha + \beta) \\ R_{v_B} &= m_s g \frac{r}{a} \cos(\alpha + \beta + 120) , \\ R_{v_C} &= m_s g \frac{r}{a} \cos(120 - \alpha - \beta) \end{aligned} \quad (4.4)$$

defazate între ele cu  $120^\circ$ , defazate și geometric între razele vectoriale  $\overline{OA}$ ,  $\overline{OB}$  și  $\overline{OC}$ .

Dacă poziția brațului este definită prin unghiul  $\phi$  (fig.4.1b) în (4.4) intervine schimbarea de variabilă

$$\alpha = 180 - (\phi + \phi_0) \quad (4.5)$$

de unde,

$$\begin{aligned}
 Rv_A &= -m_s g \cdot \frac{r}{a} \cdot \cos(\varphi + \varphi_0 - \beta) \\
 Rv_B &= -m_s g \cdot \frac{r}{a} \cos(\varphi + \varphi_0 - \beta - 120) \\
 Rv_C &= m_s g \cdot \frac{r}{a} \cos(\varphi + \varphi_0 - \beta + 120)
 \end{aligned}
 \tag{4.6}$$

Cum aceste componente sunt forme armonice semnalul corespunzător unui pseudosenzor amplasat în articulația sferică A va fi o forma proporțională semnal variabil

$$u_{vA} = k_A Rv_A \tag{4.7}$$

unde  $k_A$  este o constantă de calibrare a pseudosenzorului din reazimul A.

În cazul de față senzorul s-a realizat prin amplasarea unui montaj de traductoare electrorezistive (TER) un pseudosenzor (fig.4.2).

Montajul este realizat din patru TER-uri  $T_{12}$ ,  $T_{12}$ ,  $T_{21}$  și  $T_{22}$ , amplasate pe grinda de legătură dintre pereche de șenile în reazemul A. Sub acțiunea sarcinii  $R_A$  pe grindă se dezvoltă o distribuție triunghiulară de momente încovoietoare  $M_i$ , de care s-a ținut cont la amplasarea TER-urilor în scopul obținerii unui semnal maxim, stabil și care să nu fie perturbat de efecte parazite.

Deși, așa se va demonstra în continuare, pentru determinarea dezechilibrului masic al excavatorului este suficient prelucrarea semnalului unui singur senzor, s-a realizat, pentru verificarea acurateții metodei un al doilea pseudosenzor în reazimul B.

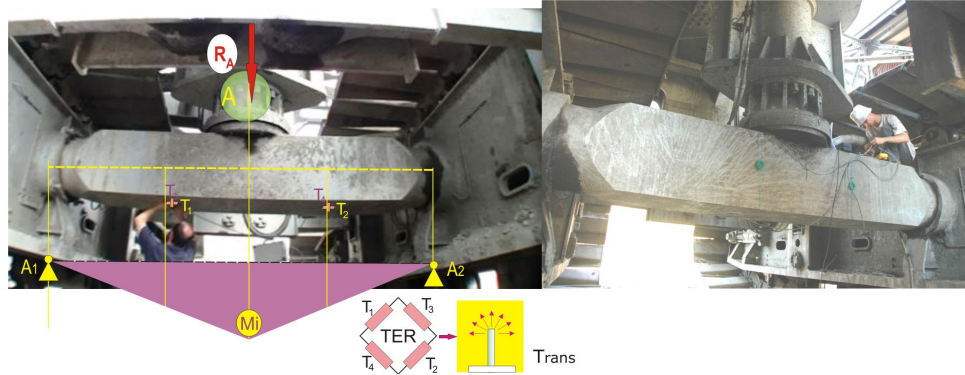


Fig. 4.2 Pseudosenzor cu montaj de TER-uri pentru măsurarea reacțiunii din reazimul A

Semnalele  $u_w(\varphi)$ , ( $W=A,B$ ) înregistrate de la cei doi pseudosenzori din sprijinul A ( $W=A$ ) sau din sprijinul B ( $W=B$ ), vor trebui să respecte forma generală armonică

$$u_w(\varphi) = u_{w0} + k_w Rv_w = u_{w0} + u_{wx} \cos \varphi + u_{wy} \sin \varphi \tag{4.8}$$

unde  $u_{w0}$  este o componentă constantă, necunoscută, provenită din dezechilibrul electric,

$$\begin{aligned}
 u_{wx} &= -k_A m_s g \cdot \frac{r}{a} \cos(\varphi_0 - \beta); & u_{wy} &= k_A m_s g \cdot \frac{r}{a} \sin(\varphi_0 - \beta) & \text{pentru } W = A \\
 u_{wx} &= -k_B m_s g \cdot \frac{r}{a} \cos(\varphi_0 - \beta - 120); & u_{wy} &= k_B m_s g \cdot \frac{r}{a} \sin(\varphi_0 - \beta - 120) & \text{pentru } W = B
 \end{aligned}
 \tag{4.9}$$

$k_A$  și  $k_B$  fiind constantele de calibrare ale celor doi pseudosenzori.

Ecuția (4.8) are trei necunoscute:  $u_{w0}$ ,  $u_{wx}$  și  $u_{wy}$  care pot fi determinate prin formarea sistemului de ecuații lineare



$$u_{w0} + u_{wx} \cos \varphi_i + u_{wy} \sin \varphi_i = u_w(\varphi_i) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (4.10)$$

unde  $u(\varphi_i)$  este valoarea semnalului înregistrat pentru  $n$  poziții unghiulare  $\varphi_i$ .

Sistemul (4.10) se rezolvă prin metoda regresivă a celor mai mici pătrate, definindu-se o funcție pătratică de eroare, ce trebuie minimalizată

$$E = \sum_{i=1}^n (u_{wx} \cos \varphi_i + u_{wy} \sin \varphi_i + u_{w0} - u_w(i))^2 \rightarrow \min \quad (4.11)$$

ceea ce impune

$$\frac{\partial E}{\partial u_{wx}} = 0; \quad \frac{\partial E}{\partial u_{wy}} = 0; \quad \frac{\partial E}{\partial u_{w0}} = 0. \quad (4.12)$$

Va rezulta un sistem algebric linear de trei ecuații cu trei necunoscute, care pus sub formă matriceală are forma

$$[D]\{u\} = \{Z\} \quad (4.13)$$

unde

$$[D] = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n (\cos \varphi_i)^2 & \sum_{i=1}^n \cos \varphi_i \sin \varphi_i & \sum_{i=1}^n \cos \varphi_i \\ \sum_{i=1}^n \cos \varphi_i \sin \varphi_i & \sum_{i=1}^n (\sin \varphi_i)^2 & \sum_{i=1}^n \sin \varphi_i \\ \sum_{i=1}^n \cos \varphi_i & \sum_{i=1}^n \sin \varphi_i & n \end{bmatrix}; \quad (4.14)$$

$$\{u\} = \begin{bmatrix} u_{wx} \\ u_{wy} \\ u_{w0} \end{bmatrix}; \quad \{Z\} = \sum_{i=1}^n u_w(i) \begin{bmatrix} \cos \varphi_i \\ \sin \varphi_i \\ 1 \end{bmatrix}$$

Valorile necunoscutelor  $u_{wx}$ ,  $u_{wy}$  și  $u_{w0}$ , sunt elementele vectorului coloană

$$\{u\} = [D]^{-1} \{Z\} \quad (4.15)$$

Având cunoscute valorile semnalelor  $u_x$ ,  $u_y$  se poate determina din (4.9) amplitudinile semnalelor

$$u_{rA} = \sqrt{u_{Ax}^2 + u_{Ay}^2} = k_A m_s g \frac{r_a}{a} \quad (4.16)$$

$$u_{rB} = \sqrt{u_{Bx}^2 + u_{By}^2} = k_B m_s g \frac{r_b}{a}$$

care sunt proporționale cu raza  $r$  a traiectoriei circulare  $T_r$  a centrului de masă  $G$  al suprastructurii, la rotirea brațului în plan orizontal.

Faza vectorului de poziție  $\vec{r} = \overline{OG}$  al centrului de masă față de axa  $Ox$  a brațului se determină, din (4.9), prin relația

$$\beta = -\arctg\left(-\frac{u_{Ay}}{u_{Ax}}\right) + \varphi_0 \quad (4.17)$$

prin prelucrarea semnalului  $u_A$  al pseudosenzorului din reazimul A, sau cu

$$\beta = -\arctg\left(-\frac{u_{By}}{u_{Bx}}\right) + \varphi_0 - 120^\circ \quad (4.18)$$

prin prelucrarea semnalului  $u_B$  al pseudosenzorului din reazimul B.

#### 4.1.2 Calibrarea pseudosenzorilor cu masă adițională

În scopul calibrării pseudosenzorilor s-a atașat la capătul brațului în poziție orizontală o masă adițională  $m_a$  de 4300 kg pentru care s-a identificat o nouă formă

$$u_{EW0} + u_{EWx} \cos \varphi_i + u_{EWy} \sin \varphi_i = u_{EW}(\varphi_i) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (4.19)$$

semnalul  $u_{EW}(\varphi)$  conținând două componente însumate vectorial (fig.4.3b), proiecția  $P1 \times P_{3x}$  a vectorului  $\vec{P_1 P_3}$  reprezintă valoarea componentei  $u_{EWx}$  iar proiecția  $P1yP_{3y}$  valoarea componentei în cvadratură  $u_{EWy}$

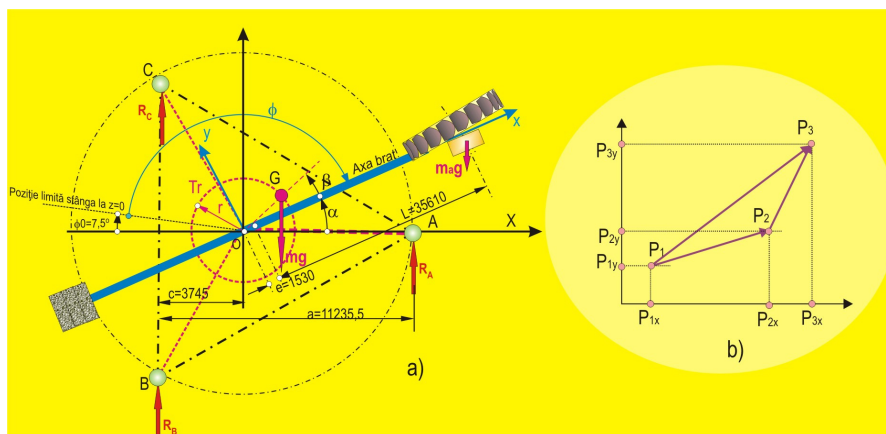


Fig. 4.3 Reprezentarea vectorială a calibrării unui pseudosenzor prin masă adițională

Dacă proiecția  $P1 \times P_{3x}$  a vectorului  $\vec{P_2 P_3}$  reprezintă valoarea componentei  $u_{Wx}$  corespunzătoare probei cu brațul neîncărcat, iar proiecția  $P2yP_{3y}$  valoarea componentei în cvadratură  $u_{EWy}$ , atunci vectorul vectorială diferență

$$\vec{P_2 P_3} = \vec{P_1 P_3} - \vec{P_1 P_2} \quad (4.20)$$

reprezintă contribuția numai din semnalul înregistrat corespunzătoare încărcării din sarcină adițională. În această situație relațiile (4.16) devin

$$\begin{aligned} |\vec{P_2 P_3}|_A &= \sqrt{(u_{EAx} - u_{oAx})^2 - (u_{EAy} - u_{oAy})^2} = k_A m_s g \frac{L+e}{a} \\ |\vec{P_2 P_3}|_B &= \sqrt{(u_{EBx} - u_{oBx})^2 - (u_{EBy} - u_{oBy})^2} = k_B m_s g \frac{L+e}{a} \end{aligned} \quad (4.21)$$

momentul  $m_s g \cdot r$ . în raport cu punctul O (fig 4.3b) al greutateii  $m_s g$ , acționând în centrul de masă G pe traiectoria  $T_r$  de rază  $r$ , fiind înlocuit cu momentul  $m_a g(L+e)$  al greutateii adiționale  $m_a g$  care în timpul rotirii brațului se va deplasa pe o traiectorie circulară de rază, acum cunoscuta,  $r \rightarrow (L+e)$ . Indicele o din relațiile (4.21) se referă la poziția orizontală a brațului

În relațiile (4.21) doar constantele de  $k_A$  și  $k_B$  sunt necunoscute și deci se pot calcula.

$$k_A = \frac{|\vec{P_2 P_3}|_A}{m_s g} \frac{a}{L+e}; \quad k_B = \frac{|\vec{P_2 P_3}|_B}{m_s g} \frac{a}{L+e} \quad (4.22)$$

iar de aici, prin intermediul relațiilor (4.16), se determină expresia razelor  $r_A$  și  $r_B$  ale traiectoriei centrului de masă

$$r_A = \frac{1}{k_A} \frac{a}{m_s g} u_{rA}; \quad r_B = \frac{1}{k_B} \frac{a}{m_s g} u_{rB} \quad (4.23)$$

### 4.1.3 Rezultate experimentale

Programul experimental a cuprins trei probe la trei poziții diferite pe verticală ale brațului:

- a) brațul ridicat la cota +30 m pe verticală a axului roții cu cupe
- b) brațul cu axa longitudinală orizontală
- c) braț coborât la sol (interstițiu dintre roata cu cupe lși sol  $\approx 0,5$  m)

Pentru etalonarea sistemului de măsură s-a efectuat o a patra probă, cu brațul orizontal și o masă adițională  $m_a=3420$  kg plasată pe braț în dreptul axului roții cu cupe.

- a) Poziția centrului de masă a suprastructurii rotative cu brațul ridicat la cota +30 m pe verticală a axului roții cu cupe

În fig 4.4 este prezentată diagrama variației în timp a semnalelor reacțiunilor din reazimele A și B la o rotire continuă în timp a brațului, de la dreapta la stânga.

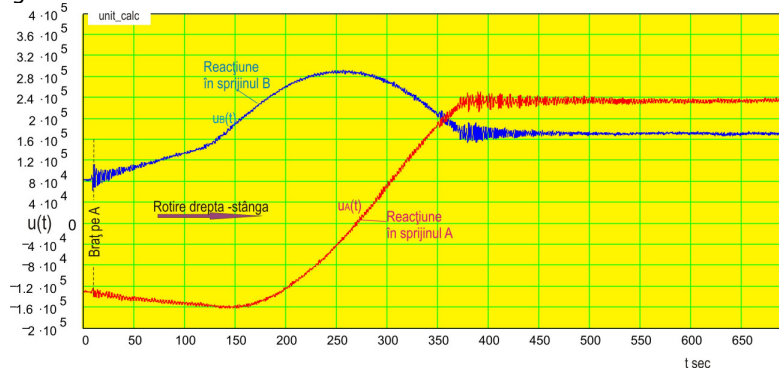


Fig. 4.4 Diagrama variației în timp a semnalelor reacțiunilor din sprijinele A și B la rotirea suprastructurii de la dreapta la stânga (A→B) Roata cu cupe la +30m

La momentul  $t=0$  brațul se află aliniat cu axa sa  $Ox$  peste reazimul A, de care se îndepărtează încet. Semnalul  $u_A(t)$ , corespunzător reacțiunii din reazimul A, scade până la momentul  $t \approx 155$  sec, iar  $u_B(t)$  corespunzător reacțiunii din B crește, fapt ce denotă dezaxarea centrului de masă față de axa de rotație. În vecinătatea lui  $t \approx 155$  sec variația reacțiunii în A prezintă un minim, deci la poziția brațului, în acel moment rotită față de poziția inițială, reazimul A este maximum descărcat. Înseamnă că centrul de masă este situat înspre contrabraț și dezaxat pe  $Oy$ . (dezaxat față de axa longitudinală a brațului).

Pentru a avea evaluări concrete s-au efectuat înregistrări ale semnalelor la diverse unghiuri de rotație  $\phi$  ale brațului, indexate după poziția dinților de pe coroana dințată a mecanismului de rotire infrastructură. Având 372 de dinți incrementul unghiular dintre doi dinți este  $\Delta\phi = 360/371 = 0.970^\circ$ , aprecierea poziției fiind cu toleranță de 1/2 dinți, deci  $\approx 0,48^\circ$ .

În tabelul 4.1 sunt prezentate valorile semnalelor senzorilor din reazimele A și B pentru un șir de 20 poziții unghiulare ale brațului într-o plajă de  $\approx 178^\circ$ .

Tabel 4.1 Valori ale semnalelor senzorilor din sprijinele A și B la diverse poziții  $\phi$  ale brațului ridicat la 30 m de sol

Proba	Poziție	Unghi	Semnal	Semnal
-------	---------	-------	--------	--------

i	dinte corona z	de rotire. braț $\phi_i^0$	sensor A $u_A(\phi_i)$	sensor B $u_B(\phi_i)$	Observații
1	0	0	307795.667	83999.289	Braț la poz. $\phi_0=7,5^0$ stanga
2	10	9.704	268366.58	137332.76	
3	23.5	22.803	223671.22	181447.14	
4	28.5	27.655	211155	193289.64	
5	36.5	35.418	177925.76	216363.2	
6	45	43.666	142775.5	236688.7	
7	55	53.369	103067.9	257542.26	
8	65	63.073	60654.64	272757.34	
9	75	72.776	18409.7	282610.56	
10	85	82.48	-20809.3	287902.5	Braț pe direcția șenilelor
11	95	92.183	-54818.02	285097.96	
12	105	101.887	-88033.14	276931.24	
13	115	111.59	-110931.76	263811.4	
14	125	121.294	-130749.74	244208.36	
15	135	130.997	-149245.62	223756.78	
16	145	140.701	-156405.54	193506.46	
17	155	150.404	-155977.2	162651.38	
18	165	160.108	-151865.76	128987.54	
19	175	169.811	-138495.22	93975.16	
20	178.5	173.208	-127590.46	79359.16	

În figura 4.5a sunt reprezentate cele 20 valori ale semnalului  $u_A(\phi_i)$ , prin bare  $\phi$ , iar prin linia continuă forma analitică (9) de aproximare, observându-se o foarte bună aproximare a formei armonice a semnalului reprezentată prin linie continuă -, calculată prin (12)  $\rightarrow$ (16).

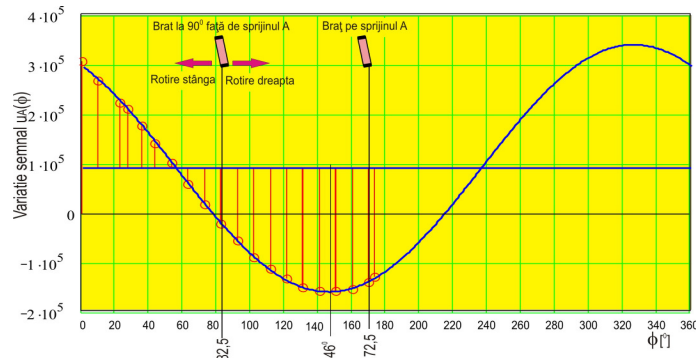


Fig. 4.5a Semnalul  $u_A(\phi)$  determinat experimental  $\phi$  și aproximat analitic prin forma armonică — Braț la cota +30 m

Pe diagramă sunt marcate pozițiile unghiulare ale brațului, la  $\phi=82,5^0$  când brațul se află poziționat după axa fixă OY, paralelă cu liniile de rulare ale șenilelor și la  $\phi=172,5^0$ , precum și poziția  $\phi=146^0$  a brațului la care semnalul  $u_A$  are un minim, cea ce corespunde descărcării maxime a reazimului A.

Aceeași prelucrare se face în figura 4.5b pentru semnalul  $u_B$ , corespunzător reacțiunii din reazimul B.

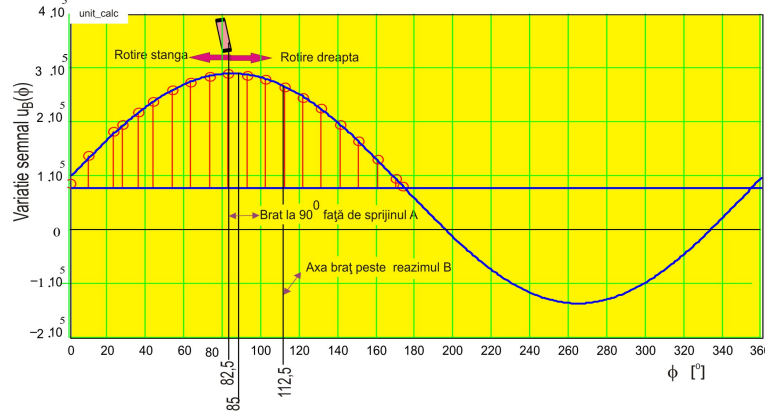


Fig. 4.5b Semnalul  $u_B(\phi)$  determinat experimental  $\phi$  și aproximat analitic — Braț la cota +30 m

Din prelucrarea ambelor semnale  $u_A(\phi)$  și  $u_B(\phi)$ , cu ajutorul relațiilor (4.16) și (4.18) s-au obținut, independente, următoarele valori ale razei  $r_{A/B}$  a traiectoriei  $Tr_{A/B}$ : a centrului de masă G

- $r_A=502,5\text{mm}$   $\beta_A=153,5^\circ$  din prelucrarea semnalului  $u_A(\phi)$
- $r_B=508,6\text{mm}$   $\beta_B=152,5^\circ$  din prelucrarea semnalului  $u_B(\phi)$ .

După cum se observă rezultatele de mai sus rezultă diferențe valorice nesemnificative între valorile obținute prin prelucrarea celor două semnale, fapt ce scoate în evidență acuratețea metodei dezvoltate în cadrul prezentei lucrări.

O verificare semnificativă este dată pe cale grafică (fig.4.6) unde s-au reprezentat două poziții semnificative ale brațului:

- centrul de masă G al suprastructurii situat pe axa vectorului  $\overline{OA}$ , poziție pentru care semnalul  $u_A(\phi)$  corespunzător reacțiunea din A are un minim, vectorul  $\overline{r_A} = \overline{OG}$  fiind de sens contrar vectorului  $\overline{OA}$ , poziția lui G fiind cea mai depărtată de A;
- centrul de masă G al suprastructurii situat pe axa vectorului  $\overline{OB}$ , poziție pentru care semnalul  $u_B(\phi)$  corespunzător reacțiunea din B are un maxim, vectorul  $\overline{r_B} = \overline{OG}$  fiind de același sens cu vectorul  $\overline{OA}$ , poziția lui G fiind cea mai apropiată de B;

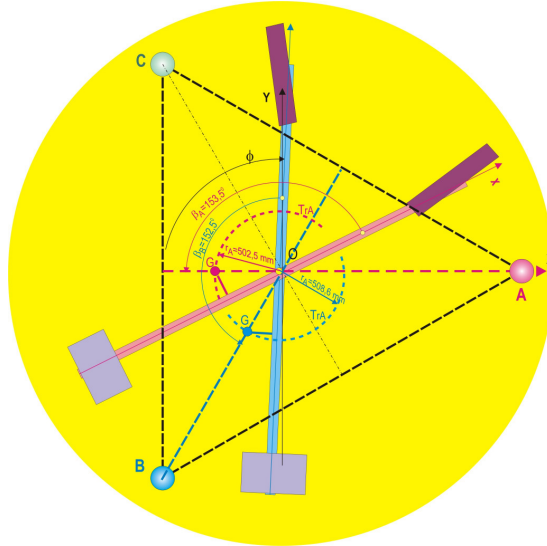


Fig. 4.6 Ilustrarea poziției centrului de masă G al suprastructurii  
Braț la cota +30 m

- b) Poziția centrului de masă a suprastructurii rotative cu brațul în poziție orizontală

În figura 4.7 se prezintă diagramele variațiilor în timp ale semnalelor reacțiunilor din reazemele A și B, la rotirea suprastructurii de la dreapta la stânga (A→B), cu brațul în poziție orizontală. Nivelurile semnalelor din această diagramă sunt mai mici decât nivelurile semnalelor din figura 4.6, corespunzătoare poziției brațului la +30 m, ceea ce înseamnă că raza traiectoriei circulare a centrului de masă G este micșorată, lucru normal deoarece roata cu cupe se depărtează axa de rotație contrabalansând o fracțiune din contragreutate.

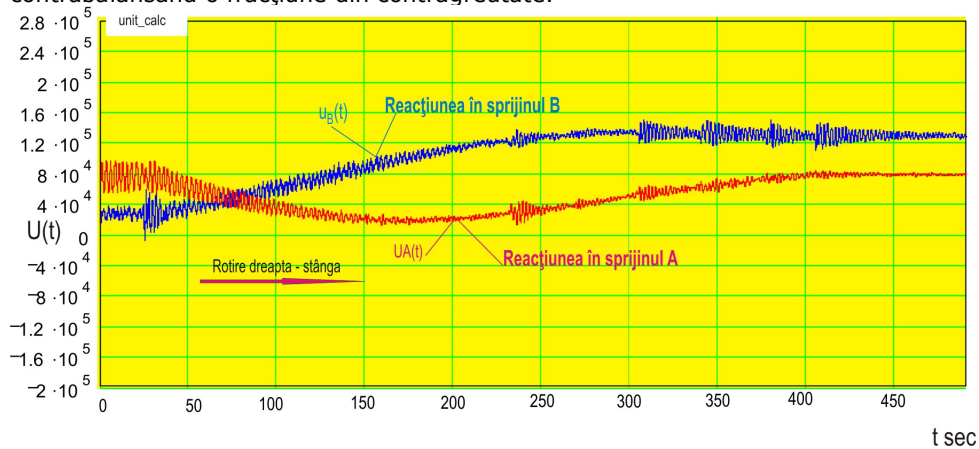


Fig. 4.7 Diagrama variațiilor în timp ale semnalelor reacțiunilor din sprijinul A și B la rotirea suprastructurii de la dreapta la stânga (A→B) Braț orizontal

În tabelul 4.2 sunt prezentate valorile semnalelor pseudosenzorilor din reazimele A și B, pentru un șir de 9 poziții unghiulare ale brațului, posibil de realizat la momentul efectuării testului experimental.

În figura 4. sunt reprezentate cele 9 valori ale semnalului  $u_A(\phi_i)$ , prin bare  $\bar{\phi}$ , iar prin linia continuă forma analitică (9) de aproximare, observându-se, o bună aproximare a formei armonice a semnalului reprezentată prin linie continuă -, calculată prin (12)  $\rightarrow$ (16)

Din prelucrarea ambelor semnale  $u_A(\phi)$  și  $u_B(\phi)$ , cu ajutorul relațiilor (17), (19) s-au obținut independent următoarele valori ale razei  $r_{A/B}$  a traiectoriei  $Tr_{A/B}$ : a centrului de masă G

- $r_A=124,6$  mm  $\beta_A \approx 90^\circ$  din prelucrarea semnalului  $u_A(\phi)$
- $r_A=134,4$  mm  $\beta_A \approx 91^\circ$  din prelucrarea semnalului  $u_B(\phi)$ .

Tabel 4.2 Valori ale semnalelor senzorilor din sprijinele A și B la diverse poziții  $\phi_i$  ale brațului în plan orizontal

Proba i	Poziție dinte corona z	Unghi de rotire. braț $\phi_i$	Semnal sensor A $u_A(\phi_i)$	Semnal sensor B $u_B(\phi_i)$	Observații
1	20	19.407	59308.08	134967.46	
2	40	38.814	38954.16	132148.06	
3	60	58.221	31307.26	124759.8	
4	80	77.628	25486.82	110239.64	
5	100	97.035	20018.22	97692.58	
6	120	116.442	24316.68	80346.2	
7	140	135.849	37564.58	61261.58	
8	160	155.256	5.6490	44256.68	
9	175	169.811	75420.48	29781.74	

Din ilustrarea grafică (Fig. b4) a poziției centrului de masă G se observă clar ca acesta se află situat pe axa  $Oy$  la  $\approx 130$  mm, axă ce intersectează în O axa de rotație a suprastructurii.

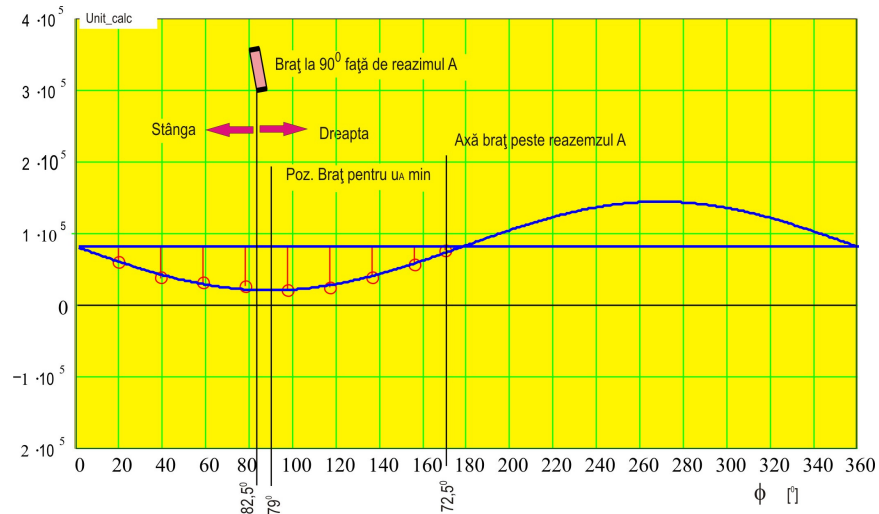


Fig. 4.8.a Semnalul  $u_A(\phi)$  determinat experimental  $\phi$  și aproximat analitic — Braț în poziție orizontală

Dacă revenim la valorile corespunzătoare situației cu braț ridicat la cota +30 a roții cu cupe coordonatele pe sistemul mobil  $Oxy$  sunt

$$x_A = r_A \cos \beta_A = 502,5 \cos 153 = -448 \text{ mm}$$

$$x_B = r_B \cos \beta_B = 508,6 \cos 152,5 = -451 \text{ mm}$$

$$y_A = r_A \sin \beta_A = 502,5 \sin 153 = 228 \text{ mm}$$

$$y_B = r_B \sin \beta_B = 508,6 \sin 152,5 = 235 \text{ mm}$$

cea ce arată, în mod logic că, la trecerea brațului din poziție orizontală în poziție ridicată la +30 centrul de masă  $G$  se deplasează înspre contrabraț cu 450 mm, iar cota sa pe axa  $Oy$  perpendiculară pe axa  $Ox$  se mărește de la  $\approx 130$  mm, (pentru braț orizontal) la  $\approx 230$  mm.

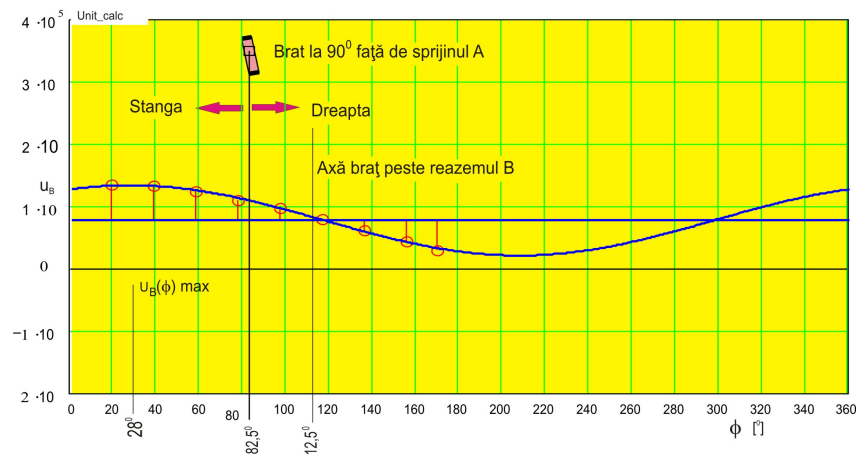


Fig. 4.8b Semnalul  $u_B(\phi)$  determinat experimental  $\phi$  și aproximat analitic —



## Braț în poziție orizontală

c) Poziția centrului de masă a suprastructurii rotative cu brațul coborât la sol

În figura 1c Diagrama variației în timp a semnalelor reacțiunilor din reazimele A și B, la rotirea suprastructurii de la dreapta la stânga (A→B), cu brațul în poziție coborâtă interstițiul dintre cupă și sol fiind de  $\approx 0,5$  m. Urmând aceleași etape de prelucrare a semnalelor ca la celelalte două situații s-au obținut următoarele rezultate

- $r_A = 173,3$  mm  $\beta_A \approx 117,5^\circ$  din prelucrarea semnalului  $u_A(\phi)$
- $r_B = 168,9$  mm  $\beta_B \approx 112,5^\circ$  din prelucrarea semnalului  $u_B(\phi)$ .

Poziția centrului de masă față de sistemul Oxz legat de braț vor fi

$$x_A = r_A \cos \beta_A = 173,3 \cos 117,5 = -80,5 \text{ mm}$$

$$x_B = r_B \cos \beta_B = 168,9 \cos 112,5 = -78,0 \text{ mm}$$

$$y_A = r_A \sin \beta_A = 173,3 \sin 117,5 = 154,6 \text{ mm}$$

$$y_B = r_B \sin \beta_B = 168,9 \sin 112,5 = 149,8 \text{ mm}$$

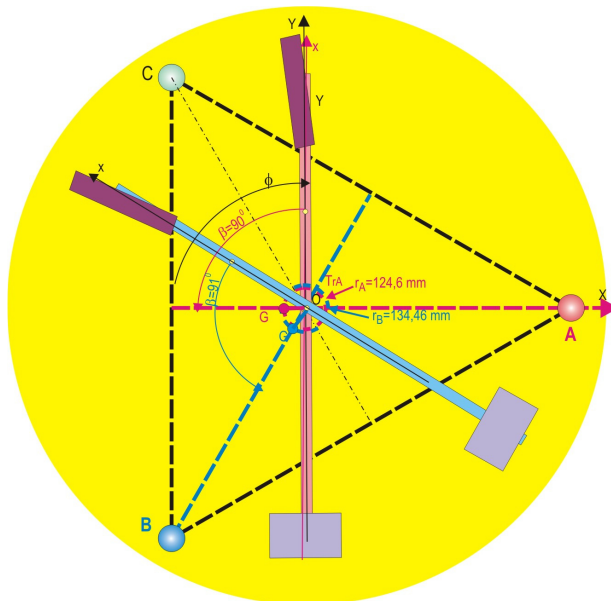


Fig. 4.9 Ilustrarea poziției centrului de masă G al suprastructurii. Braț în poziție orizontală

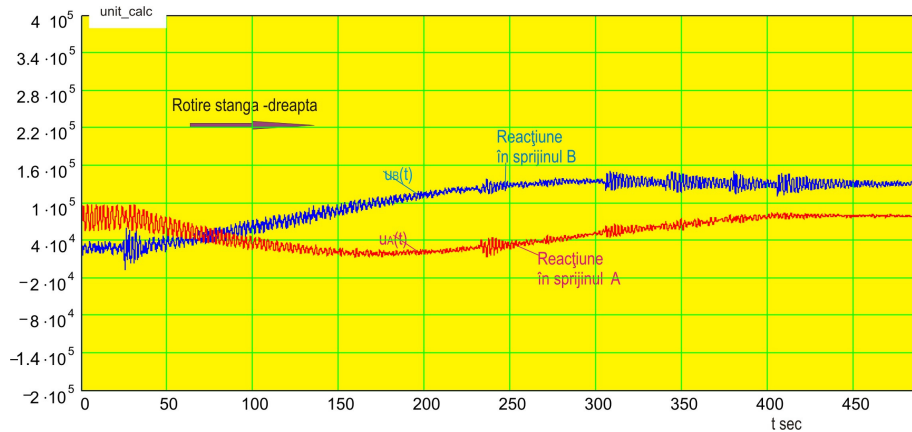


Fig. 4.10 Diagrama variațiilor în timp ale semnalelor reacțiunilor din sprijinele A și B la rotirea suprastructurii de la stânga la dreapta(B→A) Braț coborât cu cupa la sol

Tabel 4.3 Valori ale semnalelor senzorilor din sprijinele A și B la diverse poziții  $\phi_i$  ale brațului coborât la sol

Proba i	Poziție dinte corona z	Unghi de rotire. braț $\phi_i$	Semnal senzor A $u_A(\phi_i)$	Semnal senzor B $u_B(\phi_i)$	Observații
1	40	38.814	35383.96	153561.76	
2	60	58.221	11008	152735.1	
3	80	77.628	-10535.1	145993.24	
4	100	97.035	-16834.38	132062.1	
5	120	116.442	-22484	112342.22	
6	140	135.849	-14553.3	90715.2	
7	160	155.256	4054.84	63706.18	
8	175	169.811	21292.58	49049.34	

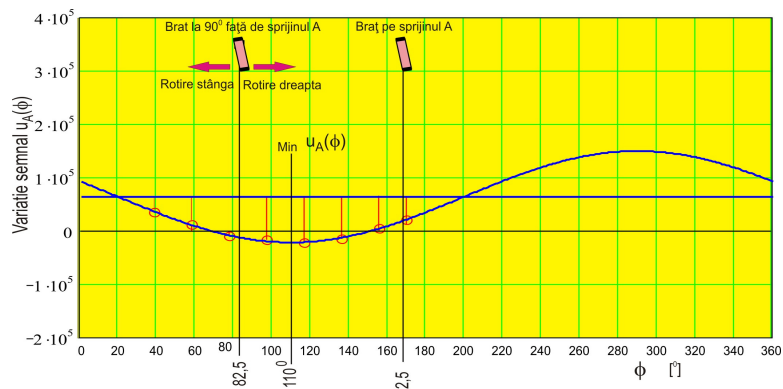


Fig. 4.11.b Semnalul  $u_A(\phi)$  determinat experimental și aproximat analitic — Braț la sol

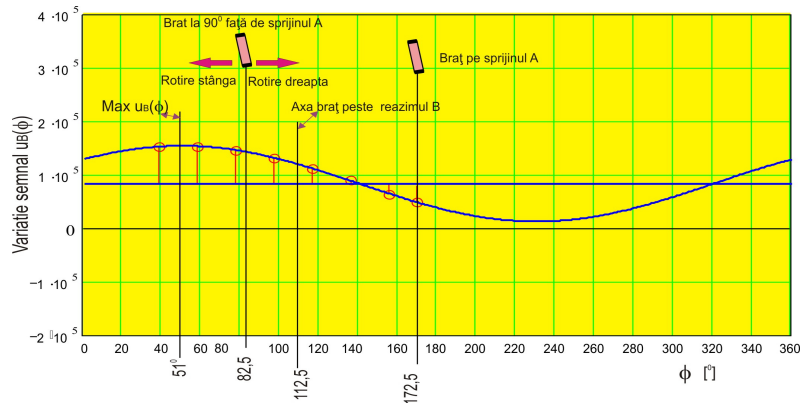


Fig4.11.b Semnalul  $u_B(\phi)$  determinat experimental  $\phi$  și aproximat analitic —  
Brăț la sol

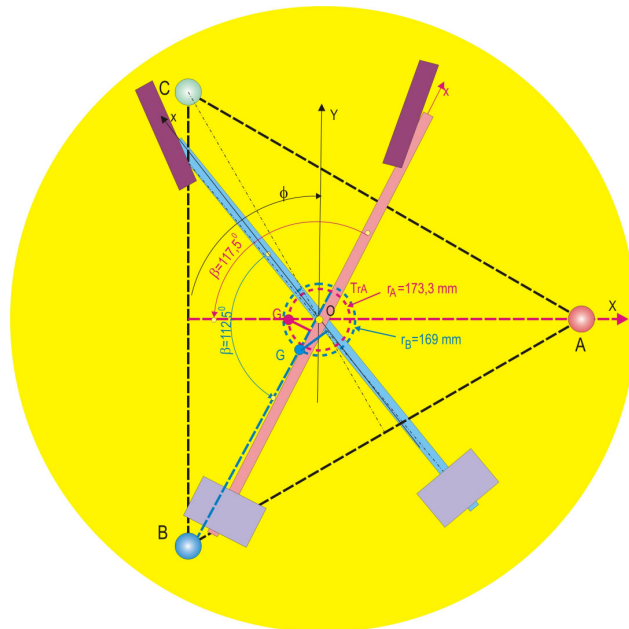


Fig. 4.12 Ilustrarea poziției centrului de masă G al suprastructurii  
Brăț la sol

Se constată o revenire a poziției centrului de masă G înspre contrabraț la cota  $x \approx -80$  mm și menținerea lui pe partea stângă a brațului, acum la cota  $y \approx 170$  mm. Se vede clar influența roții cu cupe a cărei centru de masă se află situat pe această parte a brațului.

- d) Poziția centrului de masă a suprastructurii rotative, cu brațul orizontal și masă  $m_a = 4320$  kg, atașată în dreptul axei roții cu cupe.

În scopul etalonării celor doi pseudosenzori din reazimele A și B, s-a atașat masa adițională de valoare cunoscută  $m_a=4320$  kg la cota  $x=L+e$  (fig.4.3). Urmând același procedeu rezultatele sunt prezentate sintetic în figurile d1, d2, d3 și tabelul d1. n relațiile (4.21)

Având și datele de la proba cu braț orizontal s-au putut determina cu relațiile (22) modulul vectorului (fig.4.3)

$$\left| \overline{P_2 P_3} \right|_A = \sqrt{(u_{E_{Ax}} - u_{O_{Ax}})^2 - (u_{E_{Ay}} - u_{O_{Ay}})^2} = \sqrt{(-7,474 \times 10^4)^2 - (3,253 \times 10^4)^2} = 8,151 \times 10^4$$

$$\left| \overline{P_2 P_3} \right|_B = \sqrt{(u_{E_{Bx}} - u_{O_{Bx}})^2 - (u_{E_{By}} - u_{O_{By}})^2} = \sqrt{(-7,474 \times 10^4)^2 - (3,253 \times 10^4)^2} = 6,874 \times 10^4$$

care este proporțional, prin constanta  $k_{A/B}$ , cu greutatea  $m_{ag}$ , cunoscută,

$$k_A = \frac{\left| \overline{P_2 P_3} \right|_A}{m_{ag}} \frac{a}{L+e}; \quad k_B = \frac{\left| \overline{P_2 P_3} \right|_B}{m_{ag}} \frac{a}{L+e} \quad (4.22)$$

iar de aici, prin intermediul relațiilor (4.16), expresia razelor  $r_A$  și  $r_B$  ale traiectoriei centrului de masă

$$r_A = \frac{1}{k_A} \frac{a}{m_s g} u_{rA}; \quad r_B = \frac{1}{k_B} \frac{a}{m_s g} u_{rB} \quad (4.23)$$

trece direct pe figurile 4.6, 4.9 și 4.12, care ilustrează pozițiile centrului de masă G față de brațul excavatorului, poziții determinate independent, prin prelucrarea semnalelor celor doi pseudosenzori, realizați prin montajele de TER-uri amplasate pe grinzile de sprijin în A și B (fig.4.2)

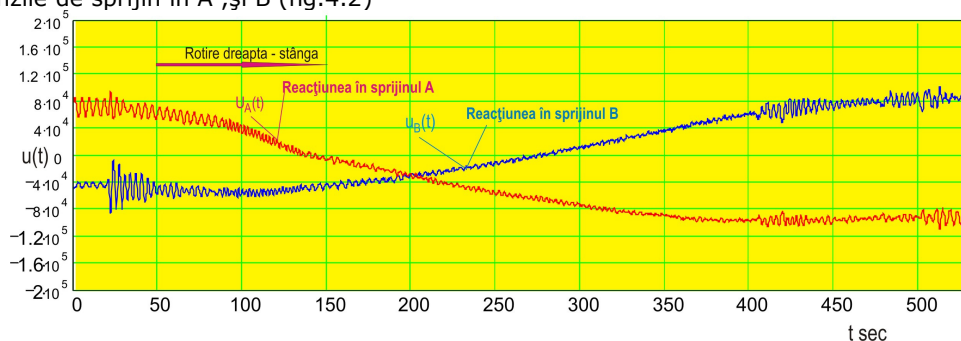


Fig. 4.13 Diagrama variației în timp a semnalelor reacțiunilor din sprijinele A și B la rotirea suprastructurii de la dreapta la stânga (A→B) Braț orizontal cu masă adițională  $m_a=4320$  kg

Tabel 4.4 Valori ale semnalelor senzorilor din sprijinele A și B la diverse poziții  $\phi_i$  brațului orizontal cu  $m_a=4320$  kg

Proba i	Poziție dinte corona z	Ungchi de rotire. braț $\phi_i$	Semnal sensor A $u_A(\phi_i)$	Semnal sensor B $u_B(\phi_i)$	Observații
1	20	19.407	-5651.36	121595.24	
2	60	58.221	1039.68	96832.52	
3	80	77.628	12352.82	71448.34	
4	100	97.035	33678.58	46245.72	
5	120	116.442	61695.34	25734.32	

6	140	135.849	91759.08	10998.98	
7	160	155.256	115675.82	3664.74	
8	175	169.811	140072.4	6079.56	
9	20	19.407	-5651.36	121595.24	

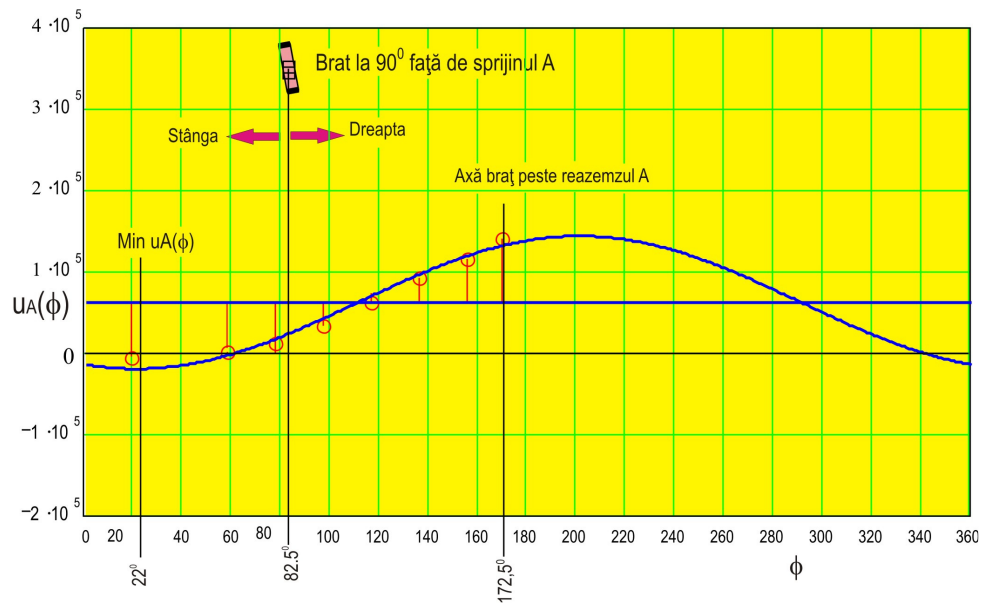


Fig. 4.14a Semnalul  $u_A(\phi)$  determinat experimental  $\phi$  și aproximat analitic — Braț în poziție orizontală cu masă adițională  $m_a=4320$  kg

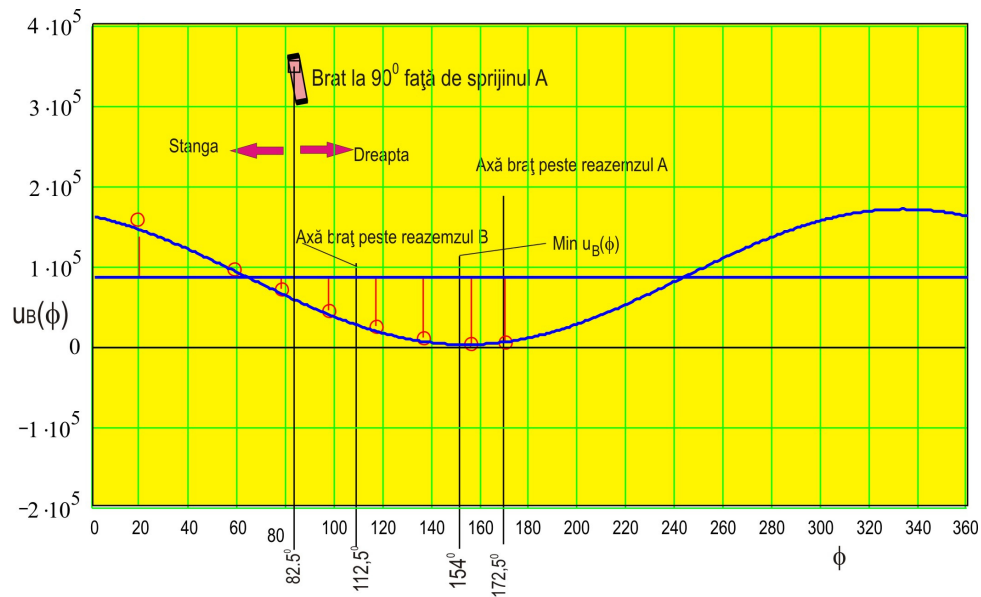


Fig. 4.14b Semnalul  $u_B(\phi)$  determinat experimental și aproximat analitic — Braț în poziție orizontală cu masă adițională  $m_a=4320$  kg

#### 4.1.4 Calibrarea pseudosenzorilor prin încărcarea brațului cu o forță cunoscută

Dificultățile ivite la utilizarea metodei de calibrare a pseudosenzorului cu masă adițională amplasată pe braț, prezența unei macarale și a unei mase adiționale tarate, a dus la o metodă de calibrare care constă în încărcarea brațului excavatorului cu o forță cunoscută și măsurarea semnalului de răspuns al pseudosenzorului la această încărcare (Fig.4.15).

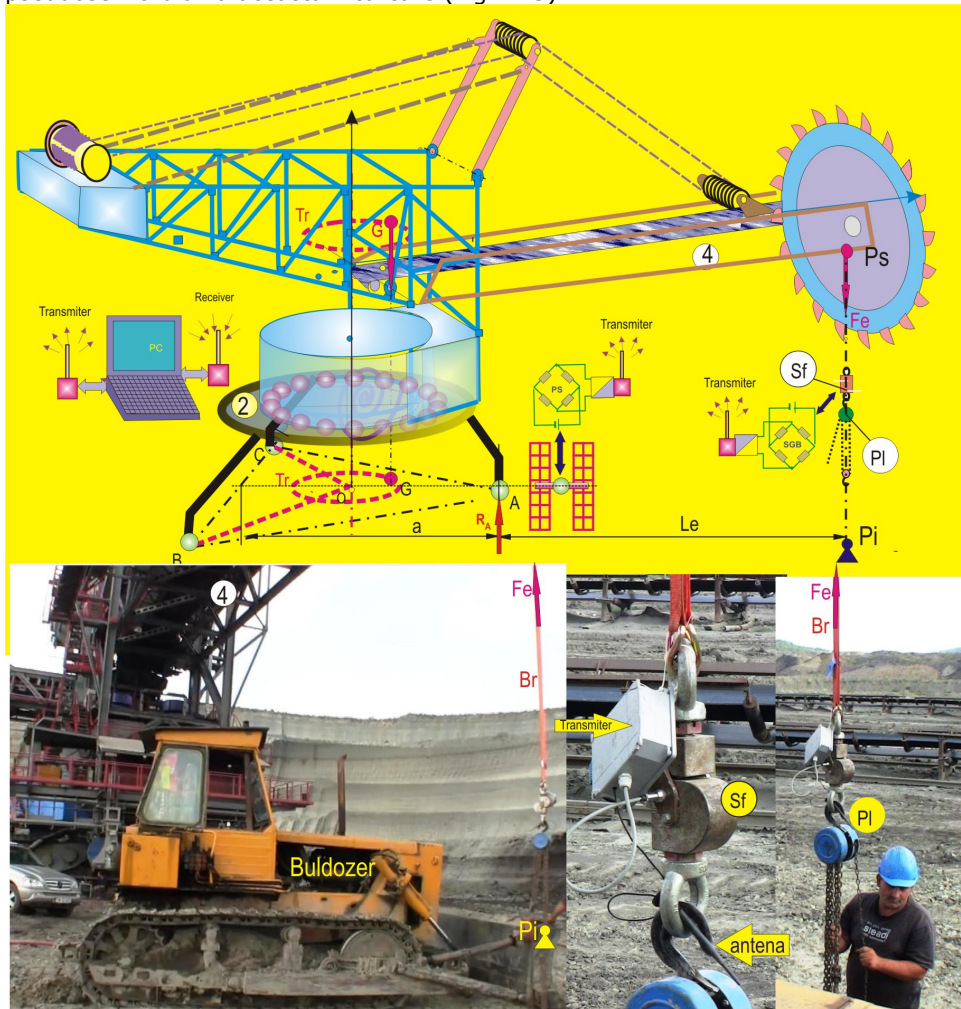


Fig. 4.15 Ilustrarea calibrării pseudosenzorului prin încărcarea brațului excavatorului cu o forță  $F_e$ , cunoscută, măsurată prin intermediul senzorului de forță  $S_f$

Încărcarea brațului se face prin intermediul unei benzi rezistente  $B_r$ , din material textil, prinsă la capătul superior de brațul 4 al excavatorului, (punctul  $P_s$ ), iar la capătul inferior de la nivelul solului, (punctul  $P_i$ ), de un utilaj care de obicei deserveste excavatorul (în cazul de față un buldozer). Pe linia benzii sunt intercalate un senzor de forță  $S_f$  și un palan prin care se încarcă manual tensiunea  $F_e$  în bandă.

Pentru calibrarea pseudosenzorului din reazimul A brațul 4 al excavatorului este adus cu axa longitudinală astfel ca proiecția sa pe planul orizontal ABC, al celor trei reazime, să treacă prin reazimul A, perpendiculară pe linia BC a reazimelor B și C.

Din echilibrul de momente în raport axa BC rezultă, în funcție de încărcarea  $F_e$ , încărcarea suplimentară în reazimul A

$$\Delta R_A = \frac{L_e + a}{a} F_e \quad (4.24)$$

Semnalul de ieșire  $u_e$  al senzorului de forță este proporțional cu sarcina  $F_e$

$$F_e = k_e u_{F_e}, \quad (4.25),$$

constanta de calibrare  $k_e$  fiind determinată pe mașina de tracțiune. Pentru senzorul de sarcină utilizat, constanta de calibrare atestată de Laboratorul de Forțe de la INM Timișoara are valoarea  $k_e = 1/256$  daN/unitate calculator (unit\_calc).

Semnal înregistrat prin montajul de TER-uri amplasat pe grinda de sprijin în reazimul A va fi

$$\Delta u_{eA} = k_A \Delta R_A = k_A \frac{L_e + a}{a} F_e \quad (4.26)$$

de unde constanta de calibrare a pseudosenzorului va fi

$$k_A = \frac{\Delta u_{eA}}{F_e} \frac{a}{L_e + a} \quad (4.27)$$

care introdusă în prima dintre relațiile (4.16)

$$u_r = \sqrt{u_{Ax}^2 + u_{Ay}^2} = k_A m_s g \frac{r_G}{a} \quad (4.16)$$

va da valoarea razei traiectoriei  $T_r$  a centrului de masă

$$r_G = \frac{u_r}{m_s g} \frac{F_e}{\Delta u_{eA}} (L_e + a) \quad (4.28)$$

Supozițiile teoretice expuse mai sus impun proporționalitate dintre forța direct aplicată  $F_e$  la brațul  $L_e$  și semnalul  $\Delta u_{eA}$  a pseudosenzorului din sprijinul A

$$k_{u-F} = \frac{\Delta u_{eA}}{F_e} \quad (4.29)$$

care se determină din diagrama de încărcare descărcare a brațului cu forța  $F_e$ , astfel că formula finală de calcul a razei  $r_G$  va fi

$$r_G = \frac{u_r}{m_s g} \frac{1}{k_{u-F}} (L_e + a) \quad (4.30)$$

Constanta de calibrare  $k_{u-F}$  se determină prin înregistrarea caracteristicii.

Figura 4.16.a reprezintă diagramele de încărcare în timp,  $\Delta u_{eA}$  a semnalul pseudosenzorului din reazimul A iar  $u_{F_e}$  fiind semnalul senzorului de sarcină ( $S_f$ ), aplicarea sarcinii verticale fiind la cota  $L_e = 26800$ mm. ( $a = 11225.5$  mm)

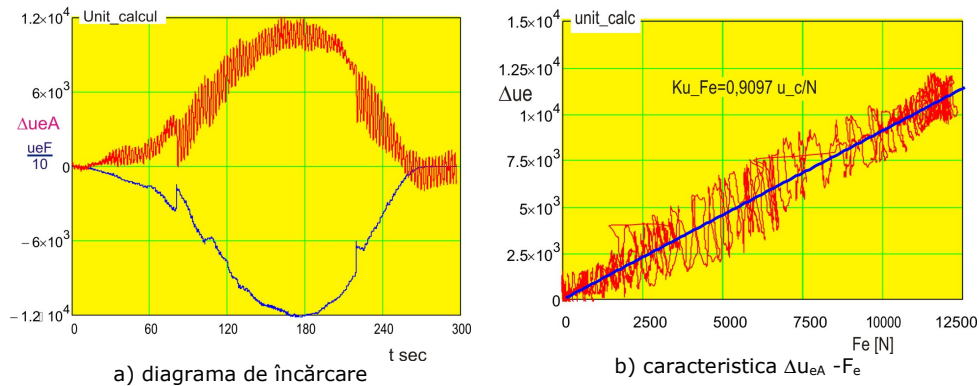


Fig. 4.16 Diagrama de etalonare a pseudosenzorului din reazemul A, pentru  $L_e=26800$  mm

Datorită slabei amortizări a structurii excavatorului perturbațiile produse de încărcarea sacadată prin palan produc mișcări oscilatorii ale structurii, oscilații ce se regăsesc, așa cum se observă în diagrama de încărcare corespunzătoare semnalului  $\Delta u_{eA}$ . (fig 4.16.a). Pentru eliminarea acestei perturbații dinamice la determinarea caracteristici lineare  $\Delta u_{eA} - F_e$  (fig. 4.16.b) prin metoda celor mai mici pătrate, rezultând, în cazul de față, constanta de calibrare a pseudosenzorului  $Ku\_Fe= 0,894$  unit\_cal/N. C.

Programul experimental a cuprins o rotire secvențială a brațului cu axa sa longitudinală orizontală, rotire secvențială cuprinzând 12 poziții unghiulare ale brațului (fig.3), care au fost stabilite pe baza măsurării corzii  $s$  pe carcasa tubulară de protecție a coroanei dințate a mecanismului de rotire.



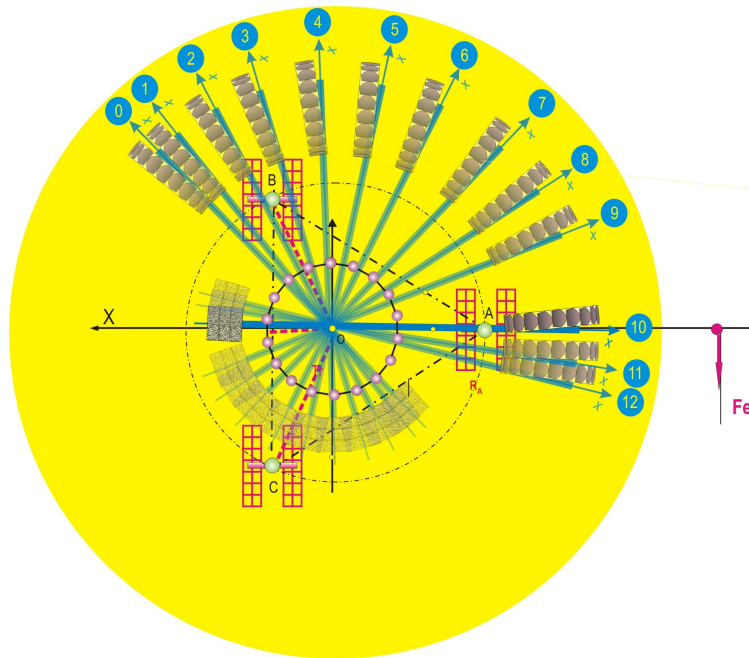


Fig. 4.17 Ilustrarea celor 12 poziții ale brațului în timpul măsurătorilor experimentale

Valorile discrete ale semnalului  $u_A(\phi_i)$ , pentru cele 12 poziții ale brațului sunt date în tabelul 1.

Tabel 4.5 Valori ale semnalului pseudosenzorului din reazemul A la diverse poziții  $\phi_i$  orizontală ale brațului

fișier	$s_1$ la $s_2$		Poz. braț $\phi$		Semnal $u(\phi)$		De la poz - la poziția	
	mm coarda		$\phi_1^\circ$	$\phi_2^\circ$	$u_A(\phi_1)$	$u_A(\phi_2)$		
1	0	510	45	50.8	4690.5	-7144.9	0	1
2	510	1430	50.8	61.4	-7574.1	-28745.5	1	2
3	1430	2410	61.4	72.6	-28613.2	-51561.9	2	3
4	2410	3650	72.6	86.8	-51837.8	-84967.6	3	4
5	3650	4910	86.8	101.2	-85076.8	-121657.4	4	5
6	4910	6160	101.2	115.6	-121244.6	-153365.7	5	6
7	6160	7660	115.6	132.7	-153201.3	-186732.9	6	7
8	7660	8820	132.7	146	-186424.3	-205625.5	7	8
9	8820	9810	146	157.4	-205613.7	-217503.5	8	9
10	9810	11790	157.4	180	-217680.3	-224699.7	9	10
11	11790	12480	180	187.9	-225110.3	-221677.7	10	11
12	12480	12930	187.9	193.1	-221338.2	-217525.6	11	12(0)

În figura 4.18 sunt reprezentate grafic cele 12 valori ale semnalului  $u_A(\phi_i)$ , prin bare  $\square$ , iar prin linia continuă forma analitică de aproximare, observându-se o foarte bună aproximare a formei armonice a semnalului, reprezentată prin linie continuă.

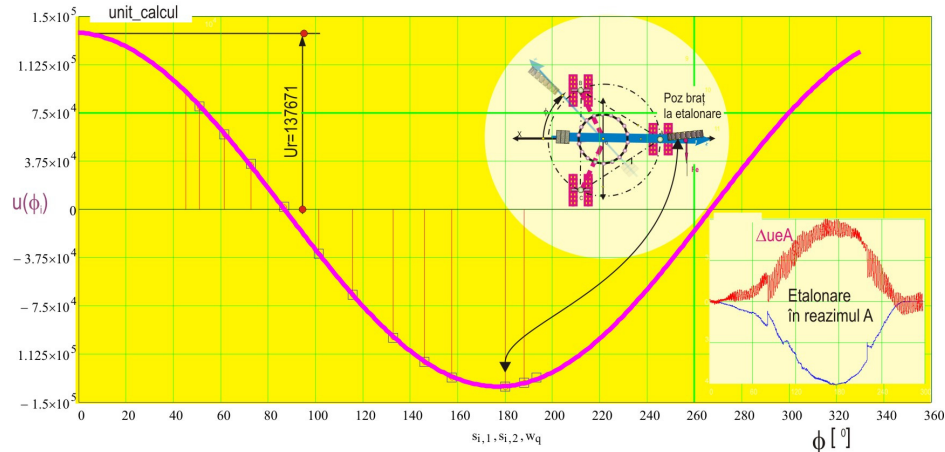


Fig.4.18 Variația semnalului  $u(\phi)$  al pseudosenzorului din reazimul A. funcție de poziția unghiulară  $\phi$  a brațului

Pe baza șirului de valori  $u(\phi_i)$ , înregistrate într-o plajă de  $189^\circ$ , s-a determinat, amplitudinea  $u_r = 137671$  unit.calcul, rezultând din relația (4.30), cu valorile  $m_r = 795000$  kg;  $L_e = 26800$  mm;  $a = 11225.5$  mm și  $Ku_{Fe} = 0,909$  u\_cal/N

$$r_G = \frac{u_r}{m_r g k_{u_F}} (L_e + a) = \frac{137671}{795000 \times 9.81 \times 0,909} \times (26800 + 11225.5) = 723,8 \text{ mm}$$

care reprezintă raza traiectoriei  $T_{rr}$ , de deplasare a centrului de masă al suprastructurii rotative.

Pentru stabilirea poziție relative a centrului de masă G față de braț pe figura 4.19 sunt ilustrate, suplimentar, poziția axei longitudinale a brațului când G se afla situat de-a lungul axei OA, poziție corespunzătoare unui minim a încărcării pe reazimul A. Aceasta se întâmplă la poziția brațului  $\phi_G = 180^\circ$ , (fig.4.19). Semnalul pseudosenzorului la încărcarea cu sarcina etalon, la  $\phi = 180^\circ$ , este pozitiv, (fig 4.16.a). La această poziție a brațului semnalul pseudosenzorului fiind minim, rezultă că centrul de masă este situat înspre contrabraț (fig.4.19).

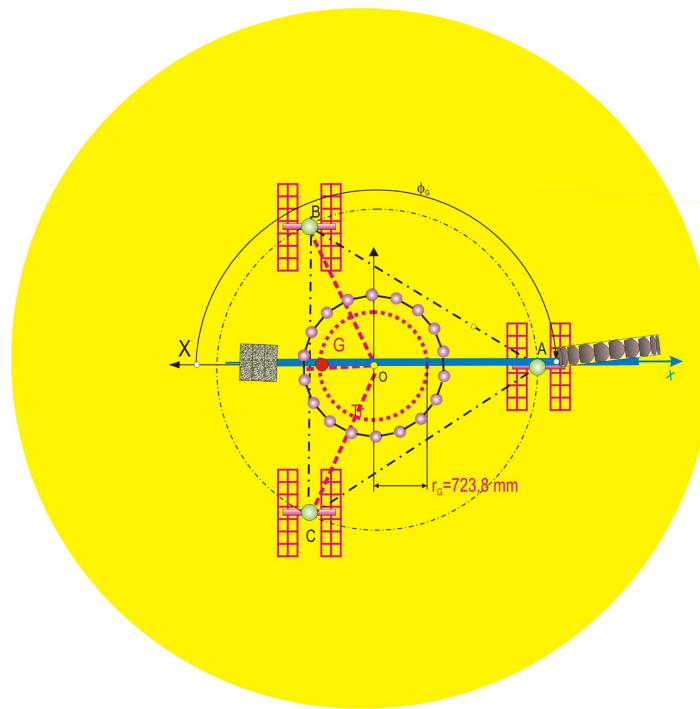


Fig.4.19 Ilustrarea poziției relative a centrului de masă G față de braț: pe o rază  $r_G=723,8$  mm înspre contrabraț,

Metoda expusă mai sus, privind determinarea centrului de masă G al suprastructurii rotative a unui utilaj minier, utilizând calibrarea pseudosenzorului prin forță de încărcare cunoscută este mult mai expeditivă decât cea cu calibrare prin masă adăugată, a fost aplicată la un număr mare de utilaje cum sunt excavatoare, mașini de haldat și mașini de scos din depozit. Echipamentul special de încărcare cu sarcina  $F_e$  pe care l-am proiectat, realizat și este prezentat în anexa 4.1.

## 4.2 Controlul stabilității dinamice a structurii unui excavator

Așa cum s-a constatat, prin numărul mare de experimentări, elementele sensibile la mișcările provocate de diverse excitații ce apar în timpul lucrului unui utilaj minier de suprafață, - cum sunt, excavatoarele, mașinile de haldat și scos din depozit, - sunt reacțiunile  $R_A$ ,  $R_B$  și  $R_C$  din cele trei reazime sferice A, B și C care formează un triunghi echilateral pe care se sprijină suprastructura. În poziție de echilibru static acestea se exprimă prin formele 4.1, care pentru raportul  $c/a=1/3$  devin,

$$\begin{aligned}
 R_A &= \frac{1}{3}m_s g + m_s g \frac{r_G}{a} \cos(\alpha + \beta) \\
 R_B &= \frac{1}{3}m_s g + m_s g \frac{r_G}{a} \cos(\alpha + \beta + 120^\circ) \\
 R_C &= \frac{1}{3}m_s g + m_s g \frac{r_G}{a} \cos(120^\circ - \alpha - \beta)
 \end{aligned} \tag{4.31}$$

care, în funcție de poziția unghiulară a brațului  $\alpha$  și defazajul  $\beta$ , variază în domeniul

$$\Delta R_{A,B,C} = \frac{1}{3}m_s g \left( 1 \pm 3 \frac{r_G}{a} \right) \tag{4.32}$$

Considerând o traiectorie a centrului de masă G cu raza  $r_G=800$  mm cât se consideră optim de către constructor, cu G situat înspre contrabrat, și  $a=11225.5$  mm.

$$\Delta R_{A,B,C} = \frac{1}{3}m_s g (1 \pm 0.214)$$

deci cu o încărcare și descărcare a reazimului de 21,4%.

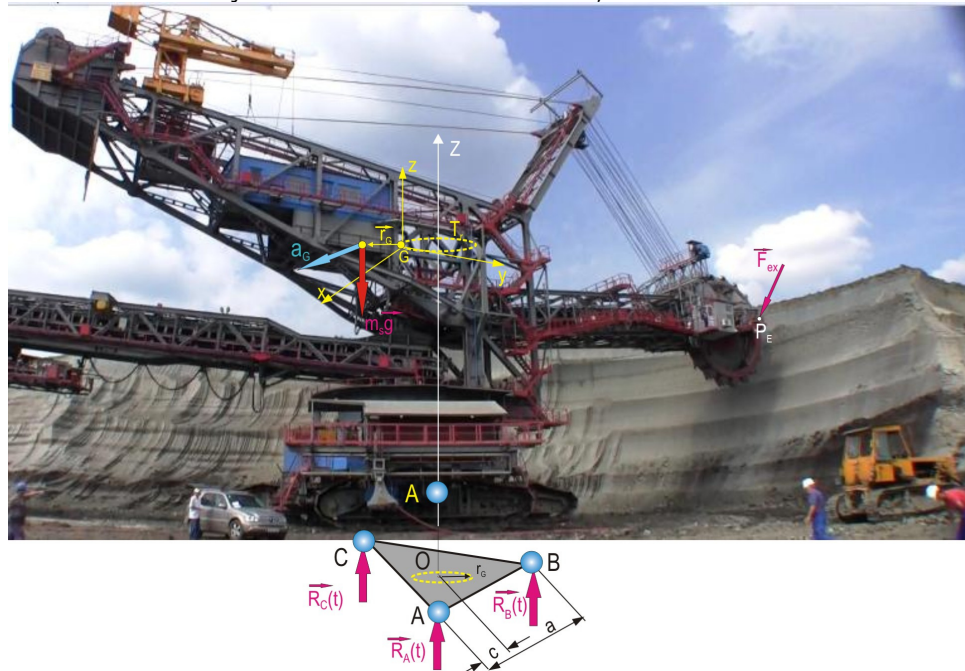


Fig.4.20 Ilustrarea forțelor care echilibrează excavatorul în timpul lucrului

În timpul lucrului, sub acțiunea forței de excavație dată prin vectorul  $\overline{F_{ex}(t)}$  structura elastică a excavatorului se deformează, executând mișcări oscilatorii. Aplicând legea mișcării centrului de masă

$$m_s \overline{a_G} = \overline{F_{ex}(t)} + \overline{R_{fA}(t)} + \overline{R_{fB}(t)} + \overline{R_{fC}(t)} \tag{4.33}$$

și teorema momentului cinetic

$$\frac{d\overline{K}}{dt} = \overline{P_E G} \times \overline{F_{ex}(t)} + \overline{A G} \times \overline{R_{fA}(t)} + \overline{B G} \times \overline{R_{fB}(t)} + \overline{C G} \times \overline{R_{fC}(t)} \tag{4.34}$$

unde vectorul moment cinetic

$$\bar{K} = \int_S \bar{r} \times \bar{v} dm \quad (4.35)$$

este raportat la centrul de masă al întregii suprapstructuri  $S$  ( $S_1, S_2, S_3$ ).

Dacă se cunosc, componentele vectorului de excavație,  $\bar{F}_{ex}(t)$  și distribuția mișcărilor de-a lungul substructurii  $S$  se pot determina legile de variație ale vectorilor,  $\bar{a}_G$  al accelerației centrului de masă și  $\bar{K}$ , al momentului cinetic, formându-se, din (4.33) și (4.34), un sistem de 6 ecuații cu 9 necunoscute (componentele reacțiilor dinamice)  $\bar{R}_{fA}(t)$ ,  $\bar{R}_{fB}(t)$ , și  $\bar{R}_{fC}(t)$ .

Luând în considerare că reazimele  $A, B$  și  $C$  sunt reazime sferice principalele componente ale vectorilor  $\bar{R}_{fA}(t)$ ,  $\bar{R}_{fB}(t)$ , și  $\bar{R}_{fC}(t)$ , sunt cele verticale  $R_{A_z}(t)$ ,  $R_{B_z}(t)$  și  $R_{C_z}(t)$ , care se adaugă celor din echilibru static din greutate proprie astfel încât la momentul  $t$  componentele verticale instantanee sunt de forma

$$\begin{aligned} R_A(t) &= \frac{1}{3} m_s g + m_s g \frac{r_G}{a} \cos(\alpha + \beta) + R_{A_z}(t) \\ R_B(t) &= \frac{1}{3} m_s g + m_s g \frac{r_G}{a} \cos(\alpha + \beta + 120^\circ) + R_{B_z}(t) \\ R_C(t) &= \frac{1}{3} m_s g + m_s g \frac{r_G}{a} \cos(120^\circ - \alpha - \beta) + R_{C_z}(t) \end{aligned} \quad (4.36)$$

Condițiile de stabilitate dinamică a echilibrului structurii excavatorului sunt,

$$R_A(t) > 0; \quad R_B(t) > 0; \quad R_C(t) > 0 \quad (4.37)$$

astfel că dacă  $R_A(t) \rightarrow 0$  se creează pericolul răsturnării structurii în jurul axei  $\overline{BC}$  a reazimelor  $B$  și  $C$  și în mod similar, pentru  $R_B(t) \rightarrow 0$  există pericolul răsturnării după axa  $\overline{AC}$ , iar pentru  $R_C(t) \rightarrow 0$  pericolul de răsturnare este după axa  $\overline{AB}$ .

Primii termeni  $m_s g/3$  din relațiile (4.36) sunt cunoscuți din documentația utilajului, în cel de al doilea termen al fiecărei relații se cunosc, în plus, raza  $r_G$  a traiectoriei statice a centrului de masă.

Prin intermediul a trei pseudosenzori cu TER-uese pot determina componentele din dezechilibrul masic

$$\begin{aligned} R_{SA} &= m_s g \frac{r_G}{a} \cos(\alpha + \beta) \\ R_{SB} &= m_s g \frac{r_G}{a} \cos(\alpha + \beta + 120^\circ) \\ R_{SC} &= m_s g \frac{r_G}{a} \cos(120^\circ - \alpha - \beta) \end{aligned} \quad (4.37)$$

prin metodă experimentală dezvoltată în prezentul capitol și componentele

$$\begin{aligned} R_{dA}(t) &= m_s g \frac{r_G}{a} \cos(\alpha + \beta) + R_{A_z}(t) \\ R_{dB}(t) &= m_s g \frac{r_G}{a} \cos(\alpha + \beta + 120^\circ) + R_{B_z}(t) \\ R_{dC}(t) &= m_s g \frac{r_G}{a} \cos(120^\circ - \alpha - \beta) + R_{C_z}(t) \end{aligned} \quad (4.38)$$

care sunt înregistrate în timpul lucrului, incluzând operațiile de poziționare braț, în plan orizontal (unghiul  $\alpha$ ) și de excavație.

Cu aceste expresiile reacțiilor absolute (4.36) devin

$$\begin{aligned}
 R_A(t) &= \frac{1}{3} m_s g + R_{dA}(t) \\
 R_B(t) &= \frac{1}{3} m_s g + R_{dB}(t) \\
 R_C(t) &= \frac{1}{3} m_s g + R_{dC}(t)
 \end{aligned}
 \tag{4.39}$$

care raporate la reacțiunile statice  $m_s g/3$  din încărcare statică cu centrul de masă G situat pe axa verticală de rotație OZ vor da indicii dinamici

$$\begin{aligned}
 i_A(t) &= 1 + 3 \frac{R_{dA}(t)}{m_s g} \\
 i_B(t) &= 1 + 3 \frac{R_{dB}(t)}{m_s g} \\
 i_C(t) &= 1 + 3 \frac{R_{dC}(t)}{m_s g}
 \end{aligned}
 \tag{4.40}$$

care pentru stabilitatea dinamică a structurii trebuie să fie toți pozitivi. Se poate impune o valoare limită minimă prin care să se asigure un grad de stabilitate.

$$i_{\text{limit}} \leq \min(i_A(t), i_B(t), i_C(t)) \tag{4.41}$$

care să stea la baza supravegherii stabilității dinamice a structurii utilajului.

De asemenea monitorizate continuu reacțiunile  $R_{dA}(t)$ ,  $R_{dB}(t)$  și  $R_{dC}(t)$  pot da informații asupra desfășurării procesului de excavație și corectarea regimului de excavație în momentul în care caracteristicile terenului excavat se schimbă esențial, sau intervin incipiente avarii, care pot fi evitate prin această supraveghere online.

### 4.3 Măsurarea vibrațiilor structurilor cu moduri naturale situate în domeniul joaselor frecvențe ( $\approx 0,2-5$ Hz).

Așa cum s-a arătat, prin calcul și experimental primele componente modale ale unei megastructuri, cum sunt utilajele miniere, au frecvențele proprii în domeniul joaselor frecvențe, de la  $\approx 0,2$  la 5, Hz.

Măsurarea acestor componente este o operație foarte dificilă deoarece este greu de separat componenta accelerației sezorului de înclinarea acestuia care produc același efect.

#### 4.3.1 METODA DETERMINĂRII VIBRAȚIILOR PE VERTICALĂ FOLOSIND PROCESAREA IMAGINILOR

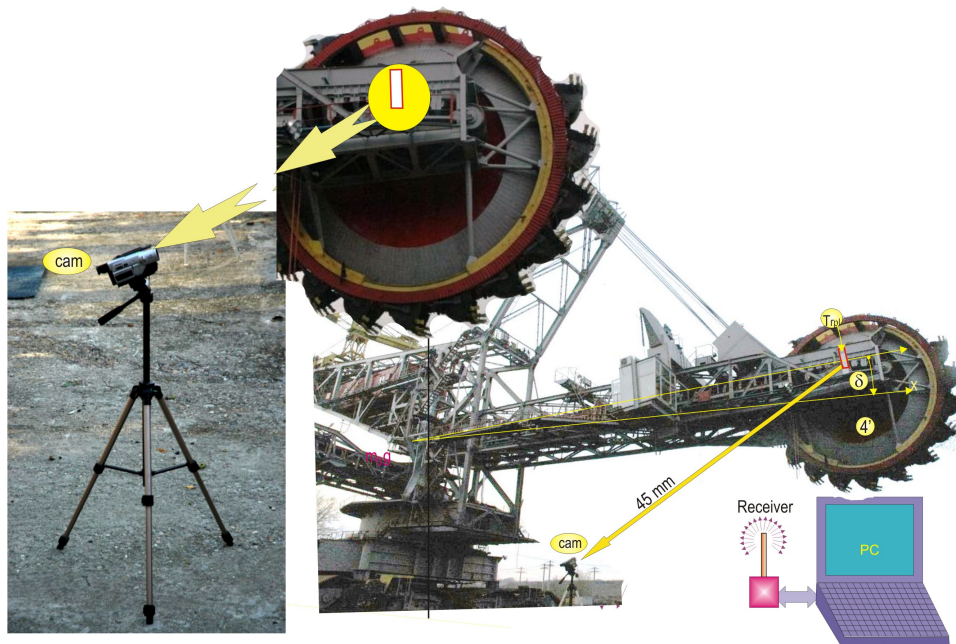


Fig 4.21 Ilustrarea metodei de măsurare vibrațiilor prin prelucrarea imaginilor

În vederea determinării mișcării absolute pe axa verticală pe structurile considerate, în cazul nostru brațul unui excavator, se plasează pe acesta un panou rectangular  $T_{rpl}$  ( figura 4.21 și 4.22) pe care s-a trasat un caroiaj cu distanța între puncte de  $d=50$  mm. Punctele de la intersecția caroiajului au fost marcate cu negru rezultând niște pătrate negre de latură 5mm, iar pătratele astfel obținute au fost fiecare marcate cu câte un nume.

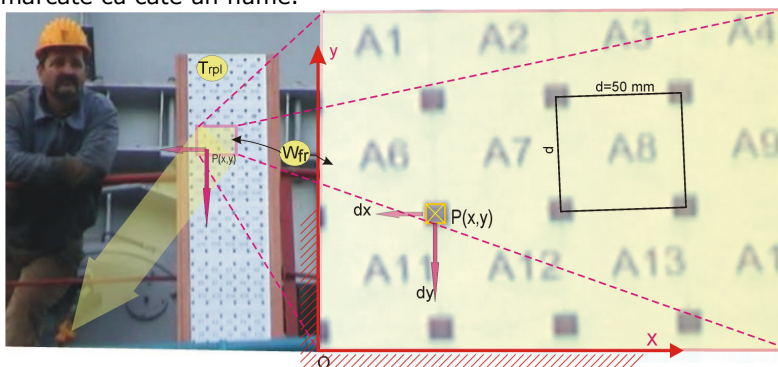


Fig 4.22 Panoul amplasat pe brațul excavatorului

Camera de filmat cam a fost fixată pe un tripod fix și cu ajutorul zoom-ului a încadrat cât se poate de bine o zonă de cel puțin 4 puncte. Cadrul  $w_{fr}$  prins de camera de filmat rămâne în permanență fix în planul vertical, camera după aceasta instalare nu se mai mișcă și nici zoom-ul nu este schimbat ca poziție. De asemenea după focusarea corectă se trece în mod de focus manual pentru a nu se schimba

parametrii optici datorită unei focusări automate. Deci poziția absolută a unui punct dat  $P$  de pe grid este dată de coordonatele sale  $x$  și  $y$  din cadrul de referință  $Oxy$ , acest cadru fiind considerat fix în spațiu și conectat la fereastra  $w_{fr}$ .

Imaginea digitală înregistrată ca un film într-un fișier de tip AVI poate fi apoi importată și prelucrată de orice software, în cazul de față s-a folosit Corel. În figura 4.23 este ilustrată tehnologia de determinare a coordonatelor punctului considerat. La cursor se vizualizează imaginea înregistrată la timpul  $t_i = i\Delta t$ , unde  $i$  este numărul imaginii și  $\Delta t$  este timpul dintre două imagini consecutive. Cu o fereastră de punct  $P_{frame}$ , (marcată cu galben în fig. 4.23) care poate fi plasată liber cu ajutorul mouse-ului pe ecran, se suprapune aceasta exact peste conturul unui pătrat de a intersecția gridului. Coordonatele  $x_{s1}$  și  $y_{s1}$  ale centrului  $P_1$  ale punctului din cadrul de referință  $S_x S_y$  pot fi citite în Corel ruler (Figura 4.23) și afișate în *Property bar: Group*.

Pentru următoarea imagine punctul  $P_1$  își schimbă poziția și astfel determinăm o nouă valoare pentru coordonate  $x_{s1}$  și  $y_{s1}$  acestea fiind scrise într-un fișier pe măsură ce sunt determinate.

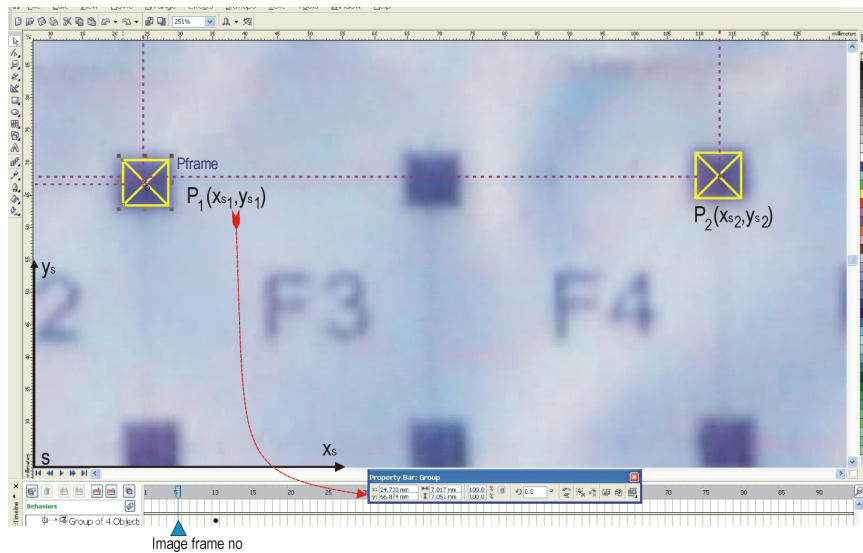


Figura 4.23 Ilustrarea determinării coordonatelor folosind Corel R.A.V.E.

Pentru a obține actuala valoare a punctului  $P_1$  de coordonate  $x_1$  și  $y_1$  s-a considerat cunoscută dimensiunea gridului, în acest caz  $d=50$  mm, deci luând coordonatele  $x_{s2}$  și  $y_{s2}$  pentru al doilea punct  $P_2$ , (în Figura 4.23, la doua griduri distanță de  $P_1$ ) se poate calcula constanta de calibrare

$$k = \frac{2d}{\sqrt{(x_{s1} - x_{s2})^2 + (y_{s1} - y_{s2})^2}} \left[ \frac{\text{mm}}{\text{mm\_screen}} \right] \quad (9)$$

Procesând acum imagine cu imagine se pot obține valorile coordonatelor a două sau mai multe puncte corespunzătoare planului de filmare, acesta fiind valorile definesc mișcarea în plan vertical.



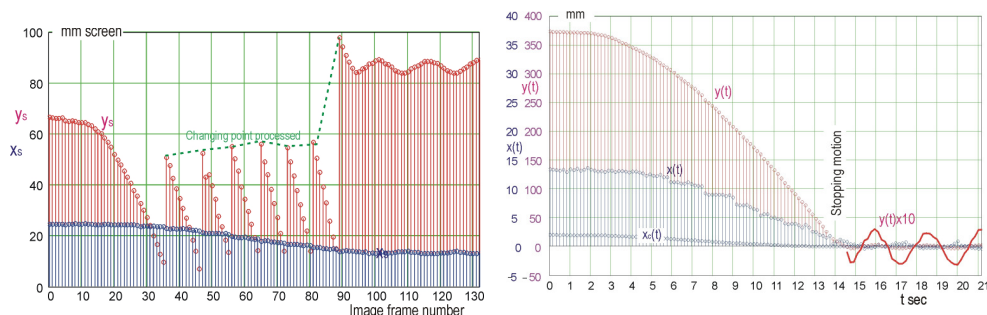
Pentru mișcări mai ample unde un anumit punct poate ieși la un moment dat din cadrul de filmare folosind convențiile de notare putem înregistra poziția unui punct nou intrat iar prin aplicarea offsetului ajungem la coordonatele punctului cunoscut.

Folosind două camere sincronizate pentru o structură mare se poate determina mișcarea generală a acesteia, una calată pe o zonă relativ mare a structurii, iar cea de a doua pe zone alese astfel încât să acoperim prin filmări repetate întreaga structură. Mai practic pentru acest sincronism este să folosim în locul primei camere un accelometru plasat pe structură în același loc, sau ca în cazul nostru o punte tensometrică amplasată pentru a prelua semnalul corespunzător forței  $R_A$  în rulmentul A. Acest semnal este mai convenabil pentru că în conținutul său se regăsesc ambele, și componenta statică și cea dinamică necesare pentru determinarea echilibrului întregii structuri.

## APLICAȚII ȘI CONCLUZII

### 4.3.2.1 Înregistrarea mișcării brațului unui excavator

Metoda prezentată a fost verificată pe brațul unui excavator determinându-se mișcarea verticală a roții cu cupe, mai precis interesul a fost pentru determinarea vibrațiilor proprii ale brațului. Panoul cu grid este prins în dreptul roții 4' (Figura 4.21). Brațul excavatorului începe să coboare înspre poziția orizontală, distanța parcursă pe verticală fiind în dreptul panoului de aproximativ 370 mm moment în care mișcarea este oprită brusc dând naștere la vibrații libere ale brațului. În figura 4.24a sunt ilustrate diagramele celor două mișcări, verticale și orizontale, corespunzătoare ferestrei de filmare  $x_s$  și  $y_s$ . Se poate observa că de-a lungul mișcării secvențiale a fost schimbat de câteva ori punctul considerat. Toate secvențele conectate conduc la mișcările din Figura 4b, care corespund mișcării pe cele două axe considerate, se observă startul lin al mișcării precum și momentul frânei urmat de oscilațiile libere. Efectul dinamic fiind de nivel redus rezultă vibrații  $y(t)$  sub 6 cm amplitudine (în figura 4.24b partea amplificată de 10 ori corespunzătoare timpului 14.5 la 20 de secunde).



a) prelucrarea secvențială a imaginii

b) evoluția în timp a poziției

Figure 4.24. Ilustrarea mișcărilor orizontale și verticale a unui punct de pe brațul excavatorului

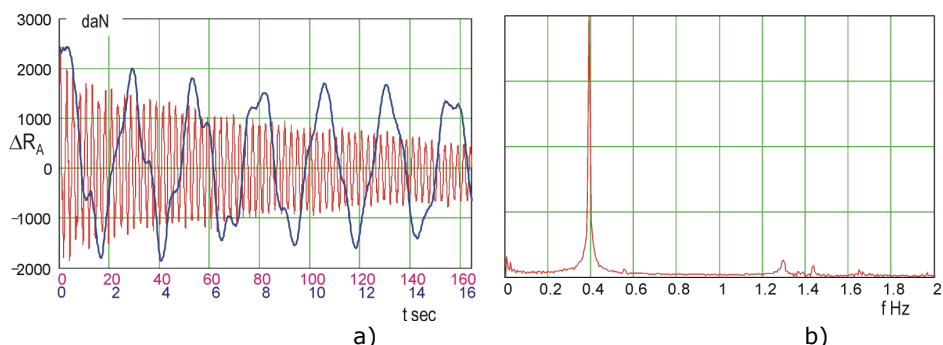


Figura 4.25. Evoluția în timp, a), și spectrul FFT b), al variației reacțiunii  $\Delta R_A$  în reazemul A în timpul mișcărilor de oscilație libere a brațului excavatorului

Aceeași evoluție în timp o are și semnalul  $\Delta R_A$  din reazemul A (Figura 4.25a), primul mod de vibrație găsindu-se la 0.3893 Hz, de asemenea pregnant în semnalele  $x(t)$  și  $y(t)$  (Figura 4.24a). Au fost găsite încă două componente modale la 1.1955 și 1.435 Hz.

Același procedeu a fost aplicat și la brațul unei mașini de haldat cu roată cu cupe (Figura 4.26b) unde au fost procesate două puncte  $P_1$  și  $P_2$ . În Figura 4.26a este prezentată în timp mișcarea celor două puncte  $P_1$  și  $P_2$ ;  $y_{P_1}(t)$  și  $y_{P_2}(t)$  pe verticală și  $x_{P_1}(t)$  și  $x_{P_2}(t)$  pe orizontală. Se poate observa că legile de mișcare a două puncte sunt la fel, deci mișcarea principală este una de translație. Mișcarea înregistrată prezintă o mișcare de coborâre de aproximativ 80 mm cu o frână finală urmată de o suită de vibrații inerțiale, prima componentă modală apărând la frecvența de 0.51 Hz, primul mod fiind vizibil prezent și în reacțiunea din reazem  $R_A$  sincronizat ca înregistrare cu înregistrarea video.

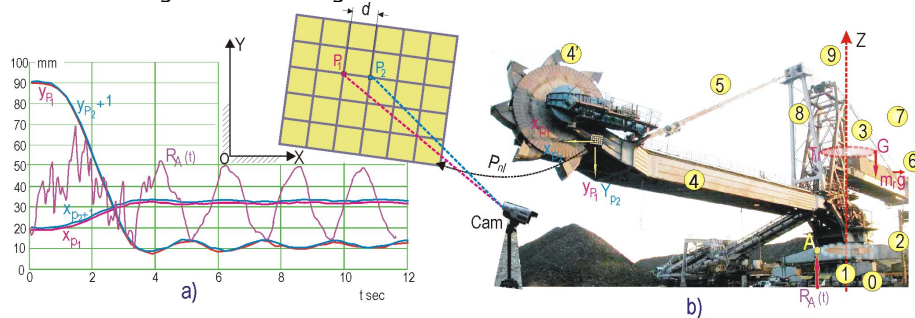


Figura 4.26 Ilustrarea mișcărilor din două puncte; a) evoluția în timp b) mașina de haldat pe care s-a măsurat.

#### 4.3.2.2 Testarea modală a unei palete mari de vânt

O altă încercare experimentală a metodei a fost aplicată pe o paletă a unei turbine mari de vânt din Laboratorul de Cercetare și Testare a Vibrațiilor (VTRL) la Universității din Timișoara prezentată în Figura 4.27a care este deja amplasată pe un stand de analiză modală. Panoul marcat 3 a fost plasat la capatul liber al paletei (14m, 1500 kg) dispusă orizontal, iar camera de filmat a fost plasată perpendicular la 11 metri distanță. Au fost înregistrate vibrații libere amortizate în plan vertical cu

o elongație de aproximativ 10mm. Prin procesarea imaginii s-au obținut variațiile în timp a ambelor mișcări (Figura 4.27b).  $y(t)$  pe axa verticală a cărei spectru (figura 4.27c), găsind toate componentele modale în domeniul de frecvențe de la 0 la 12 Hz, aripa fiind excitată doar în la frecvența primului mod la 2.35 Hz. Chiar și mișcarea pe orizontală din planul vertical considerat  $x(t)$  a fost obținută, dar cum era de așteptat elongațiile sunt mici în domeniu 0.5 mm (sunt reprezentate mărite de 10 ori în Figura 4.27b).

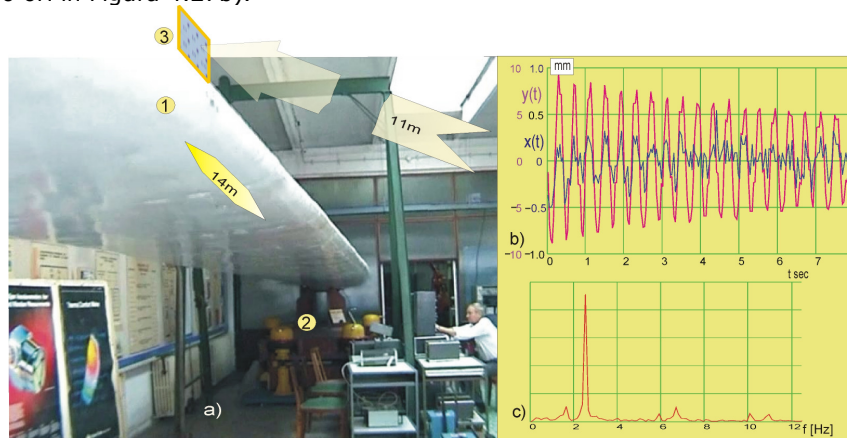


Figura 4.27 Modurile de vibrații determinate prin procesarea imaginii la paleta de vânt.

### 3.3 Concluzii finale:

- O metodă ieftină pentru măsurarea vibrațiilor vizibile lente folosind doar o cameră de filmat, în cazul nostru un Sony DCR-TRV120E;
- Acuratețea măsurătorii și sensibilitatea sunt bune și suficiente pentru aplicațiile prezentate mai sus putând fi îmbunătățite prin folosirea unor camere mai de ultimă generație cu rezoluție mai bună;
- Ambele componente, atât cea cinematică cât și cea de deformare sunt determinate și cel mai important pentru structuri miniere, pot fi separate.

## 5. Contribuții personale și concluzii

Concluziile care se trag din această teză și din activitatea depusă în timpul elaborării ei sunt următoarele :

1. Lucrarea de față și realizările practice implementate au demonstrat că siguranța și durata de viață a structurilor mecanice pot fi îmbunătățite prin monitorizarea parametrilor acestora și interpretarea lor.

2. Informațiile obținute în acest fel pot releva fenomene noi sau neașteptate.

3. Corelarea parametrilor monitorizați permite o abordare nouă a problematicii, cel puțin din perspectivă statistică și experimentală.

4. Realizarea practică de sisteme de monitorizare bazate pe datele aici furnizate poate fi făcută într-un timp foarte scurt. Acestea pot forma infrastructura pentru sisteme de expertiză. Specialiștii pot să își ofere expertiza asupra fenomenelor înregistrate de sistem fără a exista constrângeri legate de prezența specialiștilor la locul fenomenului și în momentul când acesta are loc. Detectarea fenomenelor, achiziția și transmiterea acestora oriunde în lume cad în sarcina sistemului de monitorizare.

Din punct de vedere strict al utilizatorului monitorizărilor concluzia este că acesta dorește să nu aibă constrângeri în ceea ce privește interpretarea datelor. Datele au fost livrate întotdeauna în stare brută (raw data) cu posibilitatea cunoașterii cu o precizie remarcabilă a momentului la care a fost făcută (dată , oră, minut, secundă, miime de secundă) fiecare înregistrare. Acest mod permite prelucrarea, corelarea și interpretarea datelor cu orice fel de program. Pe de altă parte coeficienții de liniaritate care trebuie considerați datorită poziționărilor imperfecte ale traductorilor și care pot fi detectați doar pe bază experimentală adăugați la datele de mai sus au dus la determinări de precizie remarcabilă. Astfel liniaritatea traductorilor și a echipamentului de măsură împreună cu deriva termică minimală a soluției completează lista care califică un sistem de monitorizare ca fiind de încredere.

Întreaga teză conține numai aspectele originale, fie rezultatele cercetărilor făcute fie concluziile trase din analize. Toate considerațiile înainte de a fi expuse au fost verificate practic prin construirea mai multor prototipuri , variantele finale ale acestora fiind cele care au generat toate datele măsurătorilor din cadrul tezei. După etalonarea lor la Biroul Român de Metrologie Legală au fost folosite și în activități contractuale în zeci de operațiuni de monitorizare.

Principala realizare este conceperea și verificarea experimentală a unui sistem de monitorizare aplicabil pentru orice parametru mecanic detectabil cu ajutorul unui senzor. Notele de originalitate sunt după cum urmează:

- introducerea achiziționării semnalelor mecanice corelate cu semnalul de timp al ceasului atomic universal la precizii de nivelul microsecundelor
- realizarea unui mecanism de detectare a evenimentelor care permite automatizarea monitorizării prin înregistrarea și transmiterea doar a informațiilor relevante

- implementarea unei soluții de autoscalare care elimină problemele legate de setarea corectă a scalei și intervalului de măsură precum și rezolvarea problemei de echilibrarea a punții la echipamentele de măsură pentru punți tensometrice
- s-a conceput un mecanism de sincronizare a echipamentelor în cadrul rețelelor wireless care permite achiziția sincronă a semnalelor iar transmiterea datelor se face asincron în așa fel încât să se obțină un maxim de transfer
- s-a prezentat o metodă imediat aplicabilă pentru transmiterea datelor folosind serverele de e-mail în locul serverelor de date
- metoda de achiziție a semnalelor de frecvență joasă prin achiziția de imagini
- s-a realizat un model dinamic simplificat pentru excavator care corespunde cu rezultatele experimentale

Exclusiv pentru această teză s-a realizat la nivel de prototip un echipament pentru monitorizarea punților tensometrice care a fost testat și în laborator și pe podul de cale ferată de la Șag-Timiș a cărui proiectare conține aproape toate din considerațiile expuse în teză.

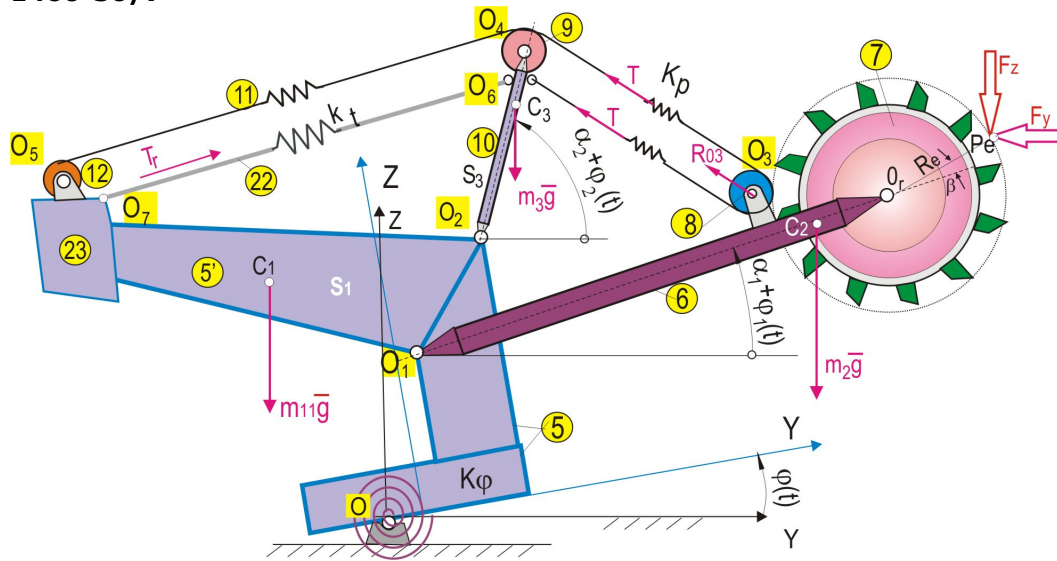
Voi încheia cu două considerații legate de părțile principale ale oricărui modul de achiziție wireless: partea de electronică instrumentală și cea de transmitere digitală a informației. Consider că progrese remarcabile pe partea de electronică analogică nu vor fi făcute în viitorul apropiat, cu siguranță tehnologiile de comunicație wireless evoluează și vor permite ca pe măsura treceri timpului partea de transfer a informației să fie capabilă să transfere mai multă informație pe distanțe mai mari. Proaspătul sistem ZigBee va fi probabil viitorul imediat în comunicații wireless pe distanțe mici, în timp ce internetul mobil va oferi soluția pentru distanțe terestre nelimitate. Susținerea acestei teze se plasează în același an în care marile firme anunță primele sisteme de achiziție wireless pe ZigBee. Acum patru ani, la începutul acestui studiu, soluția prezentată în teza nu se găsea implementată, iar implementările wireless actuale nu conțin multe din elementele proiectului nostru fiind cum am spus la început. La acest moment consider că singurul impediment ca soluțiile wireless să nu aibă succes ar putea ține de ceea ce probabil se va numi poluare electromagnetică, dar despre care la acest moment nu există decât speculații statistice și nu putem decât să sperăm că studiile, statisticile și evoluțiile viitoare nu vor duce la concluzia că aceste tehnologii au și aspecte dăunătoare omului.

## BIBLIOGRAFIE

- Allen R. L., Mills D. W.**, (2004). *Signal Analysis. Time, Frequency, Scale and Structure*, IEEE Press, Wiley-Interscience, A John Wiley & Sons, Inc., Publication, Editorial Board, ISBN 0-471-23441-9.
- Bachman G., Narici L., Beckenstein E.**, (2000). *Fourier and Wavelet analysis*, Springer-Verlag New-York Inc., ISBN 0-387-98899-8.
- Baese-Meyer U.**, (2001). *Digital Signal Processing with Field Programmable Gate Arrays*, Springer-Verlag, ISBN 3-540-41341-3.
- Beards C. F.**, (1996). *Structural Vibration, Analysis and Damping*. Butterworth-Heinemann, Elsevier Science.
- Boggess A., Narcowich F. J.**, (2001). *A First Course in Wavelets with Fourier Analysis*, Texas A & M University, Prentice Hall, Upper Saddle River.
- Brîndeu L.**, (2001). *Vibrații și vibropercuții*, Colecția „MECANICA”, Editura Politehnica, Timișoara, ISBN 973-8247-36-5.
- Budura G.**, (2002). *Prelucrarea semnalelor*, Colecția „Prelucrarea semnalelor”. Editura Politehnica Timișoara, ISBN 973-625-015-6.
- Buzdugan Gh., Fetcu L., Radeș M.**, (1975). *Vibrațiile sistemelor mecanice*, Editura Academiei Republicii Socialiste România, București.
- Buzdugan Gh., Mihăilescu E., Radeș M.**, (1979). *Măsurarea vibrațiilor*, Editura Academiei Republicii Socialiste România, București.
- Cioara T. Gh.**, (1988). *On a Curve Fitting Algorithm for Modal Parameter Estimation*, pp. 717-723, Proc. 6th Int. Modal Analysis Conference, Orlando, USA.
- Cioara T. Gh.**, (2001). *Vibrații și zgomote. Note de curs*, Ediție electronică, Universitatea Politehnica Timișoara.
- Cioara T. Gh.**, (2002). *Tehnici Experimentale în inginerie*, Ediția electronică, University Politehnica Timișoara.
- Cioara T. Gh., Bereteu L., Dragomir D.**, (1993). *Studii și cercetări experimentale în domeniul vibrațiilor structurilor mecanice utilizând metode și tehnici de analiză modală*, Raport de Cercetare la contractul M. I. Nr. 1082-B, Universitatea Tehnică Timișoara, Facultatea de Mecanică.
- Cioara T. Gh., Bereteu L., Dragomir D., Drăgănescu Gh.**, (1993). *Un algoritm de multiplicare a densității liniilor spectrale la transformata discretă Fourier*, Conferința a VII-a de Vibrații Mecanice, Timișoara.
- Cioară T., Nicolae I., Cireș I., Cucuiet C., Cristea M.**, *IN SITU MODAL TESTING METHODS FOR HUGE STRUCTURES. APPLICATION TO SURFACE MINING MACHINES*, IMAC XXV 2007, Orlando, USA
- Cioară T., Nicolae I.**, *IMAGE PROCESSING METHOD IN LOW FREQUENCY MODAL ANALYSIS OF THE LARGE STRUCTURES*, International Conference on Engineering Dynamics 2007, Carvoeiro, Algarve, Portugalia
- Cioară T., Cireș I., Nicolae I., Cristea D., Țirlea A., Timar L.**, *DYNAMIC STUDY OF A SPECIAL CRANE SERVING A POWER PLANT TALL CHIMNEY*, International Modal Analysis Conference IMAC XXVI 2008 Orlando, SUA
- Cioară T., Nicolae I., Cireș I., Cristea D., Cireș D.**, *A SIMPLIFIED DYNAMIC MODEL FOR A SURFACE MINING EXCAVATOR USING DESIGN AND EXPERIMENTAL DATA*, International Modal Analysis Conference IMAC XXVII 2009 Orlando, SUA
- Drăgănescu Gh.**, (2000). *Vibrații și zgomote*, Colecția „MECANICA”, Editura Politehnica, ISBN 973-9389-57-0, Timișoara.

- Hayes M. H.**, (1999). *Digital Signal Processing*, McGraw-Hill Companies Inc., ISBN 0-07-027389-8.
- Hoffmann K.**, *Applzng the Wheatstone Bridge Circuit, Hottinger Baldwin Messtechnick GmbH*
- Hsu H. P.**, (1995). *Signals and Systems*, Schaum's Outline Series, McGRAW-Hill Companies, Inc., ISBN 0-07-030641-9.
- Karu Z. Z.**, (1995). *Signals and Systems. Made Ridiculously Simple*, Zizi Press Cambridge, MA, ISBN 0-9643752-1-4.
- Kecs W.**, (1978). *Produsul de convoluție și aplicații*, Editura Academiei, București.
- Maia N. M. M., Silva J. M. M.**, (1997). *Theoretical and Experimental Modal Analysis*, Instituto Superior Tecnico, Portugal, ISBN 0 86380 208 7, Research Studies Press LTD.
- Maxfield B.**, (2006). *Engineering with Mathcad*. Butterworth-Heinemann, Elsevier Science, ISBN-13: 978-0-7506-6702-9.
- Meddins B.**, (2000). *Introduction to Digital Signal Processing Principles, Algorithms and Applications*, School of Information Systems, University of East Anglia, UK, ISBN 0-13-394338-9.
- Meirovitch L.**, (1975). *Elements of Vibration Analysis*, McGraw-Hill, Inc., ISBN 0-07-041340-1, USA.
- Nafornită I., Gordan C., Isar A.**, (1998). *Semnale și sisteme. Partea I*, Universitatea „Politehnica” Timișoara. Facultatea de Electronică și Telecomunicații.
- Norton M. P.**, (1989). *Fundamentals of noise and vibration analysis for engineers*, Cambridge University Press, ISBN 0 521 34148 5, ISBN 0 521 34941 9.
- Papoulis A.**, (1962). *The Fourier integral and its applications*, McGRAW-Hill Electronic Sciences Series, INC. 07-048447-3.
- Proakis J. G., Manolakis D.G.**, (1992). *Digital Signal Processing. Principles, Algorithms and Applications*, Macmillan Publishing company, New York, ISBN 0-13-394338-9.
- Radeș M.**, (2006). *Mechanical Vibrations I*, Editura Printech, ISBN 973-718-480-7, 978-973-718-480-1, București.
- Randall R. B.**, (1977). *Application of B&K Equipment to Frequency Analysis*, B. Tech., B. A., ISBN 87 87355 1 4 0, Denmark.
- Shmaliy Y.**, (2006). *Continuous Time Signals*, Dordrecht, The Netherlands, Springer, ISBN-10 1-4020-4818-1.
- Ștefănoiu D.**, (2007). *Tehnici de calcul în Prelucrarea Numerică a Semnalelor. Note de curs*, Universitatea „Politehnica” din București, Facultatea „Automatică și Calculatoare”, București.
- Taylor I. J.**, (2003). *The Vibration Analysis Handbook. A Practical Guide for Solving Rotating Machinery Problems*, Hardcover.
- Teolis A.**, (1998). *Computational Signal Processing with Wavelets*, Birkhauser, Boston, ISBN 0-8176-3909-8.
- Thomson W. T.**, (1988). *Theory of vibration with applications*, Prentice Hall, ISBN 0-04-445069-9, Santa Barbara, California.
- Torrence C., Compo P. G.**, (1998). *A Practical Guide to Wavelet Analysis*, Bulletin of the American Meteorological Society, Vol 79, No. 1.
- Walker S. J.**, (2008). *A Primer on Wavelets and Their Scientific Applications*, Chapman&Hall/CRC.
- Woyczynski A. W.**, (2006). *A First Course in Statistics for Signal Analysis*, Boston, ISBN 0-8176-4516-0.
- Zimroz R.**, *Adaptive approaches for condition monitoring of mining machines, GOSPODARKA SUROWCAMI MINERALNYMI , Tom 24 2008 Zeszyt 4/3,*

**PROGRAM DE CALCUL DINAMIC AL EXCAVATORULUI CU CUPE ERC  
1400-30/7**



```

DECLARE SUB inv (a#(), b#(), n!)
DECLARE SUB prod (a#(), b#(), dc#(), n1!, n!)
DECLARE SUB kutta (d#(), a#(), b#(), x#(), y#(), fpt#(), n!, h)
CLS
OPTION BASE 1
DEFDBL A-I, K-M, O-Z
DEFSNG H-J, N, Q
n = 3:
INPUT " viteza de taiere 1 sau 2", vt
INPUT "gradul aleator al fortei de taiere in %", ra
rand = ra / 100
np = 4 * 2048      ' numarul de pasi de procesat
h = .02'pasul de integrare in secunde
kf = 4.15E+09' N.m/(radian) rigiditate la basculare in rulment
cf = .002' cuplaj matrice de amortizare din matrice rigiditate
DIM m(n, n), k(n, n), c(n, n), d(n, n), c1(n, n), k1(n, n), st(3, 1), fg(3, 1)
DIM x(n), y(n), fpt(n, 3)
GOSUB date.c1
GOSUB date.c4
GOSUB date.c9
GOSUB cabluri
GOSUB mat.kt
INPUT "pozitie brat in grade: de la -25 la 22 grade "; alf1: alfa1 = alf1 * pi /
180
INPUT "doriti fisier de date y ?", y$
IF y$ = "y" THEN INPUT " numar fisier", nf$

```



```

IF y$ = "y" THEN OPEN "a", #1, "ip_" + nf$ + ".dat"
IF y$ = "y" THEN OPEN "a", #2, "tir_" + nf$ + ".dat"
IF y$ = "y" THEN OPEN "a", #3, "brat_" + nf$ + ".dat"
IF y$ = "y" THEN PRINT #1, vt; ra; alf1;
'PRINT alf1; alfa1
GOSUB mat.kp
GOSUB mat.kg
GOSUB mat.m.k
CALL inv(k(), d(), n)
'FOR i = 1 TO 3: FOR i1 = 1 TO 3: PRINT d(i, i1); : NEXT: PRINT : NEXT
CALL prod(d(), fg(), st(), n, 1)
'PRINT st(1, 1); st(2, 1), st(3, 1)'inclinatii statice din greutate proprii
CALL inv(m(), d(), n)
CALL prod(d(), c(), c1(), n, n)
'PRINT c1(1, 1)
CALL prod(d(), k(), k1(), n, n)
'PRINT k1(1, 1)
GOSUB f.taiere
sc = qt * 5
x(1) = 0: x(2) = 0: x(3) = 0 ' conditii initiale in deplasari ungiulare
y(1) = 0: y(2) = 0: y(3) = 0 ' conditii initiale la viteze
SCREEN 12
COLOR 14
sc = 15 * qt
WINDOW (0, sc)-(np, -sc)
LINE (0, 0)-(np, 0)
FOR i = 1 TO np / 500: j = 500 * i: LINE (j, 0)-(j, -.03 * sc): NEXT
FOR i = 1 TO np / 50: j = 50 * i: LINE (j, 0)-(j, -.03): NEXT
FOR i = 1 TO np
GOSUB excitatie
x1 = x(1): y1 = x(2): z1 = x(3)
ft1 = ftir1: fpa = fpal: zc1 = zc: fpt1 = fpt(2, 1)
CALL kutta(d(), c1(), k1(), x(), y(), fpt(), n, h)
x2 = x(1): y2 = x(2): z2 = x(3): fpt = fpt(2, 1)
ftir1 = (x(1) * f(1) + x(3) * f(3)) * kt: ' forta pe un tirant
fpal = 2 * (x(1) * e(1) + x(2) * e(2) + x(3) * e(3)) * kp' forta palan
zc = yo1 * x(1) + lc * x(2):
COLOR 10: LINE (i - 1, ft1)-(i, ftir1)
COLOR 11: LINE (i - 1, fpa - sc / 2)-(i, fpal - sc / 2)
COLOR 13: LINE (i - 1, zc1 * 1000000! - sc * .5)-(i, zc * 1000000! - sc * .5)
COLOR 12: LINE (i - 1, fpt1 / 200)-(i, fpt / 200)
IF y$ = "y" THEN PRINT #2, ftir1;
IF y$ = "y" THEN PRINT #3, zc * 1000;
NEXT i
COLOR 10: PRINT "FORTA DE TRACTIUNE PE UN TIRANT"
COLOR 11: PRINT "FORTA TOTALA DE TRACTIUNE PE PALAN"
COLOR 13: PRINT "DEPLASARE PE VERTICALA A ROTII PORT CUPE"
COLOR 12: PRINT "EXCITATIE"
COLOR 14: PRINT "Marcaj timp la 10 sec"
END

```

```

date.c1:      'sarcini si coordonate pe platforma rotativa
              DIM y1(4), z1(4), m1(4)
              DATA 6.11,11.63,51,-12.53,17.12,207.48,2.43,1.5,86.57,-24.4,19.3,214
              jo = 0: sy = 0: m2 = 0: sz = 0
              FOR i = 1 TO 4
              READ y, z, m
              sy = sy + m * y
              sz = sz + m * z
              jo = jo + m * (y * y + z * z)
              m2 = m2 + m
              y1(i) = y: z1(i) = z: m1(i) = m
              'PRINT i; y; z; m
              NEXT i
              m2 = m2 * 1000: sy = sy * 1000: sz = sz * 1000: jo = jo * 1000
              'PRINT sy; jo; m2
              yc2 = sy / m2: zc2 = sz / m2
              'PRINT yc2; zc2; m2:
              RETURN
date.c4: ' brat
              m4 = 246340' masa brat
              lc = 34.6'distanta roata cu cupe fata de punctul O1
              y4 = 26: z4 = .5 ' coordonate locale centru de greutate brat fata de O1
              j1 = m4 * (y4 * y4 + z4 * z4): s4 = m4 * SQR(y4 * y4 + z4 * z4)
              yo1 = 1.7: zo1 = 7.7' coordonate articulatie O1
              j11 = m4 * (yo1 * yo1 + zo1 * zo1)
              'PRINT s4; j1; m4; J11
              RETURN
date.c9: ' catarg
              m9 = 43290
              yo2 = 9.5: zo2 = 16.3' coordonate articulatie O2
              y9 = 11: z9 = 0' coordonate locale centru de greutate fata de O2
              j2 = m9 * y9 * y9: s9 = m9 * y9
              j12 = m9 * (yo2 * yo2 + zo2 * zo2)
              'PRINT j2; s4; m9; J12
              m = m2 + m4 + m9: y = (sy + s4 + yo1 * m4 + s9) / m
              'PRINT m, y
              RETURN
cabluri: ' constante elastica palan si tiranti
              pi = 4 * ATN(1)
              ac = 6.21'cm^2 aria sectiunii cablului de ridicare
              at = 58.09' aria sectiunii cablului tirant
              ac = ac / 10000' in m^2
              at = at / 10000
              e = 2.15E+11 'N/m^2
              ec = .7 * e' modul de elasticitate cablu
              nr = 8' numar de ramuri pe o infasurare
              nif = 7.25' numar de inflexiuni la treceri peste role
              dr = 1.175' diametru role
              li = pi * dr * nif / 2' lungimea cablului infasurat pe rolele palanului
              alfa2 = 56 * pi / 180'inclinatie catarg
              s2 = SIN(alfa2): c2 = COS(alfa2)

```

```

yo5 = -25.2: zo5 = 21.8' coordonate axa tambur cablu
yo6 = -20.7: zo6 = 20.8' coordonate punctului de ancorare O6 tirant
a7 = 13.5: b7 = 1' coordonate locale punct de ancorare O7, tirant pe catarg
yo7 = yo2 + a7 * c2 - b7 * s2
zo7 = zo2 + a7 * s2 + b7 * c2
dy = yo7 - yo6: dz = zo7 - zo6
o6o7 = SQR(dy * dy + dz * dz)
'PRINT o6o7: END
kt = ec * at / o6o7
PRINT kt; "kt"
dy7f = a7 * s2 + b7 * c2
dz7f = -a7 * c2 + b7 * s2
f(1) = (dy * dy7f + dz * dz7f) / o6o7
f(2) = 0
f(3) = -f(1)
'PRINT f(1); f(3)
RETURN
mat.kt: DIM kt(3, 3)
PRINT " kt"
FOR i = 1 TO 3: FOR i1 = 1 TO 3
kt(i, i1) = 2 * kt * f(i) * f(i1)' elementele matricii kt, 2 tiranti
'PRINT kt(i, i1);
NEXT: PRINT : NEXT
RETURN
mat.kp: DIM kp(3, 3)
a3 = 28.3: b3 = 3.7: a4 = 14.6: b4 = 0' coordonate locale puncte O3 si O4
s1 = SIN(alfa1): c1 = COS(alfa1)
yo3 = yo1 + a3 * c1 - b3 * s1' coordonate puncte o3 si o4
zo3 = zo1 + a3 * s1 + b3 * c1
yo4 = yo2 + a4 * c2: zo4 = zo2 + a4 * s2
dy = yo3 - yo4: dz = zo3 - zo4
o3o4 = SQR(dy * dy + dz * dz): ' PRINT o3o4: END
dy3f = a3 * s1 + b3 * c1:
dz3f = -a3 * c1 + b3 * s1
dy4f = a4 * s2: dz4f = -a4 * c2
dy3f1 = -dy3f: dz3f1 = -dz3f
dy4f1 = 0: dz4f1 = 0
dy3f2 = 0: dz3f2 = 0
dy4f2 = -a4 * s2: dz4f2 = a4 * c2
e(1) = (dy * (dy3f - dy4f) + dz * (dz3f - dz4f)) / o3o4
e(2) = (dy * (dy3f1 - dy4f1) + dz * (dz3f1 - dz4f1)) / o3o4
e(3) = (dy * (dy3f2 - dy4f2) + dz * (dz3f2 - dz4f2)) / o3o4
' PRINT "e"; e(1); e(2); e(3): END
dy = yo4 - yo5: dz = zo4 - zo5
o4o5 = SQR(dy * dy + dz * dz)
ltot = o4o5 + nr * o3o4 + li' lungimea totala a cablului in sarcina
'PRINT ltot
kc = ac * ec / ltot' constanta cablu palan
kp = kc * nr * nr' constanta palan
FOR i = 1 TO 3: FOR i1 = 1 TO 3
kp(i, i1) = 2 * kp * e(i) * e(i1)

```

```

    'PRINT kp(i, i1);
    NEXT: PRINT : NEXT
    RETURN
mat.kg: g = 9.81' m/s^2
    'PRINT y4; z4; y9; z9
    DIM kg(3, 3)
    FOR i = 1 TO 3: FOR i1 = 1 TO 3: kg(i, i1) = 0: NEXT: NEXT
    kg(1, 1) = -g * (m2 * zc2 + m4 * zo1 + m9 * zo2)
    fg(1, 1) = -g * (m2 * yc2 + m4 * yo1 + m9 * yo2)
    kg(2, 2) = -g * m4 * (y4 * s1 + z4 * c1)
    fg(2, 1) = -g * m4 * (y4 * c1 - z4 * s1)
    kg(3, 3) = -g * m9 * (y9 * s2 + z9 * c2)
    fg(3, 1) = -g * m9 * (y9 * c2 - z9 * s2)
    'FOR i = 1 TO 3: FOR i1 = 1 TO 3: PRINT kg(i, i1); : NEXT: PRINT : NEXT
    RETURN
mat.m.k: '
    FOR i = 1 TO 3: FOR i1 = 1 TO 3: m(i, i1) = 0: k(i, i1) = 0: NEXT: NEXT
    m(1, 1) = jo + j11 + j12
    m(1, 2) = s4 * (yo1 * c1 + zo1 * s1): m(2, 1) = m(1, 2)
    m(1, 3) = s9 * (yo2 * c2 + zo2 * s2): m(3, 1) = m(1, 3)
    m(2, 2) = j1: m(3, 3) = j2
    'PRINT "matrice k"
    FOR i = 1 TO 3: FOR i1 = 1 TO 3
    k(i, i1) = kg(i, i1) + kt(i, i1) + kp(i, i1): ' PRINT k(i, i1);
    NEXT: PRINT : NEXT: k(1, 1) = k(1, 1) + kf
    FOR i = 1 TO 3: FOR i1 = 1 TO 3
    c(i, i1) = (kt(i, i1) + kp(i, i1)) * cf: ' PRINT c(i, i1);
    NEXT: PRINT : NEXT
    c(1, 1) = c(1, 1) + kf * cf
    RETURN
f.taiera: qt = 180000' forta medie in N
    kti = 1: kni = .25' coeficienti de forta tangeentiala si normala
    dr = 11.5'diametrul rotii cu cupe in metri
    rr = dr / 2
    v1 = 2.61'm/s prima treapta a vitezei periferica roata
    v2 = 3.08' a doua treapta de viteza
    IF vt = 1 THEN v = v1
    IF vt = 2 THEN v = v2
    fz = v / pi / dr' frecventa de rotatie roataa cu cupe
    z = 9' numar de cupe
    dpspi = 2 * pi / z ' arcul dintre doua cupe
    omega = 2 * pi * fz' viteza unghiulara de rotatie roata portcupe
    al1 = -40: al2 = 80' sectorul de taiere in grade al2-al1
    al0 = 50 ' pozitie de maxima forta pe sector
    al1 = al1 * pi / 180: al2 = al2 * pi / 180: al0 = al0 * pi / 180' trans radiani
    pmax = .5 * qt
    nz = (al2 - al1) / dpspi: PRINT "nz"; nz; (al2 - al1) * 180 / pi; dpspi * 180 / pi:
END
    a1f = -pmax / (al0 - al1) ^ 2
    a2f = -pmax / (al0 - al2) ^ 2
    b1f = -2 * a1f * al0: b2f = -2 * a2f * al0

```

```

    c1f = -a1f * a1 * a1 - b1f * a1: c2f = -a2f * a2 * a2 - b2f * a2
'PRINT a1f * a0 * a0 + b1f * a0 + c1f
'PRINT a2f * a0 * a0 + b2f * a0 + c2f: END
RETURN
excitatie: DIM omt(3)
    it = it + 1
    omt(1) = omega * h * it + x(2)
    omt(2) = omt1 + omega * h / 2
    omt(3) = omt1 + omega * h
    IF omt(1) - x(2) > dpsi THEN it = 0
    rd = rand * RND
    FOR s10 = 1 TO n: FOR s20 = 1 TO 3: fpt(s10, s20) = 0: NEXT: NEXT
    ktr = kti * (1 + rd): knr = knt * (1 + rd)
    FOR iz = 1 TO nz + 2
    FOR w = 1 TO 3
    be = omt(w) + a1 + (iz - 1) * dpsi
    si = SIN(be): co = COS(be)
    IF be > a2 THEN fbi = 0
    IF be < a0 THEN fbi = a1f * be * be + b1f * be + c1f
    IF be > a0 THEN fbi = a2f * be * be + b2f * be + c2f
    tt = ktr * fbi: nt = knr * fbi
    py = tt * si + nt * co: pz = -tt * co - nt * si
    fpt(1, w) = fpt(1, w) - (yo1 * x(1) + zo1) * py + (yo1 - x(1) * zo1) * pz
    si1 = SIN(alfa1): co1 = COS(alfa1)
    fpt(2, w) = fpt(2, w) - (lc * si1 + rc * si) * py + (lc * co1 + rc * co) * pz
    NEXT: NEXT
RETURN

DEFSNG A-G, K-M, O-P, R-Z
SUB inv (a#(), b#(), n!)
DEFDBL A-H, L-M, O-Z
DEFSNG I-K, N
DIM a1(n, n)
FOR i = 1 TO n: FOR j = 1 TO n
a1(i, j) = a(i, j): b(i, j) = 0: NEXT j: b(i, i) = 1: NEXT i
det# = 1#
FOR i = 1 TO n
max = a(i, i)
FOR k = i TO n
s = 1
absol = ABS(a(k, i))
IF max < absol THEN max = absol
NEXT k
IF max = 0 THEN PRINT "matricea este singulara ": END
IF max < .00000001# THEN PRINT "matricea este rau conditionata"
IF ABS(a(i, i)) < max THEN GOTO 100
200 x = a(i, i)
IF x = 0 THEN PRINT "matricea este singulara"
det = det * x * s
FOR k = 1 TO n
a(i, k) = a(i, k) / x

```

```

b(i, k) = b(i, k) / x
NEXT k
FOR k = 1 TO n
IF k = i THEN 2
x = a(k, i)
IF x = 0# THEN 2
FOR j = 1 TO n
a(k, j) = a(k, j) - a(i, j) * x
b(k, j) = b(k, j) - b(i, j) * x
NEXT j
2 NEXT k
NEXT i
GOTO 300
100 s = -1#
FOR L = i + 1 TO n
absol = ABS(a(L, i))
IF absol = max THEN 3
NEXT L
3 FOR j = 1 TO n
SWAP b(i, j), b(L, j)
SWAP a(i, j), a(L, j)
NEXT j
IF i = n + 1 THEN 300
GOTO 200
300 FOR i = 1 TO n: FOR j = 1 TO n: a(i, j) = a1(i, j): NEXT j: NEXT i
FOR i = 1 TO n1
FOR j = 1 TO n1
a1(i, j) = 0
FOR k = 1 TO n1
a1(i, j) = a1(i, j) + a(i, k) * b(k, i)
NEXT k: NEXT j: NEXT i
END SUB

DEFSNG H, O-Q
DEFDBL K
SUB kutta (d(), a(), b(), x(), y(), ft(), n, h)
DIM k1(n), k2(n), k3(n), k4(n), l1(n), l2(n), l3(n), l4(n)
FOR i = 1 TO n
k1(i) = 0
FOR j = 1 TO n
k1(i) = k1(i) - h * (a(i, j) * y(j) + b(i, j) * x(j))
k1(i) = k1(i) + h * d(i, j) * ft(j, 1)
NEXT j
l1(i) = h * y(i)
NEXT i

FOR i = 1 TO n
k2(i) = 0
FOR j = 1 TO n
k2(i) = k2(i) - h * (a(i, j) * (y(j) + k1(j) / 2) + b(i, j) * (x(j) + l1(j) / 2))
k2(i) = k2(i) + h * d(i, j) * ft(j, 2)

```

```

NEXT j
l2(i) = h * (y(i) + k1(i) / 2)
NEXT i

FOR i = 1 TO n
k3(i) = 0
FOR j = 1 TO n
k3(i) = k3(i) - h * (a(i, j) * (y(j) + k2(j) / 2) + b(i, j) * (x(j) + l2(j) / 2))
k3(i) = k3(i) + h * d(i, j) * ft(j, 2)
NEXT j
l3(i) = h * (y(i) + k2(i) / 2)
NEXT i

FOR i = 1 TO n
k4(i) = 0
FOR j = 1 TO n
k4(i) = k4(i) - h * (a(i, j) * (y(j) + k3(j)) + b(i, j) * (x(j) + l3(j)))
k4(i) = k4(i) + h * d(i, j) * ft(j, 3)
NEXT j
l4(i) = h * (y(i) + k3(i))
NEXT i
FOR i = 1 TO n
y(i) = y(i) + (k1(i) + 2 * k2(i) + 2 * k3(i) + k4(i)) / 6
x(i) = x(i) + (l1(i) + 2 * l2(i) + 2 * l3(i) + l4(i)) / 6
NEXT i
END SUB

DEFSNG A-G, K-M, R-Z
SUB prod (a#(), b#(), dc#(), n1!, n!)
DEFDBL A-E
DEFSNG I-K
FOR i = 1 TO n1: FOR j = 1 TO n: dc(i, j) = 0
FOR k = 1 TO n1
dc#(i, j) = dc(i, j) + a(i, k) * b(k, j)

NEXT k: NEXT j: NEXT i

END SUB

```