

Universitatea “POLITEHNICA” Timisoara
Facultatea de Constructii si Arhitectura
Departamentul C.C.I.A.

Contract CNCSIS tip A , **COD 489**, Tema 4

Contractele nr. **40535/2003** si nr. **32940/2004**

RAPORT FINAL DE CERCETARE

“METODE ALTERNATIVE DE PROIECTARE A ELEMENTELOR STRUCTURALE DIN BETON ARMAT”

Director contract:

Prof. dr. ing. CLIPII Tudor

Beneficiar:

MINISTERUL EDUCATIEI SI CERCETARII

Timisoara - martie 2005–

COLECTIV DE ELABORARE

Director contract:

Prof. dr. ing. CLIPII Tudor

Colectiv de cercetare:

Prof. dr. ing. STOIAN Valeriu
S.l. dr. ing. FEKETE-NAGY Luminita
S.l. dr. ing. MIREAN Rodica
S.l. dr. ing. PINTEA Dan
As.dr. ing. MOSOARCA Marius

Director Departament C.C.I.A.:

Prof. dr. ing. STOIAN Valeriu

BENEFICIAR:
C.N.C.S.I.S.
COD CNC SIS 489
TEMA 4

EXECUTANT:
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" TIMISOARA
FACULTATEA DE CONSTRUCTII SI ARHITECTURA
DEPARTAMENTUL C.C.I.A.

OBIECTIVUL CONTRACTULUI

Programul de cercetare avand ca tema "**Metode alternative de proiectare a elementelor structurale din beton armat**", conceput pe etape si esalonat pe parcursul a doi ani, prevede in prima faza, perfectionarea programului de calcul automat utilizate in proiectarea prin procedeul modelelor de bare, o proiectare alternativa a elementelor structurale din beton armat pentru care calcul si dimensionarea in varianta traditionala se bazeaza mai mult pe metode empirice. In cea de-a doua faza s-a incercat verificarea teoretice si experimentala a acest instrument de lucru la indemana studentilor si a inginerilor proiectanti pe elemente structurale din beton armat proiectate, comparativ, prin metode traditionale si alternative.

Ca alternativa in proiectarea elementelor structurale din beton armat s-a optat pentru utilizarea Procedeului Modelelor de Bare, care se preteaza in deosebi la elementele cu discontinuitati statice si geometrice, inlocuind elementul structural real cu modele de bare comprimate si intinse, care sa urmareasca cat mai fidel starea de tensiune din structura sollicitata la diverse incarcari.

Tocmai de aceea studiul teoretic si cel experimental a avut ca obiect peretii tip diafragme din beton armat cu goluri, cercetarile axandu-se in principal pe modelarea, analiza numerica si conformarea elementelor structurale din beton armat de acest tip, facandu-se observatii si asupra influentei pe care o are pozitia golurilor asupra comportarii diaframelor solplicitate la actiuni orizontale.

Pentru proiectarea alternativa a acestor tipuri de elemente structurale din beton armat a fost conceput si perfectat, in prima faza a contractului de cercetare, un program de calcul automat ce utilizeaza Procedeul Modelelor de Bare iar in cadrul fazei secunde a programului de cercetare s-a preconizat realizarea unor studii analitice asupra elementelor din beton armat tip perete cu goluri simetric sau asimetric amplasate (proiectate prin metode curente si alternative), utilizarea programului performant de calcul "PMB" in proiectarea elementelor din beton armat cu metoda alternativa a Procedeului Modelelor de Bare si realizarea de verificari analitice si experimentale pentru elementelor proiectate.

CONTINUTUL PROGRAMULUI DE CERCETARE

In primul an de derulare a contractului de cercetare, in cadrul Departamentului CCIA al Facultatii de Constructii si Arhitectura a Universitatii "POLITEHNICA" din Timisoara, s-a conceput o imbunatatire a performantelor pachetelor de programe de calcul "pStress" si „pTruss”, programe de calcul utilizate la proiectarea alternativa prin Procedeul Modelelor de Bare (Strut-and-Tie) a elementelor din beton armat, prin conceperea unui program de instalare de sine statator, ceea ce il face un instrument de lucru la indemana oricarui student sau inginer proiectant de structuri.

In cadrul celui de-al doilea an de derulare a programului de cercetare s-a preconizat realizarea unor studii analitice asupra elementelor din beton armat tip perete cu goluri simetric sau asimetric amplasate, proiectate prin metode curente si alternative, utilizarea programului performant de calcul "PMB" in proiectarea elementelor din beton armat cu metoda alternativa a Procedului Modelelor de Bare si realizarea de verificari analitice si experimentale ale elementelor proiectate.

Studiul teoretic si cel experimental a avut ca obiect peretii tip diafragme din beton armat cu goluri, cercetarile axandu-se in principal pe modelarea, analiza numerica si conformarea elementelor structurale din beton armat de acest tip, facandu-se observatii si asupra influentei pe care o are pozitia golurilor asupra comportarii diafragmelor suplicate la actiuni orizontale.

PREZENTAREA PROGRAMULUI DIN PRIMUL AN DE CERCETARE

Procedeul Modelelor de Bare (PMB), o alternativa in calculul si conformarea elementelor structurale din beton armat cu discontinuitati statice si geometrice, utilizeaza o serie de programe de calcul specifice diferitelor etape ce se parcurg la folosirea acestui instrument de lucru in proiectare.

Pentru ca utilizarea pachetului de programe PMB sa se faca intr-un mod cat mai eficient a fost creat un program de instalare de sine statator, in limbajul de programare Visual Basic, care, in final duce la crearea icoanei PMB pe biroul utilizatorului. Apoi, etapele parcurse in proiectarea cu ajutorul procedului modelelor de bare vor fi:

1. Analiza starii de tensiune pentru ipoteza de incarcare data. Aceasta presupune calculul starii de tensiune in domeniul elastic, calculul directiilor eforturilor unitare principale si a marimii acestora. Determinarea acestor valori printr-un calcul manual bazat pe principiile teoriei elasticitatii face ca procedeul modelului de bare sa devina inaplicabil, in prezent aceasta analiza facandu-se in mod curent cu ajutorul procedurilor numerice (elemente finite sau diferite finite) prin utilizarea unui program de calcul adecvat.

2. Stabilirea mai multor modele de bare pe baza reprezentarii grafice a starii de tensiune, care sa urmareasca directiile eforturilor principale, grupate pe zone de solicitare, in vederea alegerii modelului optim de bare.

3. Calculul static al modelului de bare, in vederea determinarii eforturilor in barele modelului. Aceasta problema, in functie de complexitatea modelului, se rezolva printr-un calcul manual sau cu ajutorul unui program de calcul.

4. Dimensionarea ariilor de armatura, pe baza eforturilor din barele intinse ale modelului si verificarea compresiunilor in beton.

5. Conformarea (alcatuirea) elementului pe baza datelor rezultate din calcul si a prevederilor de alcatuire prevazute in norme.

Pachetul de programe "PMB" faciliteaza utilizarea Procedului Modelelor de Bare deoarece prin metode numerice se poate face un calcul rapid al starii de tensiune, o analiza a mai multor modele de bare, precum si o optimizare a modelului de bare ales.

In vederea utilizarii eficiente a Procedului Modelului de Bare a fost elaborat un pachet de programe de calcul care au ca baza mediul grafic AutoCAD, cu o mare raspandire intre proiectantii de structuri. Utilizand facilitatile AutoLISP-ului pe care AutoCAD-ul le ofera, s-au construit o serie de module LISP care faciliteaza culegerea datelor necesare alimentarii rutinelor pentru analiza starii de tensiune in elementul de beton armat si a analizei statice a modelului de bare.

Structura programului de calcul automat „PMB” cuprinde mai multe faze de lucru, printre care se numara urmatoarele:

- desenarea, prin intermediul mediului grafic AutoCAD, a elementului din beton armat studiat si discretizarea lui cu ajutorul elementelor finite;
- rezolvarea starii plane de tensiune, prin apelarea programului "TPL", specific;
- rularea modulului "autodxf" ce are rolul de a transpune grafic starea plana de tensiune determinata la punctul anterior;
- desenarea modelului de bare pe reprezentarea grafica a starii de tensiune, facandu-se in acelasi timp si numerotarea nodurilor si a barelor;
- rularea modulului "acadspa" al carui rol este acela de a crea fisierul de date necesar determinarii eforturilor in barele modelului, fisier ce contine referiri la topologia modelului, la conditiile de reazem si la incarcările ce actioneaza pe elementul studiat;
- efectuarea analizei statice a modelului de bare prin apelarea programului „SPA”, pentru structuri plane articulate, care ruleaza sub forma executabila;
- determinarea, pe baza eforturilor obtinute in barele intinse ale modelului de bare, a ariilor de armatura;
- refacerea tuturor etapelor precedente pentru alte modele de bare, astfel incit, in final sa se poata alege modelul optim; cu ajutorul programului automat de calcul „PMB” se pot analiza mai multe modele de bare pentru un singur element structural, dintre acestea optandu-se in final pentru cel care are deformabilitate minim;
- verificarea barelor comprimate si a nodurilor, in vederea alcatuirii si detalierii elementului structural studiat.

In vederea utilizarii eficiente a Procedului Modelului de Bare a fost elaborat initial un pachet de programe de calcul care au ca baza mediul grafic AutoCAD, cu o mare raspandire intre proiectantii de structuri. Utilizand facilitatile AutoLISP-ului pe care AutoCAD-ul le ofera, s-au construit o serie de module LISP care faciliteaza culegerea datelor necesare alimentarii rutinelor pentru analiza starii de tensiune in elementul de beton armat si a analizei statice a modelului de bare.

In faza actuala s-au adus imbunatatiri programelor pentru determinarea starii plane de tensiuni „TPL” si a structurilor plane articulate „SPA” si au fost dezvoltate programele „pStress” si „pTruss”, prezentate in continuare, care inlocuiesc varianta precedenta a programului PMB integrat in AutoCAD.

Programele „pStress” si „pTruss”

Si de aceasta data exista o integrare cu programul AutoCAD dar de data aceasta cele doua programe sunt de sine statatoare putand fi rulate in sistemul de operare Windows, fata de versiunea precedenta care a fost scrisa in AutoLisp rularea fiind executata din AutoCAD.

Cele doua programe au fost scrise in Visual Basic avand o interfata coerenta, ambele programe fiind de tip wizard, in care se parcurg un set de pasi in care utilizatorul descrie problema introducand valori in ferestre de dialog pana la definirea completa a problemei. Cele doua programe au fost concepute pentru a lucra cu AutoCAD prin automatizare COM, introducerea datelor precum si afisarea valorilor rezultate facandu-se in AutoCAD.

Atat pStress cat si pTruss folosesc AutoCAD pentru introducerea datelor si afisarea rezultatelor. Pentru a putea realiza acest lucru, cele doua programe se vor lega de AutoCAD prin interfata de tip COM (common object model), codul sursa care realizeaza acest lucru fiind prezentat in raportul de cercetare pentru contractul CNCSIS 40535/03, Tema 4, COD 489.

In urma apelarii acestei functii, programele pStress si pTruss au la dispozitie doua obiecte AcadApp care reprezinta aplicatia AutoCAD si AcadDoc care reprezinta documentul AutoCAD de lucru. Obiectul AcadDoc va fi folosit pentru a prelua elementele introduse de utilizator, respectiv pentru a desena elementele rezultate in urma calculului.

Programul pStress este folosit pentru calculul tensiunilor principale in structuri plane folosind metoda elementului finit. Programul pStress are o interfata de tip wizard care

parcurge 7 ferestre, parcursul fiind liniar, in fiecare fereastră utilizatorul fiind invitat sa adauge elementele necesare pentru definirea problemei.

La orice moment, utilizatorul poate reveni inapoi pentru a corecta valorile introduse. La sfarsitul parcursului, inainte de lansarea analizei propriu-zise, utilizatorul este invitat sa salveze datele introduse la definirea problemei intr-un fisier.

Fereastră „Welcome”

Acest pas permite crearea unei noi analize, sau deschiderea unui fisier analiza pStress salvat anterior. In cazul in care utilizatorul selecteaza optiunea Open existing file, programul va cere numele unui fisier analiza salvat anterior pe care il va deschide.

Fereastră „AutoCAD startup”

Aceasta fereastră propune trei moduri de a lucra cu documentul AutoCAD.

Create a new drawing, va crea un nou desen daca AutoCAD este pornit, sau va lansa AutoCAD.

Use current drawing, va folosi desenul curent daca AutoCAD este pornit, sau va lansa AutoCAD.

Open existing drawing, va cere utilizatorului numele unui desen existent.

Fereastră Create Drawing

Solicita utilizatorul sa creeze desenul in AutoCAD. Pentru a activa AutoCAD este suficienta apasarea butonului Activate, care va aduce in prim-plan documentul AutoCAD folosit pentru definirea problemei si afisarea rezultatelor.

Fereastră „Define Gridlines”

Pentru a realiza reseaua modelului se solicita utilizatorul sa introduca coordonatele retelei verticale si orizontale. Utilizatorul va selecta sau Vertical pentru a selecta coordonatele x ale retelei, fie Horizontal pentru a selecta coordonatele y ale retelei. Se apasa butonul Select pentru a activa AutoCAD si a incepe selectia. Pentru a termina selectia in AutoCAD si reveni inapoi in aplicatia pStress este suficient ca utilizatorul sa apese butonul drept al mouse-ului

Fereastră „Define Subdomains”

Permite definirea domeniilor de analiza. Acest lucru permite eliminarea golurilor. Se apasa butonul Select pentru a activa documentul AcadDoc, si se definesc succesiv prin punctare coltul din stanga jos, respectiv dreapta sus a fiecarui domeniu de analiza. Pentru a reveni in pStress se apasa butonul drept al mouse-ului. Tot la acest pas trebuie definite si grosimea fiecarui subdomeniu, modulul de elasticitate longitudinal, modulul de elasticitate transversal.

Trebuie remarcat faptul ca pStress nu permite trecerea la pasul urmator (butonul Next nu este activ) daca fereastră curenta nu a fost completata in totalitate. Fiecare pas al analizei este verificat si daca datele sunt insuficiente sau eronate programul nu permite trecerea la pasul urmator.

Fereastră „Defined Constrained Lines”

Verificarea validitatii domeniilor permite definirea conditiilor de margine. Se apasa butonul Select si se selecteaza in fereastră AutoCAD marginile care au deplasari impiedicate. Pentru a reveni in pStress se apasa butonul drept al mouse-ului. Tot in fereastră curenta se completeaza in coloana Code, codul marginii respective:

- 1 pentru incastrare
- 2 pentru blocaj pe directia x
- 3 pentru blocaj pe directia y

Fereastră „Apply Loads”

Permite definirea nodurilor incarcate. Se apasa butonul Select si se puncteaza cu butonul stang al mouse-ului in desen nodurile incarcate. Pentru a reveni in pStress se apasa butonul drept al mouse-ului. In tabel se trec valorile fortelor (Semnul fortei respecta semnul pozitiv al avelor globale de coordonate).

Fereastra „Plot Options”

Permite selectare optiunilor de desenare:

Factorul de scara al valorilor tensiunilor principale.

Culoarea tensiunilor principale, culoarea rețelei a domeniilor.

Optiunea de desenare color sau alb-negru.

Fereastra „Run Analysis”

Permite executarea analizei si desenarea tensiunilor principale. Daca datele s-au modificat de la ultima salvare programul va solicita utilizatorului salvarea datelor intr-un fisier.

Dupa terminarea rularii, programul pStress va trasa tensiunile principale in desenul AutoCAD.

Programul pTruss

Programul pTruss permite determinare eforturilor in barele grinzilor cu zabrele plane, folosind metoda elementului finit. Programul pTruss are o interfata de tip wizard care parcurge 6 ferestre, parcursul fiind liniar, in fiecare fereastra utilizatorul fiind invitat sa adauge elementele necesare pentru definirea problemei.

La orice moment, utilizatorul poate reveni inapoi pentru a corecta valorile introduse. La sfarsitul parcursului, inainte de lansarea analizei propriu-zise, utilizatorul este invitat sa salveze datele introduse la definirea problemei intr-un fisier.

Fereastra „Welcome” si **Fereastra „AutoCAD startup”** sunt identice ca la programul pStress.

Fereastra „Define Nodes”

Permite definirea nodurilor. Se apasa butonul Select si in desenul AutoCAD se puncteaza pozitia nodurilor. Dupa punctare, pTruss va desena si numerota nodul respectiv. Pentru a reveni in pTruss se apasa butonul drept al mouse-ului.

Fereastra „Define Elements”

Permite definirea elementelor. Se apasa butonul Select si in desenul AutoCAD se selecteaza cele doua noduri ale fiecarei bare. Dupa selectare, pTruss va desena si numerota bara respectiva. Pentru a reveni in pTruss se apasa butonul drept al mouse-ului, obtinandu-se modelul definit in urma ferestrelor “Define Nodes” si “Define Elements”

Fereastra „Define Blocks”

Permite definirea nodurilor blocate. Se apasa butonul Select si in desenul AutoCAD se selecteaza nodurile blocate. Pentru a reveni in pTruss se apasa butonul drept al mouse-ului. In tabelul din fereastra curenta se puncteaza in coloana Blockx sau Blocky pentru a bloca deplasarea pe directia respectiva

Fereastra „Apply Loads”

Permite definirea nodurilor incarcate. Se apasa butonul Select si in desenul AutoCAD se selecteaza nodurile incarcate. Pentru a reveni in pTruss se apasa butonul drept al mouse-ului. In tabelul din fereastra curenta se completeaza in coloana Fx sau Fy valoarea incarcarii

Fereastra „Plot Options”

Este identica cu fereastra din pStress.

Fereastra „Run Analysis”

Permite executarea analizei si desenarea eforturilor in bare. Daca datele s-au modificat de la ultima salvare programul va solicita utilizatorului salvarea datelor intr-un fisier cu rezultatele obtinute prin rulara pTruss. Dupa rulara programului pTruss urmeaza determinarea ariilor de armatura in barele intinse ale modelului de bare, pe baza eforturilor obtinute si refacerea tuturor etapelor precedente pentru diferite alte modele de bare, astfel incit in final sa se poata alege modelul optim, cel care are deformabilitatea minima. In vederea detalierii elementului structural studiat se va face verificarea barelor comprimate si a nodurilor, pentru ca apoi sa se poata realiza detaliile de executie.

Toate imaginile-ecran pentru rulara programului sunt date in detaliu in raportul de cercetare pentru contractul CNCSIS 40535/03, Tema 4, COD 489.

PREZENTAREA PROGRAMULUI DIN AL DOILEA AN DE CERCETARE

In partea finala a programului de cercetare derulat pe parcursul a doi ani, ca alternativa in proiectarea elementelor structurale din beton armat s-a optat pentru utilizarea Procedului Modelelor de Bare, care se preteaza in deosebi la elementele cu discontinuitati statice si geometrice, inlocuind elementul structural real cu modele de bare comprimate si intinse, care sa urmareasca cat mai fidel starea de tensiune din structura solicitata la diverse incarcari.

Tocmai de aceea studiul teoretic si cel experimental a avut ca obiect peretii tip diafragme din beton armat cu goluri, cercetarile axandu-se in principal pe modelarea, analiza numerica si conformarea elementelor structurale din beton armat de acest tip, facandu-se observatii si asupra influentei pe care o are pozitia golurilor asupra comportarii diafragmelor solicitate la actiuni orizontale.

In cadrul fazei actuale a programului de cercetare s-a preconizat realizarea unor studii analitice asupra elementelor din beton armat tip perete cu goluri simetric sau asimetric amplasate, proiectate prin metode curente si alternative, utilizarea programului performant de calcul "PMB" in proiectarea elementelor din beton armat cu metoda alternativa a Procedului Modelelor de Bare, realizarea de verificari analitice si experimentale ale elementelor proiectate si redactarea Raportului de Cercetare.

CONTINUTUL PROGRAMULUI DE CERCETARE

Conform obiectivelor propuse initial, in aceasta faza ultima, finala, a programului de cercetare extins pe parcursul a doi ani s-au rezolvat probleme legate de proiectarea prin metode traditionale si alternative a elementelor structurale de tip perete cu goluri, studii teoretice si analitice asupra comportarii acestor tipuri de elemente structurale sub incarcari si incercari experimentale pe elementele studiate, reusindu-se dupa interpretarea rezultatelor si desprinderea unor concluzii pe aceasta tema.

Daca initial s-au efectuat o serie de modelari numerice pentru analiza comportarii in stadiul elastic al acestor tipuri de elemente structurale sub efectul actiunilor orizontale, a urmat apoi proiectarea modelelor experimentale, executia lor si realizarea de incercari experimentale pe acestea.

In continuare, s-a aplicat programul de calcul performant "PMB" la proiectarea alternativa a acelorasi elemente structurale, s-au executat modelele experimentale, urmand efectuarea incercarilor experimentale pe stand a acestora.

Aspectele abordate au fost urmatoarele :

- modelari numerice si analiza comportarii in stadiul elastic al acestor tipuri de elemente structurale sub efectul actiunilor orizontale;
- proiectarea, executia si efectuarea incercarilor experimentale asupra elementelor tip diafragme cu goluri;
- aplicarea programului de calcul performant "PMB" la proiectarea alternativa a acelorasi elemente structurale;
- executia modelelor experimentale;
- elaborarea unor concluzii privind comportarea sub incarcari a peretilor din beton armat cu goluri decalate, privind influenta pozitiei golului privita prin prisma rigiditatii peretilor, a starii de eforturi si a modului de armare a diferitelor zone din acestia.

PREZENTAREA PROGRAMULUI DE CERCETARE

Modelari numerice si analiza comportarii in stadiul elastic al acestor tipuri de elemente structurale sub efectul actiunilor orizontale

Modelarile numerice s-au efectuat pe pereti cu goluri decalate ce fac parte dintr-o cladire administrative, cu regimul de inaltime P+3 iar dimensiunile si fortele ce actioneaza asupra peretilor structurali au fost alese astfel incat: sa se studieze influenta golurilor asupra peretilor structurali cu inaltime medie, la care raportul laturilor $h_w/l_w > 2$; sa se permita realizarea si manipularea modelelor experimentale. Ca atare dimensiunile modelelor reprezinta $\frac{1}{4}$ din dimensiunile peretelui real pentru ca sa se incadreze in limitarile impuse de standul experimental din laboratorul Departamentului CCIA al Facultatii de Constructii si Arhitectura din Timisoara.

In tabelul 3.1 sunt prezentate dimensiunile peretilor reali si cele ale modelelor experimentale.

Tabelul 3. 1 Dimensiuni perete structural real si model experimental

Dimensiunea	Notare	Perete structural [cm]	Model experimental [cm]
Inaltime perete	h_w	1040	260
Latime perete	l_w	500	125
Grosime perete	b_w	25	8
Inaltime etaj	h_s	260	65
Inaltime usa	h_d	200	50
Latime usa	l_d	100	25

S-au studiat cinci tipuri de pereti structurali: trei cu goluri decalate pe verticala, unul plin, si unul cu goluri dispuse ordonat pe verticala, peretii studiatii fiind diferentiati prin valorile unghiului α . Modul de notare a peretilor, in functie de pozitia golurilor si directia de actiune seismica este prezentata in detaliu in raportul de cercetare pentru contractul CNC SIS 32940/2004, Tema 4, COD 489.

Proiectarea si executia modelelor experimentale a fost conceputa astfel incit sa satisfaca cerinte legate de dimensiunile standului de incercari si capacitatea instalatiei de incarcare.

Toti peretii au fost solicitati de aceleasi forte orizontale si verticale. Incarcarea utila normata care a actionat asupra planseului a avut valoarea de 200 daN/m², iar greutatea proprietotala normata valoarea de 500 daN/m². Analiza comportarii sub incarcari seismice in domeniul elastic a acestor pereti structurali cu goluri s-a efectuat cu programul de calcul AXIS VM 5.0, determinandu-se starea de eforturi, distributia eforturilor unitare verticale σ_y , a eforturilor unitare tangentiale τ_{xy} si distributia eforturilor unitare principale.

Directiile eforturilor unitare principale redau cel mai fidel nivele de solicitare in diversele zone ale tuturor elementelor structurale solicitate static sau dinamic. Prin cunoasterea valorii intensitatilor acestora si a modului de repartitie a acestora la diverse nivele de solicitare, se stabilesc masurile necesare a fi luate in scopul asigurarii tuturor cerintelor stabilite de normativele de proiectare. In figura 3.2 sunt prezentate tablouri ale distributiei directiile eforturilor principale maxime la baza peretilor (parter si etajul 1) in functie de directia de actiune seismica.

Se observa ca :

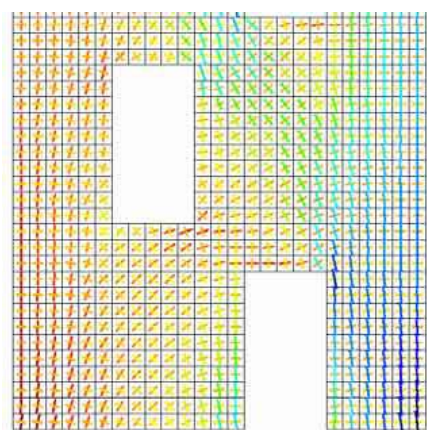
- valorile unghiurilor sub care actioneaza eforturile unitare principale pe sectiunile de beton ale montantilor extremi, sunt in general de 0°, 90°, 180° fata de axele peretilor, deci eforturile unitare principale de compresiune actioneaza perpendicular pe sectiunea de beton, in timp ce

eforturile unitare principale de intindere actioneaza in lungul axei barelor longitudinale sau transversale ;

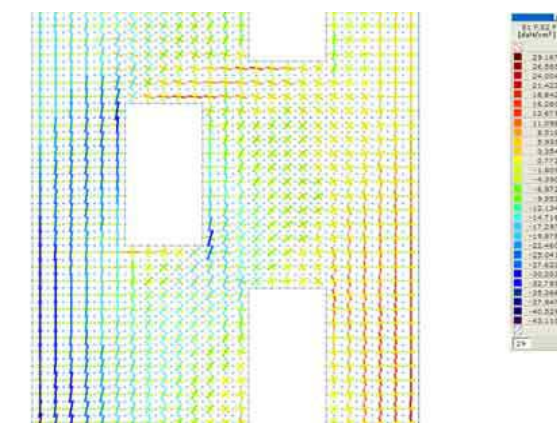
- in zona delimitata de goluri, eforturile principale sunt perturbate de prezenta acestora si actioneaza sub diverse unghiuri fata de axele peretilor. Aceste zone sunt solicitate diferit in functie de directia de actiune seismica: pentru forte din stanga, legaturile sunt solicitate la eforturi principale de intindere si compresiune , in timp ce pentru cealalta directie de actiune seismica se inregistreaza eforturi numai de compresiune dupa ambele directii. Deci, in aceste zone trebuie acordata o atentie deosebita modurilor de armare , datorita eforturilor principale de compresiune predominante, care pot produce cedari casante ale legaturilor;
- panourile 2,3,4, delimitate pe verticala de goluri succesive, sunt solicitate de eforturi principale de intindere sau compresiune in zonele de goluri. Intre aceste zone de panouri, eforturile principale actioneaza inclinat sub diverse unghiuri;
- la extremitatile de la baza montantului mare, eforturile principale actioneaza in directii diferite indicind o comportare caracteristica peretilor structurali, in timp ce pe intreaga sectiune de beton a montantului mic, eforturile principale au aceesi directie de actiune;
- la baza montantilor cu goluri decalate se inregistreaza valori mai mari ale eforturilor unitare principale de compresiune , in comparatie cu valorile inregistrate in zonele similare ale peretilor cuplati. In comparatie insa cu peretii cu goluri decalate, in peretii cuplati se inregistreaza cele mai mari valori ale eforturilor unitare principale de intindere, atit la baza montantilor , cat si in zona golurilor ;
- valorile eforturilor unitare in peretii cu goluri decalate, variaza invers proportional cu valorile unghiului α .

Proiectarea elementelor structurale tip diafragme cu goluri prin metoda alternativa a Procedului Modelelor de Bare (Strut-and-Tie)

Proiectarea prin metoda alternativa a Procedului Modelelor de Bare inseamna aplicarea programului de calcul performant “PMB” pentru determinarea modului de scurgere a incarcarii prin elementul studiat, respectiv determinarea starii plane de tensiune in element, alegerea unor modele de bare intinse si comprimate (struts-and-ties) care sa modeleze cat mai exact starea reala de tensiune si, dupa determinarea eforturilor din barele modelelor (compresiuni si intinderi) sa se realizeze conformarea acestuia, respective armarea elementului din beton armat, tinand cont de caracteristicile plastice ale acestuia.



SW2



SW3

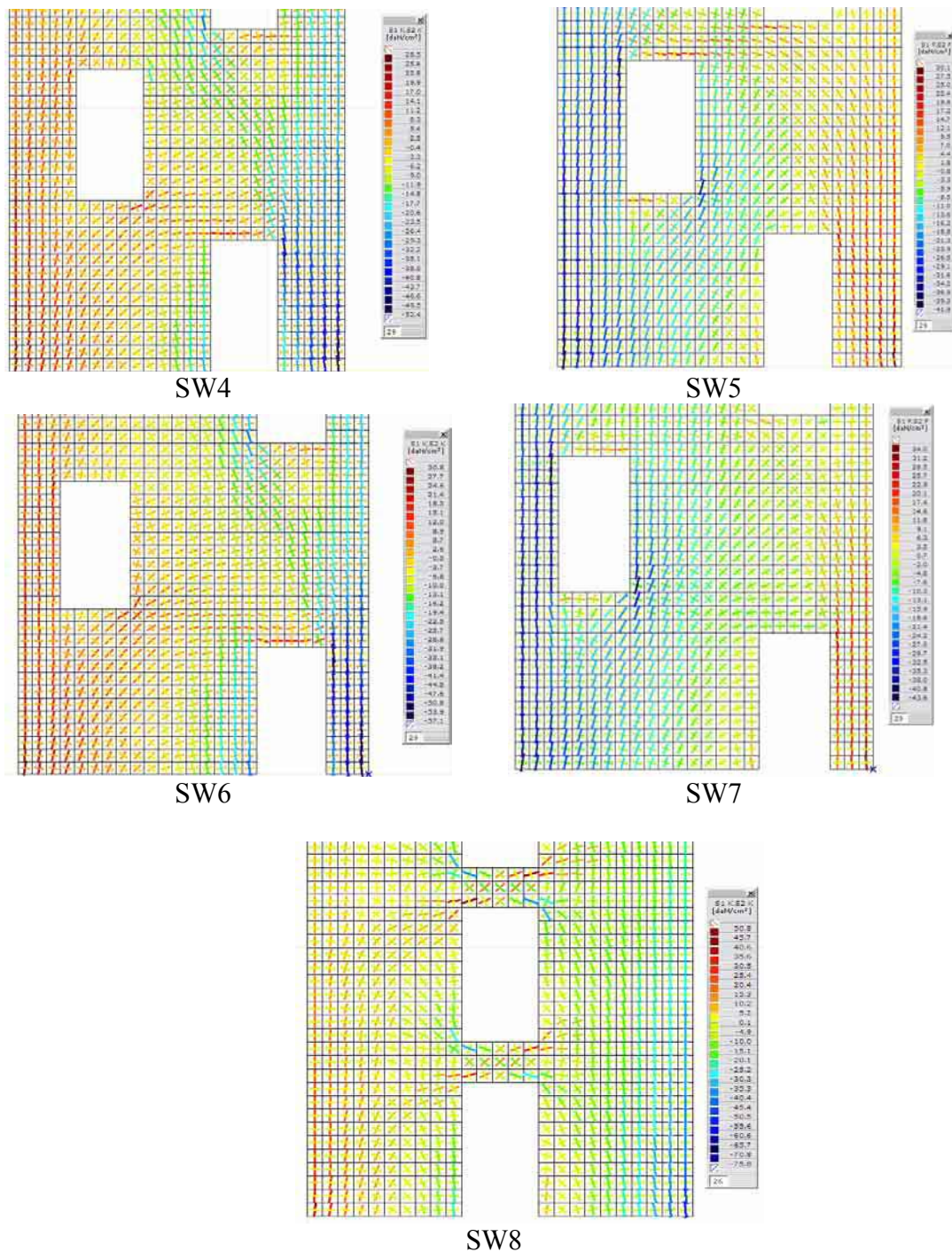


Figura 3.2 Directiile eforturilor principale in peretele SW2 ... SW8

Proiectarea elementelor structurale tip diafragme cu goluri prin metoda alternativa a Procedului Modelelor de Bare (Strut-and-Tie)

Proiectarea prin metoda alternativa a Procedului Modelelor de Bare inseamna aplicarea programului de calcul performant "PMB" pentru determinarea modului de scurgere a incarcarii prin elementul studiat, respectiv determinarea starii plane de tensiune in element, alegerea unor modele de bare intinse si comprimate (struts-and-ties) care sa modeleze cat mai exact starea reala de tensiune si, dupa determinarea eforturilor din barele modelelor (compresiuni si intinderi) sa se realizeze conformarea acestuia, respective armarea elementului din beton armat, tinand cont de caracteristicile plastice ale acestuia.

Dintre elementele tip perete din beton armat cu goluri decalate studiate, s-a optat pentru cel care in practica se intalneste cel mai des, respectiv cel cu goluri amplasate central (SW8). Pentru acesta s-a determinat cu programul PMB atat starea de tensiune cat si eforturile din bare pentru modelul de bare adoptat.

In urma analizei valorilor eforturilor din barele modelului pentru peretele cu goluri centrale, SW8 si aplicand relatiile de calcul pentru determinarea ariei de armatura corespunzatoare barelor intinse ale modelului de bare, s-a optat pentru o armare pe directii ortogonale, pentru o mai mare simplitate in executie, tinand cont si de faptul ca dimensiunile reduse ale modelului experimental sunt, de fapt, impuse de gabaritul standului de incercari din cadrul Departamentului CCIA.

Figurile 3.3a si 3.3b redau planul si detaliile de armare a modelului experimental pentru peretele SW8, armare realizata prin utilizarea procedeeului modelelor de bare PMB.

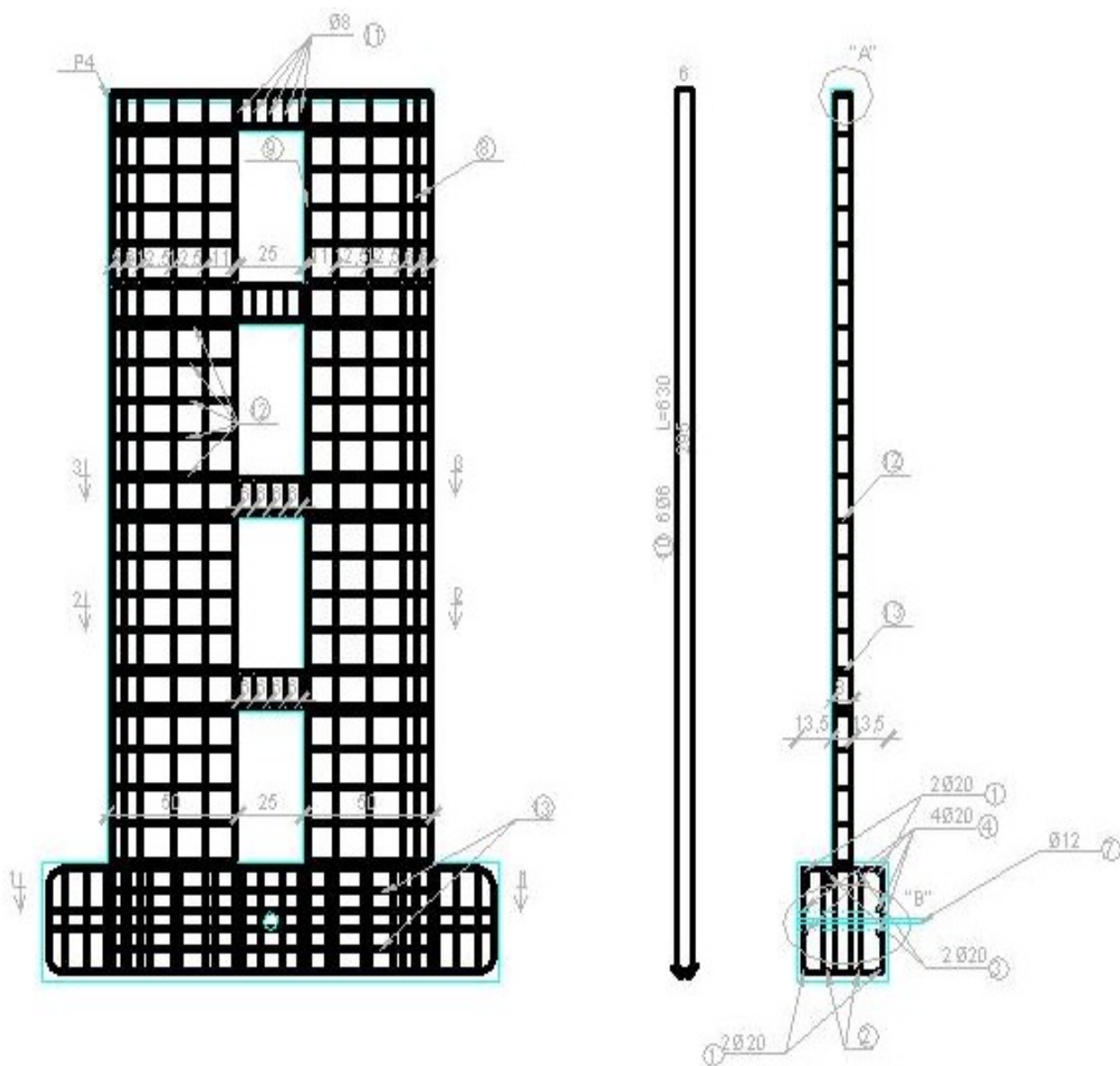


Figura 3.3a Plan armare perete structural SW8, realizat cu "PMB"

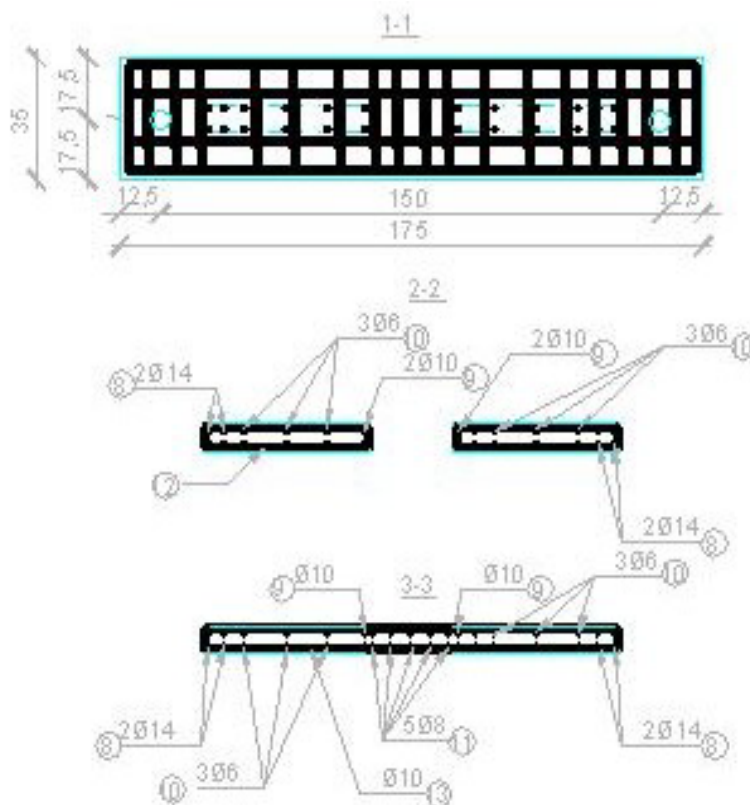


Figura 3.3b Detalii de armare pentru peretele structural SW8

In cazul in care ar fi fost posibila executia modelelor experimentale la o scara mai mica, deci cu dimensiuni mai apropiate de cele reale, atunci ar fi fost posibila realizarea modelelor experimentale care sa aiba armari neconventionale, netraditionale, respectiv armaturi care sa urmareasca in cea mai mare parte directia principala a distributiei eforturilor de intindere din tabloul starii de tensiuni, adica s-ar fi putut demostra cu mai mare acurateta faptul ca Procedul Modelelor de Bare, aplicat elementelor structurale cu discontinuitati geometrice, duce la o conformare mai apropiata de modul de comportare al acestora sub incarcari.

Incercari experimentale realizate pe elemente structurale tip pereti din beton armat cu goluri

In vederea realizarii incercarilor experimentale s-a stabilit un program de incercari experimentale care s-a desfasurat in cadrul laboratorului de incercari din cadrul Departamentului C.C.I.A al Facultatii de Constructii si Arhitectura din Timisoara, care a fost compus din urmatoarele etape:

- identificarea tipurilor de pereti structurali reprezentativi, pentru a fi studiati experimental;
- alcatuirea standului de incercari si verificarea dimensiunilor acestuia in functie de dimensiunile modelelor de peretilor structurali alesi;
- determinarea zonelor concentratoare de eforturi maxime a modelelor experimentale in domeniul elastic, cu ajutorul programelor de calcul AXIS VM 5.0 si BIOGRAF in domeniul postelatic;
- armarea modelelor atat in conformitate cu prescriptiile de armare cuprinse in normativele romanesti de proiectare antisismice a peretilor structurali din beton armat, P85/96 si P85/2001 cat si armarea rezultata prin aplicarea alternativei de proiectare, PMB;
- intocmirea planselor cu detaliile de executie ale modelelor experimentale;
- confectionarea modelelor experimentale;

- identificarea si amplasarea in zonele cu solicitari maxime a instrumentelor de masurare;
- conceptia unui cofraj metalic rigid, care sa permita transportul modelelor fara a se inregistra fisurarea acestora;
- stabilirea aparaturii de masura si control;
- efectuarea incercarilor experimentale;
- compararea rezultatelor experimentale cu experimentale cu cele obtinute pe cale teoretica;
- interpretarea si compararea rezultatelor.

Peretele structural modelat experimental are inaltimea de 240 cm, latimea de 125 cm si inaltimea de etaj de 60 cm. In scopul evitarii cedarii modelului datorita pierderii stabilitatii laterale ca urmare a absentei planseelor si a bulbilor, s-a ales o grosime a peretelui de 8 cm iar golurile au avut dimensiunile de 25cm x 50cm. Modelele experimentale au fost prevazute cu blocuri de fundatii cu inaltimea de 40 cm, latimea de 35 cm si lungimea de 175 cm iar betonul in fundatii a fost turnat simultan cu betonul in pereti.

Modelele experimentale au fost armate pe baza prescriptiilor de armare cuprinse in normativul P85/96 si pe baza armarii rezultate in urma aplicarii Procedului Modelelor de Bare. In scopul asigurarii aderentei dintre beton si armatura s-au utilizat bare profilate din PC 52 cu diametrul de 6mm. Armaturile au fost dispuse sub forma de plasa pe ambele fete ale peretilor. In jurul golurilor s-au dispus armature verticale formate din doua bare cu diametrul de 10mm, prevazute ca etrieri pe verticala. In scopul evitarii rosturilor de turnare si a realizarii unei bune compactari a betonului, peretii model s-au turnat si vibrat pe orizontala in cofraj metalic.

Pentru a asigura buna transmitere a eforturilor la fundatii, barele verticale au fost prelungite in blocul de fundare, avand asigurata lungimea de ancoraj. Fundatiile au fost armate

foarte puternic cu carcasa din bare longitudinale cu diametrul de 20 mm si etrieri indesiti din OB cu diametrul de 8mm iar stratul de acoperire cu beton a tuturor armaturilor a fost de 10 mm. Modul de armare a modelelor experimentale este prezentat in figura 3.3.

In cele ce urmeaza se prezinta cateva aspecte din timpul armarii elementelor experimentale (foto 1), a turnarii betonului in pozitie orizontala si a montarii in stand a acestora.



Foto. 1 Montarea armaturilor modelelor experimentale

Elementele au fost montate in pozitie verticala in ultima faza a transportului, cand au fost depozitate in apropierea standului de incercari. Cofrajul metalic a fost scos de pe modelele experimentale numai dupa indepartarea tuturor carligelor de la macara si taierea sudurilor de pe partile laterale ale cofrajului.

Dispozitivul de incercare - standul experimental - este prezentat schematic in figura 3.4 si a fost compus din:

- doua pistoane orizontale fixate pe doua cadre metalice laterale. Ele au actionat la partea superioara a modelelor experimentale si au fost capabile sa dezvoltate forte orizontale de pana la 12 kN;

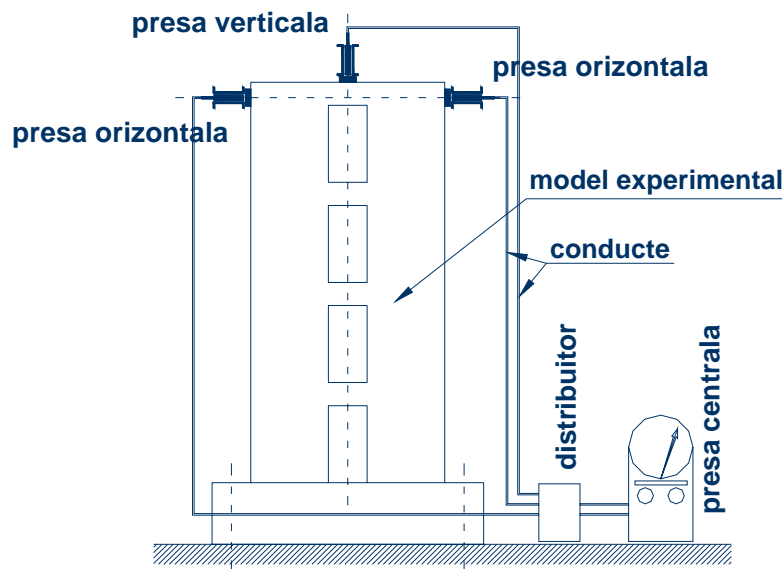


Figura 3.4 Dispozitivul de incercare- standul experimental

- un piston vertical fixat la partea superioara a peretelui. In piston, pe tot parcursul incercarilor experimentale a fost mentinuta o presiune echivalenta cu 50 kN;
- un distribuitor;
- o presa centrala;
- conducte de distributie;
- tirant vertical din teava rotunda;
- buloane de ancoraj
- microcomparatoare.

Starea de eforturi in peretii de beton si in armaturi a fost determinata cu ajutorul timbrelor tensiometrice lipite pe fetele modelelor si direct pe armature iar inregistrarea deplasarilor s-a realizat cu ajutorul microcomparatoarelor si a unei statii topografice totale, cu care au fost masurate deplasările orizontale de la nivelul fiecarui planșeu.

Datorita caracterului ciclic alternant al solicitarilor seismice si al necesitatii cunoasterii

modului in care golurile decalate influenteaza mecanismele de cedare ale peretilor, toate modelele cu goluri au fost solicitate la forte orizontale ciclic alternante. Metodologia de solicitare se bazeaza pe controlul deplasarilor orizontale de la partea superioara a modelelor experimentale si consta in inregistrarea tuturor fortelor si deformatiilor specifice care apar in beton si armatura in zonele critice, pentru anumite valori ale deplasarilor orizontale. Au fost alese sapte valori ale deplasarilor orizontale la care au fost inregistrate aceste date si au fost facute observatii referitoare la modul de aparitie si de distributie a fisurilor.

Incarcarea a continuat sa creasca, pana cand s-a inregistrat prima zdrobire a betonului de la baza montantului comprimat. La fiecare pas de incarcare s-au relevat fisurile.

Elementele experimentale SW8 sunt pereti structurali din beton armat cu goluri de usi amplasate pe mijloc, solicitate de forte orizontale ciclic alternante, pana in stadiul de cedare. Prin incercarea elementelor experimentale mai sus mentionate s-a studiat:

- modul de fisurare si distributie a fisurilor la solicitari ciclice alternante;
- determinarea deformatiilor specifice si a starii de eforturi din modelele experimentale;
- comportarea modelelor experimentale prin culegerea de date in ceea ce priveste modul de cedare a acestora;
- stabilirea ordinii de intrare in curgere a armaturilor;
- determinarea ductilitatii de deplasare a modelelor experimentale;
- determinarea degradarii de rigiditate pe cicluri de incarcare;
- disiparea de energie totala si pe cicluri de incarcare in modelele experimentale;
- compararea rezultatelor obtinute pe cale experimentală cu cele obtinute pe cale teoretică.

S-a observat comportarea modelelor experimentale la diverse trepte de incarcare iar in fotografiile ce urmeaza s-a surprins modul de cedare al modelului SW8 (foto 2) si modurile de distributie a fisurilor la diverse valori ale fortelor orizontale in cateva zone specifice ale acestui perete din beton armat (foto 3).

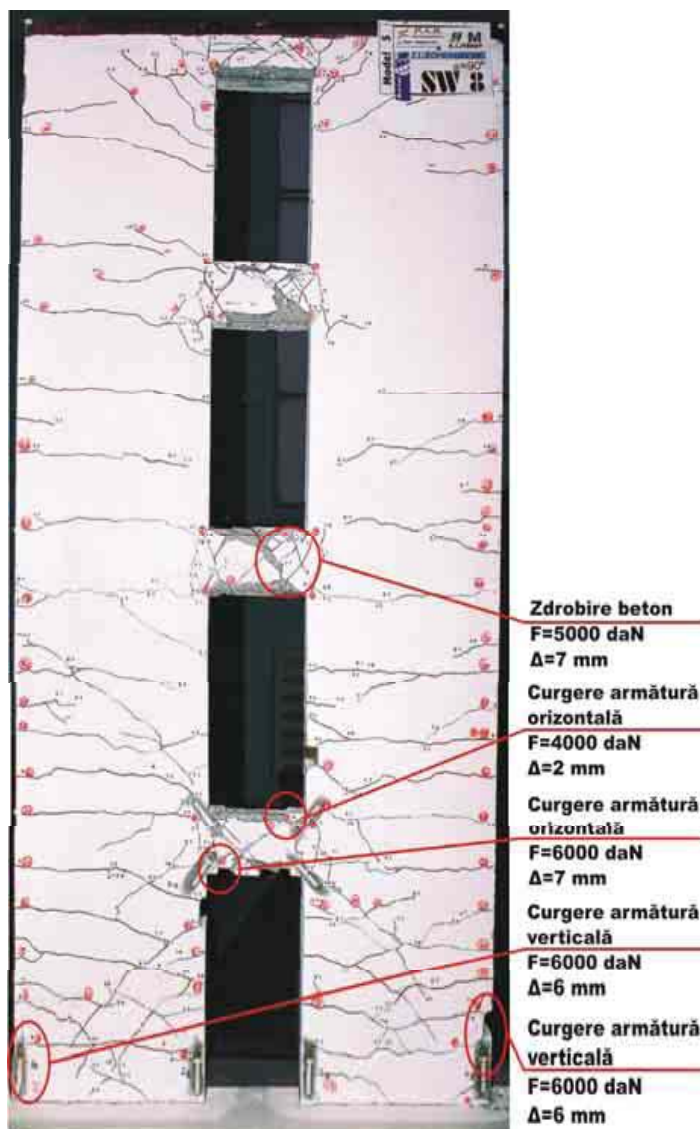


Foto. 2 Modul de cedare a modelului experimental SW8

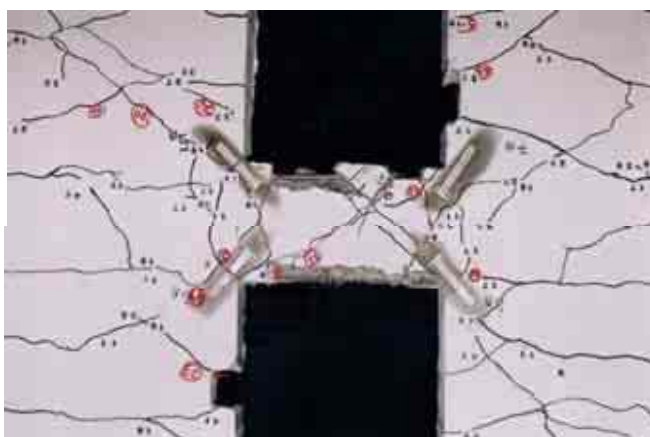


Foto. 3 Distributia fisurilor in zona dintre goluri

Interpretarea rezultatelor experimentale

Evaluarea raspunsului seismic al modelelor experimentale este sugestiv prezentata prin trasarea diagramelor forta – deplasare ($P-\Delta$) pe baza carora s-a determinat ductilitatea de element si s-a calculat cantitatea de energie disipata de fiecare model experimental.

Din analiza diagramelor $P-\Delta$ se observa ca in general la toate modelele cu goluri, solicitarea ciclica a avut un puternic efect asupra rigiditatii si a capacitatii lor de deformare. In general, modelele inregistreaza un bun raspuns seismic, caracteristic unor pereti structurali bine conformati, a caror deformabilitate este dictata in principal de compresiunea excentrica. Se observa de asemenea si fenomenul de descrestere a portiunii terminale a curbelor $P-\Delta$, datorita scaderii fortei capabile ca urmare a iesirii treptate din lucru a riglelor de cuplare a modelului experimental SW8.

In scopul verificarii rezultatelor obtinute pe cale experimentală cu cele teoretice s-au trasat graficele $P-\Delta$ comparative, intre cele doua curbe observandu-se buna concordanta, diferentele datorandu-se modului diferit de solicitare seismică.

Se mai observa ca, in general, cantitatea de energie disipata de pereti nu este influentata de directia de actiune seismică, ci de modul de dispunere a golurilor de usi.

In figura 3.5 este redată diagrama $P-\Delta$, pentru modelul experimental SW8, diafragma cu goluri centrale.

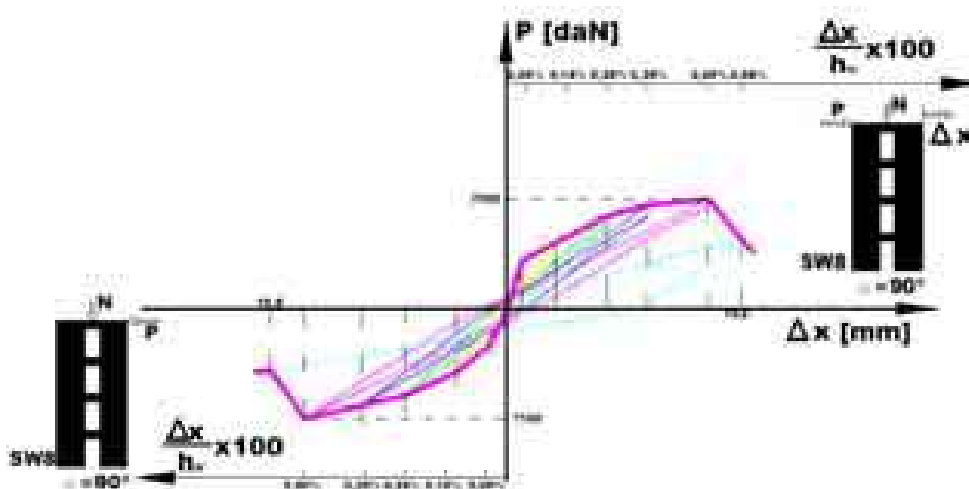


Figura 3.5 Curba $P-\Delta$ pentru modelul experimental SW8

Interpretarea curbelor $P - \varepsilon$ pe armaturi ne duce la concluziile urmatoare :

- ordinea de curgere armaturilor este diferita la peretii cu goluri decalate fata de cei cuplati. Din aceasta observatie rezulta ca peretii cu goluri decalate nu sunt atat de expusi cedarii casante precum peretii cuplati in lipsa masurilor speciale de armare prevazute de normative;

- peretii structurali cu goluri decalate sunt capabili sa dezvolte un mecanism de cedare ductil, fara masuri de armare si dimensionare speciale;

- armaturile verticale de bordare a golurilor dispuse ordonat (SW8) nu curg nici la parter nici la primul etaj, datorita eforturilor maxime de intindere care se inregistreaza numai la extremitatile peretilor;

Curbele $P - \varepsilon$ pe beton au fost ridicate in urma rezultatelor obtinute la timbrele tensometrice verticale fixate pe fiecare fata a peretelui la extremitatile fiecarui montant. Rezultatele experimentale au fost verificate cu rezultatele teoretice oferite de programul de calcul BIOGRAF, principalele concluzii fiind:

- exista o buna concordanta intre rezultatele teoretice si cele experimentale;

- timbrele inclinate lipite in zona golurilor nu au furnizat informatii credibile datorita alunecarii acestora, a ruperii lor ca urmare a dezvoltarii fisurilor diagonale sau a degradarii rapide a betonului de la extremitatile montantilor;

- modelul SW8 a cedat casant, prin zdrobirea betonului de la extremitatile riglelor de cuplare (lucru de asteptat avand in vedere slaba armare a riglelor de cuplare).

Din interpretarea rezultatelor obtinute in urma efectuarii incercarilor experimentale si a studierii modului de comportare a peretilor, se apreciaza ca rezultatele incercarilor experimentale au confirmat rezultatele anticipate prin analizele teoretice efectuate pentru calibrarea modelelor experimentale.

CONCLUZII

Prin aplicarea Procedului Modelelor de Bare in varianta implementata pe calculator si prin utilizarea programului de instalare a acestuia, timpul de proiectare a elementelor structurale studiate a fost mult redus fata de proiectarea in metoda traditionala (dupa Normativul P85-93), constatandu-se ca rezultatele sunt sensibil aceleasi, foarte apropiate, diferentele fiind date doar de acurateta cu care modelele de bare utilizate urmaresc traseele eforturilor principale.

In urma cercetarilor efectuate pe elemente structurale cu diferite grade de complexitate, se poate concluziona ca utilizarea Procedului Modelelor de Bare la calculul, armarea si conformarea elementelor structurale din beton armat este o solutie alternativa eficienta si viabila, care se preteaza mai cu seama la partile din structuri unde exista diferite discontinuitati statice sau geometrice, zone pentru care calculul traditional este deficitar iar armarea se face dupa prescriptii ce au la baza calcule mai mult sau mai putin exacte, uneori chiar empirice.

Ca urmare, Procedul Modelelor de Bare vine ca un instrument rapid si eficient, utilizabil cu success in proiectarea elementelor structurale din beton armat, pentru viitor preconizandu-se ca sfera cercetarilor sa se extinda asupra a cat mai multe tipuri de elemente structurale, astfel incat sa se poata crea o baza de date, inmagazinate in fisiere specifice, care sa poata fi accesata usor si sa dea in timp cat mai scurt rezolvarea din punct de vedere al calculului, al starii de eforturi, al modelelor de bare ce trebuiesc utilizate in fiecare caz specific, al cantitatilor de armatura necesare si al modului de dispunere a acestora in elementul structural, intr-un cuvant – conformarea acestuia.

Studiile efectuate in cadrul acestei teme de catre colectivul de cercetare continua cele efectuate in domeniu pe plan national si international iar rezultatele sunt in concordanta cu

cele obtinute de cercetatori remarcabili, precum T. Paulay, V. Yanez, R. Park, J. Wight sau N. K. Subedi. Cercetarile teoretice s-au efectuat cu ajutorul programelor de calcul bazate pe metoda elementului finit, care au simulat raspunsul seismic al peretilor din domeniul elastic si postelastice.

Studiile teoretice si experimentale efectuate au demonstrat faptul ca peretii structurali cu goluri se pot calcula si conforma cu ajutorul Procedurii Modelelor de Bare, modelele experimentale proiectate pe baza acestei metode fiind capabile sa dezvolte o buna ductilitate de deplasare si disipand o cantitate importanta de energie seismică, insa schemele de calcul erau diferite in functie de directia de actiune seismică.

Ca atare s-a reusit confirmarea Procedurii Modelelor de Bare ca metoda alternativa de calcul si de proiectare a elementelor structurale din beton armat cu discontinuitati statice si geometrice, acest lucru realizandu-se de aceasta data pentru peretii structurali cu goluri.

BIBLIOGRAFIE

- [1] WIGHT J., AEJAZ, A., - RC structural walls with staggered door openings, Journal of structural Engineering vol 117, pag 1515-1531, may 1991.
- [2] STOIAN V., CLIPII T., s.a. - Auto-CAD Graphic Medium for Design of Concrete, International Workshop on CAD: Design Packages and Educational Tools, Timisoara, 1995
- [3] STOIAN, FEKETE-NAGY L. - Proiect Tempus-Phare nr. 01198 Volumul: Calculul structurilor din beton armat si precomprimat, Eurocode2 - Exemple de calcul, Timisoara, 1997.
- [4] FEKETE-NAGY L. - Contributii la calculul si alcatuirea elementelor si structurilor de beton armat cu discontinuitati statice si geometrice, Teza de Doctorat, Timisoara, 2002.
- [5] MOSOARCA, M., STOIAN, V. - Incercari experimentale realizate pe pereti structurali din beton armat cu goluri decalate, pag 157-162, Simpozion Materiale, Elemente si structuri compozite pentru constructii, Zile Academice Timisene, Universitatea Politehnica Timisoara, 22-23 mai 2003.
- [6] MOSOARCA, M. - Contributii la calculul si alcatuirea peretilor structurali din beton armat, Teza de Doctorat, Timisoara, februarie, 2004.
- [7] FEKETE-NAGY L., IANCA S. - The „Strut-and-Tie” Design Procedure for reinforced concrete deep beams having an opening, The 8-th International Conference – Modern Building Materials, Structures and Techniques, Vilnius, Lituania, 21-23 mai, 2004