



FACULTATEA DE CONSTRUCȚII

Asist. ing. Adina Victorița LĂPUȘTE

TEZĂ DE DOCTORAT

CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA SOLUȚIILOR DE CONSOLIDARE SUB EXPLOATARE A CONSTRUCȚIILOR DE BETON ARMAT

Conducător științific,

Prof. dr. ing. Mircea PETRINA

INTRODUCERE

O perioadă lungă de timp s-a considerat că betonul prezintă o mare durabilitate, fiind comparat, sub acest aspect, cu „rezistența și durabilitatea pietrei naturale“.

Pe măsură ce nivelul cunoștințelor despre caracteristicile mecanice, fizice și chimice ale betonului au crescut și s-a acumulat o anumită experiență privind performanțele structurilor din beton situate în medii agresive, conceptul de durabilitate a căpătat semnificații deosebite.

S-a constatat astfel că atât elementele din beton simplu, cât și cele de beton armat, situate în medii cu agresivitate chimică, precum și cele aflate în condiții normale de exploatare, suferă degradări după o anumită perioadă de timp.

Din cauza acestui proces de deteriorare, durata de serviciu a unei construcții este limitată. După un anumit număr de ani, starea tehnică a clădirilor trebuie analizată pentru a se stabili măsurile de remediere, consolidare sau, în situație extremă, de demolare parțială sau totală.

În funcție de gradul de depreciere a elementului avariat, de condițiile concrete de lucru, de rolul și importanța acestuia în structură, se alege soluția optimă de reabilitare. Soluția trebuie să asigure satisfacerea condițiilor de rezistență, rigiditate, stabilitate și durabilitate atât pentru elementul consolidat, cât și pentru construcție în ansamblu.

O caracteristică esențială, care face dificilă abordarea acestui domeniu al reabilitării construcțiilor, este aceea că nu se pot da soluții șablon, cauză din care alegerea soluției optime este rezultatul unui proces decizional, condiționat de capacitatea și experiența cadrelor tehnice de specialitate.

Pentru soluționarea aceluiași gen de probleme, la construcții diferite, s-au utilizat soluții constructive și tehnologii de execuție diferite, impuse de modul de alcătuire, vechimea și starea construcției, de posibilitatea sau imposibilitatea întreruperii fluxului tehnologic susținut de construcție, precum și de caracteristicile materialelor din care a fost realizată.

Obiectivele tezei de doctorat

La o serie de obiective industriale nu este posibilă întreruperea procesului de producție în perioada efectuării operațiilor de consolidare a structurii de rezistență. Aceasta necesită conceperea unor sisteme de consolidare care să fie montate și puse în funcțiune în perioadele întreruperilor tehnologice curente. Asemenea sisteme trebuie să răspundă la o serie de condiții: durată foarte scurtă de montare, posibilități de adaptare la abaterile de la geometria proiectată a structurii consolidate (abateri de execuție, deformații accentuate

datorate deteriorării structurii etc.), asigurarea manipulării ușoare a elementelor constitutive ale sistemului de consolidare, asigurarea intrării instantanee a sistemului în lucru (fără perioade de așteptare), posibilitatea controlului eficienței măsurilor de consolidare și a intervenției vizând eventuala majorare a aportului acestora.

O punere similară a problemei se poate evidenția în cazul structurilor pentru clădiri de locuit la care, evacuarea locatarilor pe perioada efectuării consolidării nu este de dorit.

Prezenta teză de doctorat are ca obiective: contribuții la cunoașterea, definirea, calculul, aspecte constructive și tehnologice aferente acestui mod de abordare a reabilitării/consolidării structurilor de rezistență.

Lucrarea este necesară, oportună și de actualitate deoarece aplicarea soluțiilor de reabilitare sub exploatare conduce la evitarea perturbării funcționii în clădirea respectivă pe perioada execuției lucrărilor, respectiv a unor pierderi de producție, inerente soluțiilor curente (care presupun întreruperea activității de producție).

Lucrarea de față este structurată în șase capitole, a căror conținut este prezentat în continuare în mod succint.

Capitolul 1 prezintă sintetic cazuri de reabilitare din practica națională și internațională, realizate în ultimii ani, și o trecere în revistă a soluțiilor utilizate curent pentru consolidarea structurilor /elementelor structurale.

În *capitolul 2* se face introducerea în conceptul de reabilitare sub exploatare. Acest capitol dezvoltă modul de calcul al sistemelor de consolidare a elementelor liniare. Este abordată și detaliată predimensionarea elementelor tiranților macaz de consolidare și calculul stării de eforturi în elementul consolidat, respectiv eficiența soluției de consolidare. Este realizat un exemplu de calcul rezolvat prin utilizarea relațiilor prezentate în acest capitol și experimentări numerice printr-un calcul în element finit și în programe elaborate în limbajul de programare Matlab.

Capitolul 3 prezintă sisteme de alcătuire a soluțiilor de consolidare sub exploatare la structuri liniare și plane cu aspecte tehnologice specifice.

Capitolul 4 prezintă contribuții la analiza sistemelor de consolidare a elementelor de suprafață cu recomandări privind modul de abordare în practica de proiectare a acestui domeniu.

Capitolul 5 analizează o situație concretă de reabilitare sub exploatare a unei estacade de beton armat din industria chimică. Se trec în revistă aspecte privind calculul soluției de reabilitare, soluțiile constructive, aspecte tehnologice și o analiză cost – beneficiu care fundamentează din punct de vedere financiar alegerea soluției de intervenție.

Capitolul 6 prezintă concluziile cercetării făcute, contribuțiile originale și direcțiile de cercetare viitoare. Se evidențiază importanța , actualitatea temei abordate și necesitatea aprofundării acestei studiu. Se subliniază aspectul aplicativ, în practica reabilitării structurilor, al rezultatelor obținute.

Problematika optimizării sistemelor de reabilitare sub exploatare este abordată în teză prin modul în care sunt gestionați parametri ce definesc / condiționează soluțiile de consolidare analizate.

CUPRINS

Cap. 1. Stadiul actual al problemei. Prelucrarea sintetică a cazurilor de degradare și a soluțiilor adoptate	13
1.1. Introducere	13
1.2. Prezentarea sintetică a unor cazuri de reabilitare din practica internațională în domeniu	17
1.3. Procedee de refacere a capacității portante la elemente liniare de beton armat și precomprimat – GRINZI	34
1.3.1. Refacerea capacității portante a grinzilor fără modificarea schemei statice	34
1.3.2. Refacerea capacității portante a grinzilor prin modificarea gabaritului inițial	34
1.3.3. Refacerea capacității portante a grinzilor prin modificarea schemei statice	35
1.3.4. Refacerea capacității portante prin sistemul grindă – macaz	35
1.4. Procedee de refacere a capacității portante la elemente liniare de beton armat – STÂLPI	42
1.4.1. Beton turnat în cofraj	44
1.4.2. Beton torcretat	44
1.4.3. Utilizarea rășinilor	45
1.4.4. Armături	45
1.5. Procedee de refacere a capacității portante la structuri de beton armat prin modificarea schemei statice	46
Cap. 2. Reabilitarea sub exploatare a elementelor liniare	48
2.1. Principii teoretice de abordare a reabilitării sub exploatare	48
2.1.1. Probleme ridicate de reabilitarea unei construcții	48
2.1.1.1. Defectele unei construcții	48
2.1.1.1.1. Defectele datorate proiectării	48
2.1.1.1.2. Defectele datorate execuției	48
2.1.1.1.3. Defectele ce se produc în timpul exploatării	49
2.1.1.2. Analiza defectelor constatate	49
2.1.2. Reabilitarea sub exploatare a unei construcții	49
2.1.2.1. Principii generale privind reabilitarea sub exploatare	49
2.1.2.2. Concretizarea principiilor generale pe tipuri de elemente și ansambluri structurale	50

2.1.2.2.1. Grinzi consolidate cu tiranți macaz.....	50
2.1.2.2.2. Stâlpi consolidați cu distanțieri precomprimați.....	54
2.1.2.2.3. Cadre consolidate prin sisteme structurale suplimentare.....	55
2.1.3. Observații.....	56
2.2. Calculul sistemelor de consolidare ale elementelor liniare.....	56
2.2.1. Particularități de comportare sub sarcini a ansamblului grindă de beton armat-sistem de consolidare tip macaz	56
2.2.2. Predimensionarea tiranților macaz de consolidare	57
2.2.2.1. Ipoteze de calcul	57
2.2.2.2. Calculul efortului în tirantul macaz	57
2.2.2.3. Determinarea coeficientului de eficiență d	60
2.2.2.4. Nomograme pentru determinarea ariei tirantului funcție de coeficientul de eficiență necesar d_{nec}	63
2.2.3. Calculul tiranților macaz de consolidare pentru alte cazuri de încărcare. Starea de eforturi. Verificări	70
2.3. Exemple de calcul	77
2.4. Experimente numerice	79
Cap.3. Sisteme de alcătuire a soluțiilor de consolidare sub exploatare, pe tipuri de structuri, cu aspecte tehnologice specifice	84
3.1. Introducere	84
3.2. Soluții de consolidare pentru structuri liniare	84
3.2.1. . Sisteme active.....	85
3.2.2. Sisteme pasive.....	88
3.2.2.1. Sisteme pasive de tip macaz, cu tiranți orizontali.....	88
3.2.2.2. Sisteme pasive de tip macaz, cu contrafișe.....	92
3.2.2.3. Sistem cu tiranți pasivi pentru reabilitarea consolelor verticale de beton armat la estacade pentru pod rulant	93
3.3. Soluții de consolidare pentru structuri plane	94
3.3.1. Sisteme rigide pasive.....	95
3.3.2. Sisteme flexibile pasive.....	95
3.4. Aspecte ale modelării pentru calcul a sistemelor de consolidare analizate	97

Cap.4. Contribuții la analiza sistemelor de consolidare sub exploatare ale elementelor de suprafață.....	98
4.1. Considerații privind consolidarea elementelor de suprafață.....	98
4.1.1. Considerații generale.....	98
4.1.2. Schematizarea pentru calcul a elementelor de suprafață.....	98
4.2. Analiza consolidării sub exploatare a unui planșeu de beton armat cu placă continuă.....	99
4.2.1. Caracteristici inițiale	99
4.2.2. Modul de analiză.....	99
4.3. Situația actuală (model teoretic), valori normate. Acțiuni permanente.....	100
4.3.1. Deplasări grinzi.....	100
4.3.2. Deplasări placă.....	100
4.3.3. Momentele în placă pe direcția x.....	101
4.3.4. Momentele în placă pe direcția y.....	101
4.3.5. Momentele în grinzi.....	102
4.4. Situație consolidată fără luarea în considerare a continuității pe grinzile cadrului.....	102
4.4.1. Schema statică pentru calculul la acțiuni dispuse înainte de activarea sistemului de consolidare	102
4.4.1.1. Deplasările grinzilor	102
4.4.1.2. Deplasările plăcii.....	103
4.4.1.3. Momentele în placă după direcția x.....	103
4.4.1.4. Momentele în placă după direcția y	104
4.4.1.5. Momentele pe grindă	104
4.4.2. Schema statică pentru calculul la acțiuni dispuse ulterior activării sistemului de consolidare	105
4.4.2.1. Deplasările grinzilor.....	105
4.4.2.2. Deplasările plăcii.....	105
4.4.2.3. Momentul în placă pe direcția x.....	106
4.4.2.4. Momentul pe grinzi.....	106
4.5. Situație consolidată cu luarea în considerare a continuității parțiale a plăcii pe grinzile cadrelor	107
4.5.1. Schema statică pentru calculul la acțiuni dispuse înainte de activarea sistemului de consolidare.....	107

4.5.1.1. Deplasările plăcii.....	107
4.5.1.2. Momentele în placă pe direcția x.....	108
4.5.1.3. Momentele în placă pe direcția y.....	108
4.5.1.4. Diagrama de momente pe grinzi	108
4.5.1.5. Deplasările grinzilor.....	109
4.5.2. Schema statică pentru calculul la acțiuni dispuse ulterior activării sistemului de consolidare	109
4.5.2.1. Deplasările plăcii	109
4.5.2.2. Momentele în placă pe direcția x	110
4.5.2.3. Momentele în placă pe direcția y	110
4.5.2.4. Diagramele de momente pe grinzi.....	110
4.5.2.5. Deplasările grinzilor.....	111

Cap.5. Studiu de caz. Reabilitarea structurii de rezistență a estacadei de la rampa de descărcare la depozitul de clorură de potasiu, obiect 1325, Azomureș.....113

5.1. Considerații generale privind fenomenul de coroziune.....	113
5.1.1. Coroziunea armăturilor (metalelor).....	113
5.1.2. Coroziunea betonului.....	114
5.2. Considerații privind cauzele degradării construcțiilor din industria chimică.....	115
5.2.1. Coroziunea general acidă.....	116
5.2.2. Coroziunea sulfatică.....	117
5.2.3. Coroziunea clorului.....	117
5.2.4. Coroziunea carbonică.....	117
5.2.5. Coroziunea bazică.....	118
5.2.6. Coroziunea sărurilor.....	119
5.2.7. Coroziunea de levigare.....	120
5.2.8. Coroziunea electrochimică.....	120
5.3. Studiu de caz: reabilitarea structurii de rezistență a estacadei.....	121
5.3.1. Descrierea structurii de rezistență a estacadei și a stării tehnice a acesteia.....	121
5.3.2. Descrierea soluției de reabilitare a estacadei.....	122
5.3.3. Refacerea caracteristicilor secțiunii de beton a elementelor estacadei	123
5.3.3.1. Beton pentru tocretare.....	123
5.3.3.2. Beton pentru turnare.....	124
5.3.3.3. Mortar pentru tencuire.....	124

5.3.4. Protecția anticorozivă a scheletului metalic.....	124
5.3.5. Soluția alternativă de consolidare a estacadei	124
5.3.6. Breviar de calcul la soluția de consolidare adoptată	126
5.3.7. Comentarii privind calculul structurii la acțiuni gravitaționale și orizontale ..	130
5.3.8. Documentația foto. Situația inițială/ Situația după reabilitare. Extrase din proiectul de execuție	131
5.4. Analiza cost-beneficiu	138
5.4.1. Identificarea investiției și definirea obiectivelor	138
5.4.1.1. Identificarea investiției	138
5.4.1.2. Obiectivul investiției	138
5.4.2. Analiza opțiunilor	138
5.4.2.1. Varianta zero (varianta fără investiție)	139
5.4.2.2. Varianta 1 (varianta cu investiție minimă)	139
5.4.2.3. Varianta 2 (varianta cu investiție maximă)	141
5.4.3. Analiza financiară	144
5.4.3.1. Compararea variantelor în vederea alegerii variantei optime	144
5.4.3.2. Avantajele și dezavantajele variantelor analizate	147
5.4.4. Analiza de senzitivitate	149
5.4.5. Analiza de risc și principalele riscuri care pot influența proiectul propus.....	154
5.4.5.1. Riscurile tehnice	155
5.4.5.2. Riscuri financiare	156
5.4.6. Concluzii	156
Cap.6. Concluzii.....	158
6.1. Concluzii referitoare la cercetarea efectuată în teză	158
6.2. Contribuții originale	160
6.3. Direcții de cercetare viitoare	161
Bibliografie	163
Anexe	172

Capitolul 1

STADIUL ACTUAL AL PROBLEMEI. PRELUCRAREA SINTETICĂ A CAZURILOR DE DEGRADARE ȘI A SOLUȚIILOR ADOPTATE

1.1. Introducere

Problematica consolidării structurilor cu refacerea capacității portante, se încadrează în procesul de reasigurare a nivelurilor de performanță ale construcțiilor.

Conceperea soluțiilor de rehabilitare a construcțiilor cu deficiențe structurale presupune o procedură orientată în direcția refacerii siguranței în condiții tehnologice și economice optime.

Proiectarea structurilor cu deficiențe nu se face cu același grad de rafinament ca și proiectarea structurilor noi datorită incertitudinilor în evaluarea caracteristicilor structurii existente precum și la modelarea structurii reabilitate. În practica reabilitării structurilor, au fost adoptate diverse soluții privind repararea, consolidarea sau demolarea unor construcții cu deficiențe. Criteriile ce au stat la baza procesului de proiectare a structurilor ce s-au reabilitat au fost/sunt alese, preponderent, pe baza experienței sau pe baze parțial empirice.

Inventarierea și analiza soluțiilor de rehabilitare și consolidare a diferitelor structuri, realizate în decursul timpului, a condus la formularea unor criterii de cunoaștere a acestei problematici. Tab.1.1 și 1.2 sunt ilustrative în acest sens[37].

Etapele intervenției asupra structurilor de beton armat cu deficiențe sunt:

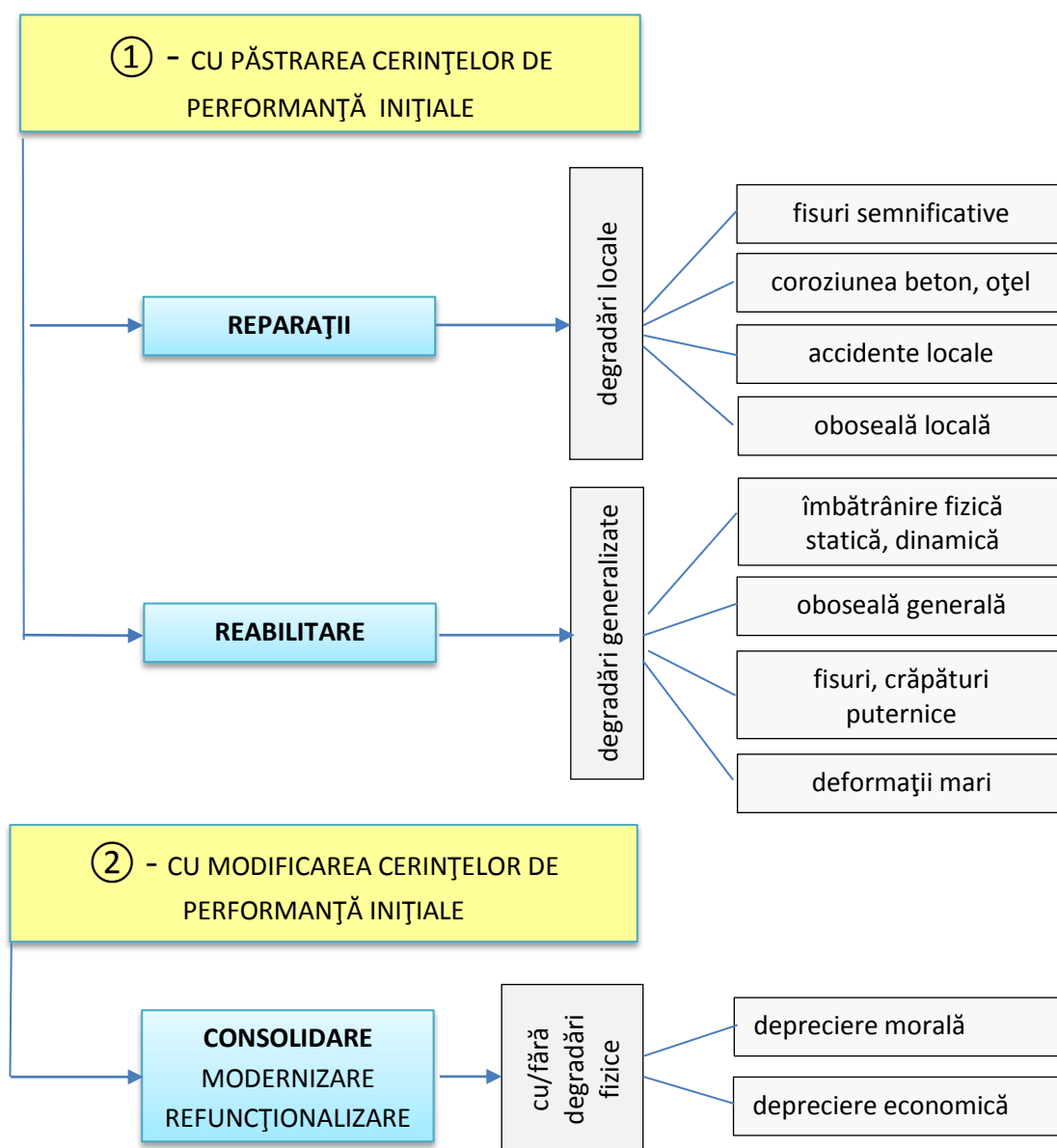
(i) Măsuri urgente constând în: demolarea, evacuarea, înlăturarea încărcărilor utile, asigurarea prin sprijinire sau legături suplimentare a elementelor structurale cu risc de colaps, etc.

(ii) Evaluare și diagnoză: culegerea de date informaționale și experimentale privind caracteristicile reziduale ale structurii de beton armat.

(iii) Concepte de rehabilitare: soluții de consolidare în acord cu considerații economice, sociale, istorice, etc.

(iv) Reproiectarea structurii: criterii de reproiectare, analiză structurală, estimarea efectelor consolidării, redimensionarea elementelor structurale.

PROCESE DE REFACERE A NIVELELOR DE PERFORMANȚĂ ALE CONSTRUCȚIILOR



Tab. 1.1. Procese de reasigurare a exigențelor de performanță ale construcțiilor

Cauzele degradărilor, din punctul de vedere al acțiunilor în construcții pot fi clasificate astfel [30][62][63][71]:

1. Acțiuni accidentale sau extraordinare:
 - seism, lunecări de teren;
 - explozii;
 - șocuri și vibrații (vehicule, utilaje etc.);

2. Acțiuni ale mediului:

- atac chimic (coroziunea betonului și oțelului);
- carbonatarea;
- îngheț-dezghet.

3. Deformații impuse:

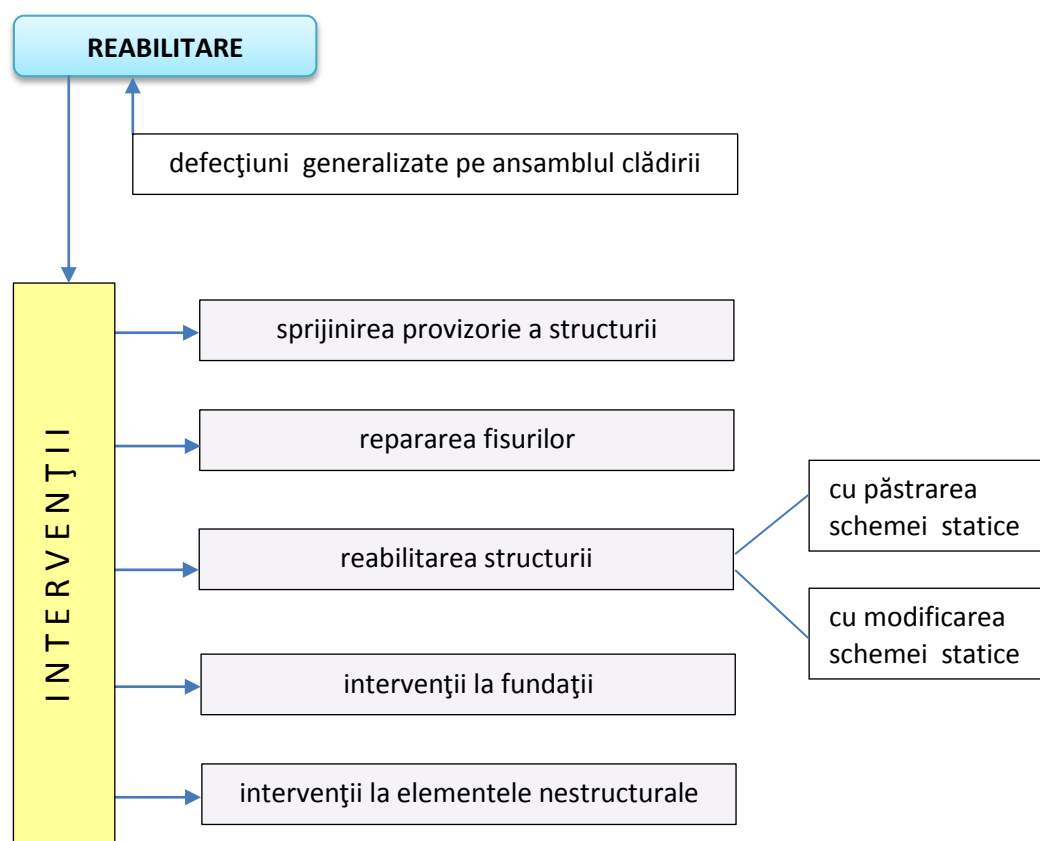
- tasări diferențiate;
- efecte datorate variațiilor de temperatură;
- efecte de durată (contractii și curgere lentă).

4. Incendii

5. Suprasarcini din încărcări verticale.

Pentru fiecare acțiune enumerată mai sus este necesară analiza unor aspecte particulare privitor la:

- modificarea caracteristicilor mecanice ale materialelor (beton și oțel) și modificări în zonele critice ale elementelor structurale;
- particularități la evaluare și reproiectare.



Tab. 1.2. Procese de reasigurare a serviciabilității construcțiilor prin restaurare și modernizare

Erorile de proiectare și execuție, la elementele de beton armat, pot consta în [37]:

- nerealizarea clasei de beton prescrise; abateri dimensionale; armare insuficientă/necorespunzătoare; detalii necorespunzătoare.

Reproiectarea și refacerea capacității portante a structurii/elementelor structurale trebuie să țină cont de două aspecte majore: asigurarea exigențelor inițiale și durabilitatea.

O importanță majoră în activitatea de rehabilitare/consolidare o are activitatea de control a calității.

Acțiunea de readucere în stare de siguranță a unei structuri de beton deteriorată sau slăbită are în vedere următoarele:

- demolarea parțială; limitarea încărcărilor din exploatare; substituirea elementelor grav avariate; restaurarea capacității portante, a rigidității și a ductilității; consolidarea structurii sau a elementelor structurale.

Fig.1.1 ilustrează sintetic pașii procesului de rehabilitare a construcțiilor cu deficiențe structurale.

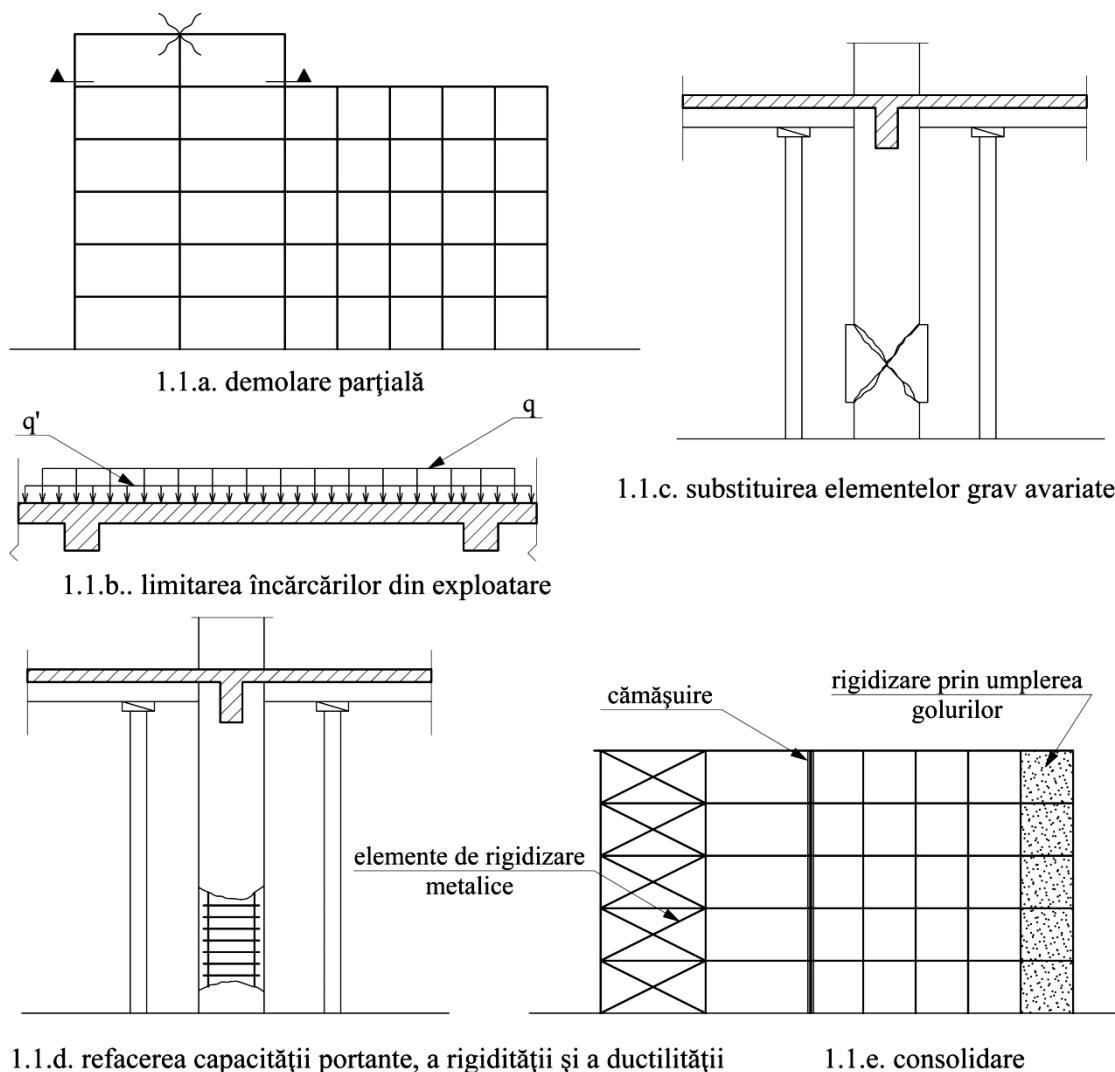


Fig. 1.1. Etapele procesului de rehabilitare a construcțiilor cu deficiențe structurale

1.2. Prezentarea sintetică a unor cazuri de rehabilitare din practica națională și internațională în domeniu

Odată cu trecerea timpului se pune tot mai stringent problema recuperării, modernizării și redării funcționalității clădirilor construite cu ani în urmă. Conservarea și prelungirea existenței lor preocupă specialiștii din domeniu, cu prioritate arhitecții și proiectanții care vor să repună în valoare construcțiile care definesc evoluția și specificul autohton. O primă etapă din această tentativă o reprezintă asigurarea rezistenței structurii pe care este clădită construcția respectivă.

Foto 1.1 prezintă soluții de consolidare de principiu la stâlpi, grinzi și diafragme de beton armat, folosind profile metalice, soluții utilizate frecvent în practica internațională [21].

În continuare sunt prezentate câteva cazuri de consolidare realizate pe plan internațional în ultimii zece ani [20][48].

Foto 1.2 prezintă o structură de beton armat din Mexico City, structură ce este dezvoltată pe nouă niveluri, la care s-a consolidat, cu profile metalice, tot al doilea, respectiv al treilea cadru, cu scopul asigurării rigidității și rezistenței la forțe orizontale.

În Foto 1.3 întâlnim rehabilitarea unor fundații ale unei structuri industriale din Agnano, Napoli. S-au realizat grinzi de fundare de echilibrare din beton armat.

Foto 1.4 (a și b) prezintă sisteme de contravântuire pentru structuri de beton armat.

La stația electrică de putere din Ungaria, Foto 1.5, a fost necesară dispunerea unor contravântuiri de consolidare la forțe orizontale. Structură consolidată sub exploatare.

Foto 1.6 prezintă consolidarea unei structuri antice cu funcțiunea de muzeu, din Rione Terra, Pozzuoli (Italia), unde s-au dispus contravântuiri metalice pentru rigidizarea pereților din zidărie.

Structurile din Foto 1.7 și 1.8 au fost consolidate cu sisteme metalice de contravântuiri datorate deplasărilor mari pe orizontală ce au apărut la vârful lor, realizându-se îmbunătățirea comportării la seism. Soluții de consolidare executate sub exploatare.

În Foto 1.9 este prezentată o structură veche consolidată prin dispunerea de contravântuiri aranjate într-o formă interesantă arhitectural.

Foto 1.10 prezintă soluția de consolidare, executată sub exploatare, la acțiunea seismică, a clădirii University of California, Berkeley, Pennsylvania, SUA. S-a rezolvat prin realizarea unei structuri suplimentare de rezistență exterioare, prin dispunerea de cadre

metalice contravântuite, cadre care sunt conectate cu structura de beton prin intermediul unor șuruburi autoforante.

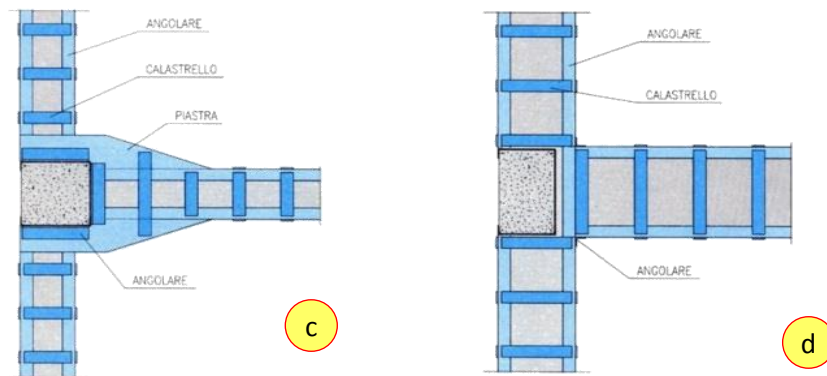
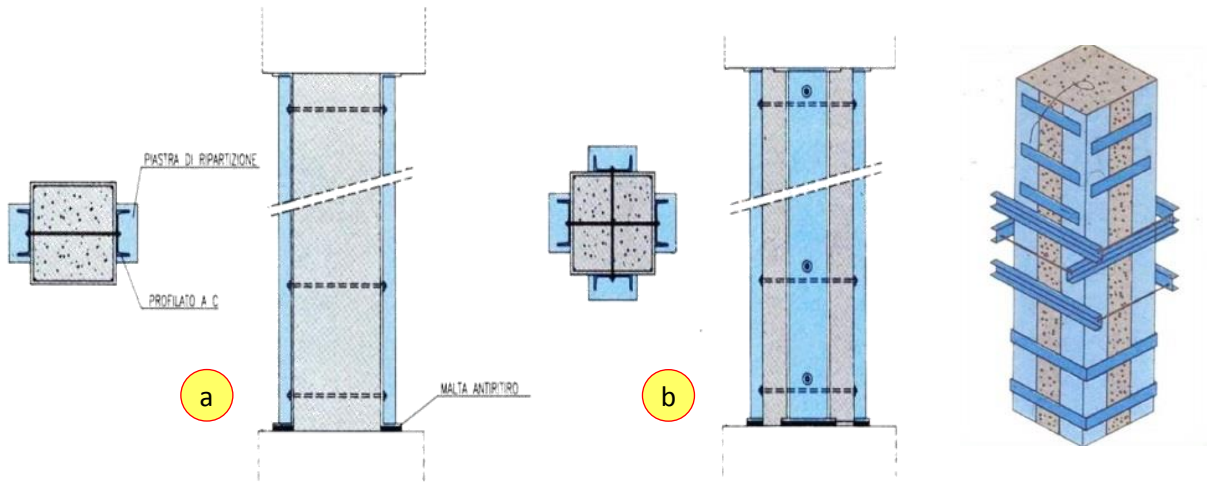


Foto 1.1 (a-d). Soluții utilizate pentru reabilitarea stâlpilor de beton armat, respectiv a nodurilor de cadru

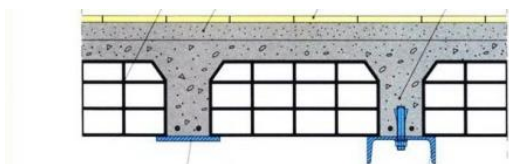
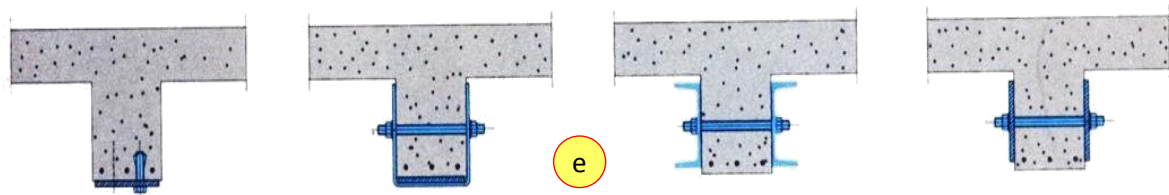


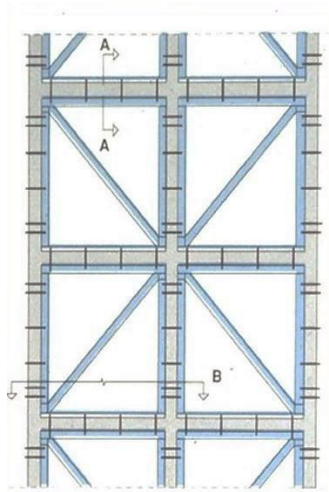
Foto 1.1. (e-f). Soluții utilizate pentru reabilitarea grinzilor de planșeu



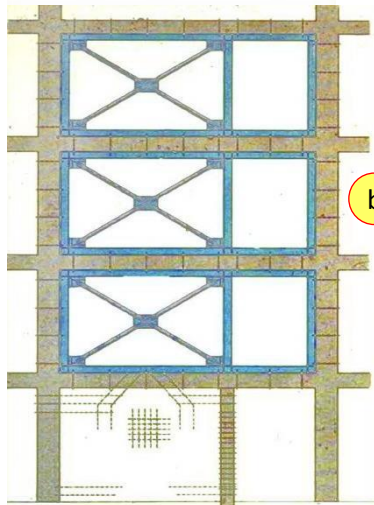
Foto 1.2. Structură de beton armat la o clădire din Mexico City



Foto 1.3. Clădire industrială în Agnano (Napoli, Italia)



a



b

Foto 1.4. Sisteme de contravântuire pentru structuri de beton armat (a, b)

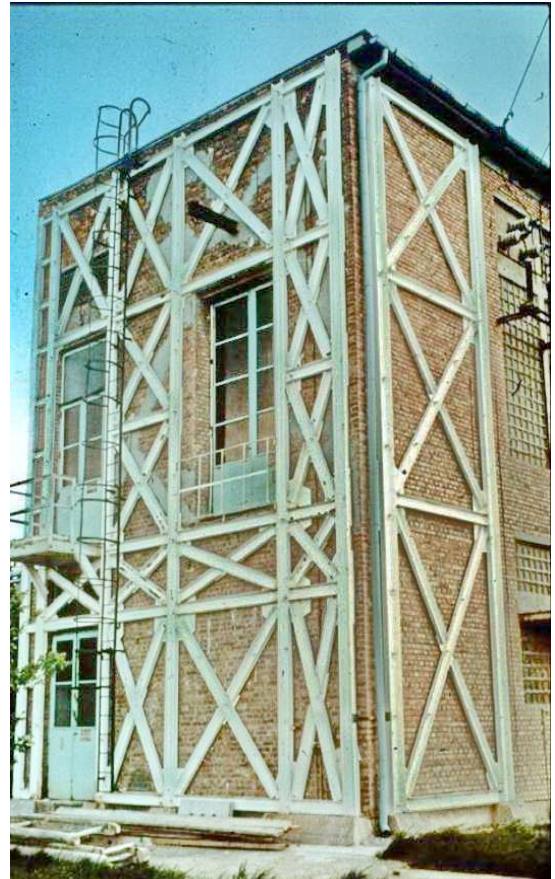


Foto 1.5. Stație electrică de putere - Ungaria



Foto 1.6. Parcul arheologic din *Rione Terra*, Pozzuoli, Italia



Foto 1.7. Mexico City, Mexic

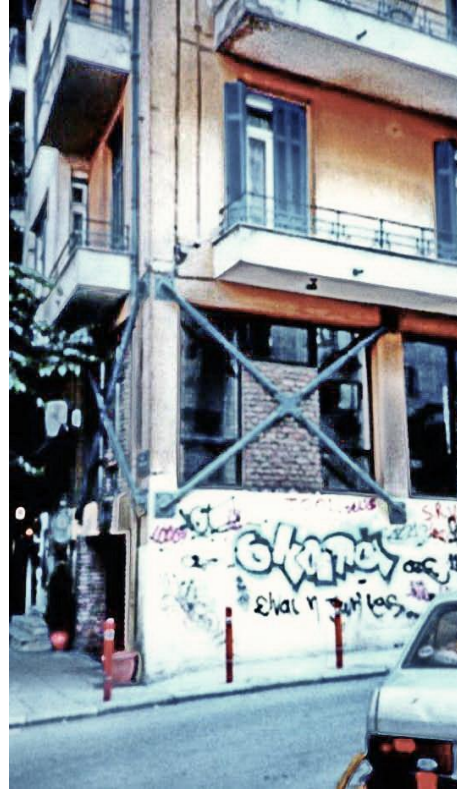


Foto 1.8. Tessaloniki, Grecia



Foto 1.9. Parcareia
Autosylos,
California, SUA

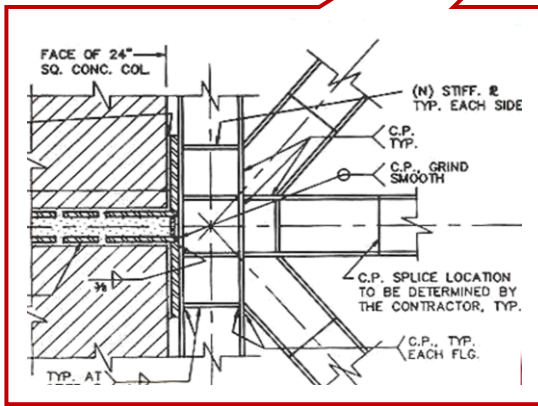
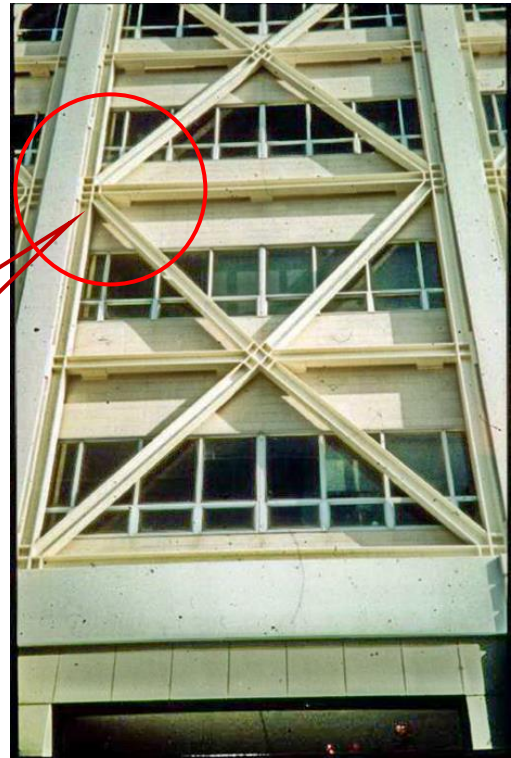


Foto 1.10. University of California, Berkeley, Pennsylvania, SUA

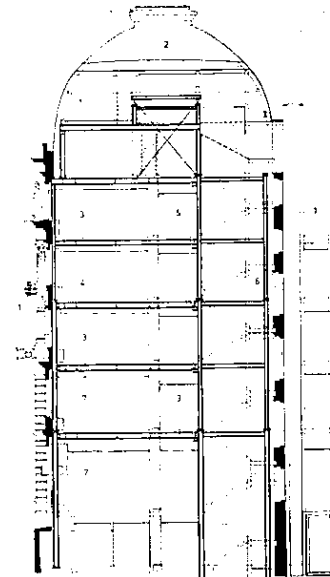


Foto 1.11. Clădirea Roemerhof, Zurich, Elveția (vedere de ansamblu și secțiune)

Clădirea Romerhof din Zürich, Elveția (Foto 1.11) este o structură cu foarte multe compartimentări mici, adăugate ulterior de către fiecare proprietar. S-au păstrat fațadele și în interior s-a construit o structură metalică independentă în care s-au ancorat fațadele existente.

Foto 1.12 tratează un alt caz de consolidare la Orfelinatul Kannerland Limpertsberg din Luxemburg, rezolvat tot cu structură metalică dispusă în interiorul fațadelor, ca și la exemplul anterior. La această clădire, deoarece peretele din zidărie mixtă (piatră și cărămidă) avea grosime de peste 70 cm, grinzile structurii metalice din interior au fost sprijinite (descărcate) direct pe acești pereți de zidărie. S-au turnat centuri noi pentru descărcarea acestor grinzi.

La Jolly Hotel din Caserta, Italia (Foto 1.13) structura metalică cu care a fost consolidată structura a fost dispusă la exteriorul clădirii vechi.

În cartierul Capodimonte din Ancona, Italia (Foto 1.14) sunt vechi case pescărești pentru care primăria a finanțat reabilitarea deoarece fac parte din patrimoniul cultural al Anconei. Soluția aleasă a fost cu structură metalică independentă interioară, fundații noi cu cuzinet, acoperiș din lemn înlocuit cu acoperiș pe structură metalică, având aceeași configurație. Planșeele intermediare au fost refăcute în totalitate pe soluția dală mixtă oțel-beton (tablă cutată, conectori și beton). Fațadele inițiale au fost păstrate. La ora actuală în interiorul acestor construcții se află apartamente de lux.

Următorul caz prezentat în Foto 1.15 reprezintă Palatul Ducal din Genova, Italia. Toate elementele inițiale, care se observă în imagini, au fost realizate din lemn, care în timp s-au deteriorat, iar în unele părți au fost distruse de un incendiu. Au fost înlocuite cu elemente metalice, având aceeași secțiune, vopsite astfel încât să pară din lemn. A doua problemă care s-a urmărit la acest caz de reabilitare a fost reducerea greutateii proprii a construcției, pentru că au apărut cedări ale infrastructurii. Deoarece în subsolul clădirii există vestigii istorice și morminte, nu s-a putut interveni la partea de fundații-infrastructură. S-a ales soluția înlocuirii a cât mai multor elemente din piatră (acoperișul, diverse ornamente) cu elemente ușoare (în principal realizate din metal), respectiv s-a renunțat la stratul termoizolant realizat din nisip cu zgură din podul clădirii, care a fost înlocuit cu vată minerală. Scara care ducea la dormitorul ducelui a fost refăcută pe soluție metalică. Această scară este celebră datorită dimensiunilor foarte mari, fiind construită astfel încât ducele să poată fi dus la culcare pe calul său.

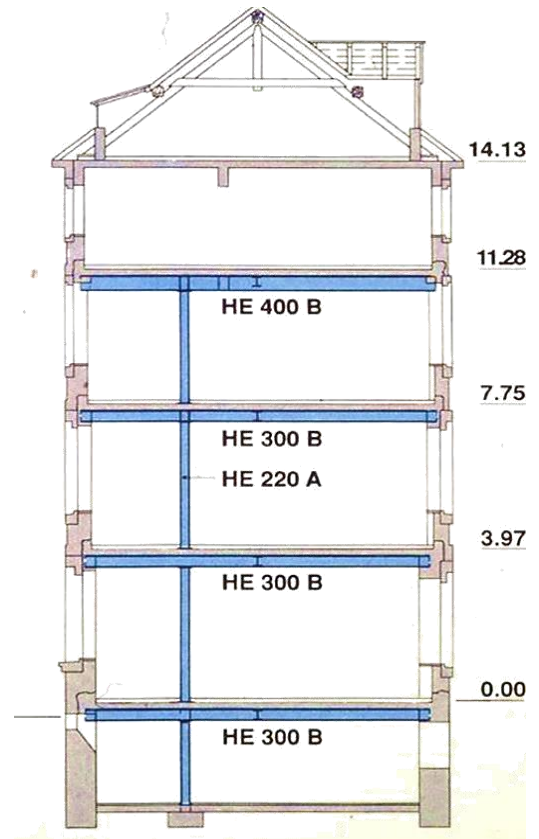


Foto 1.12. Orfelinatul *Kannerland* Limpertsberg, Luxemburg (vedere și secțiune)

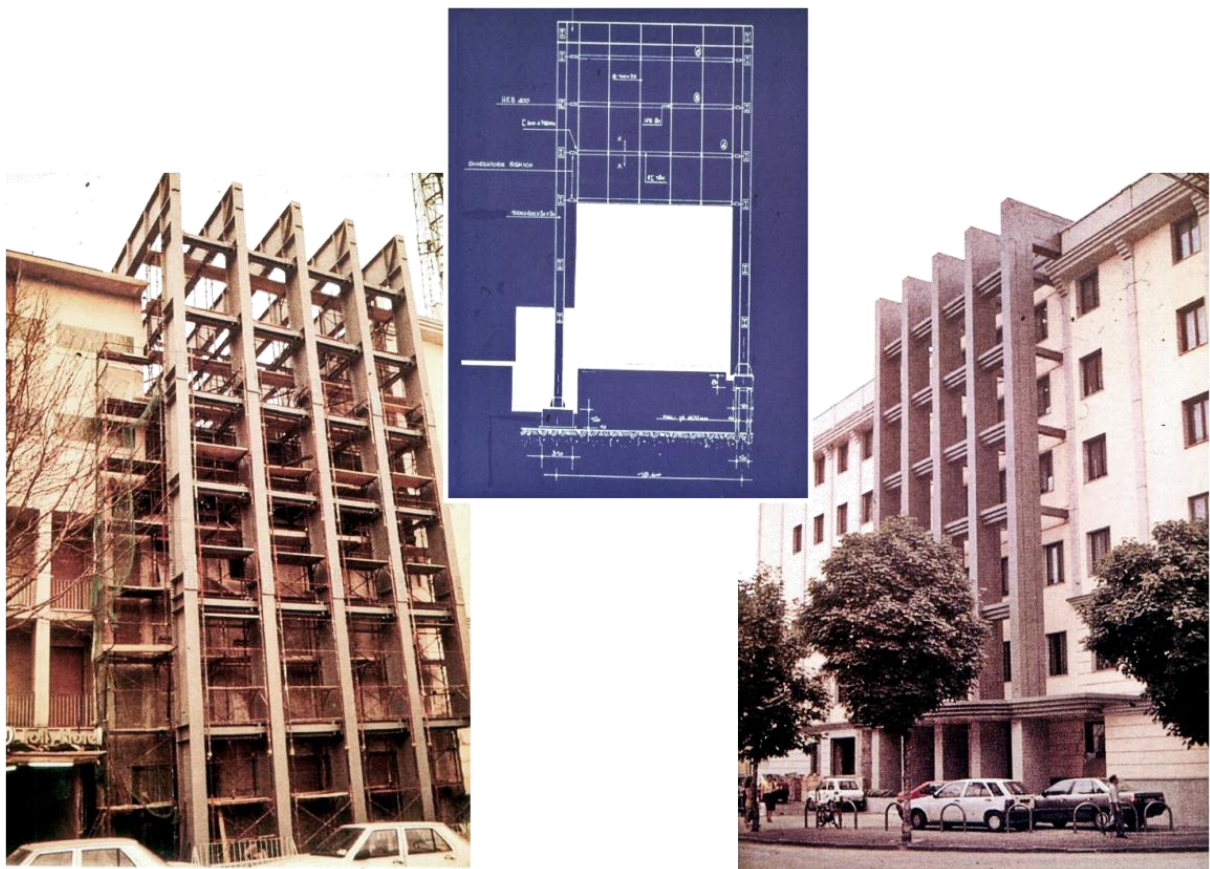


Foto 1.13. Jolly Hotel din Caserta, Italia

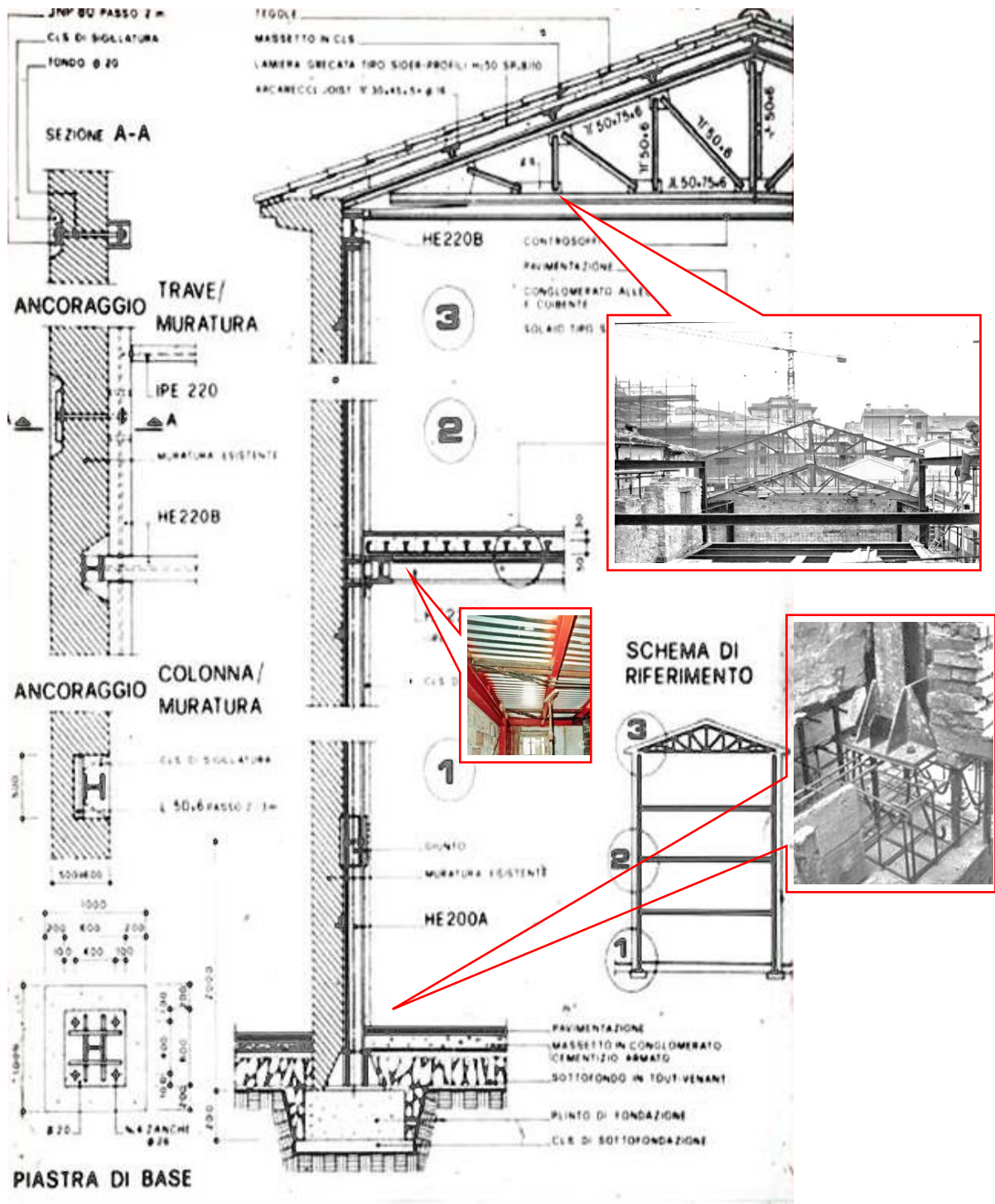


Foto 1.14. Case pescărești de patrimoniu situate în cartierul Capodimonte din Ancona, Italia

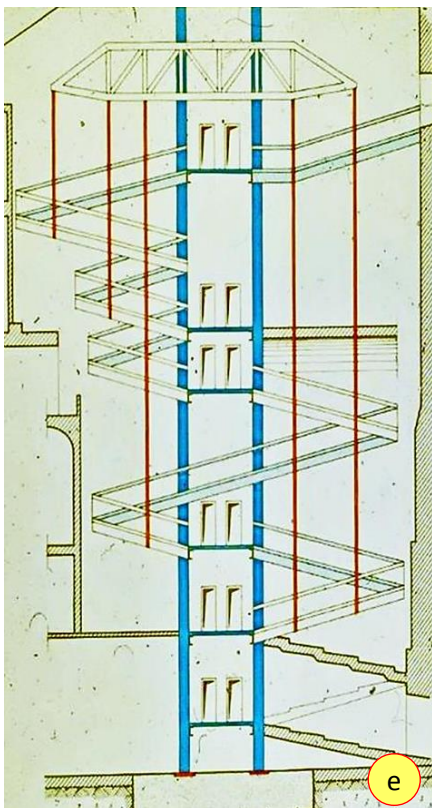
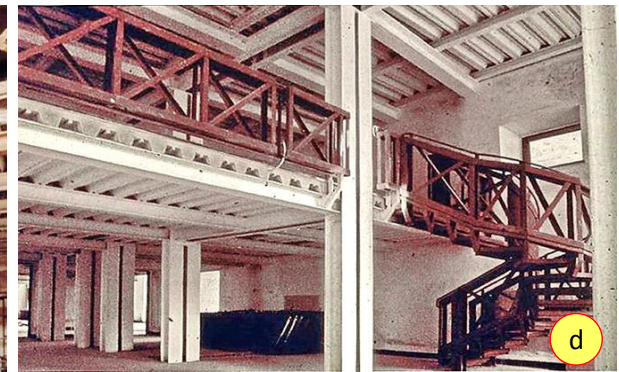


Foto 1.15. Palatul ducal din Genova, Italia (înainte și după reabilitare)

Se prezintă în continuare câteva realizări în domeniul consolidării structurilor de rezistență a clădirilor industriale realizate la noi în țară, în ultimii ani.

Turnul de răcire cu tiraj forțat TRF 3 de la Iernut (Foto 1.16). Este format din 11 celule cu dimensiunile 10,3 x 10,3 m, suprafața irigată 125 mp și debit de răcire 1100 mc/h. Structura de rezistență este realizată din elemente de beton armat prefabricat, iar închiderile realizate cu plăci ondulate din azbociment. Înălțimea turnurilor este de 16,0 m.

Starea tehnică a structurii înainte de reabilitare (foto 1.16 a, b, c, d): plăcile plane de azbociment erau parțial degradate în zona bazinului de colectare a apei răcite; elementele de beton au prezentat degradări (fisuri, crăpături, desprinderi); s-a identificat un nivel ridicat de coroziune chimică a suprafeței elementelor de beton armat a suprastructurii și a armăturilor a căror protecție de beton a fost degradată.

Măsurile de intervenție luate: elementele principale de rezistență care fac parte din cadrul spațial au fost cămășuite cu beton armat de grosime 7-8 cm. S-au făcut reparații locale în zonele în care această intervenție era suficientă. S-a refăcut izolația. S-au reabilitat sau înlocuit piesele metalice afectate de rugină [75][76].

Foto 1.17 surprinde reabilitarea arcelor metalice de la structura de rezistență a Depozitului de fosforite de la Azomureș Tg. Mureș.

Structura de rezistență a depozitului este realizată din arce metalice cu 3 articulații, cu deschiderea de 30,00 m și săgeata de 14,25 m. Traveea este de 6,0 m (9 travei), cu excepția traveii centrale care este de 12,00 m.

Arcele curente au secțiunea I, cu inimă plină, alcătuită. Înălțimea secțiunii este de 700 mm, iar lățimea tălpilor de 300 mm. Grosimea tablei folosite la confecționarea inimii și a tălpilor este de 10 mm.

Arcele reazemă, prin intermediul unor aparate de reazem metalice tip articulație, pe blocuri de fundație izolate.

Starea tehnică a arcelor (foto 1.17, a, b, c, e) constă în:

- coroziunea părții inferioare la unele arce metalice datorată contactului cu materialul depozitat. Datorită prezenței materialului depozitat nu se pot face investigații detaliate care să pună în evidență starea tehnică a arcelor;

- deformarea tălpilor arcelor adiacente intrării, prin lovire accidentală cu utilajele care încarcă materialul în buncărul de plecare din depozit;

- coroziunea elementelor metalice ale pasarelei de susținere a benzii transportoare.

Soluția de consolidare a constat în refacerea secțiunii arcelor în zonele în care secțiunea inimii sau a tălpilor s-a redus cu mai mult de 10%. S-a intervenit diferențiat

funcție de nivelul de degradare a fiecărei zone, soluția de reabilitare fiind adaptată pentru 3 cazuri: ($t_i \geq 7\text{mm}$, $t_t < 7\text{mm}$); ($t_i \geq 7\text{mm}$, $t_t \geq 7\text{mm}$); ($t_i = 5 - 7\text{mm}$, $t_t = 5 - 7\text{mm}$). S-a utilizat tablă de 10 mm (foto 1.17 d, f).

După consolidare, arcele au fost protejate împotriva materialului depozitat, în zona reazemelor, la interiorul și la exteriorul pereților-zid de sprijin, cu ajutorul unor “cutii metalice” (foto 1.17 g).

Foto 1.18 prezintă imagini privind consolidarea, sub exploatare, a Turnului de întoarcere a estacadei 1345 NPK de la Azomureș Tg. Mureș.

Starea tehnică a structurii turnului, înainte de consolidare, era caracterizată prin existența unui proces avansat de degradare a betonului și a armăturii (foto 1.18 a, b, c, d, e). Nu era posibilă cuantificarea capacității portante a structurii degradate.

Partea inferioară a turnului, cuprinsă între $\pm 0,00$ și $+10,00$ m, a fost consolidată în anul 1991, cu profile metalice plus armătură și cămășuire cu beton. Procesul de degradare a betonului și a armăturii elementelor consolidate a continuat, în proporție mai redusă, în unele zone ale grinzilor și stâlpilor, sub cămășuiala de beton.

De la cota $+10,00$ m până la extremitatea superioară a turnului ($+31,00$), starea de degradare a structurii de rezistență era, la data respectivă, mai accentuată decât la nivelurile inferioare. Degradarea stratului de beton de acoperire a armăturii, urmată de desprinderea și corodarea armăturilor longitudinale și transversale, a condus la pierderea aderenței barelor de armătură.

Soluția de consolidare adoptată a fost condiționată de:

- cerința beneficiarului privind execuția consolidării de a se face sub exploatare;
- prezența unor instalații și conducte plasate pe platformele de la cota $+5,0$ și $+10,0$, respectiv a unor coloane de țevi tehnologice în interiorul turnului ce nu au putut fi dezafectate pe perioada execuției lucrărilor;
- amplasamentul turnului în vecinătatea altor construcții industriale și existența unor trasee de conducte tehnologice ce limitează accesul cu automacarale pe două din fețele turnului;
- regimul de înălțime mare a turnului;
- condițiile de fundare a turnului: forma în plan a fundației și adâncimea mare de fundație;
- starea tehnică a structurii de rezistență de beton armat, imposibilitatea estimării capacității portante a structurii degradate, respectiv a adoptării unor soluții pentru aducerea structurii de beton armat la nivelul de siguranță necesar;

- riscul semnificativ privind cedarea accidentală a structurii de rezistență a turnului pe perioada execuției, fără posibilitatea prevederii unor măsuri raționale care să evite acest lucru în primele etape ale execuției.

În ceea ce privesc caracteristicile soluției adoptate, structura metalică, dezvoltată până la cota +31,0 m, a fost conformată astfel încât să asigure preluarea în totalitate a sarcinilor gravitaționale și orizontale ce acționează asupra turnului.

Structura metalică de susținere, (foto 1.18 f-j), realizată din oțel S235J2G3, este constituită din 4 profile cu secțiune alcătuită din țevă pătrată 2 □ 200x200x8 solidarizate cu zăbrele. Diagonalele sunt din țevă Ø60x6, montanții din țevă pătrată 100x100x7,1. Diagonalele orizontale sunt din țevă pătrată 60x60x7,1. Structura cu zăbrele are forma în plan pătrat cu latura de 5340 mm, rotită cu 45° față de structura turnului. Dimensiunea pătratului este stabilită astfel încât să se adapteze la forma dreptunghiulară a turnului (7,0x7.2 m la exterior) și să permită uniformizarea detaliilor de alcătuire. Rotirea a fost determinată de posibilitatea realizării sau a montării, majoritar din exteriorul turnului, a structurii metalice.

La partea superioară se realizează devierea tălpilor turnului metalic în vederea realizării condițiilor de rezemare a camerei de beton armat la cota +31,0 m. Aceeași soluție de deviere a fost adoptată și deasupra nivelului platformei de la +10,0 m în vederea asigurării rezemării pe fundații.

Structura metalică a consolidării descarcă pe extremitățile a 4 grinzi de beton armat (cu înălțime de 80 cm, de la cota -0,90 la -0,10), rezemate pe talpa superioară a grinzilor de fundație existente. Grinzile propuse au și rol de grinzi de echilibrare, descărcarea stâlpilor structurii de consolidare făcându-se excentric față de axul grinzilor de fundație existente.

Structura metalică de consolidare este fixată și conectată la forțe orizontale de structura în cadre de beton armat a primelor două niveluri de bază ale turnului.

Această zonă a turnului are și rolul fixării sau al încastrării la forțe orizontale a structurii metalice de consolidare, motiv pentru care, la aceste prime două niveluri ale cadrului de beton armat a turnului, s-a asigurat capacitatea de lucru la forțe orizontale printr-o soluție adecvată de reabilitare a nodurilor de cadru (armare transversală la stâlpi, ancorare a armăturii longitudinale din grinzi, în zona nodului).

Foto 1.16. Turnul de răcire forțată TRF 3, Iernut:
starea tehnică inițială

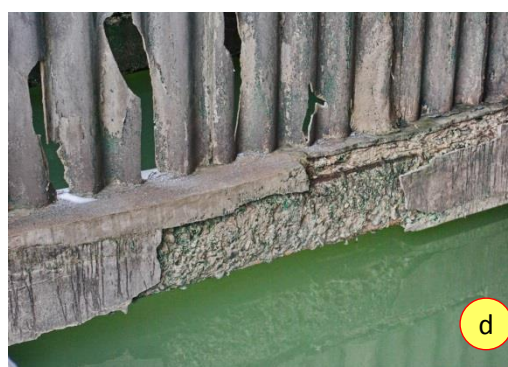
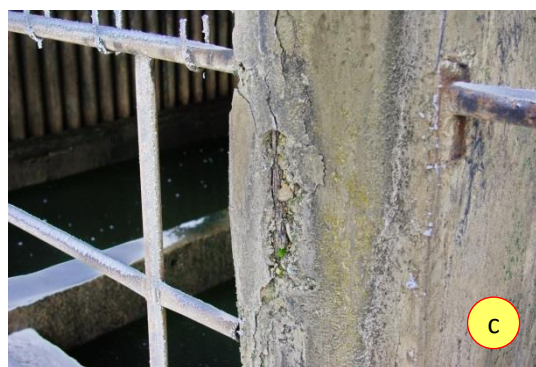
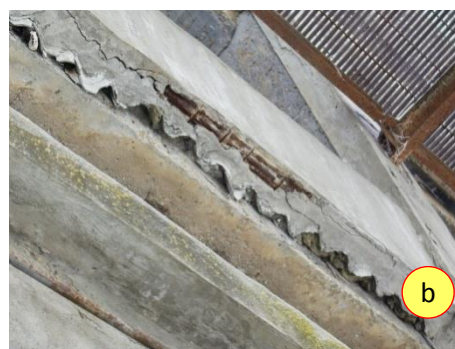


Foto 1.16. Turnul de răcire forțată TRF 3,
Iernut: situația după
reabilitare (e)

Foto 1.17. Arcele metalice ale structurii depozitului de fosforite de la complexul industrial Azomureș, Târgu Mureș

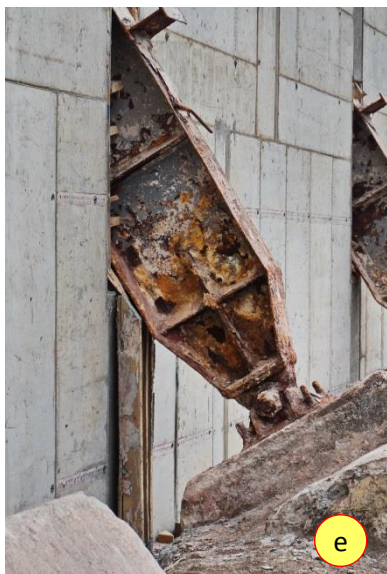
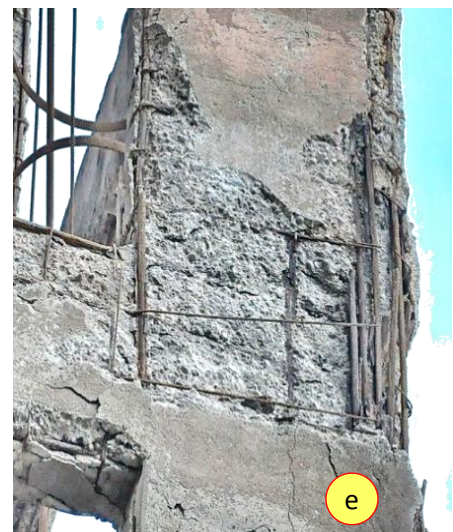




Foto 1.18. Turnul de întoarcere de la complexul industrial Azomureș, Tg. Mureș: starea tehnică inițială (a-e)



Betonul și armătura sunt degradate accentuat. Capacitatea portantă a structurii de beton armat nu este cuantificabilă.

Foto 1.18. Turnul de întoarcere de la complexul industrial Azomureș, Tg. Mureș:
situația după consolidare (f-j)



Foto 1.18. Turnul de
întoarcere de la complexul
industrial Azomureș, Tg.
Mureș: detalii ale structurii
metalice de susținere a
camerei de deviere, realizată
sub exploatare (f-j)

1.3. Procedee de refacere a capacității portante la elementele liniare de beton armat și precomprimat – GRINZI

Deficiențele structurale care conduc la necesitatea refacerii capacității portante a grinzilor de beton armat și precomprimat sunt datorate în general[1]:

- (i) exploatării: condiții severe de mediu, suprasolicitării statice sau dinamice;
- (ii) deficiențelor de execuție: beton sub clasa prescrisă, goluri, segregări, fisuri și deformații datorate decofrării timpurii, precomprimarea/armarea insuficientă.

Refacerea capacității portante a grinzilor se poate asigura prin mai multe procedee:

- fără modificarea schemei statice, prin prevederea de armături și betonări suplimentare;
- cu modificarea schemei statice inițiale prin reducerea deschiderii elementului;
- cu modificarea schemei statice inițiale prin introducerea de elemente noi.

1.3.1. Refacerea capacității portante a grinzilor fără modificarea schemei statice se realizează prin[37][43]:

- montarea de armături longitudinale, cu sau fără betonare (Fig. 1.2.);
- montarea de armături transversale și longitudinale suplimentare cu cămășuire din beton parțială sau totală (Fig. 1.3);
- montarea de armături transversale suplimentare, cu sau fără protecție de beton sau mortar de ciment [4] (Fig. 1.4.).

Problemele care se ridică sunt legate de comportarea ansamblului prin prisma noilor materiale adăugate, prin comportare înțelegând aspecte legate de calculul unor astfel de secțiuni și măsurile constructive necesare pentru asigurarea, în condiții de siguranță, a exploatării unor astfel de elemente.

Utilizarea acestui mod de refacere a capacității portante la grinzi presupune un consum foarte mare de manoperă, cu întreruperea proceselor tehnologice susținute de structură.

1.3.2. Refacerea capacității portante a grinzilor prin modificarea gabaritului inițial

La grinzi de hale industriale parter, schema statică adoptată în general pentru grinda de acoperiș este de simplă rezemare, ceea ce permite refacerea capacității portante prin micșorarea deschiderii, rezolvările posibile fiind:

- realizarea de console rigide de beton armat sub grinzi (Fig. 1.5.), unde conlucrarea betonului nou cu cel vechi se asigură prin preluarea lunecării cu armătura transversală și frecarea pe înălțimea cămășuirii de beton pe stâlpi;

- introducerea pe stâlpii de reazem a unor contrafișe metalice rigide (Fig.1.6.), unde conlucrarea betonului nou cu cel vechi se asigură prin frecare-lunecare.

Este necesară introducerea eforturilor inițiale pentru intrarea în lucru a noilor reazeme.

1.3.3. Refacerea capacității portante a grinzilor prin modificarea schemei statice este posibilă prin următoarele metode[37][18]:

- transformarea grinzii static determinate într-un sistem static nedeterminat prin introducerea tiranților macaz (Fig.1.7.), unde fixarea deviatorului se realizează prin frecare-lunecare, respectiv sudarea armăturilor existente în grindă;

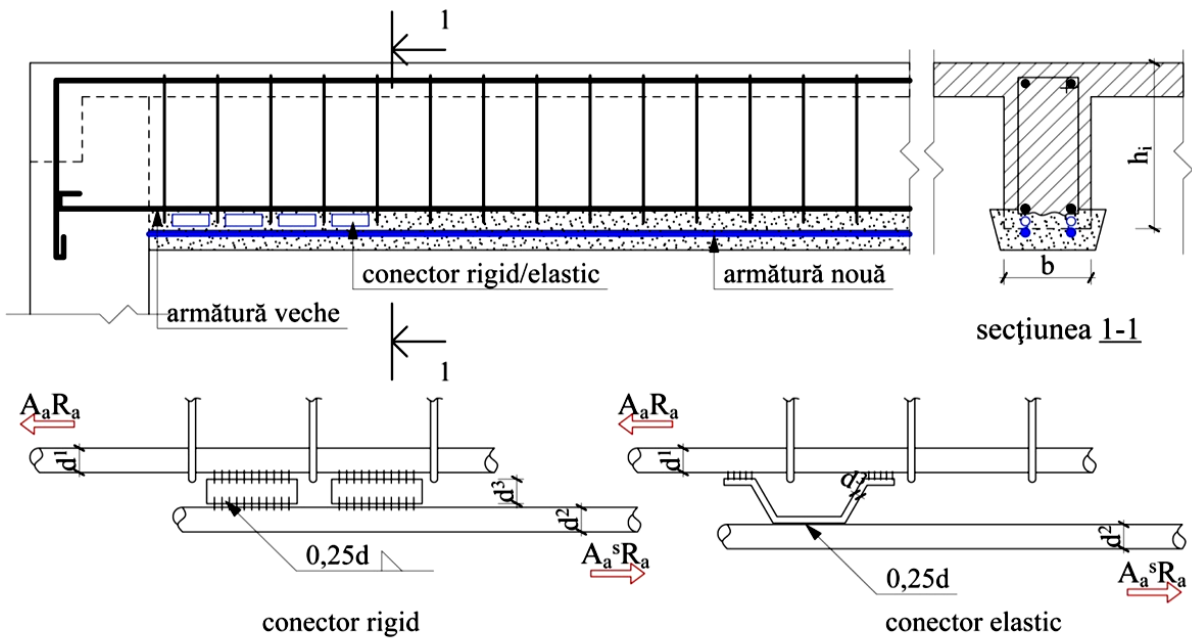
- idem, prin hobanare caz în care grinda devine un sistem static cu reazeme elastice intermediare (Fig.1.8.), unde ancorajul tirantului pe grindă se face prin sudarea armăturilor din grindă, respectiv frecare și lunecare împiedicată de etrieri tensionați.

Prin ambele metode se realizează un sistem de forțe exterioare avantajoase din punctul de vedere al creșterii performanțelor grinzii.

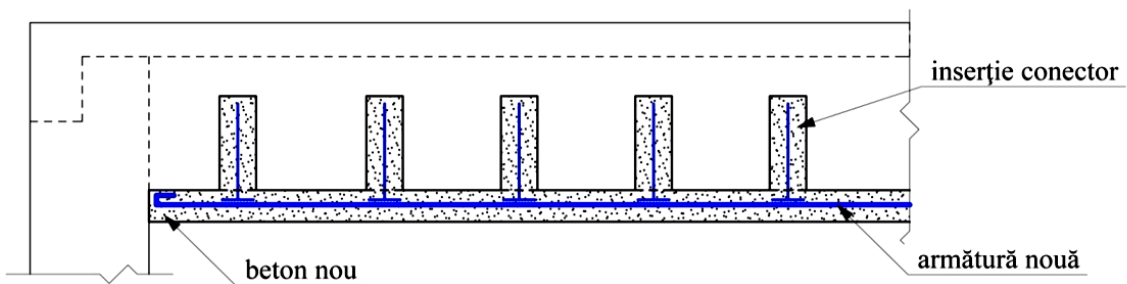
1.3.4. Refacerea capacității portante prin sistemul grindă-macaz: montarea tiranților macaz transformă grinda într-un sistem mixt: Fig. 1.7. Schema statică inițială se modifică și se realizează o mărire a capacității portante. Elementul care lucra inițial la încovoiere devine comprimat excentric[46]. În punctele de rezemare a tirantului macaz acționează forțe de descărcare. Pentru utilizarea la întreaga capacitate a materialului din tirant, se realizează preîntinderea acestuia, mărindu-se în acest fel efectul de descărcare al grinzii – crește rigiditatea ansamblului static nedeterminat.

Avantajele utilizării sistemului macaz sunt:

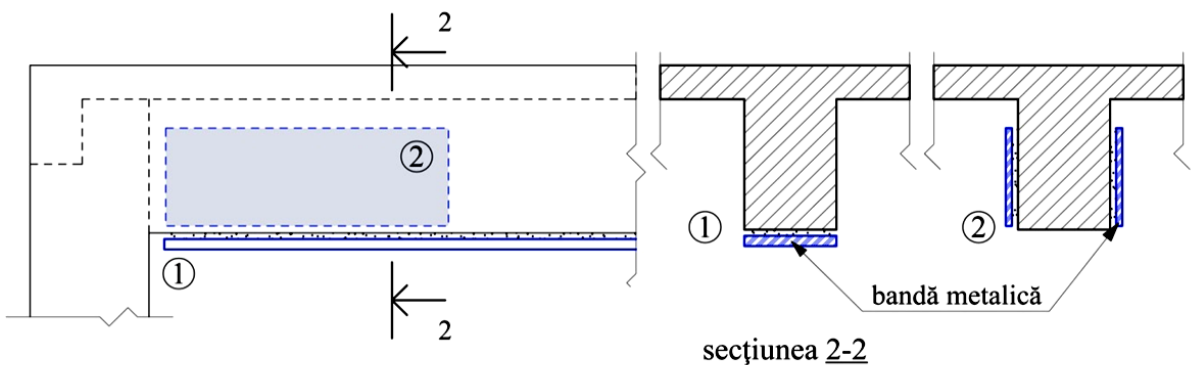
- nu se micșorează gabaritul util al spațiilor de producție;
- tiranții macaz se realizează din confecții metalice cu gabarit mic având un înalt grad de prefabricare;
- montajul este relativ simplu și nu necesită întreruperea proceselor de fabricație adăpostite de hală;
- realizează creșteri semnificative de capacitate portantă;
- întreținerea este ușoară iar defecțiunile datorită mediului înconjurător agresiv, care ar putea scoate din funcție tirantul macaz, pot fi ușor remediate (prin înlocuirea parțială sau totală a macazului).



1.2.a. Armătură longitudinală suplimentară și conectori sudați de armătura veche și cea nouă, cu protecție prin subbetonare



1.2.b. Armătură longitudinală suplimentară și conectori încastrați în betonul vechi și sudați de armătura nouă



1.2.c. Armătură longitudinală sub formă de benzi metalice lipite cu rășini epoxidice

Fig. 1.2. Consolidare prin suplimentare de armături longitudinale

În principal, tirantul macaz se compune din trei grupe de piese:

(1) piese de rezemare și ancorare - prin intermediul cărora se fixează tirantul de grinda de beton și îi transmite eforturile de compresiune;

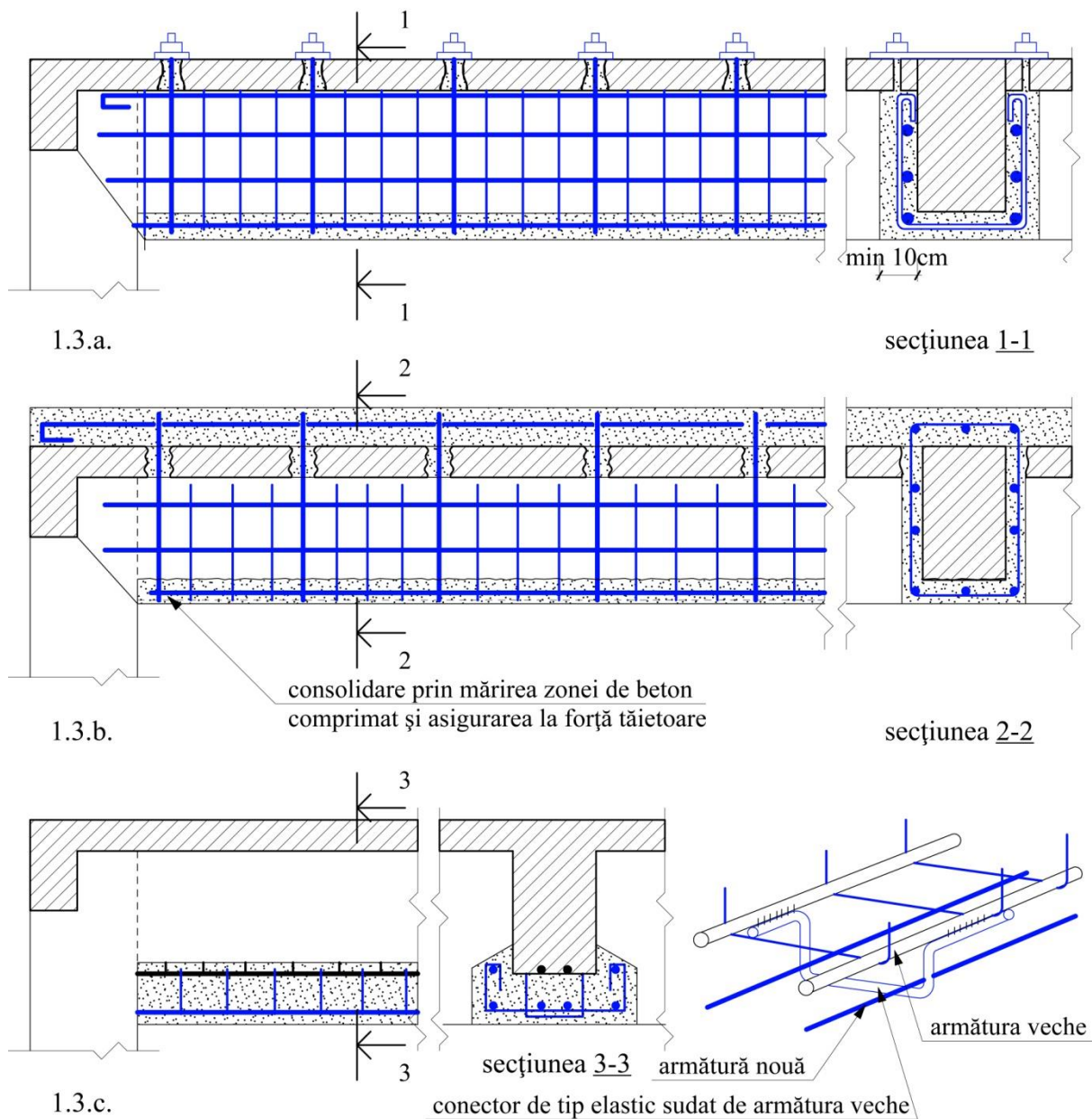
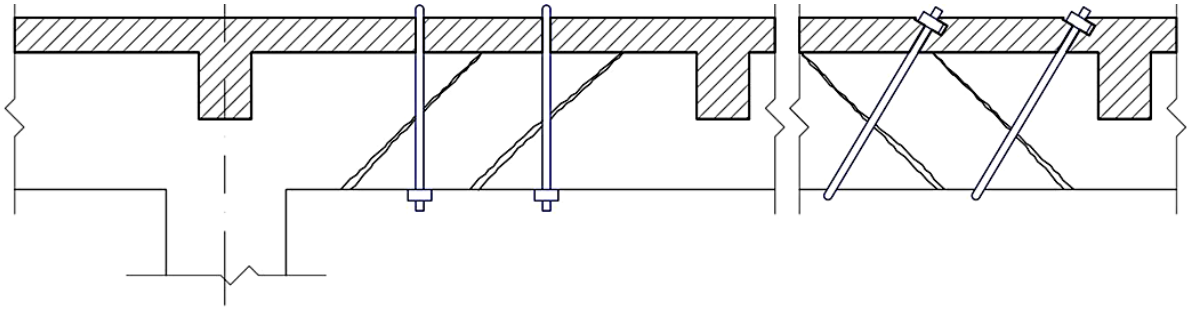


Fig. 1.3. Consolidare prin suplimentarea armăturilor transversale și longitudinale, cămășuire cu beton armat turnat în situ (a, b, c)

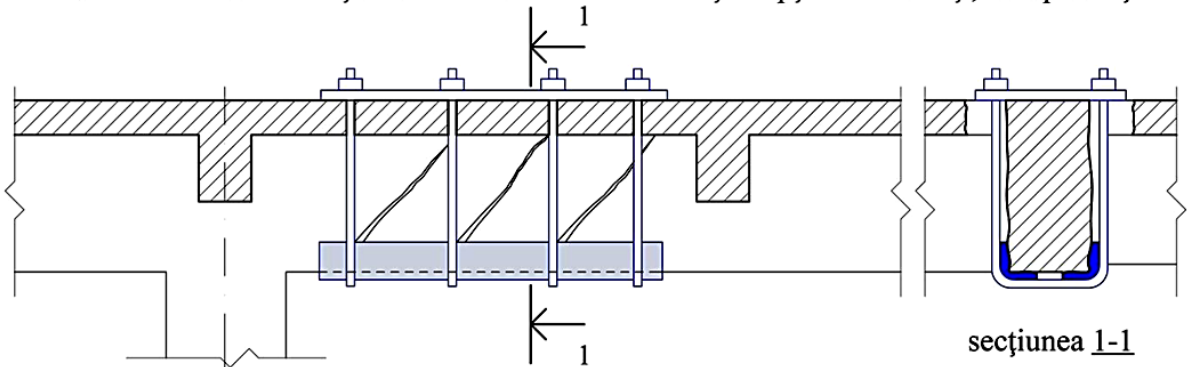
(2) deviatori - elemente metalice sau de beton care sunt puncte de schimbare a direcției tirantului;

(3) tirantul propriu-zis – bare metalice de tipul oțelului beton sau toroane pentru beton precomprimat;

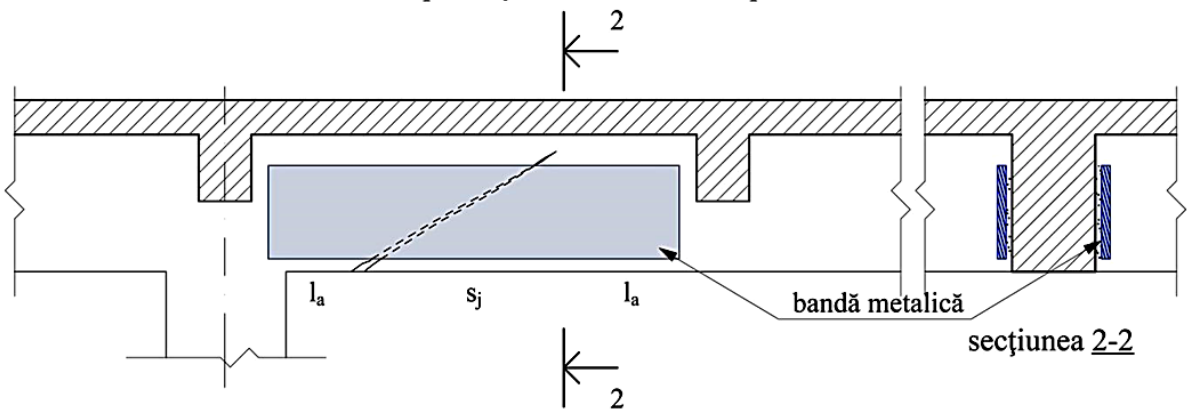
(4) dispozitive pentru introducerea eforturilor inițiale și reglajul montării (compensarea toleranțelor dimensionale).



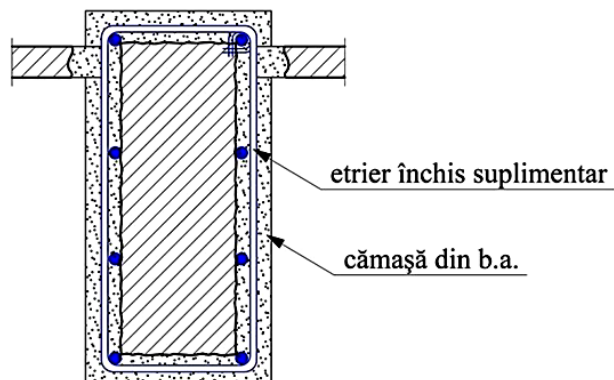
1.4.a. Consolidare la forță tăietoare cu etrieri tensionați drepti sau înclinați, fără protecție



1.4.b. Consolidare la forță tăietoare cu etrieri tensionați drepti sau înclinați, cu protecție de mortar sau vopsea



1.4.c. Consolidare la forță tăietoare cu benzi metalice lipite cu rășină epoxidică



1.4.d. Consolidare la forță tăietoare cu etrieri drepti netensionați protejați cu cămașă din b.a.

Fig. 1.4. Consolidare prin suplimentare de armături transversale

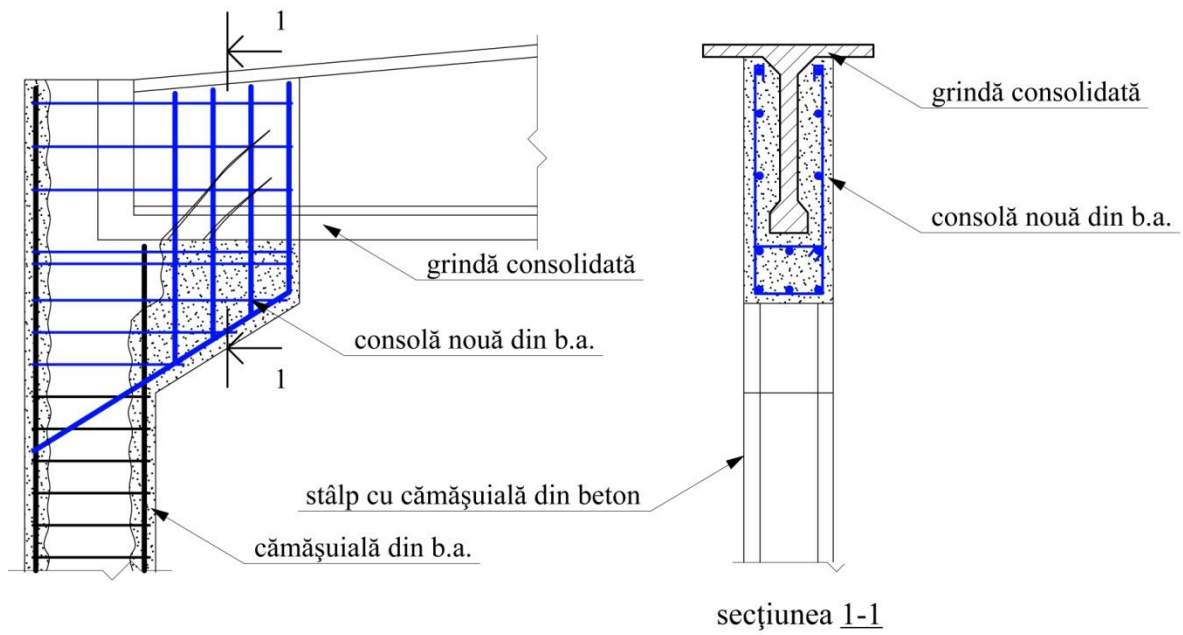


Fig. 1.5. Consolidare prin reducerea deschiderii de calcul

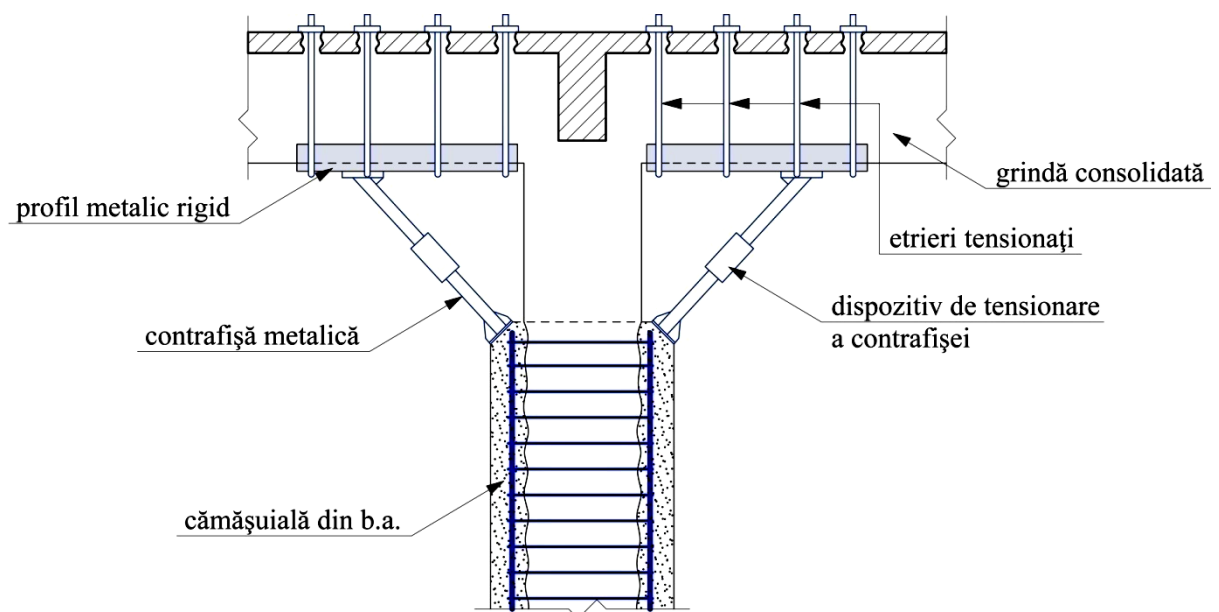


Fig. 1.6. Consolidare prin utilizarea contrafișelor metalice

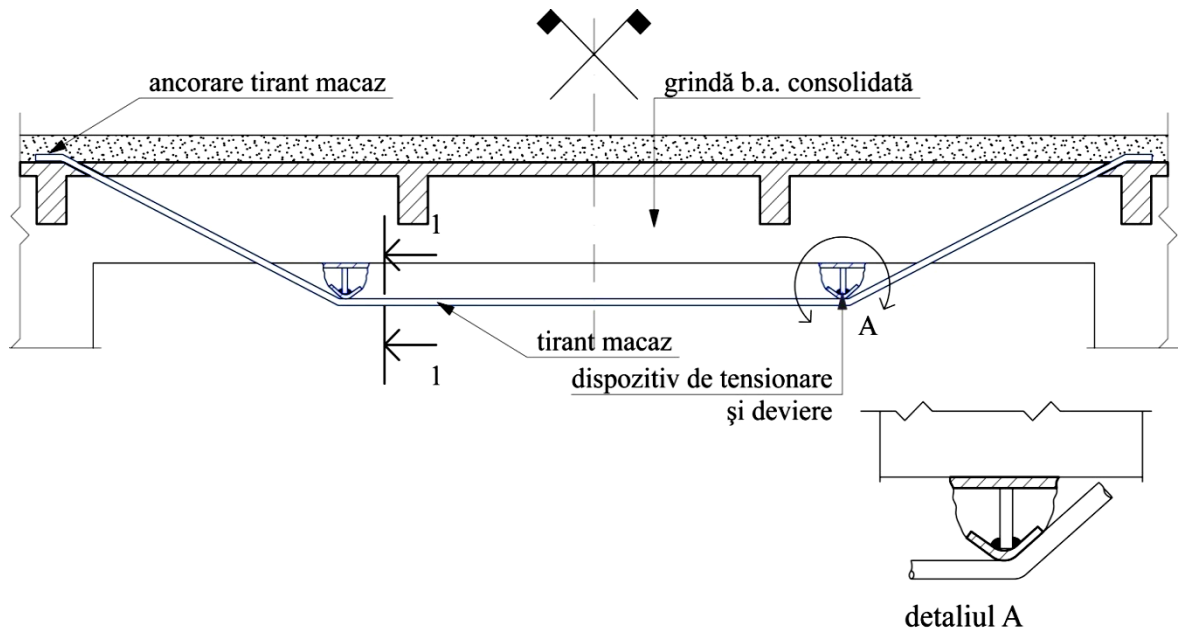


Fig. 1.7. Consolidarea grinzilor prin tiranți macaz

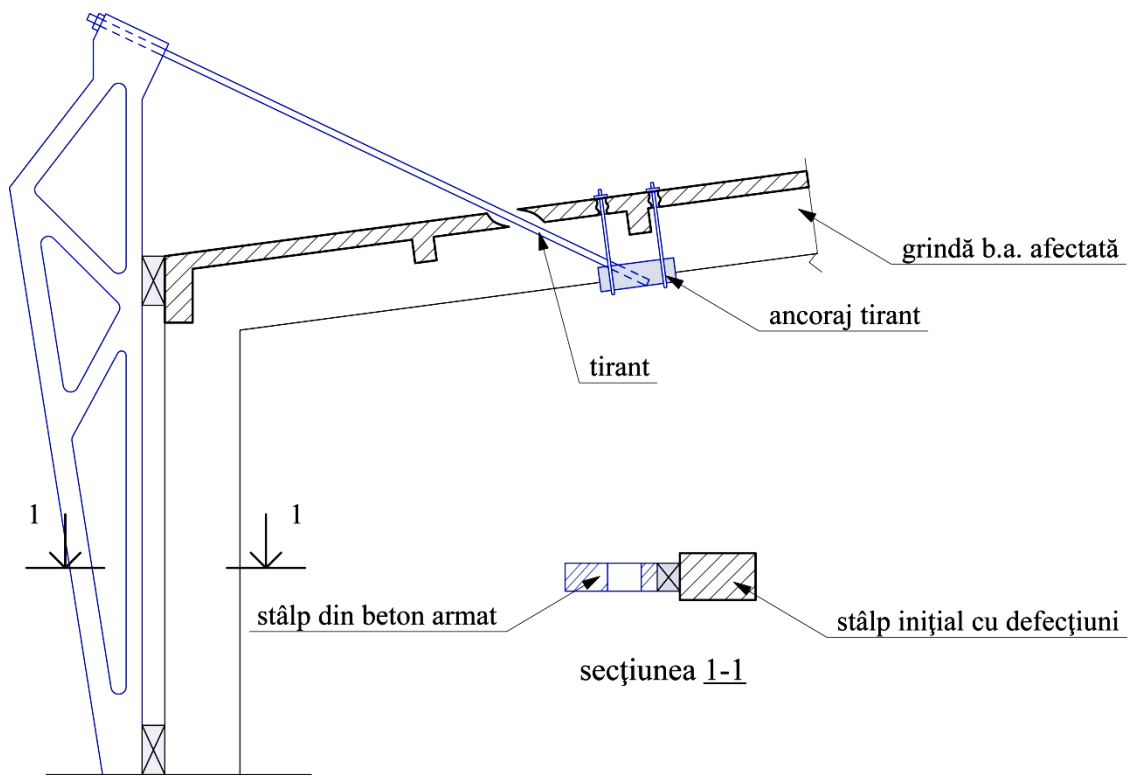


Fig. 1.8. Consolidarea grinzilor prin hobanare

Utilizarea tiranților macaz cu eforturi inițiale s-a răspândit în practica consolidărilor de grinzi de beton armat sau precomprimat datorită simplității tehnologice, a efectului cu randament mare și datorită multitudinii de situații în care se poate folosi [42] (Fig.1.9).

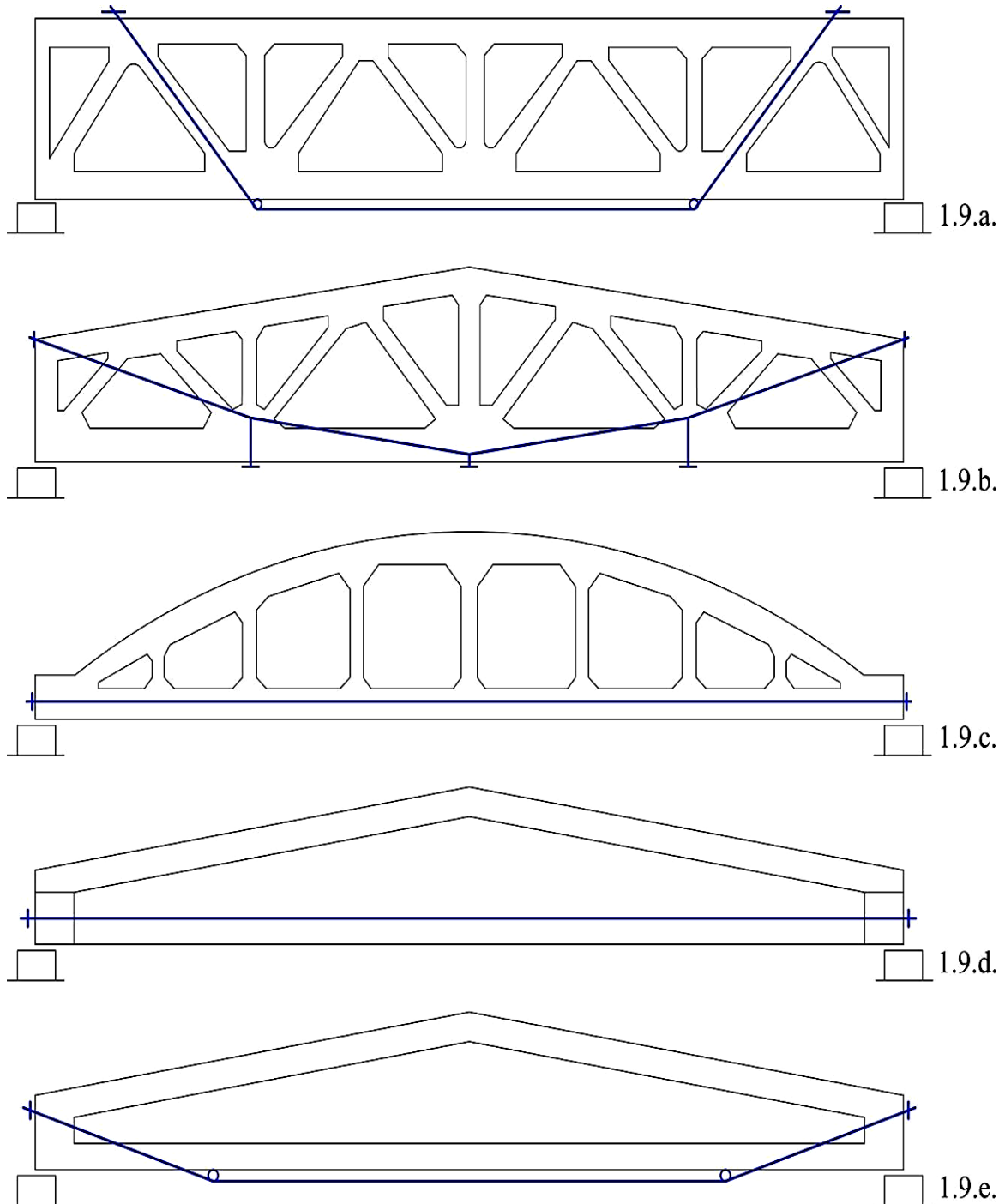


Fig. 1.9. Variante de consolidare grinzi de beton armat sau precomprimat cu tiranți macaz cu eforturi inițiale (a-e)

1.4. Procedee de refacere a capacității portante la elemente liniare de beton armat - STÂLPI

Consolidarea stâlpilor de beton armat, în vederea refacerii capacității portante, este o operație necesară datorită defecțiunilor care apar ca urmare a [33] [37][49]:

- exploatarea: condiții severe de mediu, supraîncărcări statice sau dinamice etc.;
- execuției eronate: beton sub clasa prescrisă, goluri, caverne, segregări, fisuri și deformații datorate decofrării timpurii etc.

Defecțiunile manifestate local sau pe ansamblul stâlpului se tratează diferit, producând modificări structurale [23].

În comparație cu proiectarea structurilor noi, la structurile cu defecțiuni există un număr de probleme care amplifică dificultățile de proiectare ale acestora[5]:

- nesiguranța în evaluarea structurii existente (modelul static) și deci a redistribuției eforturilor în elementele structurale;
- evaluarea tuturor discontinuităților geometrice și mecanice.

Experiența cumulată în decursul timpului a condus la generalizarea unor tehnici de consolidare. Pentru stâlpi de beton armat consolidarea se poate executa prin:

- substituire sau refacere parțială (Fig. 1.10.a,b);
- rigidizare prin adaos de material (Fig. 1.10.c,d și Fig. 1.11) - cămășuială din beton sau cu confecție metalică[14].

Materialele care se utilizează la consolidarea stâlpilor trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- să fie mai durabile decât cele vechi;
- să asigure protecția corespunzătoare pentru armăturile introduse;
- să asigure legătura între betonul vechi și cel nou;
- să aibă contracții minime sau neglijabile.

1.4.1. Consolidarea cu beton turnat în cofraj

Contactul între vechiul și noul material se face imperfect, transferul de eforturi fiind nesigur. Sunt necesare măsuri speciale de precauție[23]:

- înlăturarea betonului defect;
- prelucrarea suprafețelor betonului vechi în vederea asigurării unor suprafețe rugoase cu beton ”sănătos”;
- îndepărtarea ruginii de pe armături și neutralizarea procesului de coroziune

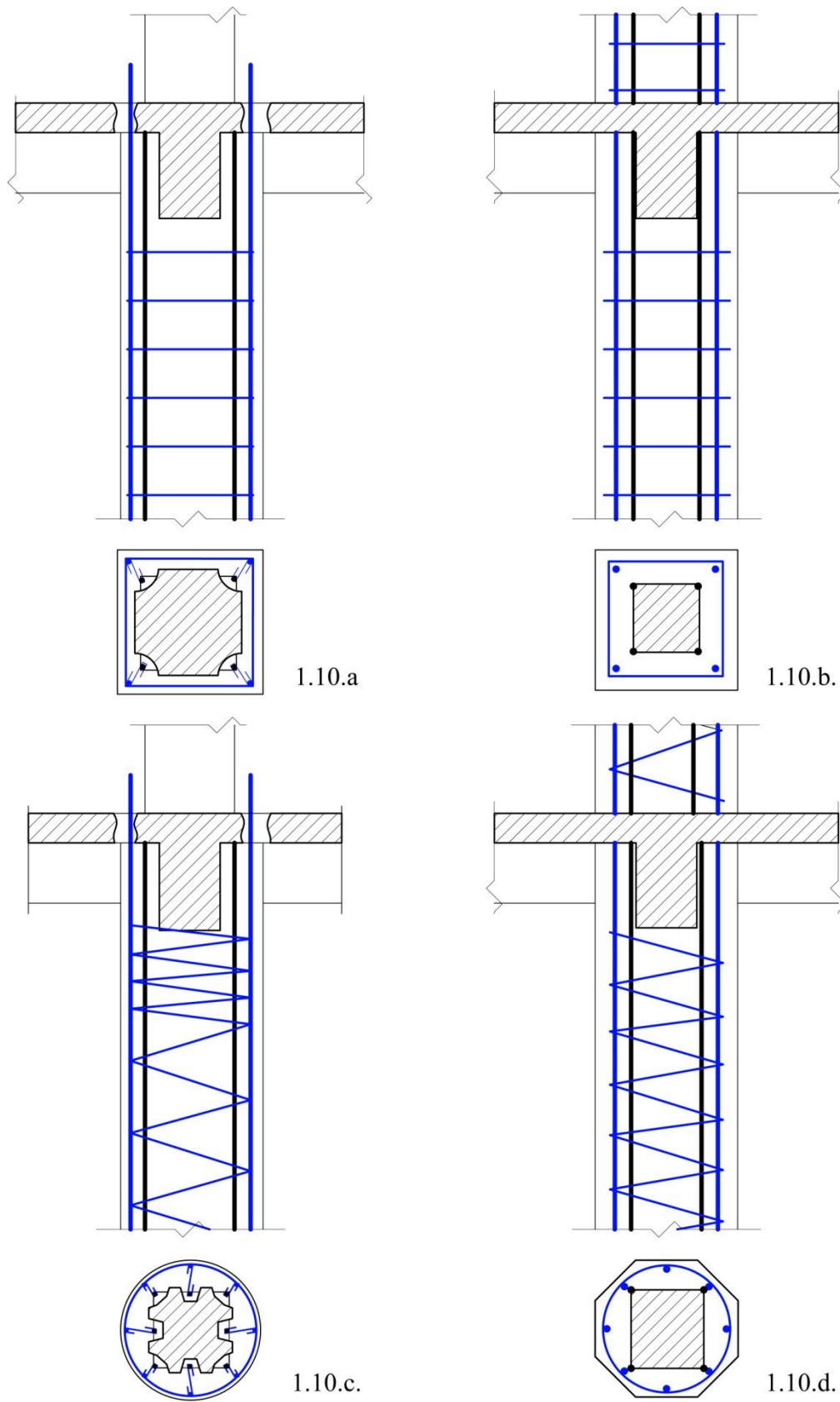


Fig. 1.10. Variante de refacere a capacității portante la stâlpi de b.a. prin cămășuială de beton

- spălarea prafului de pe suprafețele betonului vechi;
- umezirea suprafețelor de beton vechi cu cel puțin 10 ore înainte de betonării;
- betonul să fie lucrabil și punerea în operă să asigure o bună compactare;
- se vor utiliza plastifianți pentru reducerea raportului apă/ciment;
- se va utiliza ciment expansiv, sau betoane cu contracții compensate;
- se pot utiliza betoane cu polimeri sau rășini epoxidice.

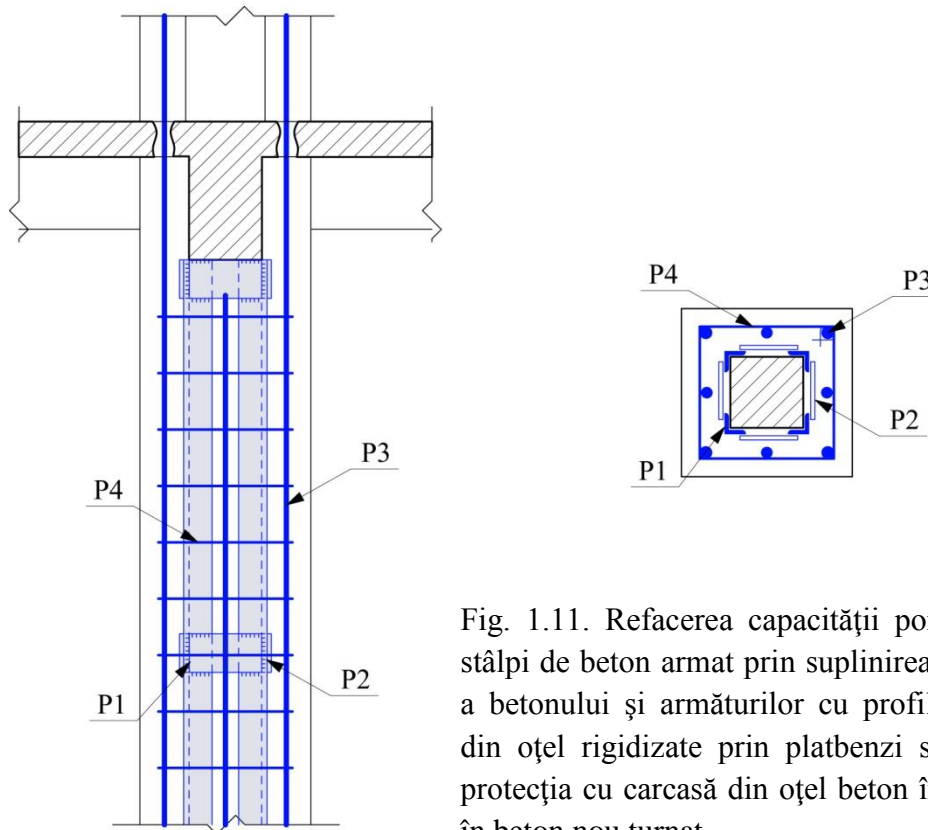


Fig. 1.11. Refacerea capacității portante la stâlpi de beton armat prin suplinirea parțială a betonului și armăturilor cu profile rigide din oțel rigidizate prin platbenzi sudate și protecția cu carcasă din oțel beton înglobată în beton nou turnat

1.4.2. Beton torcretat

Asigură un contact și o legătură perfectă cu betonul vechi. Datorită compactării puternice și a raportului mic apă/ciment se asigură un beton cu caracteristici superioare. Se poate aplica pe orice suprafață (verticală, orizontală, înclinată). Este necesară o plasă de armătură în procent minim, pentru prevenirea fisurării prin contracție.

Condițiile tehnologice de aplicare sunt aceleași ca și la betonul turnat în cofraj, în plus, armăturile se vor monta în poziția cerută, utilizând distanțieri adecvați, astfel ca în timpul torcretării să nu se deplaseze.

Betonul torcretat poate conține fibre disperse din oțel sau sticlă, prezența lor modificând proprietățile atât ale betonului proaspăt cât și a celui întărit. De menționat că:

- rezistența la compresiune a betonului cu fibre crește cu până la 30%;

- rezistența la întindere din încovoiere crește de la 10% până la 100% (proporțional cu conținutul de fibre);

- rezistența la șoc crește de maxim 10 ori.

Betonul armat cu fibre de oțel dispers trebuie protejat împotriva coroziunii fibrelor de la suprafață, cu un strat de beton fără fibre sau utilizând fibre de oțel galvanizate.

1.4.3. Utilizarea rășinilor în consolidări de stâlpi se face pentru[23][97]:

- injectarea fisurilor;
- impregnare pentru protecție;
- lipire de benzi metalice.

Rășinile epoxidice oferă următoarele avantaje:

- au o lucrabilitate bună și un timp scurt de întărire;
- oferă o legătură foarte bună cu oțelul și betonul;
- contracția este foarte mică sau neglijabilă;
- au rezistență bună la foc și agenți chimici
- au modulul de elasticitate apropiat de cel al betonului.

Lipirea de benzi metalice se efectuează cu o tehnică specială, fiind necesar să se asigure:

- o perfectă legătură între oțel, beton și rășină, fiind necesare condiții speciale de pregătire a suprafețelor;

- grosimea stratului de rășină de maxim 1,5 mm;

- grosimea benzilor metalice de maxim 3 mm; când se prevăd măsuri speciale de ancoraj, benzile metalice pot avea grosimea de 10 mm;

- lipirea benzilor prin presare pe beton și rășină sau prin utilizarea bolțurilor de fixare și injectarea rășinii.

1.4.4. Armăturile utilizate în consolidări de stâlpi sunt de tipul:

- etrieri în spirală;
- etrieri închiși, petrecuți sau sudați;
- coliere strânse pe beton prin șurub cu piuliță;
- platbande sudate sau bare din oțel rotund preîncălzite și sudate în secțiunea transversală pe profile corniere dispuse pe colțurile stâlpilor;
- benzi metalice de 4-6 mm grosime dispuse pe toată suprafața stâlpului, îmbinate la colțuri prin sudură sau lipire de beton cu rășină epoxidică;
- armături longitudinale din bare independente;
- idem din profile rigide.

Armăturile de consolidare a stâlpilor se protejează față de agenții corozivi[98] prin înglobare în beton, în cazul cămășuielilor din beton, sau prin protecție cu un strat de mortar de ciment sau protecții prin vopsitorii anticorozive, în cazul cămășuielilor metalice.

Transferul de eforturi de la materialul vechi la cel nou se realizează prin:

- compresiune, beton pe beton;
- frecare, beton cu beton, beton cu metal;
- preluarea lunecării, prin conectori;
- întindere, prin armături noi sudate de cele vechi sau ancorate în betonul vechi.

1.5. Procedee de refacere a capacității portante la structuri de beton armat prin modificarea schemei statice

Procesul de restaurare/consolidare a structurilor de beton armat este necesar atunci când structura sau o parte a ei a fost solicitată peste limita elastică și o parte a energiei induse s-a disipat prin deformații plastice ale structurii și/sau a elementelor de umplură (de exemplu ziduri despărțitoare), reducând drastic capacitatea portantă a întregii structuri de rezistență. Orice activitate de restaurare/consolidare constă în principal în două grupe de măsuri. Prima privește numai structura de rezistență în sensul refacerii sau chiar a îmbunătățirii proprietăților mecanice inițiale (rezistență, rigiditate, ductilitate și răspuns dinamic). A doua grupă de măsuri privește proprietățile fizice și integritatea tuturor elementelor structurale și nestructurale pentru refacerea performanțelor inițiale și durabilității construcției.

Considerând o structură în cadre de beton armat supusă acțiunii puternice a unui cutremur (Fig. 1.12.a) este de observat că articulațiile plastice datorate momentelor pozitive apar pe grinzi în apropierea legăturii cu stâlpii[46]. În această situație, pentru restaurarea capacității de rezistență dinamică, măsura recomandabilă ar fi prevederea unor tendoane (tiranți) ca în Fig. 1.12.b pentru închiderea fisurilor din zonă, capabile să asigure capacitatea inițială fără să se modifice rigiditatea cadrului. În situația în care se constată o apropiere periculoasă între mișcarea pământului și spectrul de răspuns al construcției, este indicat să se modifice rigiditatea cadrului prin adoptarea soluției din Fig. 1.12.c.

În conformitate cu această soluție, zona nodului este amplificată esențial în timp ce deschiderea grinzii și înălțimea stâlpului este redusă. Se păstrează astfel proprietățile ductile ale grinzii și stâlpului cu modificarea fină a rigidității structurii în ansamblu.

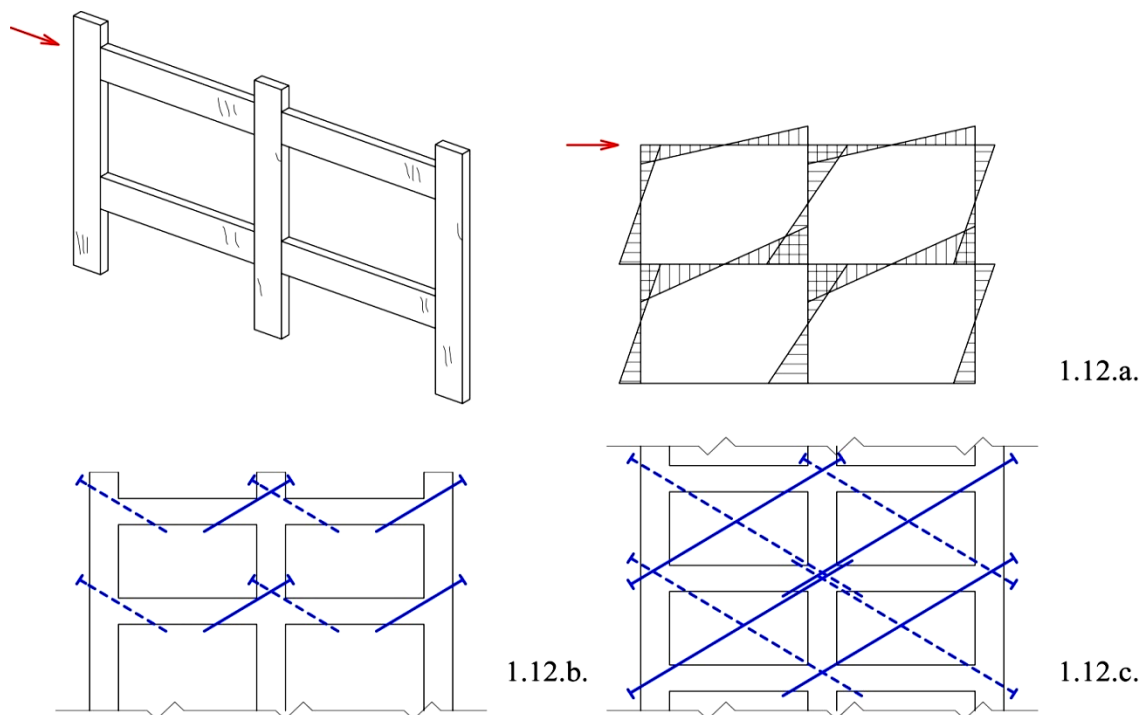


Fig. 1.12. Consolidarea unei structuri în cadre de b.a.: a) acțiunea orizontală din seism; b) prevederea tendoanelor pentru închiderea fisurilor; c) contravântuiri metalice pentru corectarea rigidității structurii și a ductilității ei.

În cazul structurilor în cadre proiectate să reziste la acțiuni seismice mai mici decât cele prevăzute în normativele actuale, sau lipsa normativelor la data proiectării (construcții vechi), procesul restaurării este complex și mai dificil. În această situație fisurarea structurii de rezistență este însoțită de intrarea în curgere a oțelului în cele mai multe cazuri precum și de fracturi ale elementelor structurale. Măsurile care sunt necesare pentru refacerea/consolidarea unor astfel de structuri se referă atât la elementele componente cât și la ansamblul structural rezultând structuri cu schema statică modificată. Modificările necesare, atrag corecția totală de rigiditate a structurii și a ductilității ei. Tehnicile actuale se regăsesc în următoarele procedee generale[2]:

- bare metalice care rigidizează cadrul la sarcini orizontale;
- prevederea de legături suplimentare exterioare cu scopul realizării unui sistem avantajos de forțe;
- închiderea golurilor dintre stâlpi și grinzi cu materiale rezistente la compresiune (beton monolit, prefabricat, zidărie etc.).

Măsurile enumerate aduc în general modificarea schemei statice inițiale, fapt care impune reproiectarea atentă în special la conectarea celor două sisteme, sistemul constructiv vechi și cel adăugat[37].

Capitolul 2

REABILITAREA SUB EXPLOATARE A ELEMENTELOR LINIARE

2.1. Principii teoretice de abordare a reabilitării sub exploatare

2.1.1. Probleme ridicate de reabilitarea unei construcții [31][37]

2.1.1.1. Defectele unei construcții

Deficiențele structurale constituie anomalii ale construcției, prezente local sau generalizate, care impun remedieri/consolidări, executate de regulă cu întreruperea activității normale și cu cheltuieli, în unele cazuri, mari.

Principalele categorii de deficiențe:

2.1.1.1.1. Deficiențe datorate proiectării:

- conceptul structural cu soluții constructive neraționale din punct de vedere tehnic și economic (ex: sensibilitatea soluției constructive la abateri de execuție);

- interpretarea greșită a unor prescripții tehnice, omisiuni în luarea în considerare a unor acțiuni;

- neconcordanța între schema statică adoptată la calculul solicitărilor în elementele structurii de rezistență și comportarea reală a structurii;

- greșeli în alegerea materialelor din care se execută structura de rezistență. Neluarea în considerare a particularităților pe care le impun caracteristicile procesului tehnologic adăpostit de construcție (agresivitate chimică, caracterul solicitărilor etc.).

2.1.1.1.2. Deficiențe datorate execuției:

- abateri neadmisibile ale formei, dimensiunilor, calității materialelor, prefabricatelor furnizate de stații de betoane, fabrici de prefabricate, uzine;

- trasarea defectuoasă a construcției;

- defecte la montarea elementelor structurii, la armare, la turnarea betoanelor, la executarea asamblărilor de montaj, la executarea lucrărilor de izolație hidrofugă;

- înlocuirea la locul de punere în operă a materialelor prevăzute în proiect cu altele de calitate inferioară;

- nerespectarea tehnologiei de execuție (succesiunea fazelor tehnologice, lucrul în condiții speciale etc.).

2.1.1.1.3. Deficiențe ce se produc în timpul exploatării:

- deficiențe ascunse, cauzate de execuția necorespunzătoare, și care ies în evidență în timpul folosirii construcției și pot produce degradări ale construcțiilor;

- deficiențe puse în evidență de solicitările de exploatare, normale, dar cu valorile maxime;

- deficiențe care apar în timpul sau din cauza exploatării și care sunt provocate de lipsa de întreținere normală a construcției, de depășirea încărcărilor admise, de schimbarea neautorizată a destinației clădirii sau intervenții neautorizate asupra structurii de rezistență, de exploatarea necorespunzătoare a instalațiilor și utilajelor ce funcționează în clădire (ce pot conduce la degajări accidentale de gaze sau lichide corozive, cu acțiune agresivă asupra elementelor construcției).[31][37]

2.1.1.2. Analiza deficiențelor constatate

Pentru adoptarea unei soluții de reabilitare eficiente este necesară cunoașterea cauzelor care au provocat sau au contribuit la producerea defectelor. O analiză amplă a defectelor depistate constituie singura bază acceptabilă pentru abordarea acestei probleme.

Deficiențele sunt provocate, de regulă, de un complex de cauze, cu grad diferit de influență asupra stării tehnice, dar acțiunea lor suprapusă conduce la amplificarea defectelor. Eliminarea numai a cauzei principale nu este suficientă pentru o rezolvare sigură a problemei[50].

Pentru înlăturarea deficiențelor există posibilități variate, dar soluția adoptată trebuie să îndeplinească o serie de condiții:

- să înlătore complet defectele, oricare ar fi cauza care le-a produs;
- să redea construcției și elementului afectat gradul de siguranță necesar;
- să se execute ușor și cu mijloace curente;
- consumul de materiale și costul intervențiilor să fie cât mai reduse;
- să se execute, pe cât posibil, fără întreruperea exploatării construcției sau cu o întrerupere limitată în timp.

2.1.2. Reabilitarea sub exploatare a unei construcții

2.1.2.1. Principii generale privind reabilitarea sub exploatare

La o serie de obiective industriale nu este posibilă întreruperea procesului de producție în perioada efectuării operațiilor de consolidare a structurii de rezistență, datorită pierderilor financiare însemnate pe care le-ar antrena, pentru beneficiar, oprirea producției. Aceasta necesită conceperea unor sisteme de consolidare care să fie montate și puse în funcțiune în timpul exploatării construcției, sau în timpul întreruperilor tehnologice curente.

Sistemele de acest tip trebuie să răspundă la o serie de condiții:

- reducerea la minimum a operațiilor ce se efectuează la fața locului;
- durată foarte scurtă de montare a sistemului;
- posibilitatea adaptării sistemului la abaterile de la geometria proiectată a structurii ce urmează a se consolida (abateri de execuție, deformații accentuate etc.);
- asigurarea manipulării ușoare a elementelor constitutive ale sistemului de consolidare;
- asigurarea intrării practic instantanee a sistemului în lucru, fără perioade de așteptare semnificative;
- posibilitatea controlului eficienței măsurilor de consolidare și a intervenției vizând o eventuală corectare a efectului acestora;
- posibilitatea evaluării corecte a efectului consolidării asupra stării de eforturi din structură.[37]

2.1.2.2. Concretizarea principiilor generale pe tipuri de elemente și ansambluri structurale

Concretizarea principiilor generale este dependentă de:

- tipul elementului;
- rolul lui în structură ca element structural;
- rolul lui funcțional, particularitățile procesului tehnologic;
- condiții specifice de exploatare;
- natura cauzelor care determină intervenția.

În continuare se exemplifică modul de abordare a consolidării sub exploatare a unor elemente sau ansambluri structurale reprezentative, cu luarea în considerare a principiilor enunțate.

2.1.2.2.1. Grinzi consolidate cu tiranți macaz

Consolidarea se poate realiza cu tiranți macaz, cu sau fără efort inițial.

Varianta cu efort inițial este mai eficientă, dar totodată și mai pretențioasă tehnologic. Este utilizat și sistemul de tiranți macaz nepretensionați. În continuare este prezentat cazul general în care precomprimarea introduce, suplimentar față de varianta fără efort inițial, un sistem de forțe exterioare.

Soluția de consolidare cu tiranți macaz având eforturi inițiale (precomprimare exterioară cu traseu poligonal), conduce, din punct de vedere mecanic, la modificarea stării de solicitare în element după consolidare din încovoiere în încovoiere cu efort axial.

Prin introducerea unui sistem de forțe exterioare, care acționează asupra elementelor preponderent încovoiate se reduc efectele din încovoiere și forță tăietoare provenite din sarcini de exploatare [47].

Se pot identifica:

- distanțieri deflectori de tipul montanților cu înălțime mare, distincte, în raport cu înălțimea grinzii, sau

- macazuri, care rămân în întregime în gabaritul de înălțime al secțiunii de beton; în această situație funcția montanților este preluată de însăși grinda din beton prin intermediul deviatorilor (schimbători de traseu).

Utilizarea sistemului de consolidare cu tirant macaz posttensionat se impune datorită avantajelor pe care le are în proiectare, execuție și exploatare:

- nu se micșorează gabaritul util al spațiilor adăpostite inițial, nu perturbă funcțiunea interioară;

- tiranții macaz posttensionați reprezintă confecții metalice cu volum redus și cu un înalt grad de prefabricare, montați de regulă fără întreruperea procesului de exploatare;

- întreținerea / înlocuirea tirantului nu ridică probleme tehnologice deosebite.

Ca soluție de principiu, consolidarea grinzilor de beton armat prin precomprimare exterioară cu tirant macaz având traseu poligonal constă în prevederea unor tiranți metalici din oțel de înaltă rezistență pentru beton precomprimat, dispuși simetric în secțiunea transversală, ancorați pe reazemele grinzii și urmând un traseu poligonal obligat de piesele metalice pentru deviere [61]. Transferul eforturilor inițiale și variația din sarcini de exploatare se face prin piesele de ancorare și prin deviatorii tirantului. În Fig. 2.1 se prezintă schematic soluția de consolidare prin precomprimare exterioară cu tirant macaz și încărcarea echivalentă cu momentele încovoietoare aferente tensionării tirantului. De remarcat efectul favorabil al precomprimării exterioare asupra grinzii de beton armat (Fig. 2.2.).[18][19]

Transformarea elementului de beton armat încovoiat într-un element comprimat excentric, oferă parțial avantajele betonului precomprimat. Grinzile de beton armat cu tiranți macaz posttensionați sunt capabile să suporte suprasolicitări de scurtă durată fără ca efectul defavorabil al acestora (la încetarea acțiunii) să se facă simțit. Eventualele fisuri provocate de supraîncărcări se închid după încetarea acțiunii lor. Dirijarea eforturilor în beton și armături (inclusiv în tirantul macaz), printr-o proiectare riguroasă, asigură un grad de precomprimare corespunzător cu:

- durata și condițiile de exploatare a construcției;
- exigențele economice;
- modul și durata de aplicare a acțiunilor;
- gradul de agresivitate al mediului ambient;
- sensibilitatea la coroziune și condițiile de protecție a armăturilor

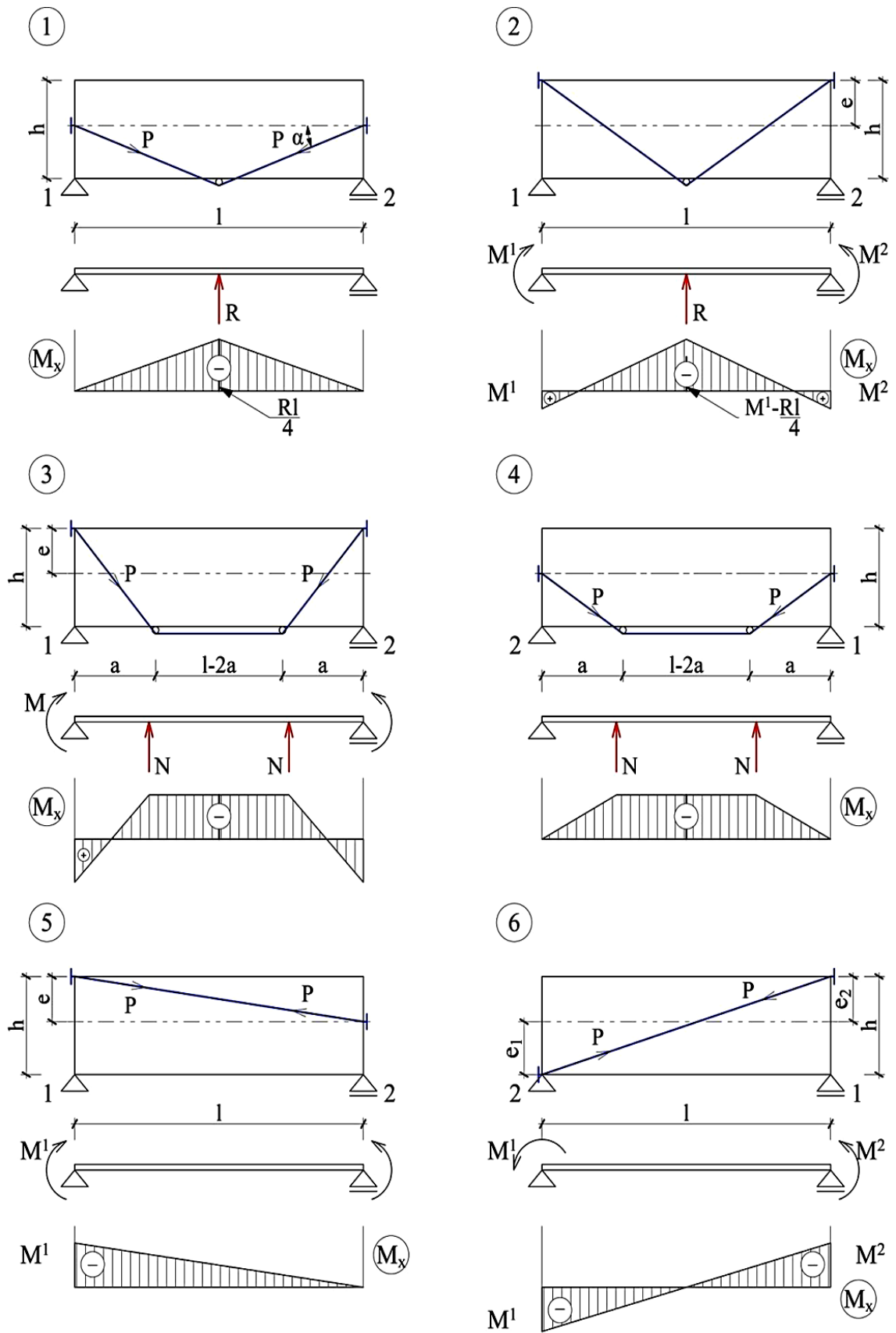


Fig. 2.1. Transferul eforturilor inițiale și variația din sarcini de exploatare

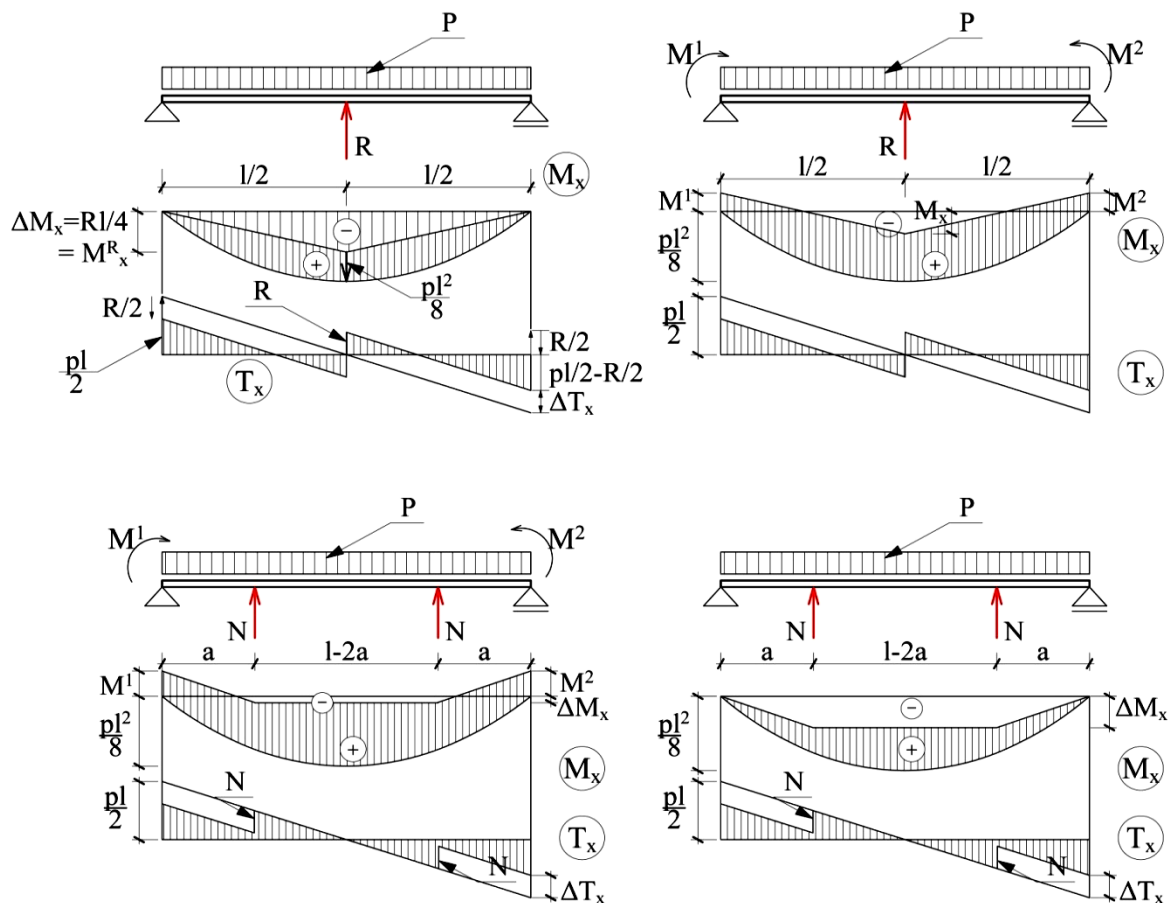


Fig. 2.2. Efectul favorabil al precomprimării exterioare asupra grinzii din beton armat

Problemele care trebuie abordate pentru proiectare sunt pe plan teoretic și pe plan tehnologic.

Pe plan teoretic se va insista asupra:

- ipotezelor de calcul;
- stadiului de lucru în exploatarea elementului de beton armat în momentul intervenției;

• determinării eficienței precomprimării exterioare prin tirant macaz.

Ca ipoteze de calcul se consideră ca fiind posibile două situații:

- consolidarea unui element de beton armat sau precomprimat în stare nefisurată (în cazul suplimentării sarcinilor în exploatare);

• consolidarea unui element de beton armat sau precomprimat în stare fisurată.

În cazul primei situații dimensionarea precomprimării exterioare cu tirant macaz se face ca și pentru o lucrare nouă, cunoscându-se starea de eforturi în beton și armături.

În cazul al doilea eforturile în beton în dreptul fisurilor sunt nule, fapt care constituie ipoteza de bază la efectuarea dimensionării precomprimării exterioare prin tirant macaz și care este justificată de două motive tehnice:

(1) dacă structura rămâne fisurată și după precomprimarea exterioară, este evident că eforturile de compresiune din precomprimare au fost preluate de zona intactă a betonului provocându-se suprasolicitări; este necesară refacerea integrității fizice a elementului din beton prin injectarea fisurilor;

(2) se impune limitarea tensiunilor în barele existente în beton; în cazul fisurării, variația momentului încovoietor M este preluată numai de barele de armatură inițiale și nu și de cele din precomprimarea adițională, fapt care nu reduce riscul ruperii barelor inițiale.

Pentru proiectare se pot distinge două posibilități la elementele de beton armat fisurate:

(a) elementul de beton armat este fisurat, având deschiderea fisurilor în domeniul normal de funcționare, caz în care, dacă nu există incertitudini în ce privește calitatea betonului și oțelului, soluția cea mai economică este realizarea tirantului macaz prin precomprimare exterioară, calculul de dimensionare făcându-se la compresiune excentrică, adică precomprimarea exterioară este considerată ca un sistem de forțe exterioare.

(b) elementul din beton armat are deschiderea fisurilor exagerată și există dubii în ceea ce privește calitatea betonului și a oțelului. În acest caz dimensionarea se face fără să se țină seama de oțelul pasiv, deci elementul se transformă din beton armat în beton precomprimat cu precomprimare exterioară [37][42][58].

Sub aspect tehnologic problemele care se ridică se referă în principal la:

- refacerea monolitismului structural (integritatea fizică a elementului de beton armat), injectări de fisuri, înlăturarea betonului degradat chimic, neutralizarea betonului afectat chimic, rebetonări – de la caz la caz și dacă este necesar;
- realizarea elementelor de ancorare și deviere a tirantului macaz;
- efectuarea precomprimării elementului de beton armat;
- protecția anticorozivă.

2.1.2.2.2. Stâlpi consolidați cu distanțieri precomprimați

Consolidarea stâlpilor cu ajutorul sistemelor spațiale alcătuite din elemente longitudinale și transversale se poate concepe cu sau fără eforturi inițiale în elementele longitudinale.

Eforturile inițiale introduse în faza de montare au rolul:

- de a asigura intrarea în lucru a sistemului de consolidare;

- de a descărca parțial sau total elementul, în funcție de sporul de capacitate portantă

În funcție de solicitarea la care stâlpul este supus (compresiune excentrică cu excentricitate mică sau mare) precum și legat de degradările elementului structural care se consolidează, elementele longitudinale se dispun pe o parte sau pe ambele părți a secțiunii transversale.

- distanțiere simple de exemplu în cazul în care degradările (de beton și/sau de armătură) se manifestă pe o latură a secțiunii transversale;

- distanțiere duble sunt caracteristice stâlpilor expuși la compresiune excentrică cu mică excentricitate, a stâlpilor afectați pe întreaga lor secțiune transversală.

Distanțierile sunt alcătuite din profile metalice rigide, în sistem Vierendeel, unde încărcările sunt preluate și transmise prin rigiditatea nodurilor.

2.1.2.2.3. Cadre consolidate prin sisteme structurale suplimentare

Sisteme structurale suplimentare sunt de la caz la caz elemente sau chiar ansambluri structurale. Ele se dezvoltă în spații astfel încât să deranjeze în cât mai mică măsură procesul tehnologic adăpostit; sunt legate de structura de rezistență (care urmează să fie consolidată) în ansamblul ei. Există o mare diversitate de soluții posibile precum:

- la nivel de structuri parter prevederea pentru rigle a unor reazeme intermediare elastice suplimentare (formarea de cadre hobanate) poate reprezenta o variantă eficientă din orice punct de vedere. Și în acest caz introducerea unor eforturi inițiale majorează randamentul soluției prin:

- asigurarea intrării în lucru instantaneu a schemei statice transformate;

- descărcarea structurii inițiale folosită peste limitele acceptabile de exploatare etc.;

- tiranții suplimentari precum și celelalte elemente structurale necesare realizării structurii hobanate sunt confecții metalice nu prea sofisticate, relativ ușoare și montate comod pe elementele structurale existente;

- structurile etajate pot fi ajutate în ansamblul lor prin regruparea elementelor verticale comprimate și întinse;

- prevederea unor console exterioare structurii de rezistență și suspendarea de acestea a unor elemente suplimentare de rezistență (reazeme intermediare elastice) este de asemenea o variantă care poate fi generalizată cu succes[37].

2.1.3. Observații

Având în vedere diversitatea mare a parametrilor ce determină tipul sistemului de consolidare, modul lui de comportare, calculul și alcătuirea, abordarea cu titlu general a acestor probleme are o utilitate redusă în practica reabilitării construcțiilor.

2.2. Calculul sistemelor de consolidare ale elementelor liniare

2.2.1. Particularități de comportare sub sarcini a ansamblului grindă de beton armat-sistem de consolidare tip macaz

După montarea tirantului macaz pe elementul care se consolidează se obține un sistem nou din punct de vedere static, format din grinda de beton armat și tirantul macaz. Sistemul este static nedeterminat, eforturile în el determinându-se prin luarea în considerare, pe lângă condițiile de echilibru static, a celor de compatibilitate a deformațiilor. Eforturile se produc în sistem sub acțiunea oricărei sarcini exterioare dispuse ulterior montării și intrării în lucru a tirantului macaz. Efectul tirantului macaz asupra elementului ce se consolidează este reprezentat de:

- reacțiunile ce apar în reazemele elastice formate în punctele de schimbare de direcție a tijelor tirantului;
- forța de compresiune și momentele de capăt ce apar în zona fixării tirantului pe reazeme.

Deci, peste starea de eforturi inițială din grinda de beton armat, corespunzătoare sarcinilor efective ce acționează pe grindă în momentul montării sistemului macaz, se suprapun momente încovoietoare, forțe tăietoare și forțe de compresiune suplimentare, cauzate de sarcinile suplimentare ce se dispun pe grindă după montarea sistemului macaz. Grinda își modifică schema statică inițială, devenind un element comprimat excentric.

Eficiența sistemului de consolidare tip macaz este dependentă de deformabilitatea tirantului, crescând cu creșterea ariei acestuia. Ea scade cu creșterea excentricității forței de compresiune dată de tirant pe reazem.

Sarcina suplimentară ce se poate dispune pe grindă după consolidarea ei cu sistem macaz pasiv este condiționată de raportul:

$$\frac{\text{Momentul efectiv al grinzii la montarea sistemului de consolidare } M_{ef}}{\text{Momentul capabil al grinzii } M_{cap}}$$

și de caracteristicile tirantului macaz (A_t , E_t , caracteristici geometrice). În cazul în care raportul $\frac{M_{ef}}{M_{cap}}$ este apropiat de 1 sau sarcina suplimentară este mare în raport cu cea inițială,

preluarea solicitării nu se poate face de un sistem macaz pasiv, ci de un sistem activ – prin pretensionarea tirantului (situație în care se utilizează oțeluri cu caracteristici superioare).

La sistemele pasive aria secțiunii transversale a tirantului se dimensionează din considerente de deformabilitate a tirantului, efortul efectiv de întindere rezultând mult sub valoarea rezistenței de calcul.

La sistemele active forța de preîntindere din tirant conduce la apariția unui sistem de forțe exterioare ce acționează, în punctele de schimbare a traseului tirantului, asupra grinzii de beton armat. Valoarea ei este limitată de atingerea momentului capabil în grinda de beton armat la solicitări cu semn schimbat față de cele pentru care a fost proiectată.

Condițiile cerute sistemului de consolidare impun verificarea posibilității preluării sarcinilor suplimentare prin sisteme pasive sau prin sisteme active respectiv o predimensionare a ariei tirantului [38][47].

2.2.2. Predimensionarea tiranților macaz de consolidare [38]

2.2.2.1. Ipoteze de calcul

- Se neglijează, acoperitor, frecarea între tirant și grinda de beton armat, în zona reazemelor elastice.

- Se neglijează deformabilitatea montanților grinzii macaz.

- Se determină starea de eforturi în elementele sistemului macaz (grinda de beton armat + tirantul de consolidare) sub efectul forțelor dispuse suplimentar pe grindă, după realizarea sistemului.

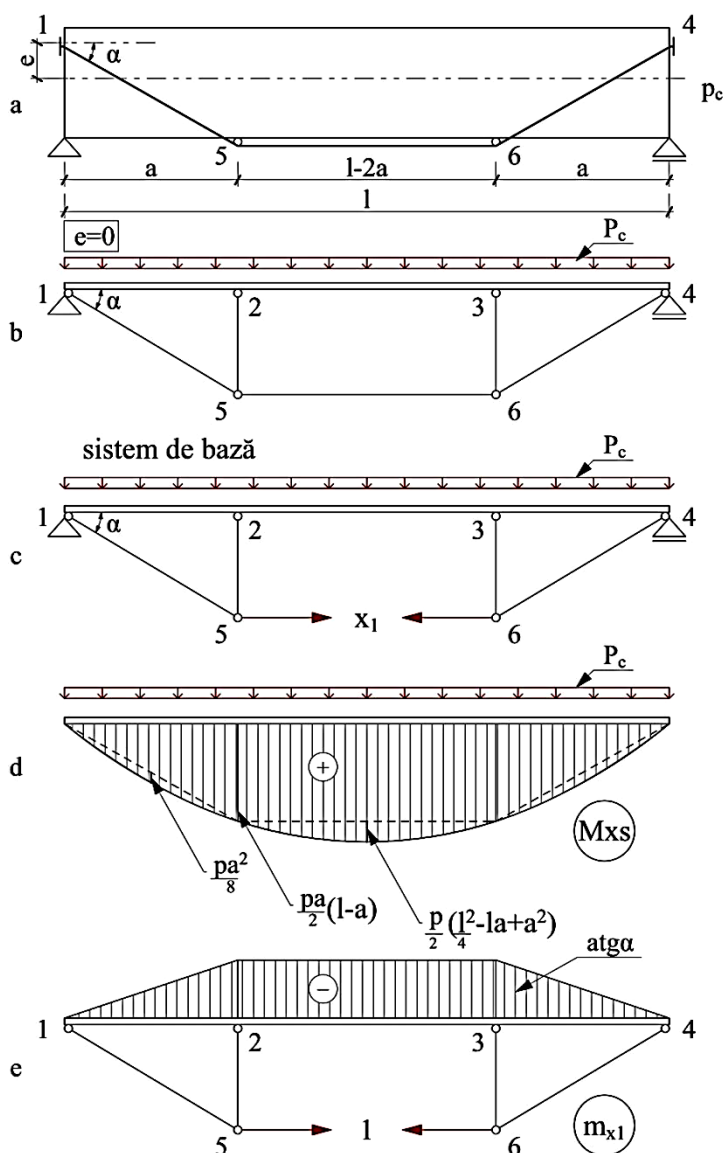
- Se consideră cunoscute: (i) momentul capabil al grinzii de beton armat (M_{cap}) corespunzător clasei betonului, ariei efective a armăturii (luând în considerare, dacă există, efectul coroziunii armăturii) și efortului de compresiune dat de întinderea din tirant (se va determina, la predimensionare, cu relații aproximative), (ii) modulul de elasticitate al betonului corespunzător clasei efective, gradului de fisurare al betonului sub sarcini, gradul degradării betonului sub acțiunea agenților corozivi, (iii) caracteristicile fizico-mecanice ale oțelului folosit în tirant, configurația geometrică a sistemului.

2.2.2.2. Calculul efortului în tirantul macaz

Calculul se face pe structura din Fig. 2.3. Bara 1-4 reprezintă grinda de beton armat ce trebuie consolidată, bara 1-5-6-4 tirantul, iar barele 2-5 și 3-6 schematizează montanții. Se vor determina eforturile în tirant produse de o sarcină uniform distribuită p_c , dispusă pe grindă după realizarea consolidării ei.

Cazul $e=0$

Structura are un singur grad de nedeterminare statică, iar ca necunoscută poate fi ales



efortul axial din tirant notat cu X_1 . Determinarea necunoscutei se face prin metoda eforturilor. Sistemul de bază static determinat este redat în Fig. 2.3.c. Sub acțiunea sarcinii exterioare p_c , diagrama de moment pe sistemul de bază M_{xs} este prezentată în Fig. 2.3.d. Situația de încărcare din $X_1=1$ produce atât diagrama de momente încovoietoare pentru grindă, cât și eforturi axiale în barele articulate.

Eforturile axiale în barele tirantului și în montanți:

$$n_{15} = n_{46} = \frac{1}{\cos \alpha}$$

$$l_{15} = l_{46} = \frac{a}{\cos \alpha}$$

$$n_{25} = n_{36} = -\operatorname{tg} \alpha$$

$$l_{25} = l_{36} = a \operatorname{tg} \alpha$$

Fig. 2.3. Calculul efortului pe o

grindă de beton armat consolidată cu tiranți macaz și montanți

Ecuția de condiție are forma:

$$(\delta_{11} + \rho_{56}) \cdot X_1 + \Delta_{1S} = 0 \quad (2.1)$$

deci $X_1 = -\frac{\Delta_{1S}}{\delta_{11} + \rho_{56}}$, unde:

δ_{11} se referă la grinda și la barele articulate rămase în sistemul de bază, iar

$$\rho_{56} = \frac{l-2a}{E_t \cdot A_t}$$

Calculul deplasării Δ_{1S}

$$\begin{aligned}\Delta_{1S} &= \int M_{xs} \cdot m_{x1} \cdot \frac{ds}{EI} = -\frac{2 \cdot a \cdot p \cdot tg \alpha}{EI} \left[\frac{1}{6}(l-a) \cdot a^2 + \frac{1}{24} \cdot a^3 + \frac{a}{4}(l-2a)(l-a) + \frac{1}{6}(l-2a) \left(\frac{l^2}{4} - l \cdot a + a^2 \right) \right] \\ \Delta_{1S} &= -\frac{2 \cdot a \cdot p}{EI} \cdot tg \alpha \left[\frac{1}{6}(l-a) \cdot a^2 + \frac{1}{24} \cdot a^3 + \frac{a}{4}(l-2a)(l-a) + \frac{1}{24}(l-2a)^3 \right] = \\ &= -\frac{2ap}{EI} \cdot tg \alpha \cdot \frac{1}{24} [4(l-a) \cdot a^2 + a^3 + 6a(l-2a)(l-a) + (l-2a)^3] = \\ &= -\frac{p \cdot a \cdot tg \alpha}{12 EI} (a^3 + l^3 - 2a^2l) \quad (2.2)\end{aligned}$$

Calculul deplasărilor δ_{11} :

$$\begin{aligned}\delta_{11}^{(M)} &= \int m_{x1}^2 \cdot \frac{ds}{ES} = \frac{2}{EI} \cdot \frac{1}{3} \cdot a^3 tg^2 \alpha + \frac{1}{EI} (l-2a) \cdot a^2 tg^2 \alpha = \\ &= \frac{1}{EI} a^2 tg^2 \alpha \left(\frac{2}{3} a + l - 2a \right) = \frac{1}{EI} \frac{a^2 tg^2 \alpha}{3} (3l - 4a)\end{aligned}$$

$$\delta_{11}^{(N)} = \int n_{n1}^2 \frac{ds}{EA} = 2 \cdot \frac{n_{15}^2 l_{15}}{E_t A_t} = \frac{2a}{\cos^3 \alpha \cdot E_t A_t}$$

Deci deplasarea totală din $X_1 = 1$:

$$\begin{aligned}\delta_{11}^{(M)} + \delta_{11}^{(N)} + \delta_{56} &= \frac{a^2 tg^2 \alpha}{3EI} (3l - 4a) + \frac{2a}{\cos^3 \alpha \cdot E_t \cdot A_t} + \frac{l-2a}{E_t \cdot A_t} = \\ &= \frac{a^2 tg^2 \alpha}{3EI} (3l - 4a) + \frac{1}{E_t \cdot A_t} \left(\frac{2a}{\cos^3 \alpha} + l - 2a \right) = \frac{a^2 \cdot tg^2 \alpha}{3EI} (3l - 4a) (1 + \gamma) \quad (2.3)\end{aligned}$$

$$\text{unde } \gamma = \frac{3EI}{E_t \cdot A_t} \cdot \frac{1}{a^2 \cdot tg^2 \alpha (3l - 4a)} \cdot \left(\frac{2a}{\cos^3 \alpha} + l - 2a \right) \quad (2.4)$$

În relația (2.3), comparând pe γ cu 1, se poate aprecia dacă efectul eforturilor axiale din tirant (deformarea tirantului) este sau nu neglijabil pentru cazul concret studiat. (Dacă efectul deformării tirantului este neglijabil, adică $\gamma \ll 1$, punctele intermediare 2 și 3 se comportă ca reazeme fixe. Dacă deformarea tirantului intervine în calcul, cazul curent, efortul X_1 rezultă mai mic, de asemenea eforturile $N_{25} = N_{36}$; efect analog reazemelor elastice tasabile).

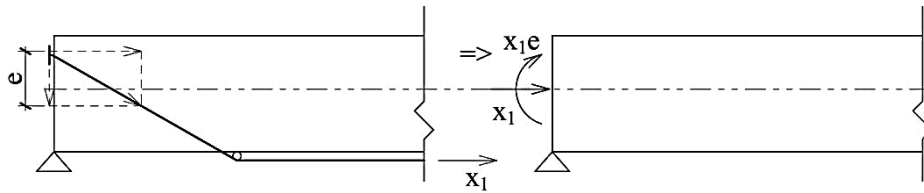
Expresia lui X_1 devine :

$$\begin{aligned}X_1 &= -\frac{\Delta_{1S}}{\delta_{11} + \rho_{56}} = \frac{\frac{a \cdot p \cdot tg \alpha}{12 EI} (a^3 + l^3 - 2a^2l)}{\frac{a^2 \cdot tg \alpha}{3EI} (3l - 4a) (1 + \gamma)} \\ X_1 &= \frac{p \cdot (a^3 + l^3 - 2a^2l)}{4 \cdot a \cdot tg \alpha (3l - 4a)} \cdot \frac{1}{1 + \gamma} \quad (2.5)\end{aligned}$$

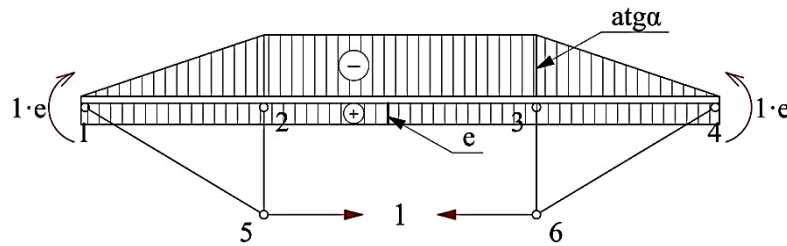
$$\gamma = \frac{3EI}{E_t \cdot A_t} \cdot \frac{\frac{2a}{\cos^3 \alpha} + l - 2a}{a^2 \cdot tg^2 \alpha (3l - 4a)} \quad (2.6)$$

Cazul $e \neq 0$

Apare în situația fixării excentrice a tirantului la capătul grinzii.



Raționamentul este similar celui dezvoltat la cazul $e = 0$, cu diferența că diagrama (m_{x1}) devine:



Valorile deplasărilor Δ_{1S} și δ_{11} , în acest caz, devin:

$$\begin{aligned} \Delta_{1S} &= -\frac{p \cdot a \cdot \operatorname{tg} \alpha}{12EI} (a^3 + l^3 - 2a^2l) + \frac{1}{EI} \cdot \frac{2}{3} \cdot l \cdot \frac{pl^2}{8} \cdot e = \\ &= -\frac{p \cdot a \cdot \operatorname{tg} \alpha}{12EI} (a^3 + l^3 - 2a^2l) + \frac{1}{EI} \cdot \frac{1}{12} \cdot p \cdot l^3 \cdot e = \\ &= -\frac{1}{12EI} [p \cdot a \cdot \operatorname{tg} \alpha (a^3 + l^3 - 2a^2l) + p \cdot l^3 \cdot e] \end{aligned} \quad (2.7)$$

$$\delta_{11}^{(M)} = \frac{1}{EI} \cdot \frac{a^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha}{3} (3l - 4a) + \frac{1}{EI} \cdot l \cdot e^2$$

$$\begin{aligned} \delta_{11}^{(M)} + \delta_{11}^{(N)} + \delta_{56} &= \frac{1}{EI} \left[\frac{a^2 \operatorname{tg}^2 \alpha}{3} (3l - 4a) + l \cdot e^2 \right] + \frac{1}{E_t \cdot A_t} \left(\frac{2a}{\cos^3 \alpha} + l - 2a \right) = \\ &= \frac{1}{3EI} [a^2 \operatorname{tg}^2 \alpha (3l - 4a) + 3l \cdot e^2] \cdot (1 + \gamma_e) \end{aligned} \quad (2.8)$$

$$X_1 = \frac{p \cdot a \cdot \operatorname{tg} \alpha (a^3 + l^3 - 2a^2l) - p \cdot l^3 \cdot e}{4[a^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha (3l - 4a) + 3l \cdot e^2]} \cdot \frac{1}{1 + \gamma_e} \quad (2.9)$$

$$\gamma_e = \frac{3EI}{E_t \cdot A_t} \cdot \frac{\frac{2a}{\cos^3 \alpha} + l - 2a}{a^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha (3l - 4a) + 3l \cdot e^2} \quad (2.10)$$

2.2.2.3. Determinarea coeficientului de eficiență d

Utilizarea relațiilor (2.5) și (2.9) la stabilirea valorii efortului în tirant X_1 necesită cunoașterea prealabilă a ariei tirantului. Aria tirantului este condiționată de limitarea

deformabilității acestuia sub sarcini în vederea asigurării eficienței necesare a sistemului de consolidare. Eficiența sistemului de consolidare se evidențiază cu ajutorul coeficientului de eficiență d, definit ca:

$$d = \frac{\text{Valorea cu care scade momentul din sarcina } p_c, \text{ ca efect al consolidării}}{\text{Momentul care ar apare sub acțiunea sarcinii } p_c, \text{ în absența consolidării}}$$

momente pe grinda de beton armat ce se consolidează. p_c reprezintă sarcina ce acționează pe grindă după efectuarea consolidării.

În cazul $e = 0$, cunoscând relațiile (2.5.) și (2.6.) cu ajutorul cărora se poate determina X_1 , scriem momentul la mijlocul grinzii consolidate sub acțiunea sarcinii

$$p_c = p_{nec} - p_{ef} \quad \text{unde:}$$

p_{nec} = sarcina totală pe care trebuie să o preia grinda după consolidare

p_{ef} = sarcina ce acționează asupra grinzii în momentul dispunerii sistemului de consolidare

$$M_g^c = \frac{p_c \cdot l^2}{8} - a \cdot tg\alpha \cdot X_1 = M_c - a \cdot tg\alpha \cdot X_1 = M_c \left(1 - \frac{a \cdot tg\alpha \cdot X_1}{M_c}\right) = M_c(1 - d) \quad (2.11)$$

unde:

$$d = \frac{a \cdot tg\alpha \cdot X_1}{M_c} = \text{coeficientul de eficiență a sistemului de consolidare} \quad (2.12)$$

sau, dezvoltând (introducând în expresie valoarea lui X_1):

$$d = \frac{a \cdot tg\alpha \cdot \frac{p_c(a^3 l^3 - 2a^2 l)}{4 \cdot a \cdot tg\alpha(3l - 4a)} \cdot \frac{1}{1 + \gamma}}{\frac{p_c \cdot l^2}{8}}$$

$$d = \frac{2(a^3 + l^3 - 2a^2 l)}{l^2(3l - 4a)} \cdot \frac{1}{1 + \gamma}$$

$$\text{Notând } \frac{2(a^3 + l^3 - 2a^2 l)}{l^2(3l - 4a)} = d_{max} \quad (2.13)$$

expresia coeficientului de eficiență devine:

$$d = d_{max} \cdot \frac{1}{1 + \gamma} \quad (2.14)$$

În cazul $e \neq 0$, urmărind un raționament similar celui dezvoltat mai sus, se obține: momentul la mijlocul grinzii:

$$\begin{aligned} M_g^c &= \frac{p_c \cdot l^2}{8} - a \cdot tg\alpha \cdot X_1 + eX_1 = M_c - (a \cdot tg\alpha - e) \cdot X_1 = M_c \left(1 - \frac{a \cdot tg\alpha - e}{M_c} \cdot X_1\right) \\ &= M_c(1 - d) \end{aligned}$$

unde:

$$d = \frac{a \cdot tg\alpha - e}{M_c} \cdot X_1 \quad (2.15)$$

Introducând valoarea lui X_1 în expresia lui d obținem:

$$d = \frac{2[a \cdot tg\alpha \cdot (a^3 + l^3 - 2a^2l) - l^3 \cdot e] \cdot (a \cdot tg\alpha - e)}{l^2 \cdot [a^2 \cdot tg^2\alpha \cdot (3l - 4a) + 3l \cdot e^2]} \cdot \frac{1}{1 + \gamma_e}$$

$$\text{Notând } d_{\max} = \frac{2[a \cdot tg\alpha (a^3 + l^3 - 2a^2l) - l^3 e](a \cdot tg\alpha - e)}{l^2 [a^2 \cdot tg^2\alpha \cdot (3l - 4a) + 3l \cdot e^2]} \quad (2.16)$$

expresia coeficientului de eficiență devine:

$$d = d_{\max} \cdot \frac{1}{1 + \gamma_e} \quad (2.17)$$

Coeficientul de eficiență al sistemului de consolidare d variază, pentru o grindă de beton armat dată și pentru o anumită configurație a traseului tirantului, cu variația ariei secțiunii tirantului A_t .

Pentru situația de încărcare dată (la care $M_{nec} > M_{cap}$, deci este necesară sporirea capacității portante a grinzii) se determină valoarea minimă necesară a coeficientului de eficiență, d_{nec} .

$$M_c \cdot (1 - d) \leq M_{cap} - M_{ef}$$

$$(M_{nec} - M_{ef}) \cdot (1 - d) \leq M_{cap} - M_{ef}$$

$$1 - d \leq \frac{M_{cap} - M_{ef}}{M_{nec} - M_{ef}}$$

$$d \geq 1 - \frac{M_{cap} - M_{ef}}{M_{nec} - M_{ef}}$$

$$d \geq \frac{M_{nec} - M_{cap}}{M_{nec} - M_{ef}} = d_{nec}$$

Adoptând pentru tirant arii A_t ce ar conduce la o valoare a coeficientului d mai mică decât valoarea d_{nec} , eficiența sistemului de consolidare este nesatisfăcătoare (grinda de beton armat se distruge sub sarcina p_c prin depășirea lui M_{cap}).

Dacă $d_{nec} > d_{\max}$, sistemul pasiv nu poate prelua sarcina suplimentară și este necesară adoptarea unui sistem activ.

Sistemul activ preia sarcina aplicată după intrarea în lucru a sistemului de consolidare, printr-un mecanism care poate fi schematizat ca și în continuare:

- o parte a sarcinii suplimentare este preluată prin efect pasiv, corespunzător ariei efective a tirantului și calculat în consecință;

• restul sarcinii suplimentare (până la cea corespunzătoare lui M_{nec}) este echilibrată de efectul activ, similar unui sistem de forțe exterioare, care se manifestă asupra grinzii ce se consolidează prin reacțiuni dispuse în dreptul punctului de schimbare a traseului tirantului, cu valoarea:

$$V_{1\text{ activ}} = X_{1\text{ activ}} \cdot tg\alpha$$

respectiv o forță axială, dispusă pe reazem și acționând cu excentricitatea e .

Predimensionarea forței de preîntindere în tirant se poate face după cum urmează:

- pentru A_t ales, se determină $X_{1\text{ pasiv}}$
- se calculează $M_{\text{pasiv}} = a \cdot tg \alpha \cdot X_{1\text{ pasiv}} - e \cdot X_{1\text{ pasiv}}$
- momentul necesar a fi preluat prin pretensionare:

$$M_{\text{activ}} = M_{\text{nec}} - M_{\text{ef}} - M_{\text{pasiv}}$$

de unde

$$X_{\text{activ}} = \frac{M_{\text{activ}}}{a \cdot tg\alpha - e}$$

în care: M_{pasiv} = momentul preluat de sistemul de consolidare prin e

M_{activ} = momentul preluat de sistemul de consolidare prin efect activ, preîntinderea tirantului

X_{activ} = valoarea forței de preîntindere în tirant, după consumarea pierderilor

2.2.2.4. Nomograme pentru determinarea ariei tirantului funcție de coeficientul de eficiență necesar d_{nec} [38][74]

Dacă în expresia (2.17) introducem caracteristicile corespunzătoare unei grinzi de beton armat (b, h, l, E_b) și caracteristicile tirantului macaz (α, a, e, E_t), dând lui A_t valori cuprinse între 0 și 100 cm² se obțin valori corespunzătoare ale lui d . Reprezentarea grafică a acestei variații, pentru grinzi cu caracteristici diferite, conduce la realizarea setului de nomograme prezentate în continuare.

Se poate observa scăderea eficienței sistemului de consolidare pasiv cu creșterea excentricității componentei orizontale a efortului din tirant față de axa grinzii ce se consolidează, pe reazem. De asemenea, creșterea excentricității face ca influența caracteristicilor traseului tirantului (α, a) să aibă pondere din ce în ce mai mică în valoarea lui d .

Utilizarea nomogramelor presupune determinarea prealabilă a valorii d_{nec} .

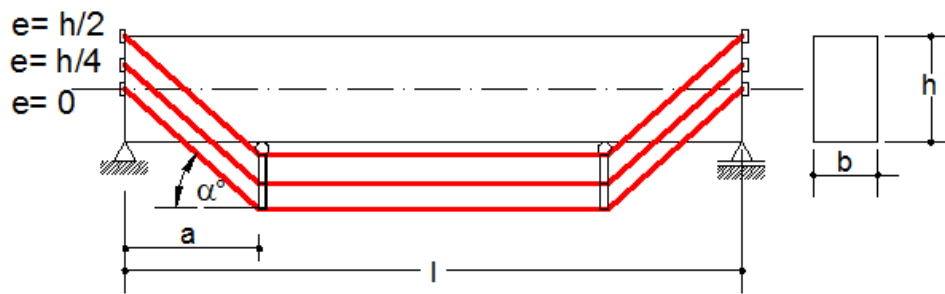
Dacă $d_{nec} < d_{max}$, cu valoarea respectivă se intră în nomogramă și se obține valoarea corespunzătoare a ariei tirantului A_t .

Dacă $d_{nec} > d_{max}$, sistemul pasiv nu este capabil să preia singur solicitarea suplimentară și în consecință este necesară introducerea unui efort de preîntindere în tirant [38][74].

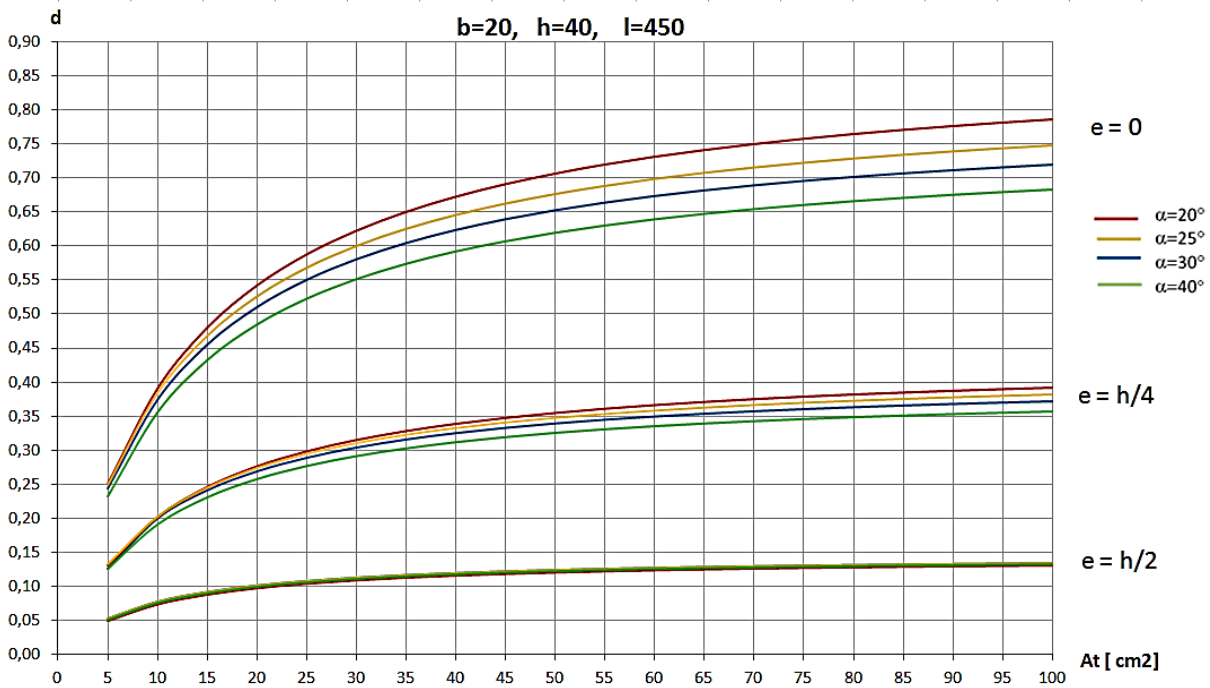
Predimensionarea tiranților macaz s-a făcut pentru două cazuri de dispunere a tirantului:

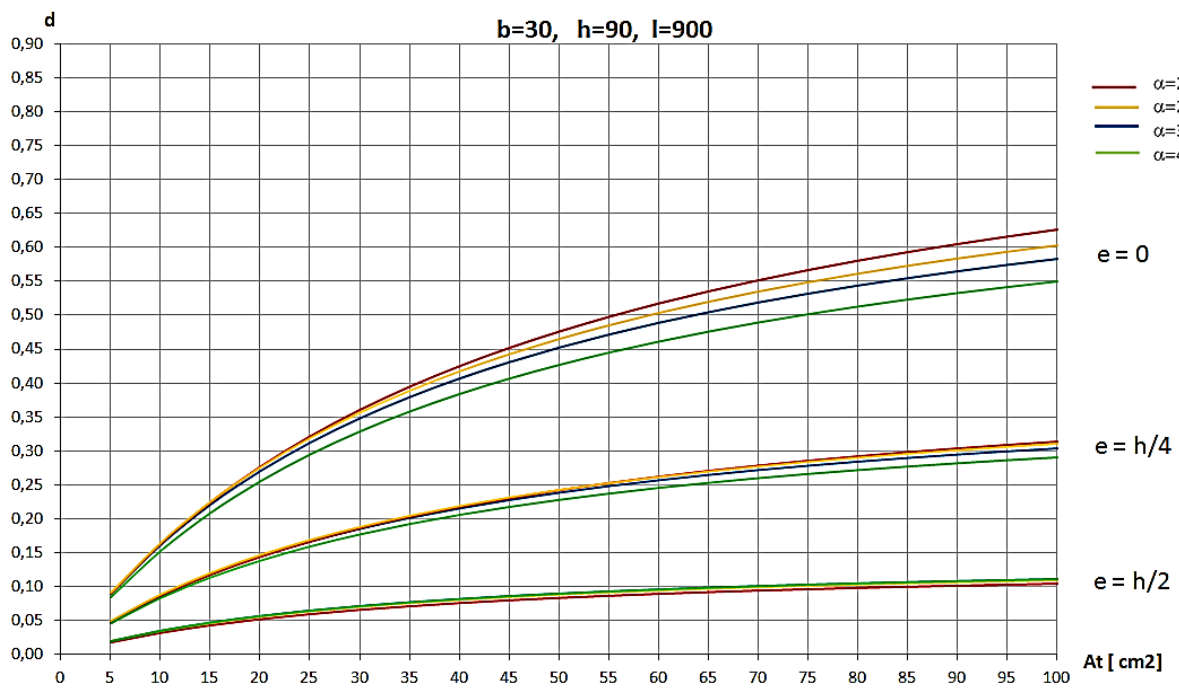
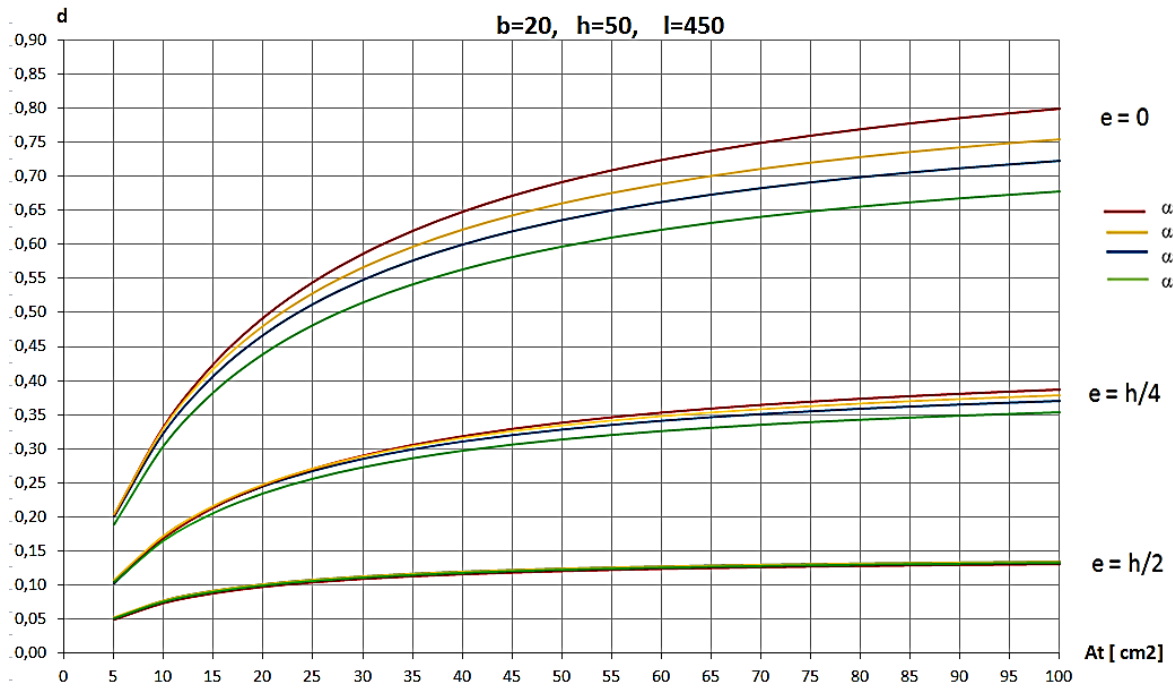
Cazul 1: se păstrează valoarea lui a , indiferent de excentricitatea cu care este fixat tirantul

Schema cu modul de dispunere a tiranților care a fost utilizată în acest caz la generarea nomogramelor este următoarea:



Nomogramele obținute pentru câteva cazuri distincte de grinzi sunt redată în continuare:





Pentru predimensionarea ariei tirantului în funcție de coeficientul de eficiență d a fost elaborat și un **program de calcul** în limbajul de programare Matlab. În program au fost introduse următoarele date:

- coeficientul de eficiență necesar (d_{nec});
- caracteristicile geometrice și mecanice ale grinzii de beton armat: b, h, l, E_b ;
- caracteristicile tirantului macaz: a, α, e, E_t ;

Pentru primul caz analizat, codul programului este următorul:

```
function Atdv001(dnec,b,h,l,Eb,e,alfal,Et)
disp('Date introduse:');
disp(['dnec:', ' ', num2str(dnec)]);
disp(['b [cm]:', ' ', num2str(b), ';   ', 'h [cm]:', ' ',
num2str(h), ...
';   ', 'l [cm]:', ' ', num2str(l), ';   ', 'Eb [daN/cm2]:', ' ',
num2str(Eb)]);
disp(['Et [daN/cm2]:', ' ', num2str(Et), ';   ', 'e [cm]:', ' ',
num2str(e), ...
';   ', 'alfal [grad]:', ' ', num2str(alfal)]);
Ib=b*h^3/12;
alfa=degtorad(alfal);
a=(h)/tan(alfa);
if e==0
    ga=2*(a^3+l^3-2*a^2*l)/(l^2*(3*l-4*a)*dnec)-1;
else
    c1=2*(a*tan(alfa)*(a^3+l^3-2*a^2*l)-l^3*e)*(a*tan(alfa)-
e);

    c2=l^2*(a^2*tan(alfa)^2*(3*l-4*a)+3*l*e^2);
    dmax=c1/c2;
    ga=dmax/dnec-1;
end
At=3*Eb*Ib*(2*a/cos(alfa)^3+l-2*a)/...
(Et*ga*(a^2*tan(alfa)^2*(3*l-4*a)+3*l*e^2));
disp(['Rezultate:']);
disp(['Aria tirantului [cm2]:', ' ', num2str(At)]);
end
```

Programul a fost rulat pentru valorile din exemplul de calcul (v. 2.3. Exemplu de calcul) și au fost obținute rezultate similare.

```
>> Atdv001(0.285,20,50,450,245000,12.5,20,2100000);
Date introduse:
dnec: 0.285
b [cm]: 20;   h [cm]: 50;   l [cm]: 450;   Eb [daN/cm2]:
245000
Et [daN/cm2]: 2100000;   e [cm]: 12.5;   alfa1 [grad]: 20
Rezultate:
Aria tirantului [cm2]:   28.546
```

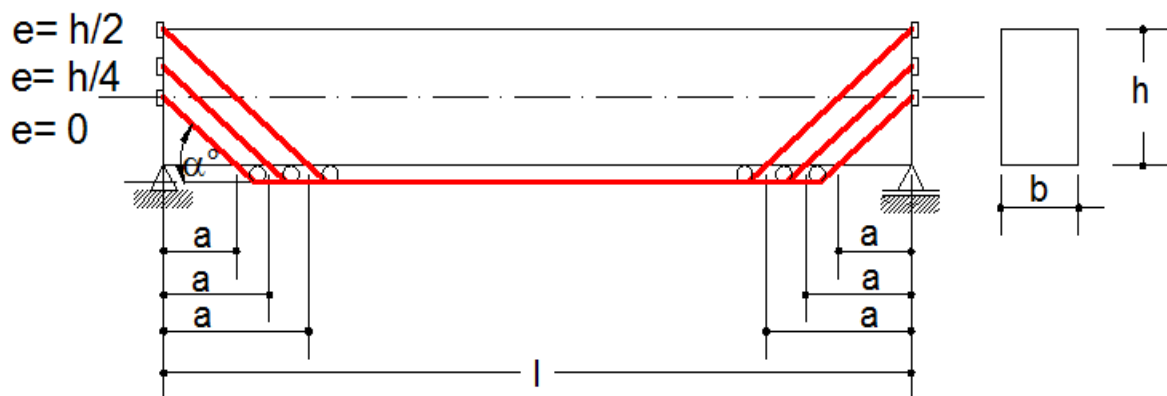
S-au făcut mai multe simulări pentru valori diferite pentru a se compara rezultatele cu cele obținute în nomograme. Toate valorile rezultate sunt similare. Pentru exemplificare în continuare se mai prezintă două rulări ale programului:

```
1. >> Atdv001(0.14,20,50,450,245000,12.5,20,2100000);
Date introduse:
dnec: 0.14
b [cm]: 20; h [cm]: 50; l [cm]: 450; Eb [daN/cm2]:
245000
Et [daN/cm2]: 2100000; e [cm]: 12.5; alfa1 [grad]: 20
Rezultate:
Aria tirantului [cm2]: 7.498
```

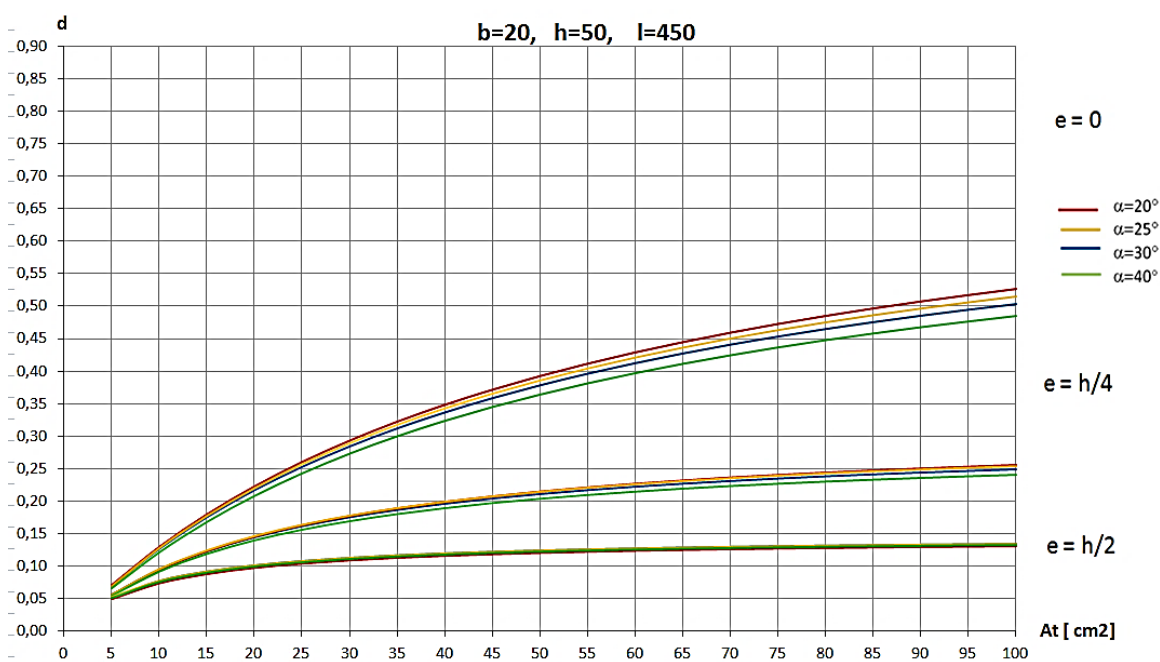
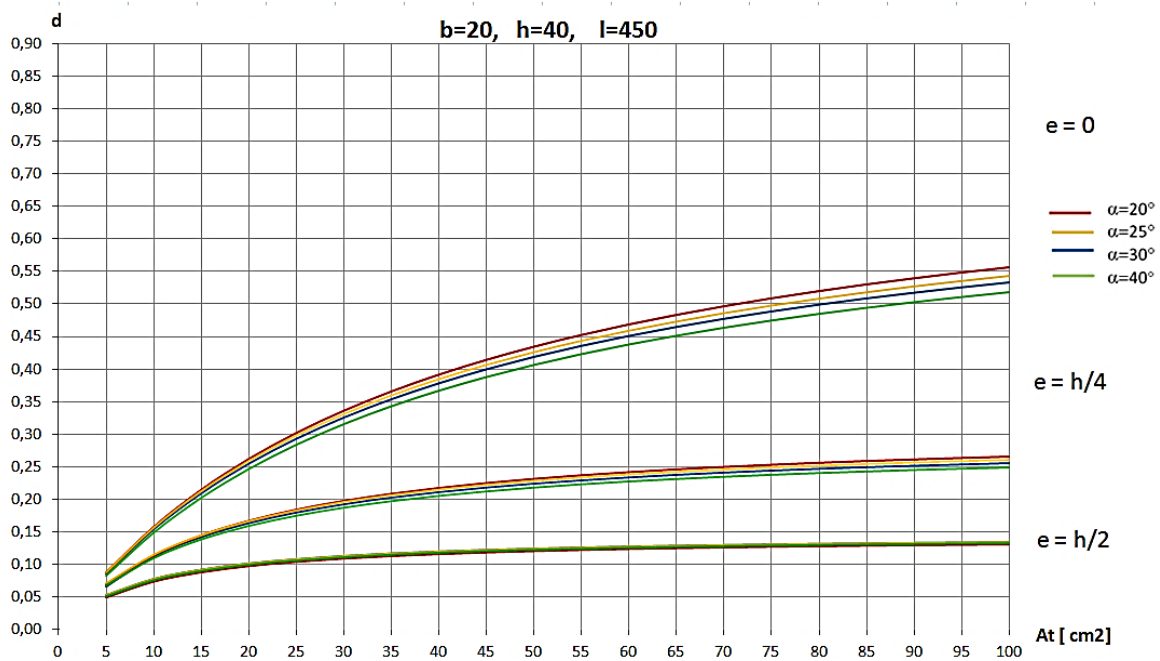
```
2. >> Atdv001(0.20,20,50,450,245000,0,20,2100000);
Date introduse:
dnec: 0.2
b [cm]: 20; h [cm]: 50; l [cm]: 450; Eb [daN/cm2]:
245000
Et [daN/cm2]: 2100000; e [cm]: 0; alfa1 [grad]: 20
Rezultate:
Aria tirantului [cm2]: 4.9415
```

Cazul 2: se păstrează unghiul α și se modifică valoarea lungimii a , respectiv a înălțimii grinzii care se ia în calcul (care se modifică datorită fixării excentrice a tirantului).

Schema cu modul de dispunere a tiranților care a fost utilizată în acest caz la generarea nomogramelor este redată mai jos:



Nomogramele obținute pentru două cazuri distincte de grinzi sunt prezentate mai jos:



Se remarcă scăderea eficienței sistemului de consolidare în acest caz datorită apropierii (scăderii valorii lui a) de reazem a punctului de schimbare de direcție a tirantului.

Codul programului de calcul elaborat pentru acest caz este următorul:

```
function Atdv002 (dnec,b,h,l,Eb,e,alfa1,Et)
disp('Date introduse:');
disp(['dnec:', ' ', num2str(dnec)]);
disp(['b [cm]:', ' ', num2str(b), '; ', 'h [cm]:', ' ',
', num2str(h), ...
```

```

';    ', 'l [cm]:', ' ', num2str(l), ';    ', 'Eb [daN/cm2]:', ' '
', num2str(Eb) ]);
disp(['Et [daN/cm2]:', ' ', num2str(Et), ';    ', 'e [cm]:', ' '
', num2str(e), ...
';    ', 'alfa1 [grad]:', ' ', num2str(alfa1) ]);
Ib=b*h^3/12;
alfa=degtorad(alfa1);
a=(h/2+e)/tan(alfa);
if e==0
    ga=2*(a^3+l^3-2*a^2*l)/(l^2*(3*l-4*a)*dnec)-1;
else
    c1=2*(a*tan(alfa)*(a^3+l^3-2*a^2*l)-l^3*e)*(a*tan(alfa)-
e);
    c2=l^2*(a^2*tan(alfa)^2*(3*l-4*a)+3*l*e^2);
    dmax=c1/c2;
    ga=dmax/dnec-1;
end
At=3*Eb*Ib*(2*a/cos(alfa)^3+l-2*a)/...
(Et*ga*(a^2*tan(alfa)^2*(3*l-4*a)+3*l*e^2));
disp(['Rezultate:']);
disp(['Aria tirantului [cm2]:', ' ', num2str(At) ]);
end

```

Și pentru acest caz au fost rulate, în limbajul de programare Matlab, cazurile prezentate la punctul anterior și s-au comparat rezultatele. Valorile obținute în urma rulării sunt similare cu cele din nomograme.

```

1.>> Atdv002(0.14,20,50,450,245000,12.5,20,2100000);
Date introduse:
dnec: 0.14
b [cm]: 20;    h [cm]: 50;    l [cm]: 450;    Eb [daN/cm2]:
245000
Et [daN/cm2]: 2100000;    e [cm]: 12.5;    alfa1 [grad]: 20
Rezultate:
Aria tirantului [cm2]:    18.6129

```

```

2. >> Atdv002(0.20,20,50,450,245000,0,20,2100000);
Date introduse:
dnec: 0.2
b [cm]: 20;    h [cm]: 50;    l [cm]: 450;    Eb [daN/cm2]:
245000
Et [daN/cm2]: 2100000;    e [cm]: 0;    alfa1 [grad]: 20
Rezultate:
Aria tirantului [cm2]:    17.2661

```

2.2.3. Calculul tiranților macaz de consolidare pentru cazul de încărcare cu forța concentrată. Starea de eforturi. Verificări

Se prezintă modul de calcul utilizat în [61] pentru stabilirea valorii forței de întindere static nedeterminate din tijele tirantului macaz, având cunoscută aria tirantului, A_t . Schemele de calcul pe baza cărora s-a condus calculul, sunt prezentate în Fig. 2.4.

În punctele de schimbare a direcției tijelor tirantului macaz, unde ele reazemă, prin intermediul unor piese de reazem, pe grinda de beton armat ce se consolidează apar forțe de frecare T_{fx} . Aceste forțe au fost luate în considerare la deducerea formulelor de calcul, admitând pentru coeficientul de frecare o valoare medie de $\mu = 0,45$.

Forța orizontală X' care se transmite porțiunii înclinate a tijelor, ținând cont și de forța de frecare, s-a determinat ca în continuare:

$$T_{fx} = \mu \cdot V_x = \mu \cdot X' \cdot \sin \alpha$$

$$N_x = X' \cdot \cos \alpha$$

$$X = T_{fx} + N_x = X'(\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha)$$

$$X' = \frac{X}{\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha}$$

$$\text{și se obține : } N_x = X \cdot \frac{\cos \alpha}{\mu \sin \alpha + \cos \alpha}$$

Utilizând ultima expresie și alegând diferite valori ale unghiului α (unghiul de înclinare al tijelor) se poate determina valoarea lui N_x , ținând seama de frecarea efectivă. Întrucât practic unghiul variază de la 10° până la 40° , în aceste condiții se pot găsi limitele de variație ale mărimii N_x . Aceste calcule sunt sistematizate în tabel. Astfel, valoarea medie a lui N_x poate fi luată egală cu $0,825 X$, iar $X'_{med} = 0,925 X$.

Întrucât ancorarea tijelor tiranților – macaz se realizează la partea de sus a elementului care se consolidează, aspect de care s-a ținut cont și la predimensionarea tiranților, pe reazeme se produc momente încovoietoare suplimentare.

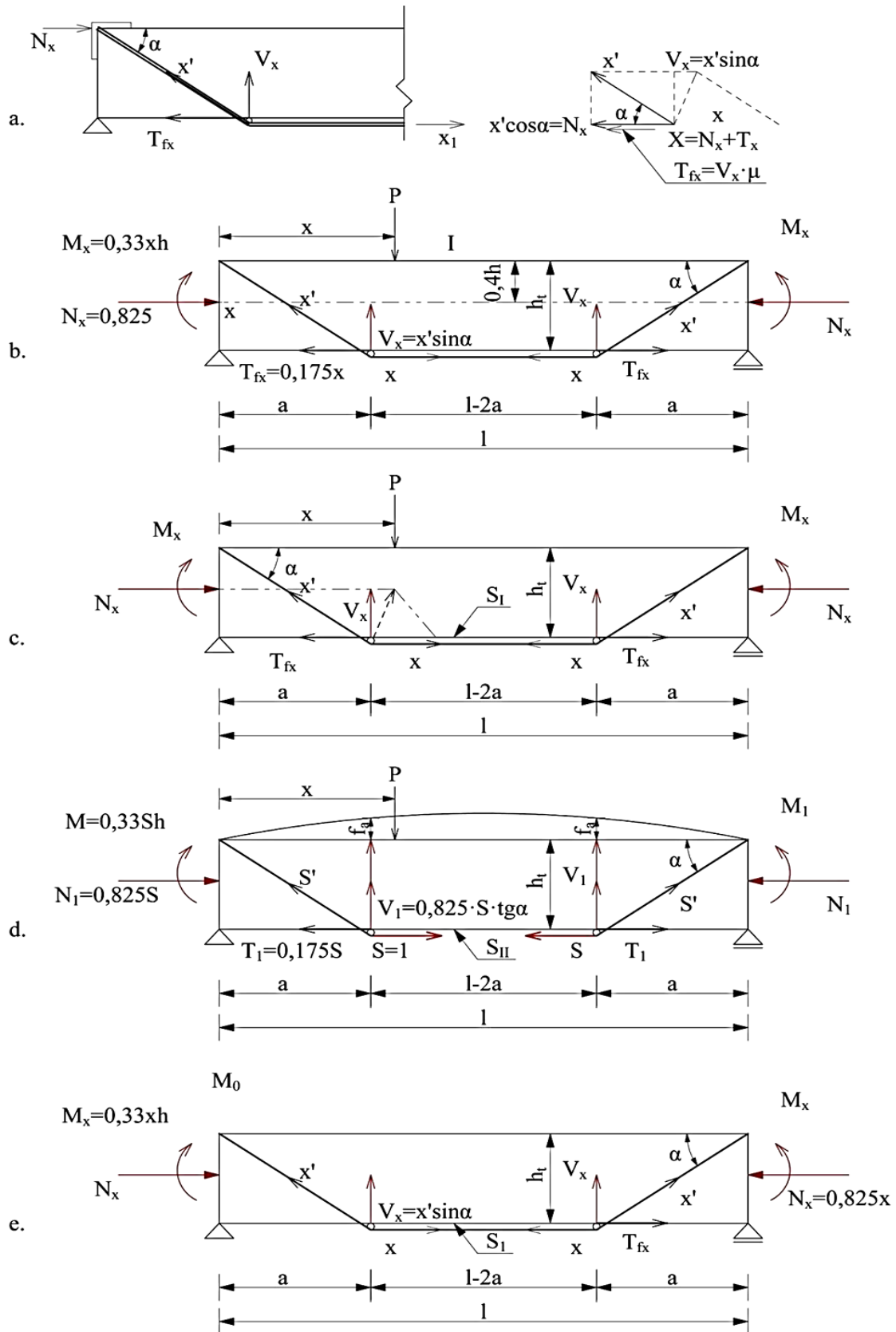


Fig. 2.4. Schemele de calcul ale tiranților macaz de consolidare: a) schema forțelor; b) schema de calcul; c) stadiu I; d) stadiul II; e) schema de calcul când pe reazem acționează un moment M_0

α	$\cos \alpha$	$\sin \alpha$	$0,45 \cdot \sin \alpha$	$\cos \alpha + 0,45 \sin \alpha$	$\frac{1}{\cos \alpha + 0,45 \sin \alpha}$	$N_x = \frac{X \cos \alpha}{\cos \alpha + 0,45 \sin \alpha}$
10°	0,985	0,174	0,078	1,063	0,940	0,925 X
15°	0,966	0,259	0,116	1,082	0,924	0,891 X
20°	0,940	0,342	0,154	1,094	0,915	0,860 X
25°	0,906	0,423	0,190	1,096	0,912	0,825 X
30°	0,866	0,500	0,255	1,091	0,917	0,795 X
35°	0,819	0,574	0,258	1,077	0,929	0,761 X
40°	0,766	0,643	0,289	1,055	0,947	0,725 X
media	—	—	—	—	$\frac{6,484}{7} = 0,925$	$\frac{5,782}{7} X = 0,825 X$

Tab. 2.1. Determinarea valorii medii a mărimii N_x

Conform rezultatelor unor experimente numerice făcute, poziția axei neutre se poate lua în medie la distanța de 0,4 h față de fibra superioară comprimată. În acest caz valoarea medie a momentului încovoietor de pe reazem va fi:

$$M_x = 0,825 X \cdot 0,4 h = 0,33 X \cdot h$$

Mărimea necunoscută X (efortul din tijele porțiunii orizontale al tirantului macaz) s-a determinat utilizând principiul reciprocității lucrului mecanic. Schema de calcul a elementului consolidat este redată în Fig. 2.4.b.

Primul stadiu al sistemului va fi starea efectivă, reprezentată în Fig. 2.4.c, când asupra acestuia acționează sarcina P, forțele X și N_x și momentele de pe reazeme M_x . Al doilea stadiu este acela în care în locul forțelor X acționează forțele unitare $S=1$, iar sarcina exterioară lipsește, conform Fig. 2.4.d. S-au stabilit expresiile unghiului de rotire (φ) al capetelor elementului de beton armat, produs de forțele $S = 1$ și valoarea săgeților f_a și f_x ale acestuia la distanțele a și x măsurate de la reazeme (vezi Fig. 2.4.d).

Conform calcului dezvoltat în [61], pentru porțiunea de lungime a obținem, pentru necunoscuta X:

$$X = P U y', \quad (2.18)$$

respectiv, pentru porțiunea de mijloc, situată la distanțele a față de cele două reazeme, avem:

$$X = P U y'' \quad (2.19)$$

unde expresiile lui U, y' și y'' sunt date de :

$$U = \frac{l^3}{4,13 a [2,40 a K K_0 + 0,712 h_t (l - 1,57 a) + 1,20 l K_1 + 1,76 K (l - 2a)]} \quad (2.20)$$

$$y' = \frac{3ax(l-a) - x^3 - x(l-x)a \cdot 1,21}{l^3} \quad (2.21)$$

$$y'' = \frac{[3x(l-x) - a^2]a - x(l-x)a \cdot 1,21}{l^3} \quad (2.22)$$

unde

$$K = \frac{EI}{E_t A_t h_t} \quad ; \quad K_0 = \frac{1}{\cos^3 \alpha} \quad ; \quad K_1 = \frac{l}{Ah_t} \quad (2.23)$$

Pentru valorile particulare

$$a = \frac{l}{3}; \quad a = \frac{l}{4}; \quad a = \frac{l}{5}; \quad a = \frac{l}{6}$$

conform expresiei (2.20) obținem următoarele valori ale lui U:

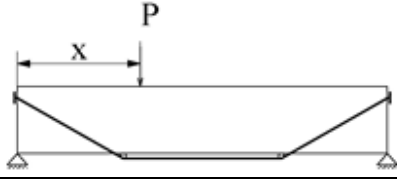
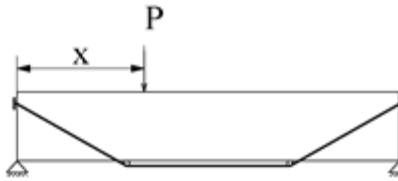
$$\text{pentru } a = \frac{l}{3} \quad U = \frac{l}{1,10 KK_0 + 0,47 h_t + 1,65 K_1 + 0,81 K} = U_1 l \quad (2.24)$$

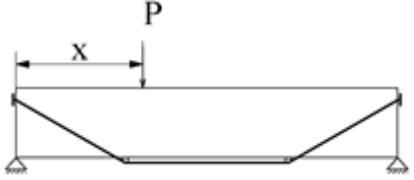
$$\text{pentru } a = \frac{l}{4} \quad U = \frac{l}{0,62 KK_0 + 0,45 h_t + 1,24 K_1 + 0,91 K} = U_2 l \quad (2.25)$$

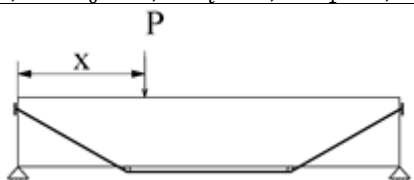
$$\text{pentru } a = \frac{l}{5} \quad U = \frac{l}{0,40 KK_0 + 0,40 h_t + 0,99 K_1 + 0,87 K} = U_3 l \quad (2.26)$$

$$\text{pentru } a = \frac{l}{6} \quad U = \frac{l}{0,28 KK_0 + 0,36 h_t + 0,83 K_1 + 0,81 K} = U_4 l \quad (2.27)$$

Cu ajutorul expresiilor (2.18) și (2.19) au fost calculate ordonatele liniilor de influență pe baza cărora au fost întocmite tabelele de calcul.

$a = \frac{l}{3};$ $U_1 = \frac{1}{1,10 KK_0 + 0,47 h_t + 1,65 K_1 + 0,81 K}$		$a = \frac{l}{4};$ $U_2 = \frac{1}{0,62 KK_0 + 0,45 h_t + 1,24 K_1 + 0,91 K}$	
			
$X = U_1 P l y$		$X = U_2 P l y$	
x/l	y	x/l	y
0,05	0,01430	0,05	0,1360
0,10	0,02980	0,10	0,02810
0,15	0,04570	0,15	0,04260
0,20	0,06150	0,20	0,05620
0,25	0,07640	0,25	0,06840
0,30	0,08950	0,30	0,07840
0,33	0,09640	0,35	0,08640
0,35	0,09970	0,40	0,09190
0,40	0,10720	0,45	0,09550
0,45	0,11160	0,50	0,09640
0,50	0,11320		

$a = \frac{l}{5};$	
$U_3 = \frac{1}{0,40 KK_0 + 0,40h_t + 0,99 K_1 + 0,87 K}$	
	
$X = U_3 P l y$	
x/l	y
0,05	0,01240
0,10	0,02520
0,15	0,03780
0,20	0,04940
0,25	0,05920
0,30	0,06700
0,35	0,07350
0,40	0,07800
0,45	0,08070
0,50	0,08160

$a = \frac{l}{6};$	
$U_4 = \frac{1}{0,28 KK_0 + 0,36 h_t + 0,83 K_1 + 0,81 K}$	
	
$X = U_4 P l y$	
x/l	y
0,05	0,01120
0,10	0,02250
0,15	0,03350
0,167	0,03680
0,20	0,04310
0,25	0,05320
0,30	0,05830
0,35	0,06370
0,40	0,06720
0,45	0,06920
0,50	0,07030

Grinzi static nedeterminate consolidate cu sistem macaz

Pentru calculul elementelor continue sau încastrate elastic sau perfect pe reazeme, consolidate cu sisteme macaz, vom examina cazurile în care asupra elementului acționează un moment oarecare aplicat pe reazem, a cărui valoare și semn se iau conform tipului de încastrare. [61]

Schema de calcul este prezentată în Fig. 2.4.e. Analog cu cele precedente, avem expresiile :

$$\text{Coeficienți comuni: } K = \frac{EI}{E_t A_t h_t} \quad K_0 = \frac{1}{\cos^3 \alpha} \quad K_1 = \frac{I}{A h_t}$$

Pentru X s-a obținut valoarea

$$X = \frac{\varphi}{\frac{l-2a}{E_t A_t} + \delta_{11} - 0,66 h_t \varphi} M_0 = M_0 \frac{\varphi}{H} \quad (2.28)$$

unde

$$\frac{\varphi}{H} = U \frac{1}{l} \cdot \frac{1,8 (l - 1,67 a) a}{l^2} = U \frac{1}{l} y''' \quad (2.29)$$

iar,

$$y''' = \frac{1,8(l-1,67a)a}{l^2} \quad (2.30)$$

Valoarea lui U se păstrează conform (2.20).

Pentru valorile particulare ale lui a avem:

pentru $a = \frac{l}{3}$ $y''' = 0,266$

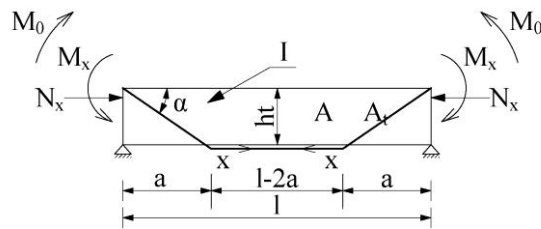
pentru $a = \frac{l}{4}$ $y''' = 0,262$

pentru $a = \frac{l}{5}$ $y''' = 0,240$

pentru $a = \frac{l}{6}$ $y''' = 0,216$

și în consecință $X = M_0 U \cdot \frac{1}{l} \cdot y'''$

Cu ajutorul acestor valori a fost întocmită Tab.2.2.



$$X = U_i y''' M_0$$

Coeficienți comuni: $K = \frac{EI}{E_t A_t h_t}$; $K_0 = \frac{1}{\cos^3 \alpha}$; $K_1 = \frac{l}{A h_t}$	
$a = \frac{1}{3}l$	$U_1 = \frac{1}{1,10 K K_0 + 0,47 h_t + 1,65 K_1 + 0,81 K}$; $y''' = 0,266$
$a = \frac{1}{4}l$	$U_2 = \frac{1}{0,62 K K_0 + 0,45 h_t + 1,24 K_1 + 0,91 K}$; $y''' = 0,262$
$a = \frac{1}{5}l$	$U_3 = \frac{1}{0,40 K K_0 + 0,40 h_t + 0,99 K_1 + 0,87 K}$; $y''' = 0,240$
$a = \frac{1}{6}l$	$U_4 = \frac{1}{0,28 K K_0 + 0,36 h_t + 0,83 K_1 + 0,81 K}$; $y''' = 0,216$

Tab. 2.2. Coeficienții utilizați în calculul efortului din tirant pentru valori particulare ale lui a

Calculul efortului în tirantul macaz de consolidare pentru cazul de încărcare a grinzii cu forța concentrată s-a făcut și utilizând un program de calcul creat în limbajul de programare Matlab.

În program au fost introduse următoarele date:

- caracteristicile geometrice și mecanice ale grinzii de beton armat: b, h, l, E_b ;
- caracteristicile tirantului macaz: E_t, A_t ;
- distanța pe orizontală de la reazem până la forța concentrată x ;
- forța concentrată care acționează asupra grinzii P .

Codul programului este următorul:

```
function [X] = Efort_tirantv001(x,P,b,h,l,Eb,Et,At)
disp('Date introduse:');
disp(['x [cm]:', ' ', num2str(x), ';    ', 'P [daN]:', ' ',
', num2str(P) ]);
disp(['b [cm]:', ' ', num2str(b), ';    ', 'h [cm]:', ' ',
', num2str(h), ...
';    ', 'l [cm]:', ' ', num2str(l), ';    ', 'Eb [daN/cm2]:', ' ',
', num2str(Eb) ]);
disp(['Et [daN/cm2]:', ' ', num2str(Et), ';    ', 'At [cm2]:', ' ',
', num2str(At) ]);
Ib=b*h^3/12;
A=b*h;
K=Eb*Ib/(Et*At*h);
a=l/3;
alfa=atan(h/a);
K0=1/cos(alfa)^3;
K1=Ib/(A*h);
U1=1/(1.1*K*K0+0.47*h+1.65*K1+0.81*K);
y=(3*a*x*(1-a)-x^3-x*(1-x)*a*1.21)/l^3;
X=U1*P*l*y;
disp(['Rezultate:']);
disp(['y:', ' ', num2str(y) ]);
disp(['X [daN]:', ' ', num2str(X) ]);
end
```

S-au făcut simulări pentru poziții diferite ale forței concentrate. Se prezintă în continuare rulări pentru două din aceste cazuri.

```
>> Efort_tirantv001(225,6250,20,50,450,245000,2100000,20);
Date introduse:
x [cm]: 225;    P [daN]: 6250
b [cm]: 20;    h [cm]: 50;    l [cm]: 450;    Eb [daN/cm2]:
245000
Et [daN/cm2]: 2100000;    At [cm2]: 20
```

Rezultate:

y: 0.1075

X [daN]: 3715.3827

```
>> Efort_tirantv001(45,6250,20,50,450,245000,2100000,20);
```

Date introduse:

x [cm]: 45; P [daN]: 6250

b [cm]: 20; h [cm]: 50; l [cm]: 450; Eb [daN/cm²]:
245000

Et [daN/cm²]: 2100000; At [cm²]: 20

Rezultate:

y: 0.029367

X [daN]: 1014.9619

Algoritmul de calcul al consolidării unei grinzi de beton armat cu tirant macaz constă în următoarele etape [39]:

1. Determinarea stării de solicitare a grinzii (M_{nec} , M_{ef}) și a caracteristicilor ei (M_{cap} , E_{bet}). Stabilirea parametrilor geometrici (α , a , e) și a calității oțelului din tirant.

2. Determinarea coeficientului de eficiență necesar d_{nec} .

3. Stabilirea cu ajutorul nomogramelor a tipului de consolidare adecvat: (i) sistem pasiv, (ii) sistem activ.

4. Predimensionarea:

- A_t la sistemul pasiv;

- A_t și forța de preîntindere X_{activ} la sistemul activ.

5. Calculul stării de eforturi în elementele ansamblului grindă consolidată – tirant macaz.

6. Verificarea:

$$M_{nec} - a \cdot tg\alpha \cdot (X_{1\ pasiv} + X_{1\ activ}) + e \cdot (X_{1\ pasiv} + X_{1\ activ}) \leq M_{cap}^*$$

unde

M_{cap}^* = momentul capabil al grinzii de beton armat ținând cont de prezența efortului axial dat de tirant.

2.3. Exemplu de calcul

2.3.1. Se va dimensiona sistemul de consolidare tip macaz pentru o grindă de beton armat cu caracteristicile de mai jos, la care este necesară majorarea sarcinii capabile.

b x h = 20 x 50, l=450, Bc 15, $\alpha = 20^\circ$, a= 103

$A_a = 10,25 \text{ cm}^2$, PC 52

$$M_{cap} = 12.000 \text{ daN m}$$

$$M_{ef} = 7.000 \text{ daN m}$$

$$M_{nec} = 14.000 \text{ daN m}$$

$$d_{nec} = \frac{M_{nec} - M_{cap}}{M_{nec} - M_{ef}} = 0,285 < d_{max} = 0,493$$

Din nomograme pentru grinda dată și pentru $e = 0,25 \text{ h}$ găsim $A_t = 19,0 \text{ cm}^2$.

Cu A_t astfel aleasă se calculează X_1 pentru $p_c = \frac{8(M_{nec} - M_{ef})}{l^2} = 27,65 \text{ daN/cm}$

$$X_1 = \frac{27,65 \cdot 103 \cdot 0,364 (103^3 + 450^3 - 2 \cdot 103^2 \cdot 450) - 27,65 \cdot 450^3 \cdot 12,5}{4 [103^3 \cdot 0,364^2 (3 \cdot 450 - 4 \cdot 103) + 3 \cdot 450 \cdot 12,5^2]} \cdot \frac{1}{1 + \gamma}$$

$$\text{unde } \gamma = \frac{3 \cdot 0,5 \cdot 245.000 \cdot 208,333 \cdot \left(\frac{2 \cdot 103}{0,830} + 450 - 2 \cdot 103\right)}{2.100.000 \cdot 19 [103^2 \cdot 0,132 (3 \cdot 450 - 4 \cdot 103) + 3 \cdot 450 \cdot 12,5^2]} = 0,619$$

$$X_1 = 8860 \cdot 0,617 = 5471 \text{ daN}$$

Axa neutră determinată pentru secțiunea de beton solicitată la compresiune cu încovoiere rezultă:

$$x = \frac{5471 + 10,25 \cdot 2900}{20 \cdot 95} = 18,52 \text{ cm} < \xi_{lim} h_0 = 27,9 \text{ cm}$$

$$M_{cap}^* = 20 \cdot 18,52 \cdot 95 (46,5 - 0,5 \cdot 18,52) = 13.104 \text{ daN m}$$

$$M_g = \frac{p_c l^2}{8} - X_1 a \operatorname{tg} \alpha + e X_1 \leq M_{cap}^* - M_{ef}$$

$$M_g = \frac{27,65 \cdot 450^2}{8} - 5471 \cdot 103 \cdot 0,364 + 12,5 \cdot 5471 = 5631,59 \text{ daN m}$$

$$M_{cap}^* - M_{ef} = 1.310.400 - 700.000 = 610.400 \text{ daN m}$$

$$M_g < M_{cap}^* - M_{ef}$$

2.3.2. Dacă se dorește creșterea capacității portante la încovoiere a grinzii prezentate mai sus, astfel încât să preia

$$M_{nec} = 18.000 \text{ daN m}$$

$$d_{nec} = \frac{18.000 - 12.000}{18.000 - 7.000} = 0,545 > d_{max} = 0,493$$

rezultă necesitatea introducerii unui efort suplimentar în tirant, de preîntindere, cu schimbarea corespunzătoare a calității oțelului.

Efortul total în tirant va fi:

$$X_t = X_1 + X_p$$

$$\text{rezultat din acțiunea sarcinii } p_c = 8 (M_{nec} - M_{ef}) / l^2 = 43,46 \text{ daN} / \text{m}$$

și respectiv din acțiunea preîntinderii tirantului

$$X_p = \frac{M^{prec}}{a \operatorname{tg} \alpha - e} = 16005 \text{ daN}$$

rezultat din

$$\frac{M^{prec}}{a \operatorname{tg} \alpha - e} = \frac{(18.000 - 14.000)}{(103 \cdot 0,364 - 12,5)}$$

$$M_{cap}^* = 20 \cdot 25,16 \cdot 95 (46,5 - 0,5 \cdot 25,16) = 16.214 \text{ daNm}$$

calculat ținând cont de forța axială și momentul încovoietor care acționează grinda.

$$M_{cap}^* - M_{ef} = 9214 \text{ daN m}$$

$$M_g = \frac{p_c l^2}{8} - (X_1 a \operatorname{tg} \alpha - e X_1) - (X_p a \operatorname{tg} \alpha - e X_p) \leq M_{cap}^* - M_{ef}$$

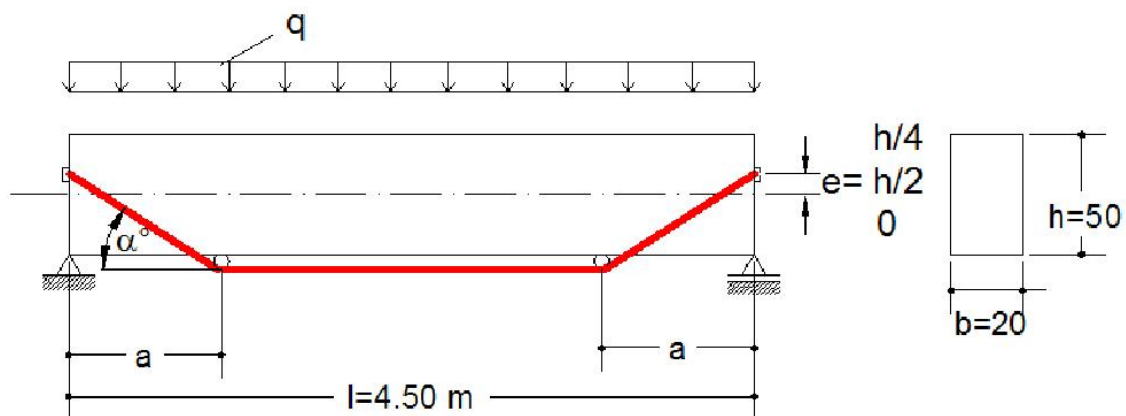
$$M_g = 4979,6 \text{ daN m}$$

$$M_g < M_{cap}^* - M_{ef} \quad [39]$$

2.4. Experimente numerice

Se verifică rezultatele obținute în exemplul anterior utilizând pentru aceasta un calcul, în element finit, folosind programul de calcul Robot.

Elementul liniar, grinda de beton armat



Se consideră următorii parametri pentru grinda de b.a.:

- în secțiune: $b=200 \text{ mm}$; $h = 500 \text{ mm}$; $l=4500 \text{ mm}$; $e=h/4$, $a=103 \text{ mm}$;

- reazem articulat la stânga și simplu rezemat la dreapta;
- clasa de beton BC 15, $E=14700 \text{ N/mm}^2$, coef. lui Poisson $=0,2$;
- armătura: oțel beton PC 52 $E=210000 \text{ N/mm}^2$, coef. lui Poisson $=0,3$;
- aria secțiunii elementelor macaz $A_{em}= 2000 \text{ mm}^2$;
- încărcarea $q=0.138 \text{ N/mm}^2$.

Calculul, ale cărui rezultate sunt prezentate în continuare, urmărește evidențierea eficienței sistemului de consolidare macaz adoptat. Se pun în evidență deplasările grinzii, tensiunile în beton, respectiv tensiunile în tirantul macaz de consolidare. Valorile prezentate în Fig. 2.6-2.8 se referă la cazul particular analizat. Eforturile rezultate au valori similare cu cele obținute în calculul dezvoltat la punctul 2.3.

În continuare sunt prezentate graficele 2.a, 2.b, 2.c obținute prin analiza în element finit a grinzii analizate anterior pentru diferite valori ale ariei tirantului și diferite excentricități. Graficele prezintă eficiența tiranților prin influența ariei tirantului asupra deplasării, asupra tensiunii din beton și asupra tensiunii din tirant. Alura graficelor este similară cu cea a nomogramelor generate la punctul 2.2.2.4, ceea ce confirmă faptul că fenomenul analizat este corect cuantificat.

Analiza făcută este prezentată și în Tab. 2.3 - 2.5 în care sunt folosite ca elemente de referință valorile eforturilor și deformațiilor pentru grinda neconsolidată cu tirant macaz.

Comparația permite evidențierea gradului de eficiență a tirantului macaz funcție de caracteristicile lui geometrice și mecanice.

Rezultate ale calculului în element finit a elementului consolidat analizat

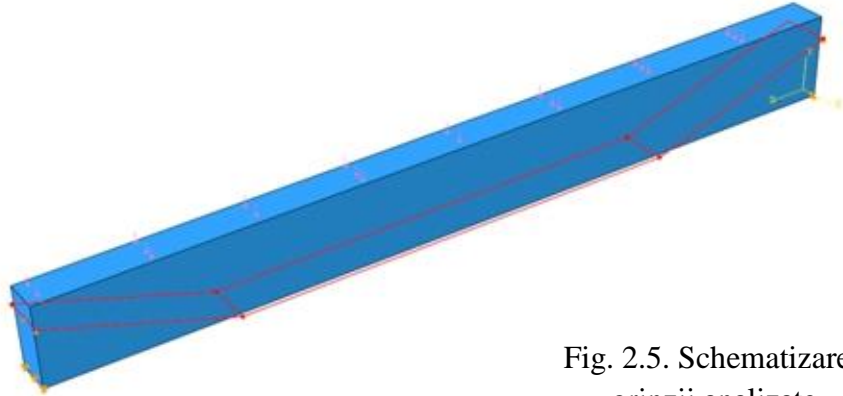


Fig. 2.5. Schematizarea grinzii analizate

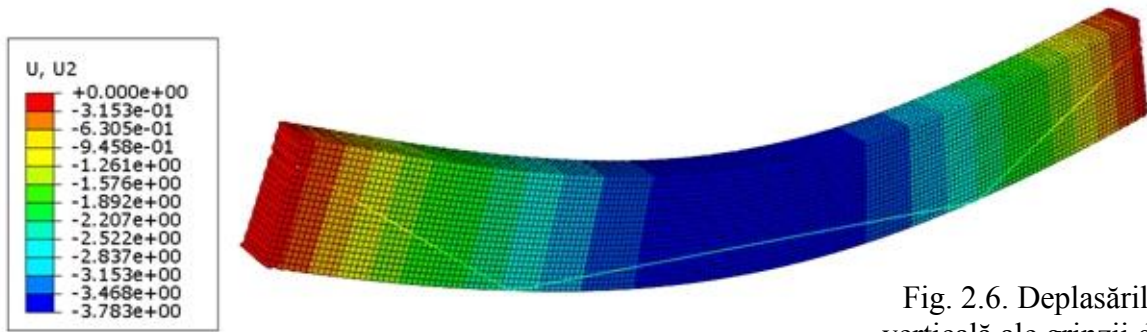


Fig. 2.6. Deplasările pe verticală ale grinzii de b.a. consolidate

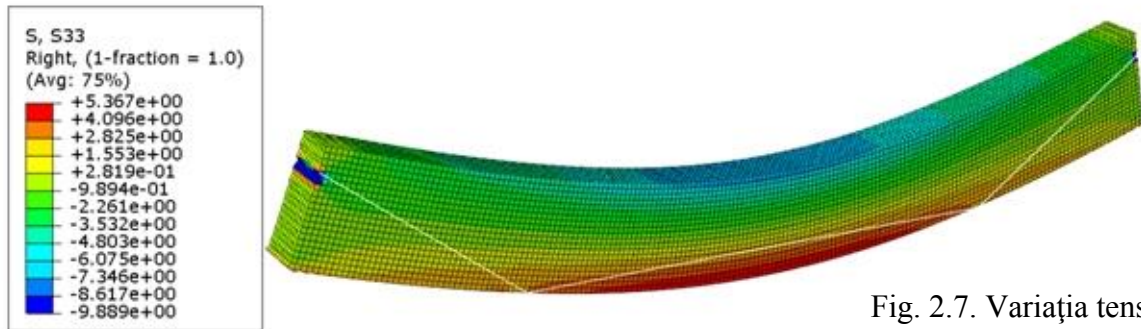


Fig. 2.7. Variația tensiunilor în beton

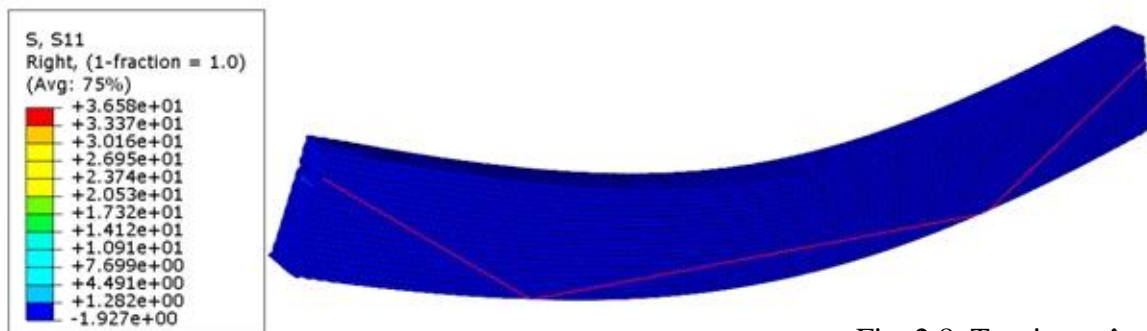
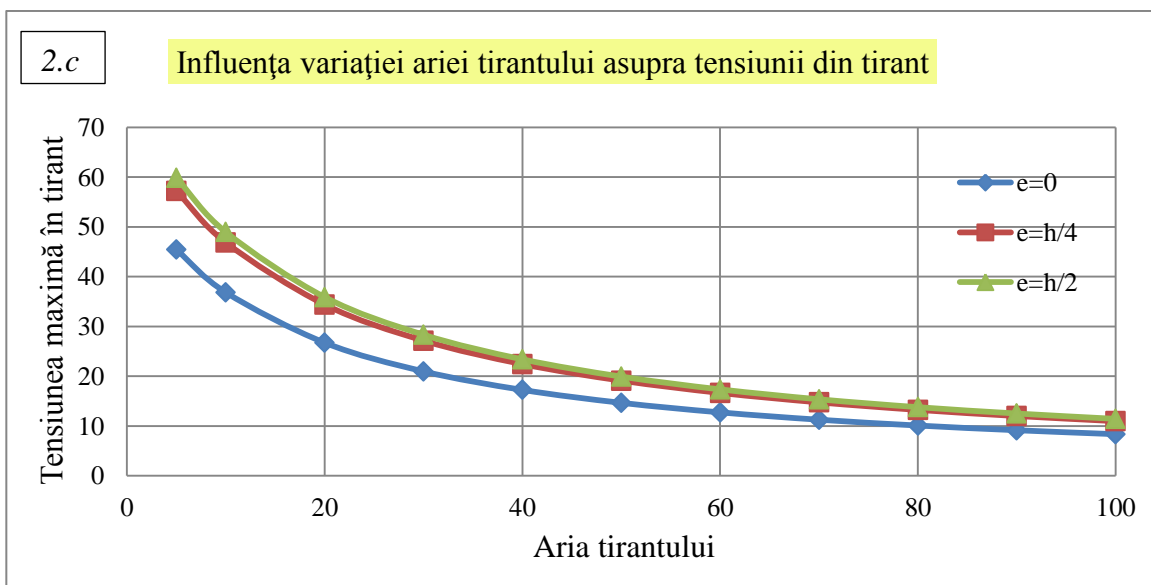
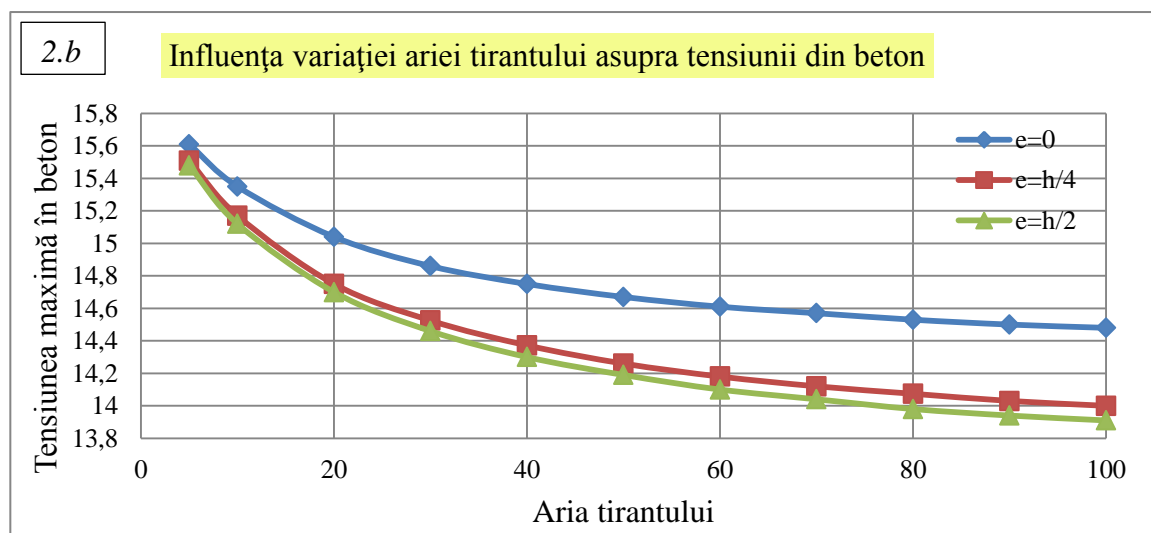
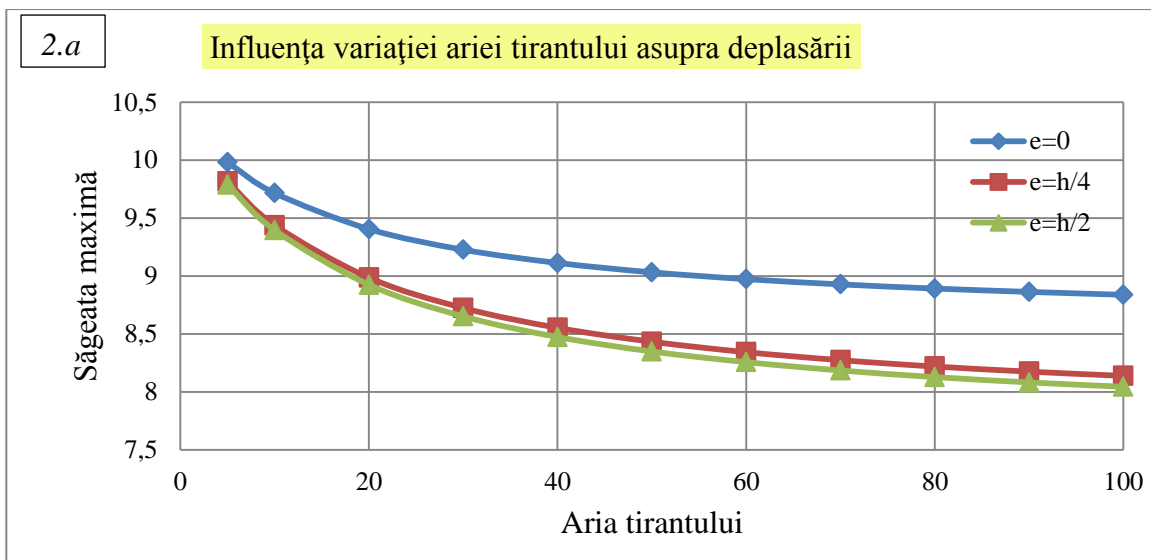


Fig. 2.8. Tensiunea în tirant



Grafice 2.a, 2.b, 2.c ce evidențiază influența ariei tirantului asupra eficienței sistemului de consolidare.

Încarcare inițială	Arie tirant [cm ²]	Săgeata maximă [mm]	Tensiunea maximă în beton [N/mm ²]	Tensiunea maximă în tirantul macaz [N/mm ²]
	0	5,204	8,02	0
Valori din încărcarea inițială + încărcarea suplimentară	0	10,408	16,04	0
	5	9,982	15,61	45,44
	10	9,717	15,35	36,85
	20	9,406	15,04	26,74
	30	9,228	14,86	20,98
	40	9,114	14,75	17,26
	50	9,033	14,67	14,66
	60	8,974	14,61	12,74
	70	8,929	14,57	11,27
	80	8,893	14,53	10,1
	90	8,864	14,5	9,15
100	8,839	14,48	8,36	

Tab. 2.3. Variația eforturilor și a deformații în funcție de variația ariei tirantului pentru $e=0$

Încarcare inițială	Arie tirant [cm ²]	Săgeata maximă [mm]	Tensiunea maximă în beton [N/mm ²]	Tensiunea maximă în tirantul macaz [N/mm ²]
	0	5,204	8,02	0
Valori din încărcarea inițială + încărcarea suplimentară	0	10,408	16,04	0
	5	9,817	15,509	57,25
	10	9,44	15,17	46,88
	20	8,987	14,75	34,4
	30	8,725	14,525	27,16
	40	8,554	14,372	22,44
	50	8,434	14,26	19,12
	60	8,344	14,18	16,65
	70	8,275	14,12	14,75
	80	8,22	14,074	13,24
	90	8,176	14,03	12,01
100	8,139	14	10,98	

Tab. 2.4. Variația eforturilor și a deformațiilor în funcție de variația ariei tirantului pt. $e = h/4$

Încarcare inițială	Arie tirant [cm ²]	Săgeata maximă [mm]	Tensiunea maximă în beton [N/mm ²]	Tensiunea maximă în tirantul macaz [N/mm ²]
	0	5,204	8,02	0
Valori din încărcarea inițială + încărcarea suplimentară	0	10,408	16,04	0
	5	9,79	15,48	59,86
	10	9,397	15,12	48,97
	20	8,926	14,7	35,9
	30	8,653	14,46	28,34
	40	8,475	14,3	23,4
	50	8,35	14,19	19,93
	60	8,258	14,1	17,36
	70	8,186	14,04	15,37
	80	8,129	13,98	13,79
	90	8,083	13,94	12,51
100	8,045	13,91	11,44	

Tab. 2.5. Variația eforturilor și a deformațiilor în funcție de variația ariei tirantului pt. $e = h/2$

Capitolul 3

SISTEME DE ALCĂTUIRE A SOLUȚIILOR DE CONSOLIDARE SUB EXPLOATARE, PE TIPURI DE STRUCTURI, CU ASPECTE TEHNOLOGICE SPECIFICE

3.1. Introducere

Procesul de consolidare a structurilor presupune o analiză complexă a cauzelor care au provocat sau au contribuit la producerea deficiențelor structurii precum și identificarea caracteristicilor fizice și mecanice ale elementelor structurale, având ca scop conceperea unei soluții de consolidare care să asigure, după intervenție, atingerea parametrilor proiectați inițial sau chiar depășirea lor.

Restricțiunile privind întreruperea procesului de producție în perioada efectuării operațiilor de consolidare a structurii de rezistență, datorită pierderilor financiare însemnate pe care le-ar antrena, impun adoptarea unor soluții de consolidare aplicabile fără diminuarea procesului de producție ce se desfășoară în clădirea industrială respectivă.

Procesul de restaurare prin reabilitare locală sau de ansamblu a construcției presupune refacerea:

- proprietăților fizice ale materialelor componente (integritatea maselor, rezistența la oboseală)
- proprietăților mecanice (rezistență, rigiditate și ductilitate).[59][96]

În general, diminuarea proprietăților fizice conduce la soluții de reabilitare prin refacerea capacității portante cu sau fără modificarea schemei statice, în timp ce, diminuarea proprietăților mecanice conduce la soluții cu modificarea schemei statice inițiale restaurând sau chiar îmbunătățind comportamentul dinamic al structurii afectate.

Se analizează, în continuare, aspecte definitorii ale modului de alcătuire a sistemelor de reabilitare sub exploatare ale elementelor structurale liniare, respectiv, de suprafață.

3.2. Soluții de consolidare pentru structuri liniare

Sistemele de consolidare pentru structuri liniare [38] sunt alcătuite din elemente de tip bară (realizate din profile laminate) care, după conectarea cu structura ce se consolidează (prin intermediul unor piese metalice special concepute), au rol de preluare a eforturilor de

întindere rezultate în urma conlucrării între structura de beton și sistemul de consolidare.

După modul de intrare în lucru se disting:

- sisteme active;
- sisteme pasive.

3.2.1. Sisteme active

Elementul principal al unui sistem activ [38] o reprezintă bara de oțel de înaltă rezistență cu ajutorul căreia se introduc eforturi inițiale în elementul de beton armat ce se consolidează. Realizat prin precomprimare exterioară, sistemul este eficace pentru reabilitarea sau majorarea capacității portante a unui element liniar de structură. Utilizarea precomprimării pentru remedierea unor situații de insuficiență a capacității portante la încovoiere, pentru elementele de beton armat sau precomprimat, se aplică la elemente de beton fără degradări sau la elemente de beton cu deficiențe fizice (fisurat, corodat etc.).

Tehnologic, realizarea unei precomprimări exterioare presupune:

- alegerea traseului armăturilor de precomprimare exterioară (rectiliniu sau macaz);
- alegerea sistemului de transfer al efortului de precomprimare.

Consolidarea grinzii de beton armat prin *sistemul macaz activ* este prezentat schematic în Fig. 3.1. Se pune în evidență și efectul eforturilor din tirant asupra elementului de beton armat. Sistemul oferă avantajul transformării elementului de beton armat încovoiat într-un element supus compresiunii excentrice. În plus sistemul macaz activ asigură și un spor de capacitate portantă pentru preluarea forțelor tăietoare. Din punct de vedere tehnologic, execuția sub exploatare a unui astfel de sistem are marele avantaj al vitezei de execuție, procedeul fiind realizat uscat și cu un mare grad de prefabricare [38][61].

Soluția de consolidare cu *sistem activ rectiliniu* este prezentată în Fig. 3.2. Aparatul de transfer este rezolvat cu guseu și etrier tensionat. Soluția asigură un control bun al transferului forței de pretensionare. În comparație cu sistemul macaz, care se execută cu două bare de tensionare dispuse simetric în raport cu axa verticală a elementului de beton armat, sistemul rectiliniu de precomprimare prezentat utilizează o singură bară de tensionare, ceea ce presupune o mare precizie la axarea în raport cu elementul de beton armat. Este necesară verificarea stabilității laterale. Sistemul rectiliniu nu oferă mărirea capacității portante la forțe tăietoare.

În Fig. 3.3 sunt prezentate variante de consolidare a unor grinzi metalice cu sistem activ rectiliniu cu detalii specifice pentru aparatul de transfer.

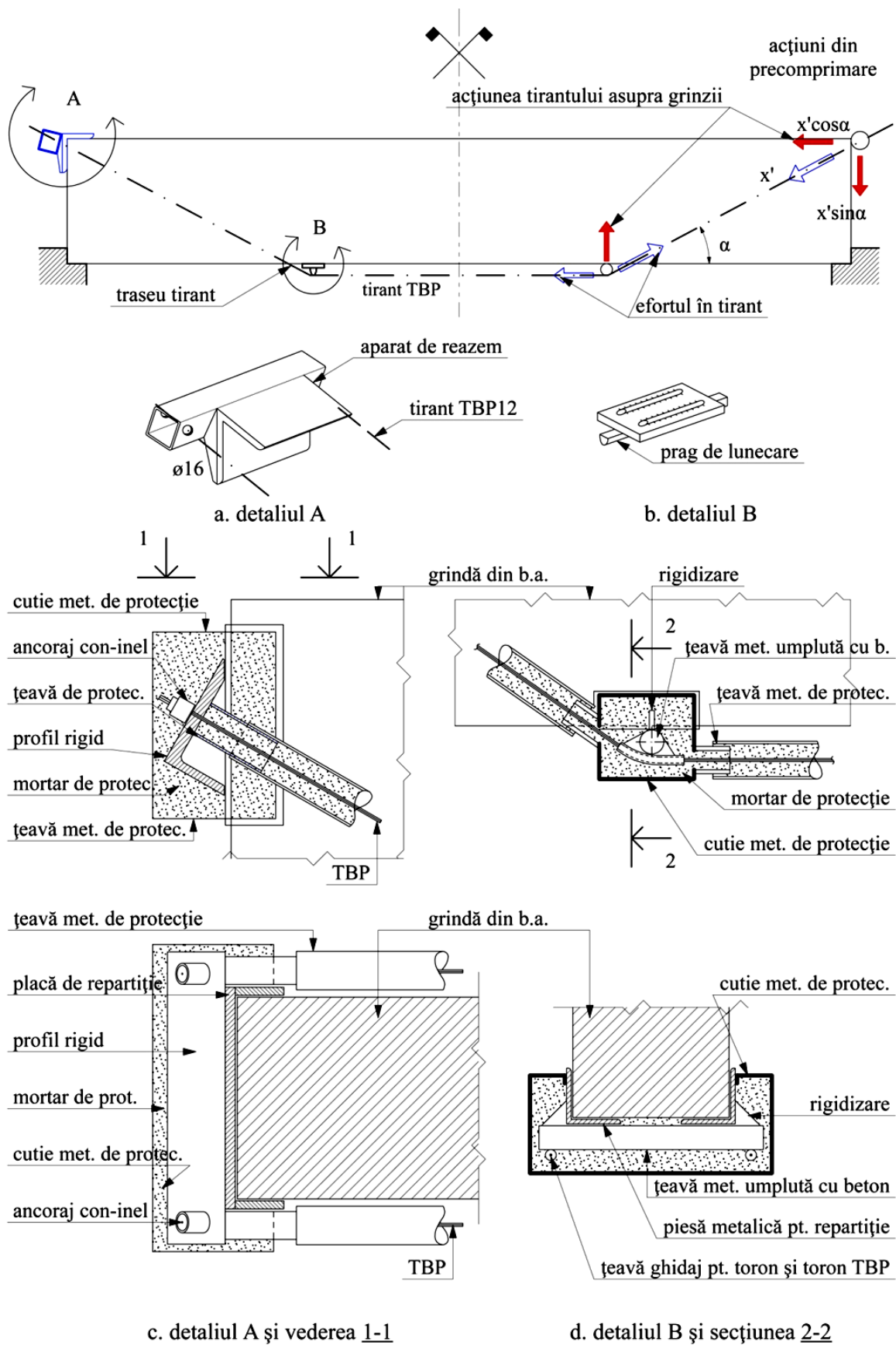


Fig. 3.1. Sistem macaz activ: a) grindă de beton armat cu tirant post tensionat; b) detalii explicative privind ancorarea și devierea tirantului macaz postîntins: ancoraj pentru tirant macaz postîntins; c) deflector pentru tirant macaz postîntins

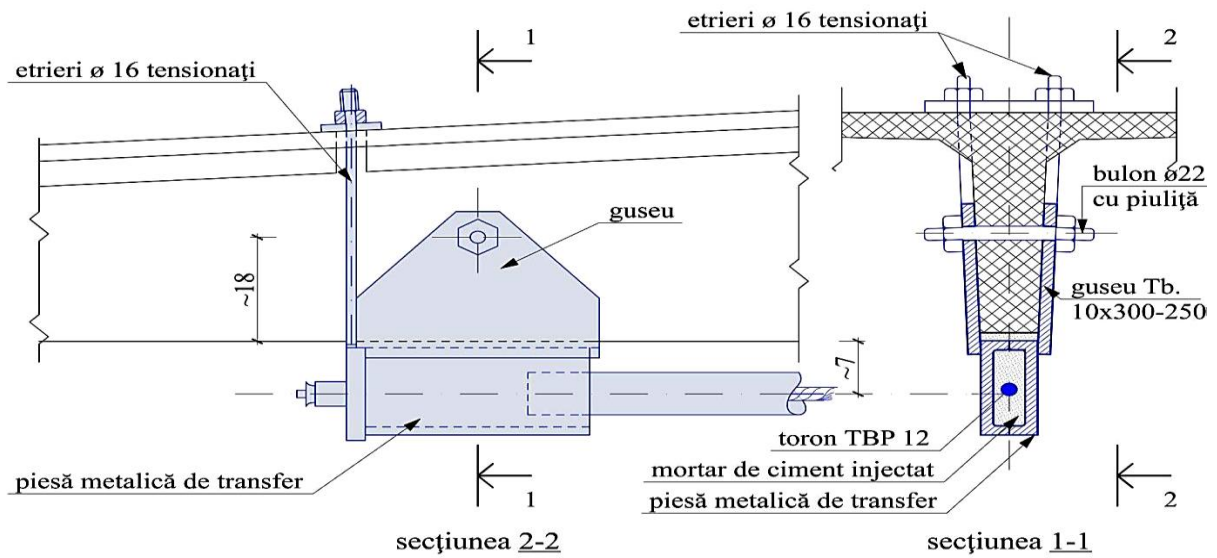


Fig. 3.2. Consolidare element liniar de beton armat cu sistem tirant activ rectiliniu.

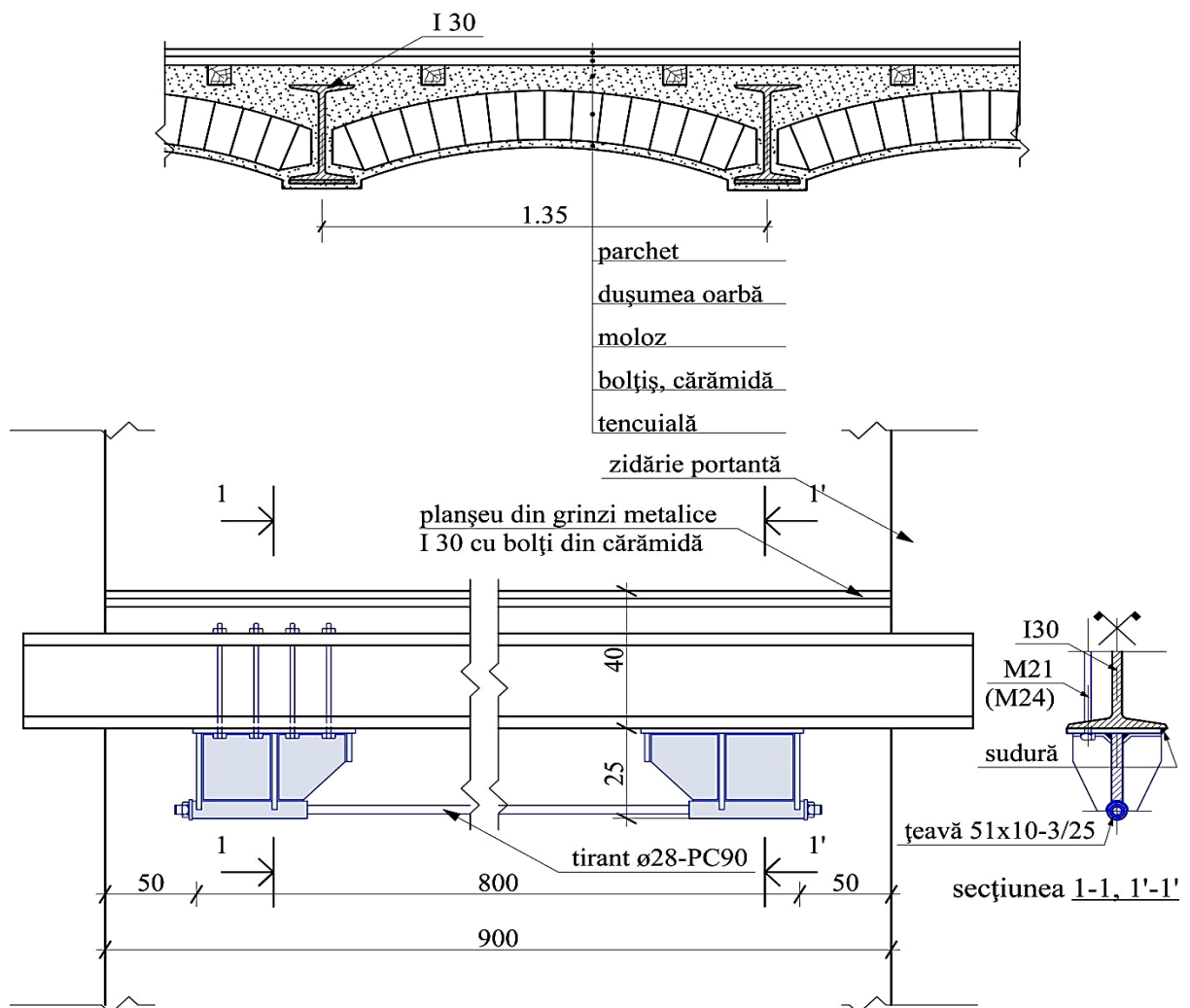


Fig. 3.3. Consolidare element liniar tip grindă metalică cu sistem tirant activ

3.2.2. Sisteme pasive

Sistemele pasive [38] intră în lucru în momentul modificării stării de deformare (și implicit a stării de eforturi) a elementelor consolidate față de situația existentă în momentul montării sistemului. Efectul lor asupra elementului poate fi asimilat cu introducerea unor reazeme elastice suplimentare în câmpul grinzii și cu apariția unor componente orizontale ce trebuie compensate pe înălțimea acesteia.

Eficiența sistemului este dată de deformabilitatea, în domeniul elastic, a elementelor întinse. Dimensionarea componentelor întinse se face, în consecință, prin încercări, până la atingerea eficienței necesare, adică a sporului necesar de capacitate portantă a ansamblului sau, ceea ce este similar, a reducerii stării de solicitare în elementul consolidat.

Sistemele pasive se pot utiliza atât pentru restabilirea capacității portante a unor elemente degradate cât și pentru majorarea ei peste cea proiectată.

3.2.2.1. Sisteme pasive de tip macaz, cu tiranți orizontali

În cazul grinzilor continue rezemând pe stâlpi (estacadă), sistemul de consolidare se poate rezolva ca în Fig. 3.4 și 3.5. Numărul reazemelor elastice suplimentare (det. C, Fig. 3.6) create în câmpul grinzilor poate fi de 2 sau 4, funcție de înălțimea grinzii ce se consolidează și de sporul de capacitate portantă necesar. Eficiența barelor înclinate scade cu micșorarea unghiului făcut cu orizontala, ceea ce condiționează dispunerea reazemelor elastice atât ca număr cât și ca poziție.

Componenta verticală a efortului din tiranții înclinați asigură efectul de reazem intermediar elastic pentru grinda ce se consolidează.

Componentele orizontale ale întinderilor ce apar în tiranții înclinați sunt preluate în câmp de tiranți orizontali, iar pe reazeme sunt compensate prin aparatele de reazem intermediare (Fig. 3.6, det. A și B). Diferențele ce apar în cazul solicitărilor diferite în câmpuri (încărcări diferite, deschideri diferite) sunt transmise prin sistem la aparatele de reazem de capăt, unde, suprapuse componentelor orizontale din câmpurile marginale sunt transferate elementului consolidat. Elementul consolidat se transformă astfel într-un element continuu pe reazeme fixe (rezemarea pe stâlpi) și reazeme elastice (datorate sistemului de consolidare) solicitat la încovoiere (din forțele exterioare) și compresiune (transmisă de aparatele de reazem de capăt).

În cazul estacadelor aparatul de reazem se limitează ca înălțime la înălțimea unei traverse, constituind și reazem pentru șina de rulare.

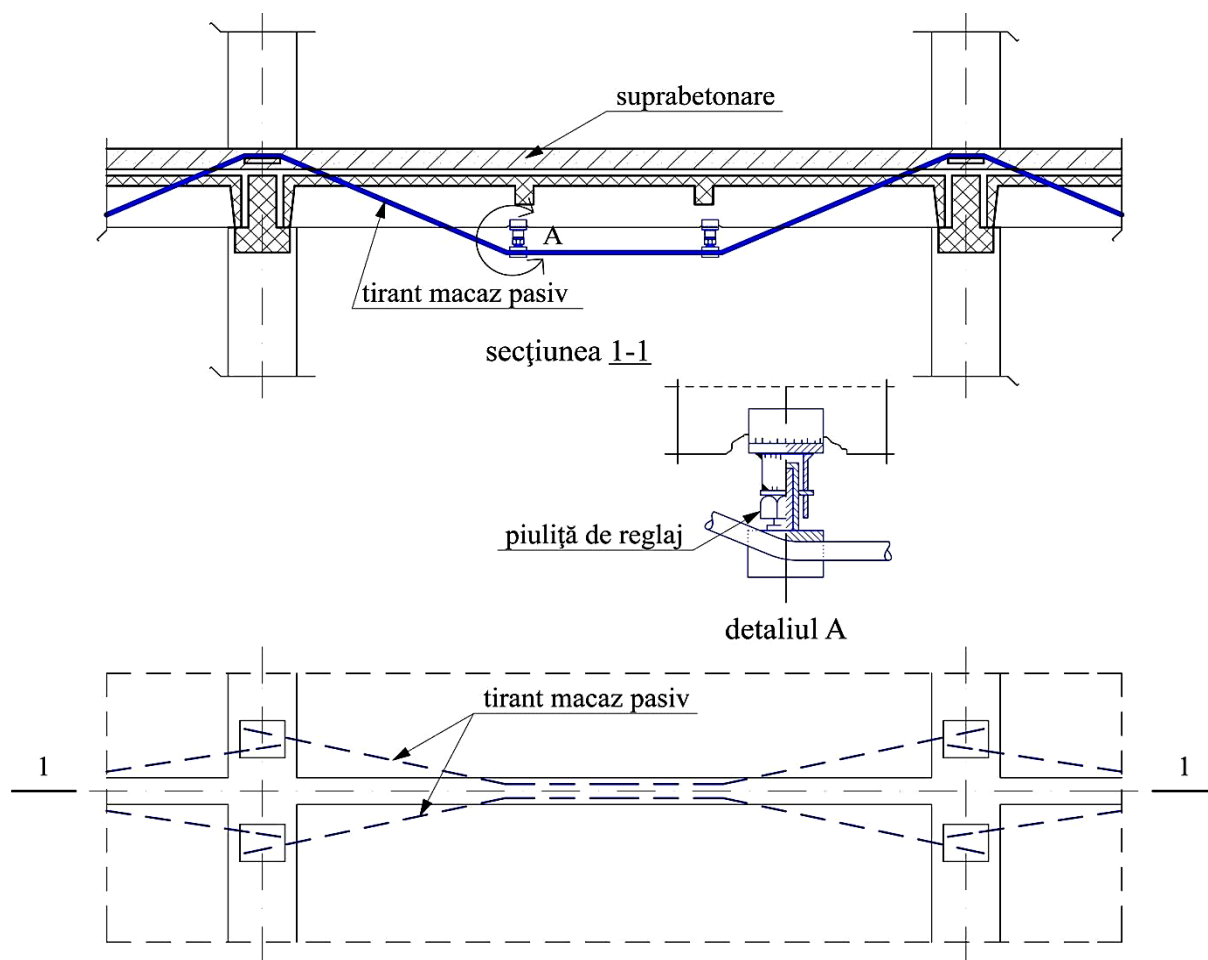


Fig. 3.4.Consolidare cu tiranți macaz pasivi. Variantă.

Cuplarea tiranților înclinați cu tiranții orizontali și cu aparatele de reazem se face de tip articulație, ceea ce asigură o adaptare ușoară a sistemului la geometria efectivă a elementului ce se consolidează. Lungimea disponibilă a filetelui de la capetele tiranților înclinați este determinată funcție de abaterile dimensionale avute în vedere la proiectarea sistemului.[38]

Montarea aparatului de reazem se face la fața superioară a elementului ce se consolidează, pe betonul curățat de eventualele părți degradate, prin intermediul unui strat subțire de mortar epoxidic de poză [35].

Punerea în stare de funcționare a sistemului se realizează prin strângerea piulițelor de la capetele tiranților înclinați cu ajutorul unei chei dinamometrice. O intrare mai eficientă în lucru a sistemului se poate realiza, în cazul existenței unei sarcini mobile pe elementul consolidat (poduri rulante, vagonete etc.) prin încărcarea câmpurilor învecinate câmpului în care se strâng piulițele tiranților. Elementele constitutive ale sistemului de consolidare se confecționează în atelierele specializate, cu un control riguros al calității îmbinărilor. Dimensiunile și greutatea redusă a acestor elemente asigură o manipulare și montare ușoară.

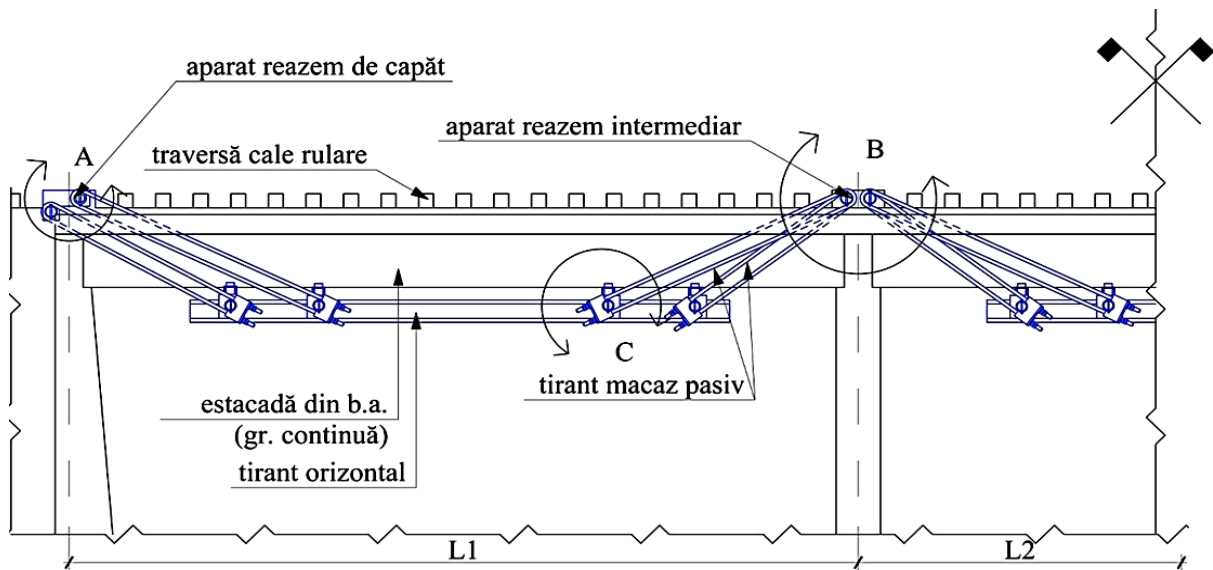


Fig. 3.5. Consolidare grindă (estacadă) b.a. continuă cu sistem macaz pasiv

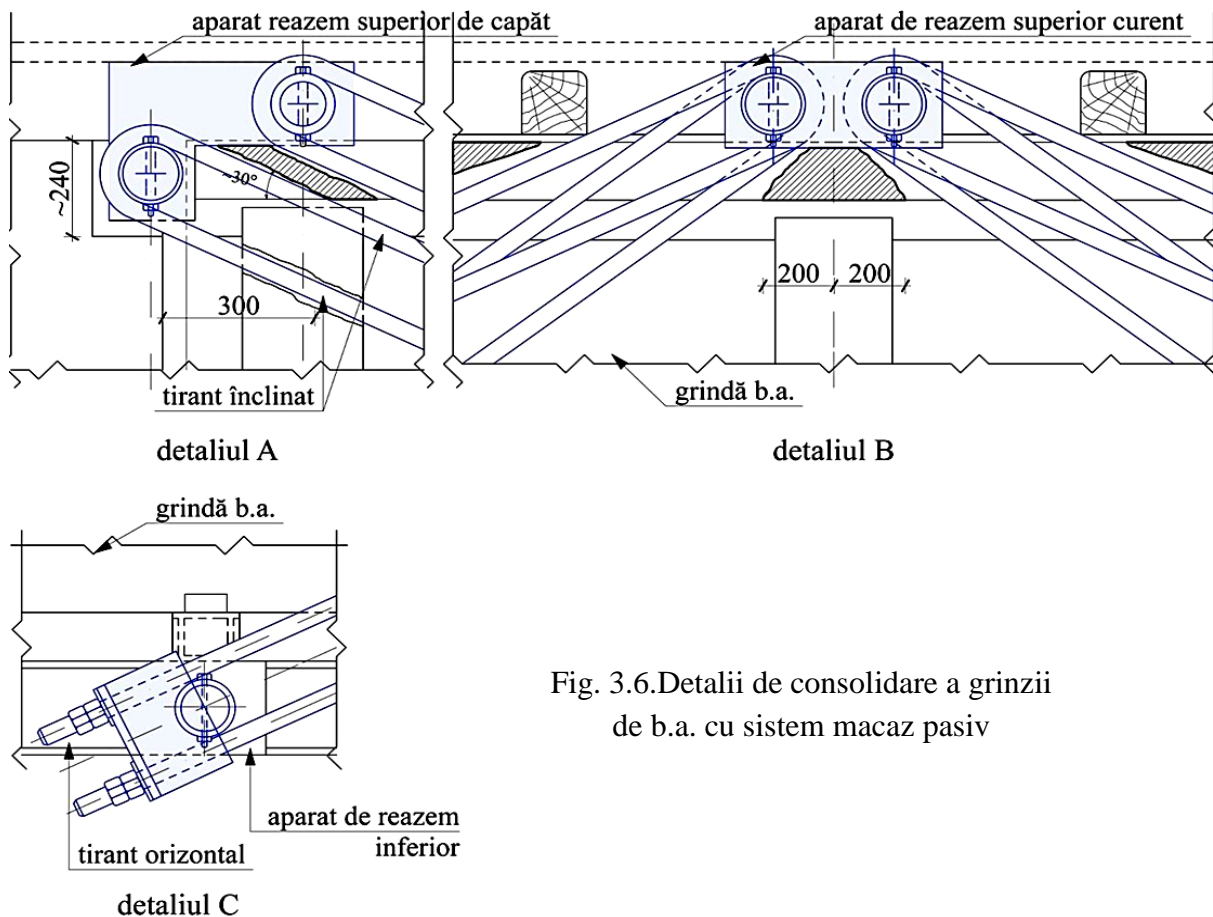


Fig. 3.6. Detalii de consolidare a grinzii de b.a. cu sistem macaz pasiv

Operațiile ce se efectuează la fața locului sunt puțin pretențioase. Sistemul de consolidare rămâne aparent și se protejează anticoroziv prin vopsire [66].

Se prezintă în continuare imagini cu elemente liniare de beton armat consolidate cu sistem macaz pasiv.

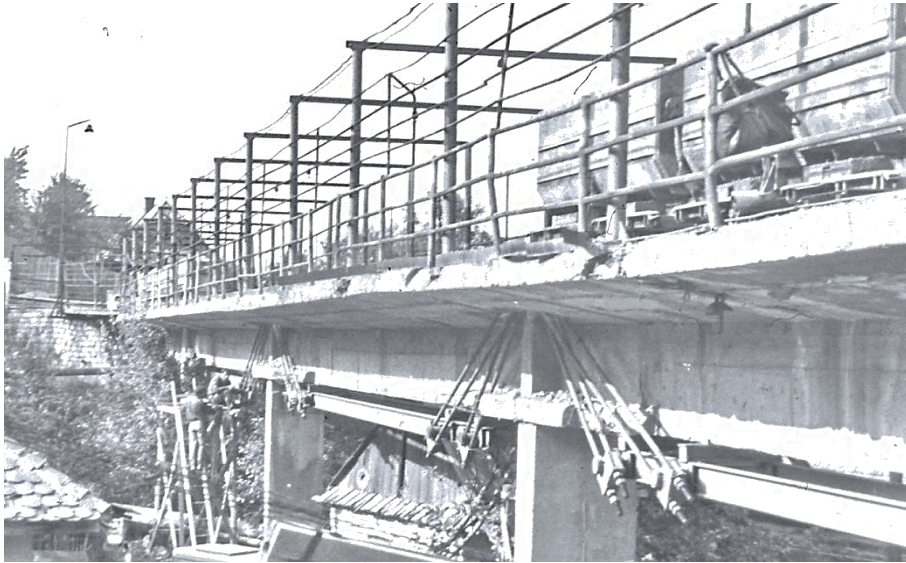


Foto 3.1.Consolidare sub
exploatare la o estacadă pt.
vagoneti cu minereu, la
exploatarea miniera Bălan.
Ansamblu

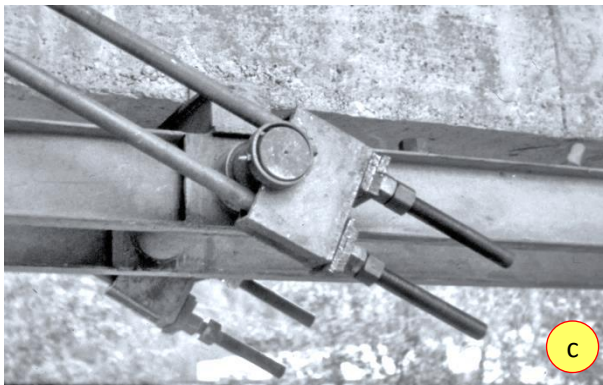
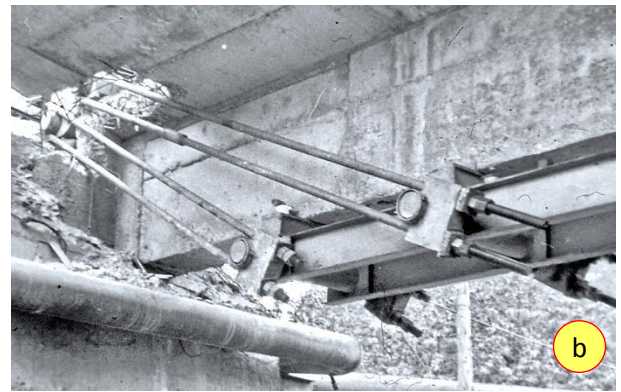
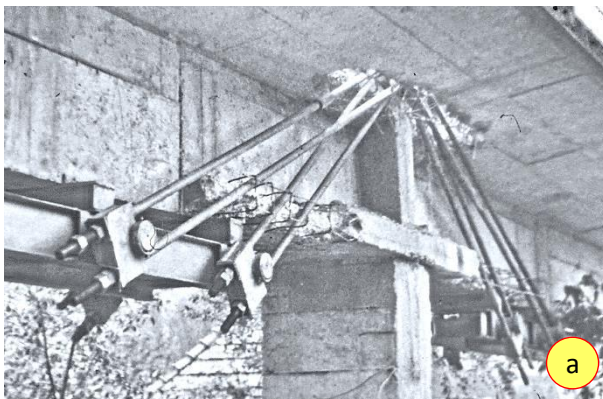


Foto 3.2.Detalii de realizare a confecției
metalice de consolidare, exploatarea
miniera Bălan (a-e)

3.2.2.2. Sisteme pasive de tip macaz, cu contrafișe

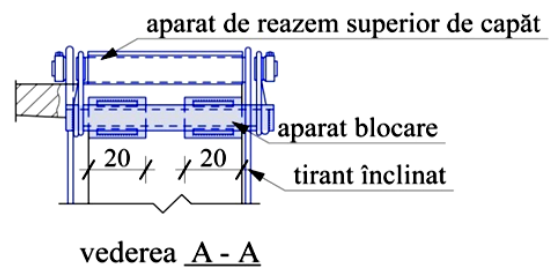
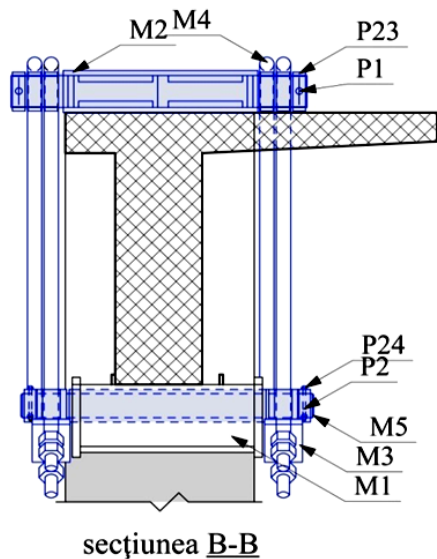
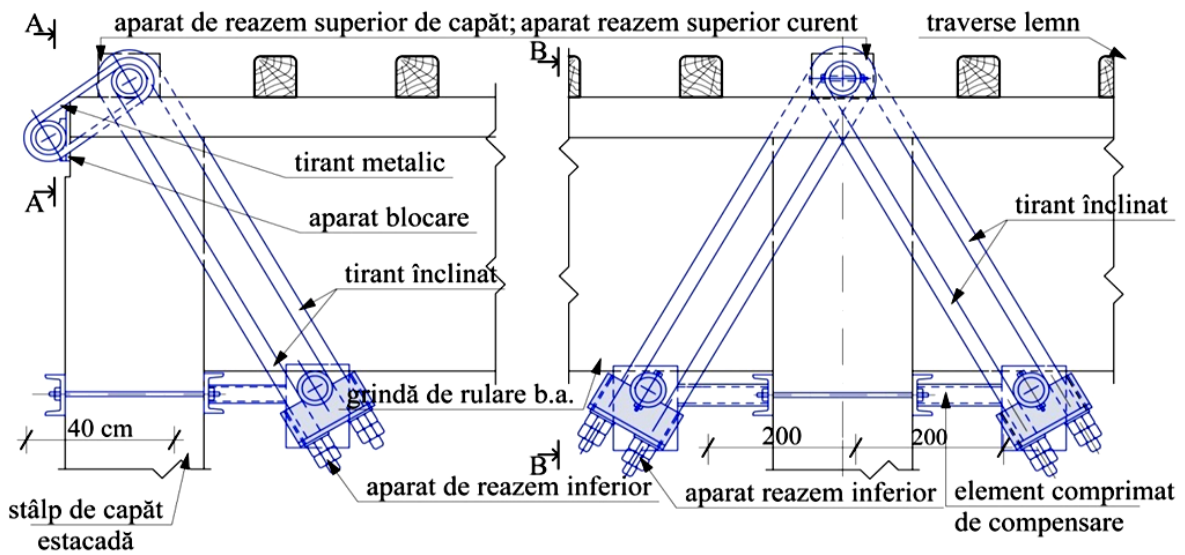
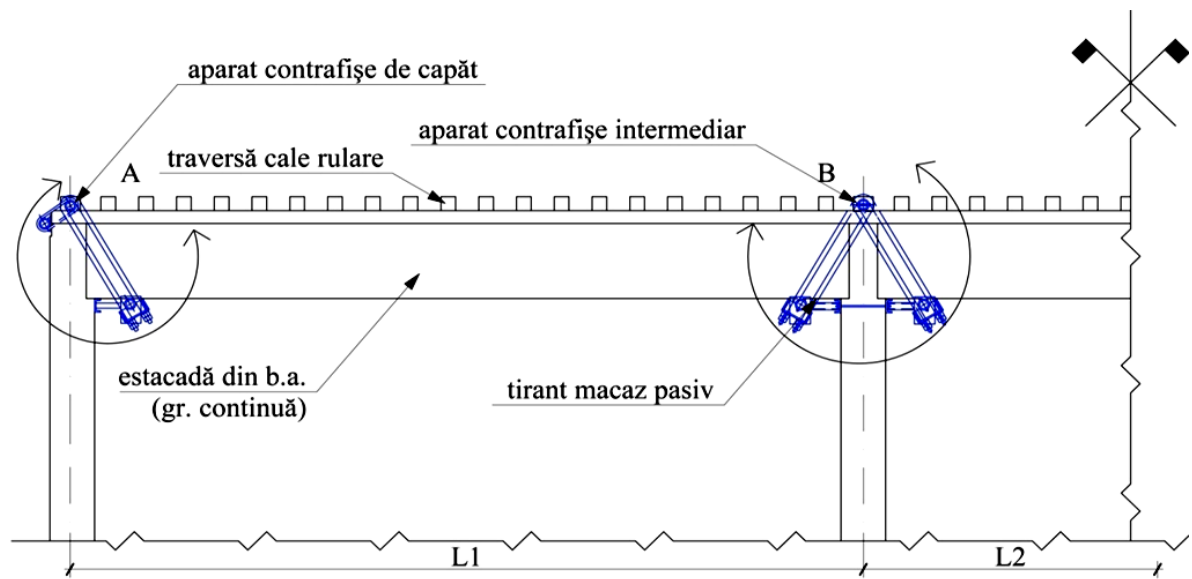


Fig. 3.7. Consolidare a grinzii de b.a. continuă cu sistem macaz pasiv - varianta "contrafișe"

La acest sistem de consolidare (Fig. 3.7) componentele horizontale ale întinderilor din tiranți sunt preluate de bare comprimate și transmise stâlpilor. Sistemul este alcătuit dintr-o serie de ansambluri dispuse independent unul de celălalt, pe reazemele grinzii.

Principiul de alcătuire și montare este similar cu cel prezentat la punctul anterior. Sistemul se utilizează cu bune rezultate pentru înclinări ale tiranților față de verticală de până la 45°. Se realizează cu un consum de metal mai redus decât varianta precedentă, dar preluarea componentelor horizontale ale întinderilor din tiranți se face prin transferul forțelor de compresiune la betonul din stâlpi.

3.2.2.3. Sistem cu tiranți pasivi pentru rehabilitarea consolelor verticale de beton armat la estacade pentru pod rulant

Consolele verticale de beton armat de pe capetele stâlpilor ce susțin grinzile de rulare la estacade pentru pod rulant au rolul fixării la forțe horizontale a tălpii superioare a grinzii de rulare. Degradarea consolei se produce de obicei la baza ei, în zona de moment maxim.

Sistemul de consolidare (v. Fig. 3.8) este conceput în ideea dezvoltării pieselor lui componente doar spre exteriorul estacadei, datorită prezenței podului rulant la interior. Adaptabilitatea sistemului la variații ale geometriei ansamblului consolidat este datorată celor 3 țevi de blocare care se pot roti în reazemele lor și celor 2 tiranți înclinați filetați la un capăt.

Rezemarea pieselor metalice pe beton se face prin intermediul unui strat de chit epoxidic [38].

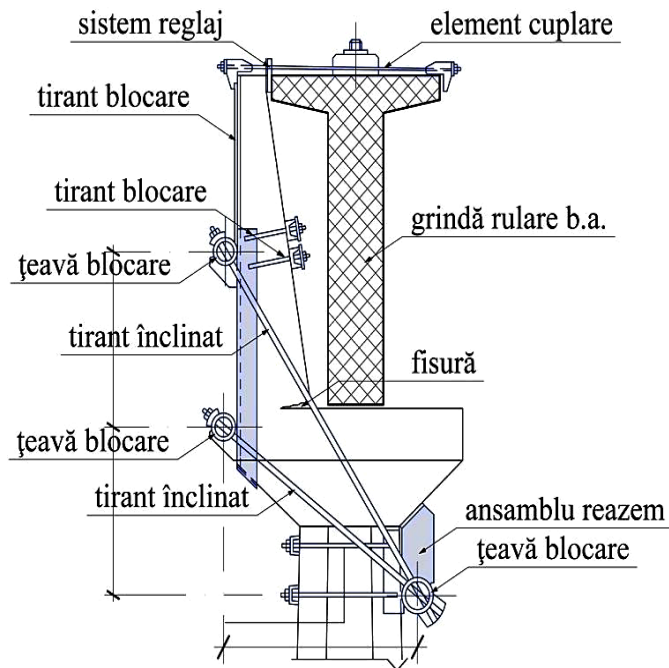


Fig. 3.8. Consolidarea consolei de b.a. pentru fixarea grinzii de rulare - sistem tiranți pasivi.

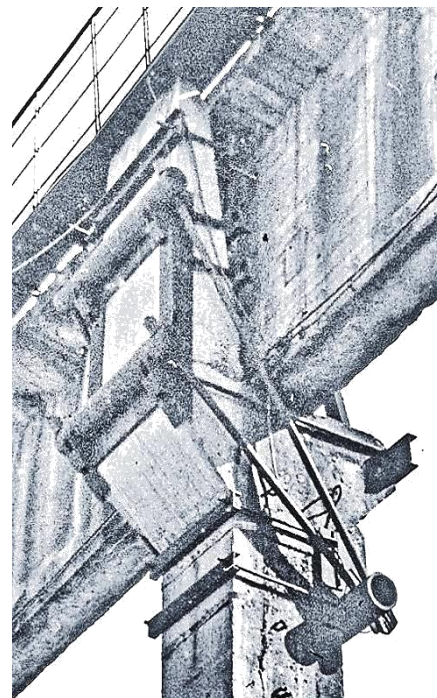


Foto 3.4. Detalii de alcătuire a confecției metalice de consolidare

3.3. Soluții de consolidare pentru structuri plane

3.3.1. Sisteme rigide pasive

Sistemele rigide la încovoiere se utilizează la reabilitarea structurilor plane [38][11] în cazul necesității majorării capacității portante sau rigidității normal pe planul lor. Soluțiile de consolidare sub exploatare ale elementelor de suprafață presupun dispunerea unor reazeme suplimentare pentru placa planșeului, constituite din grinzi metalice rezemate pe grinzile principale ale structurii sau pe reazeme proprii.

Analiza stării de eforturi în elementul plan ce se consolidează, necesară detalierii soluției de consolidare, se face după adoptarea unor scheme statice adecvate comportării reale a elementului de suprafață. Starea finală de eforturi în placa consolidată se obține, prin suprapunerea eforturilor dezvoltate sub acțiunea sarcinilor permanente existente înainte de activarea sistemului de consolidare, calculate pe schema statică a structurii neconsolidate, cu eforturile rezultate sub acțiunea sarcinilor utile și a sarcinilor permanente dispuse ulterior activării sistemului de consolidare, pe schema statică rezultată după consolidare.

Procesul de analiză presupune alegerea poziției și a rigidității adecvate a elementelor sistemului de consolidare, eficiența acestuia și implicit efectul asupra stării de eforturi în elementul consolidat fiind determinate de acestea.

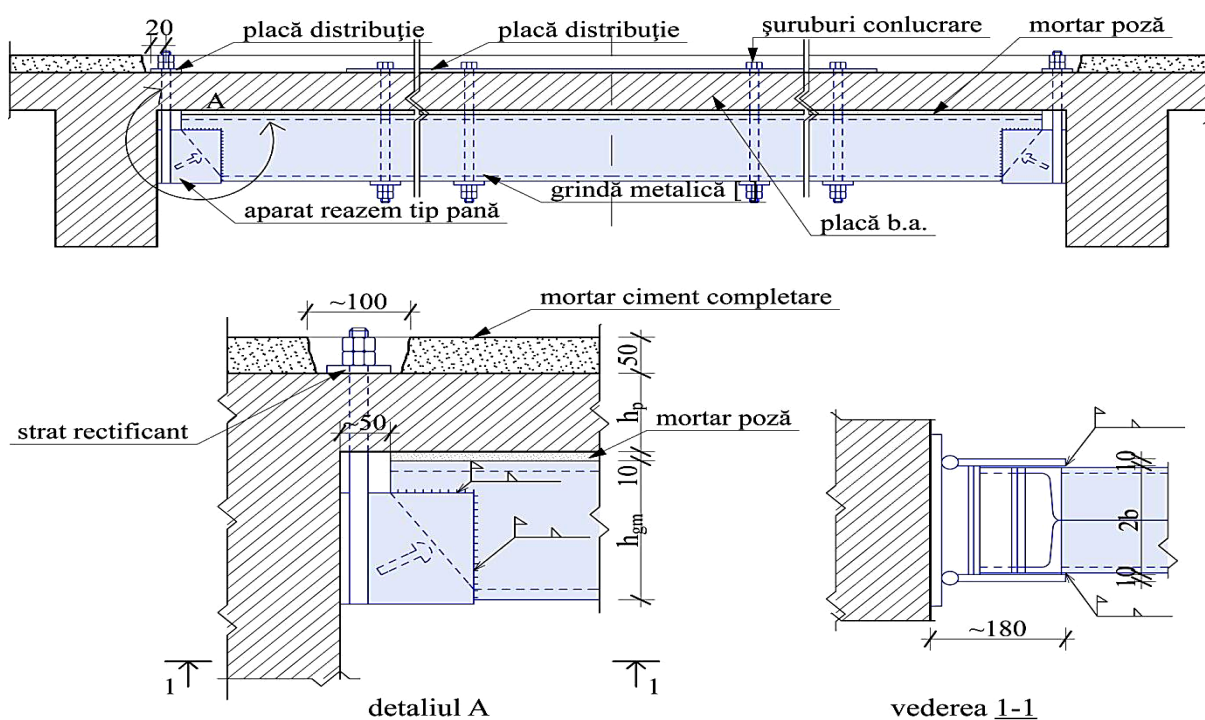


Fig. 3.9. Consolidarea unei plăci de b.a. cu sistem rigid

Un sistem de consolidare cu rigiditate la încovoiere (Fig.3.9), utilizat la reabilitarea plăcilor, poate fi conceput sub forma unor grinzi metalice care se fixează între fețele grinzilor principale cu ajutorul unor aparate de reazem tip pană. Se pot dezvolta diverse tipuri de aparate de reazem, rolul lor fiind acela de a preda reacțiunea grinzii metalice de consolidare grinzilor principale de planșeu. Sistemul trebuie să aibă adaptabilitatea la situația reală fără modificarea modului de lucru și să se asigure controlul intrării în lucru a acestuia după activare.

Tehnologia de montare și activare a sistemului de consolidare este funcție de soluția constructivă adoptată.

Exemplificativ, pentru varianta prezentată în Fig.3.9, succesiunea operațiilor tehnologice utilizate la montarea și activarea sistemului, este următoarea:

- se practică găuri în placa de beton armat pentru buloanele de fixare a sistemului de consolidare;
- se pune în poziție grinda metalică respectivă (cu mortar epoxidic de poză între metal și beton) cu ajutorul șuruburilor de conlucrare;
- se montează aparatele de reazem tip pană, se strâng șuruburile de fixare; rezultă o blocare a grinzii metalice pe reazeme, inclusiv la deplasări orizontale;
- se sudează aparatul de reazem de grinda metalică.

3.3.2. Sisteme flexibile pasive

Sistemele flexibile pasive se utilizează la reabilitarea structurilor plane în cazul necesității refacerii/majorării capacității portante sau rigidității acestora în planul lor.

Restabilirea comportării de șaibă a planșeelor din prefabricate [52] (vezi Fig.3.10), deteriorate în timpul acțiunii seismice prin fisurare în lungul rosturilor dintre prefabricate, se realizează cu ajutorul unor contravântuiri orizontale, montate sub planșeu, fără a întrerupe exploatarea curentă a planșeului.

Contravântuirile, din oțel rotund, sunt ancorate atât în nucleul central cât și în structura perimetrală mai flexibilă, obligându-le să lucreze împreună la forțe orizontale. Adaptabilitatea sistemului la geometria efectivă a construcției se realizează prin prinderea articulată a tiranților la intersecția lor și prin prevederea unor zone filetate la capete.

În vederea asigurării intrării instantanee în lucru a elementelor de consolidare se introduce în barele sistemului un efort inițial de circa 5 -10 % din efortul capabil.

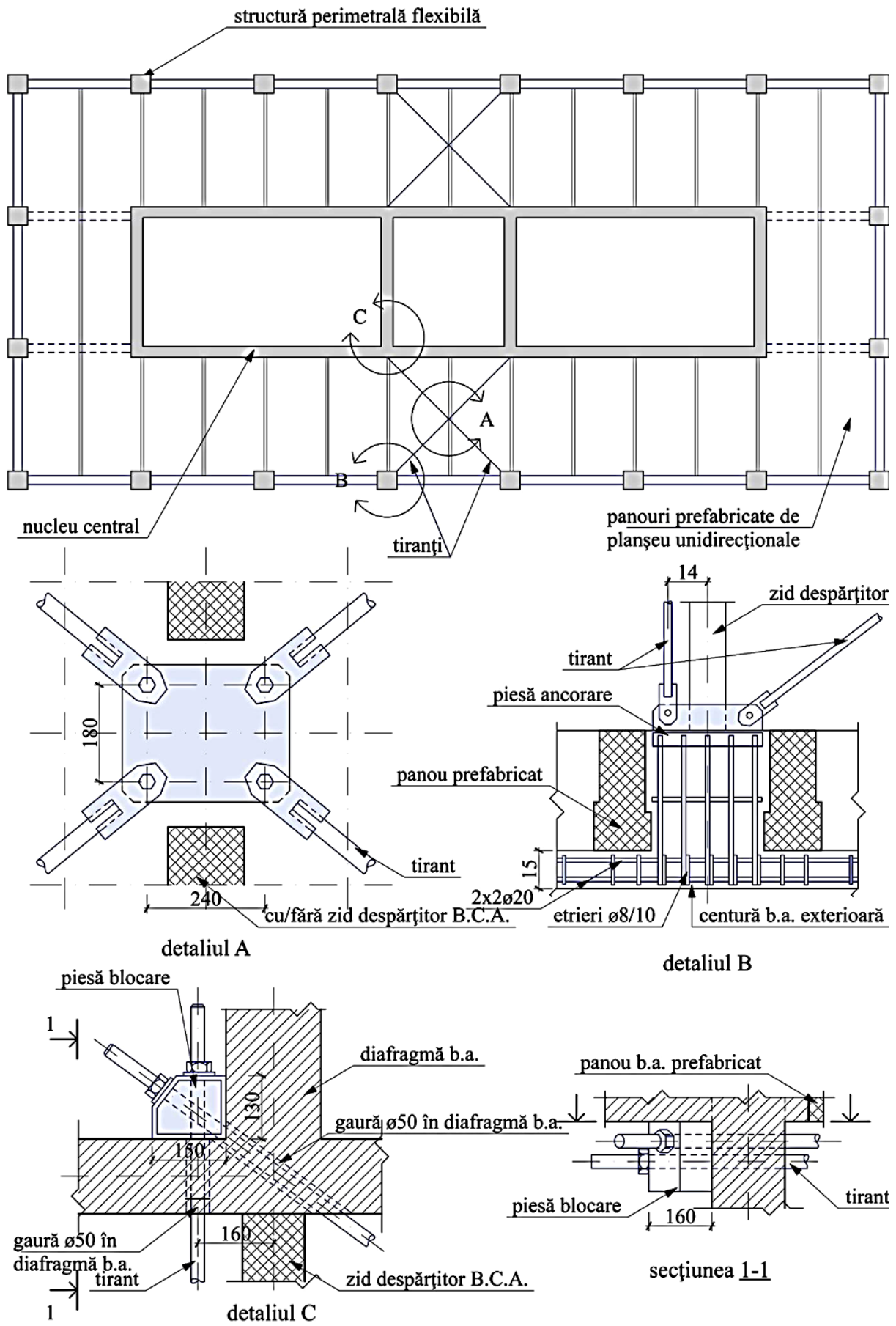


Fig. 3.10. Restabilirea comportării de șabă a planșeului cu sistem tiranți pasivi

Rigidizarea longitudinală a estacadelor de beton armat pentru un pod rulant este realizabilă cu sistemul prezentat în Fig.311.: un sistem de tiranți încrucișați fixați la extremitățile stâlpilor cu ajutorul unor buloane. Lunecarea aparatului de cuplare pe stâlpi este eliminată prin dezgolirea armăturii longitudinale și sudarea pe aceasta a unor opritori sau fixarea cu ancore chimice.[38].

Dimensionarea sistemului se face la forța longitudinală de frânare a podului rulant.

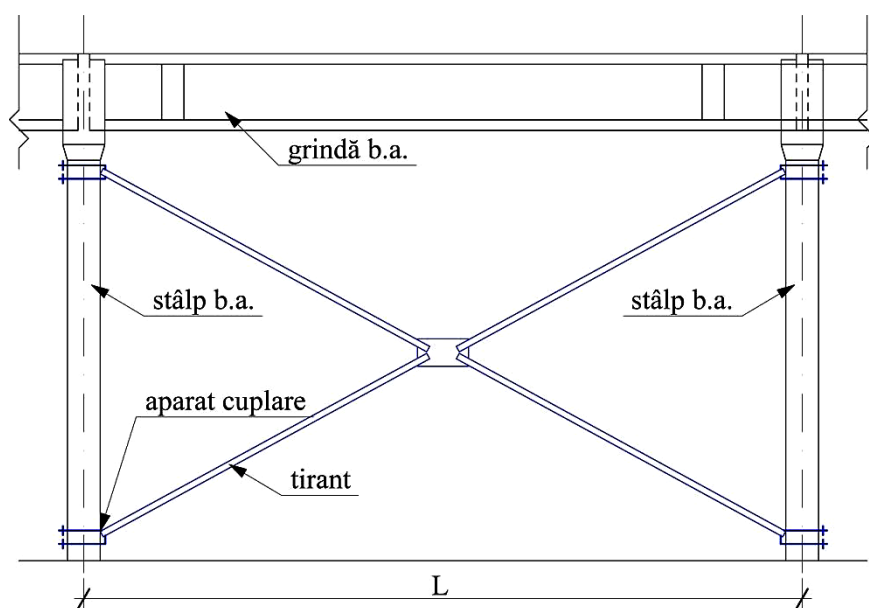


Fig. 3.11. Rigidizare longitudinală a estacadei unui pod rulant cu sistem de tiranți pasivi

3.4. Aspecte ale modelării pentru calcul a sistemelor de consolidare analizate

La analiza sistemelor de consolidare prezentate au fost comentate și particularitățile de calcul ale sistemului respectiv.

În cazul sistemelor pasive de tip macaz utilizate pentru consolidarea elementelor liniare, respectiv în cazul sistemelor flexibile pasive utilizate la consolidarea structurilor plane, legăturile între subsansamblurile metalice ale sistemului sunt de tip articulație. Legăturile între aparatele de reazem inferioare (reazemele elastice introduse de sistemul de consolidare) și elementul de beton armat sunt de tip reazem simplu, cu sau fără luarea în considerare a frecării reazem metalic – beton. Legăturile între aparatele de reazem metalice superioare și elementul de beton, dispuse la extremitățile elementului, sunt de tip articulație.

Modelarea pentru calcul a aparatelor de reazem nu presupune o abordare specială, modul de alcătuire și rigiditatea elementelor constitutive permițând dimensionarea acestora în baza eforturilor determinate prin relații de echilibru static. [143]

Capitolul 4

CONTRIBUȚII LA ANALIZA SISTEMELOR DE CONSOLIDARE SUB EXPLOATARE ALE ELEMENTELOR DE SUPRAFAȚĂ

4.1. Considerații privind consolidarea elementelor de suprafață

4.1.1. Considerații generale

Consolidarea elementelor de suprafață presupune, de regulă, întreruperea funcțiunii susținute de planșeul respectiv pe perioada execuției consolidării. Această situație creează multiple probleme utilizatorului, ceea ce justifică analiza unor soluții de consolidare sub exploatare. Și în cazul elementelor de suprafață consolidarea sub exploatare va urmări respectarea principiilor de conformare și a celor tehnologice analizate la elementele liniare.

Soluțiile de consolidare sub exploatare ale elementelor de suprafață sunt avantajoase mai ales în cazul clădirilor industriale unde întreruperea procesului de producție provoacă pierderi semnificative, iar soluțiile de consolidare care presupun dispunerea unor elemente noi, de regulă metalice, sunt condiționate doar de respectarea unor gabarite/circuite funcționale, fără ca prezența lor să afecteze semnificativ spațiul din punct de vedere estetic.

4.1.2. Schematizarea pentru calcul a elementelor de suprafață

Reabilitarea elementelor de suprafață presupune cunoașterea caracteristicilor elementelor ce se consolidează din punct de vedere a soluției proiectate, a modului de execuție, a caracteristicilor mecanice ale materialelor puse în operă, a valorii efective a acțiunilor permanente și a celor de exploatare, a deficiențelor de alcătuire/comportare.

Analiza stării de eforturi, necesară definirii soluției de consolidare, se face după adoptarea unor scheme statice adecvate comportării reale a elementelor de suprafață.

Rigiditatea grinzilor pe care descarcă placa influențează semnificativ starea de eforturi în aceasta, mai ales în cazul rezemării unei plăci continue de beton armat pe grinzi metalice. Starea de eforturi finală în placa consolidată se obține, de regulă, prin suprapunerea eforturilor dezvoltate sub acțiunea sarcinilor permanente existente înainte de dispunerea sistemului de consolidare, calculate pe schema statică a structurii neconsolidate, cu eforturile rezultate sub acțiunea sarcinilor utile și a sarcinilor permanente, dispuse ulterior realizării sistemului de consolidare, pe schema statică rezultată după consolidare.

Schematizarea structurii pentru calcul trebuie să țină cont și de comportarea posibil diferită pe reazemele intermediare ale unei plăci continue deoarece uniformizarea, pe considerente tehnologice sau practice, a armării pe reazeme poate conduce la comportare diferită a plăcii pe reazem, placa lucrând în domeniul elastic sau plastic. La acest aspect se adaugă poziția armăturii pe reazeme, în unele situații ea având o poziție necorespunzătoare deplasată la betonare datorită distanțierilor inadecvați. Este afectată valoarea momentului capabil pe reazemele respective, ceea ce conduce la necesitatea adoptării unor scheme statice care să surprindă acest aspect.

Procesul de analiză presupune alegerea poziției și a rigidității adecvate a elementelor sistemului de consolidare, eficiența acestuia și implicit efectul asupra stării de eforturi în elementul consolidat fiind determinate de acestea.

4.2. Analiza consolidării sub exploatare a unui planșeu de beton armat cu placă continuă

Analiza se face pe o situație concretă, aspectul cantitativ fiind determinant pentru deciziile privind soluțiile adoptate. Modul de abordare și rezolvare se poate generaliza pentru situații similare. Este important de remarcat efectul rigidității grinzilor structurii, respectiv a elementelor sistemului de consolidare, asupra stării de eforturi și deformații în placa planșeului, aspect ce susține importanța luării în considerare a acestei caracteristici la analiza comportării unui element de suprafață.

4.2.1. Caracteristici inițiale

Placa continuă de beton armat, cu grosimea de 12 cm, rezemată (fără conectori) pe grinzile unor cadre realizate în structură metalică din profile cu pereți subțiri, aparține unui planșeu intermediar, al unei hale P+1E. Placa lucrează pe o direcție.

Structura halei este realizată din cadre transversale cu 4 deschideri de 4,90 m, cu traveea de 4,30 m. Stâlpii marginali sunt din profil IPE 240. Stâlpii intermediari sunt din profile cu pereți subțiri 2 C 200x100 mm cu grosimea pereților profilelor de 3mm. Riglele planșeului intermediar sunt din profil 2 C 320x100x3.

Starea tehnică: fisuri la partea superioară a plăcii, pornind de la stâlpi, la 45° față de direcția grinzilor. Armarea plăcii pe reazeme dispusă la circa 4-6 cm de la fața superioară.

4.2.2. Modul de analiză

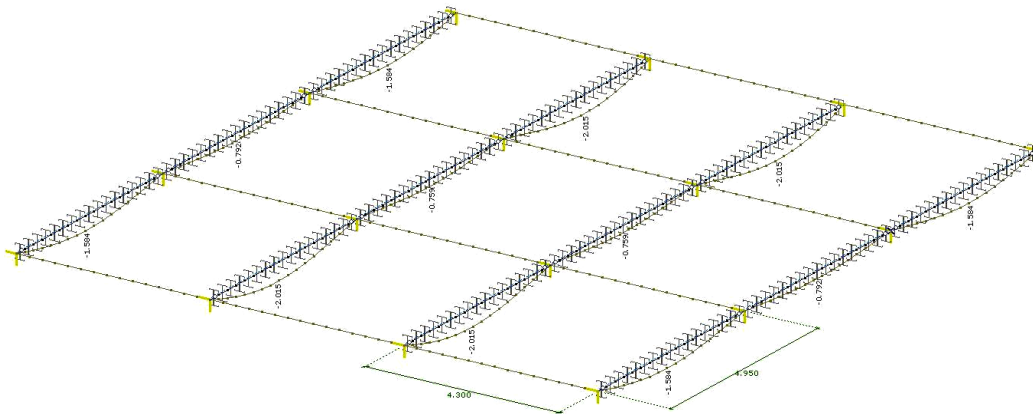
Se analizează prin calcul starea de eforturi și deformații a plăcii planșeului pentru situația inițială și pentru situația după consolidare.

Calculul se face pe situații de rezemare care schematizează modul de comportare corespunzător armării efective a plăcii. Se adoptă schemele de încărcare aferente fiecărui stadiu de comportare/rezemare a plăcii, înainte și după consolidare.

Soluția de consolidare analizată presupune dispunerea unor reazeme suplimentare pentru placa planșeului, constituite din grinzi metalice plasate paralel cu grinzile de cadru, rezemate prin intermediul unor elemente înclinate pe fundațiile structurii. Stabilirea rigidității acestor grinzi suplimentare a făcut obiectul unui proces de optimizare.

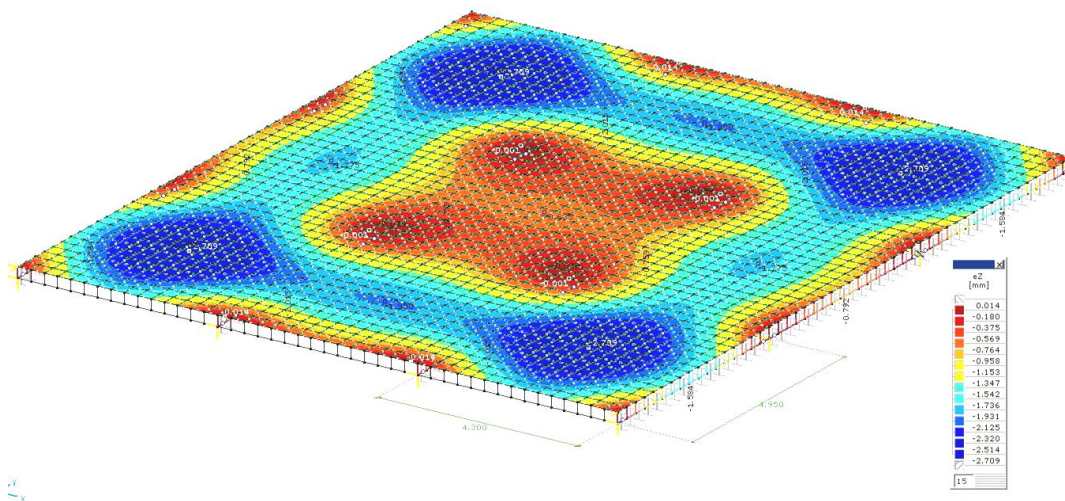
4.3. Situația inițială - teoretic, cu continuitatea plăcii pe grinzile cadrelor, (acțiuni permanente - greutatea proprie + șapă)

4.3.1. Deplasări grinzi

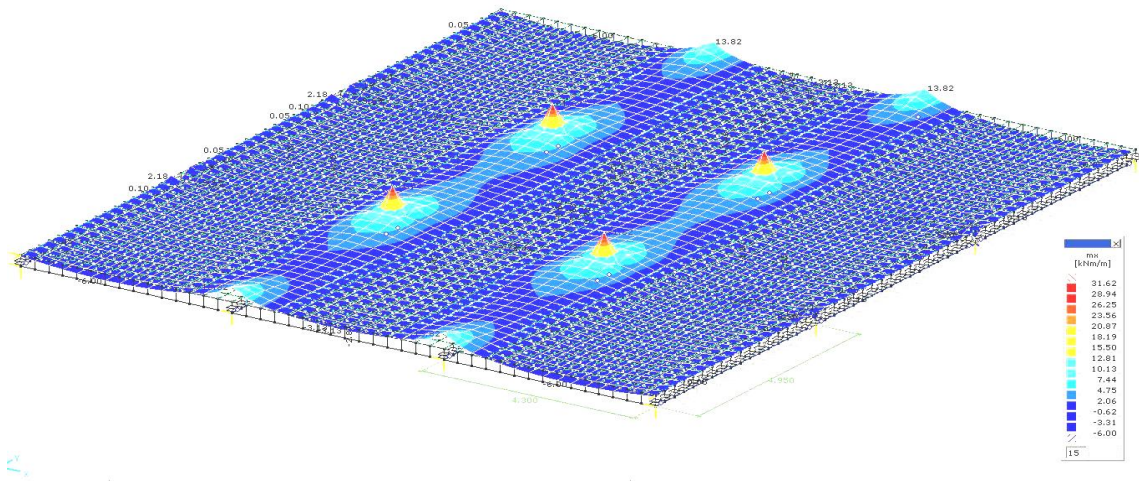


4.3.2. Deplasări placă

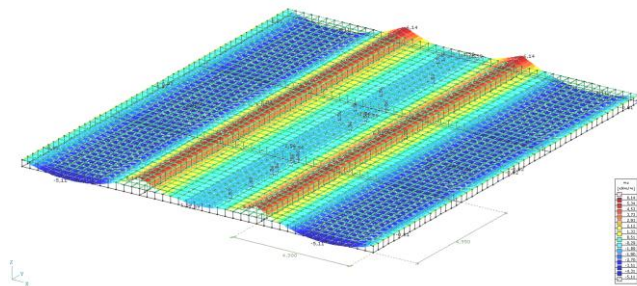
Se evidențiază efectul rigidității reduse a grinzilor cadrelor metalice asupra stării de deformații a plăcii.



4.3.3. Momentele în placă pe direcția x

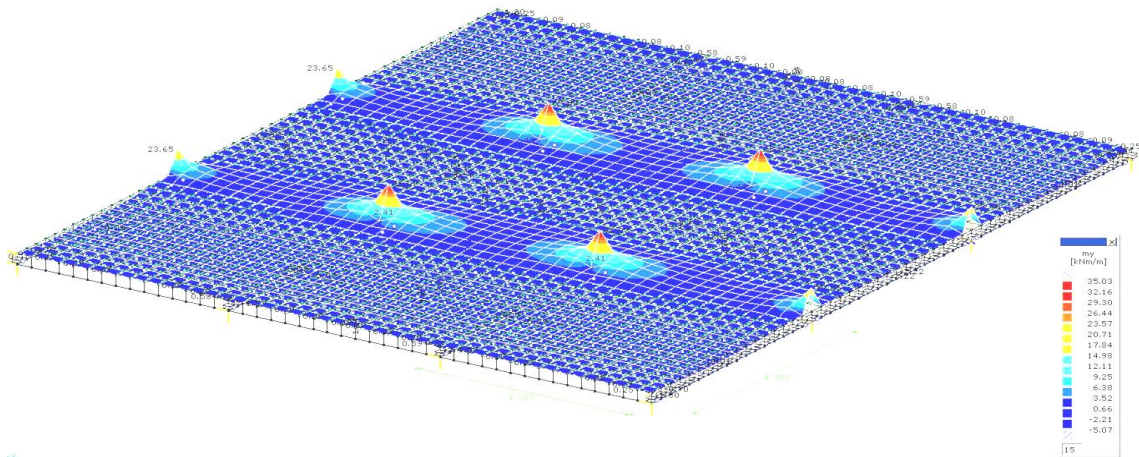


Comparativ, se prezintă starea de eforturi în placă în cazul considerării, la limită, a reazemelor plăcii ca nedepasabile (grinzi cu rigiditate infinită).



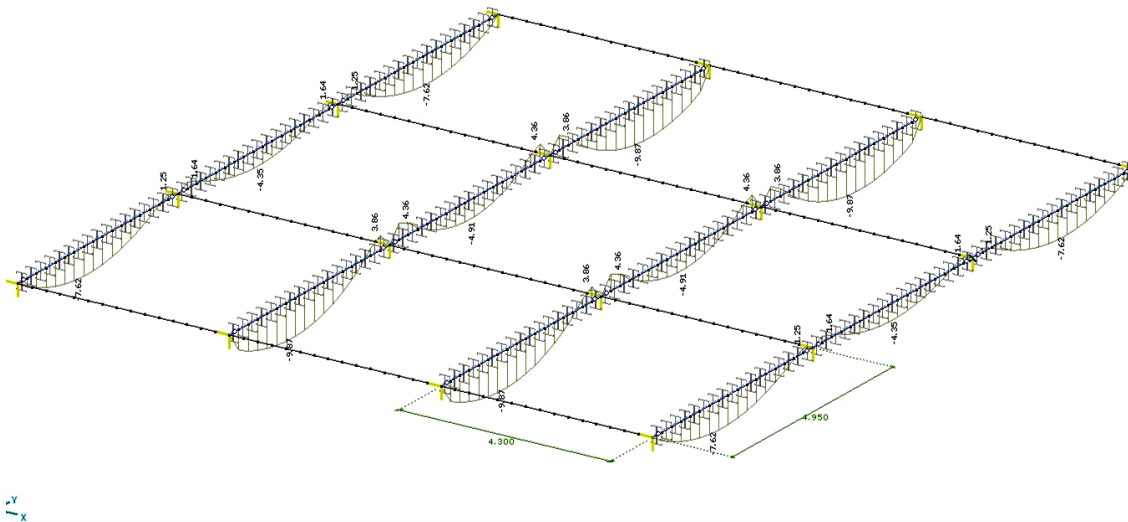
4.3.4. Momentele în placă pe direcția y

Se evidențiază efectul rigidității reduse a grinzilor cadrului metalic asupra stării de eforturi în placă.



Rigiditatea redusă a grinzilor a făcut ca prezența/efectul lor asupra comportării plăcii să fie puțin semnificativ. Grinzile nu reprezintă reazeme efective pentru placă. Se ajunge la o comportare a plăcii similară cu a unui planșeu dală, starea de eforturi efectivă este diferită de cea luată în calcul la proiectare (placa continuă care lucrează pe o direcție - cea perpendiculară pe grinzi).

4.3.5. Momentele în grinzi



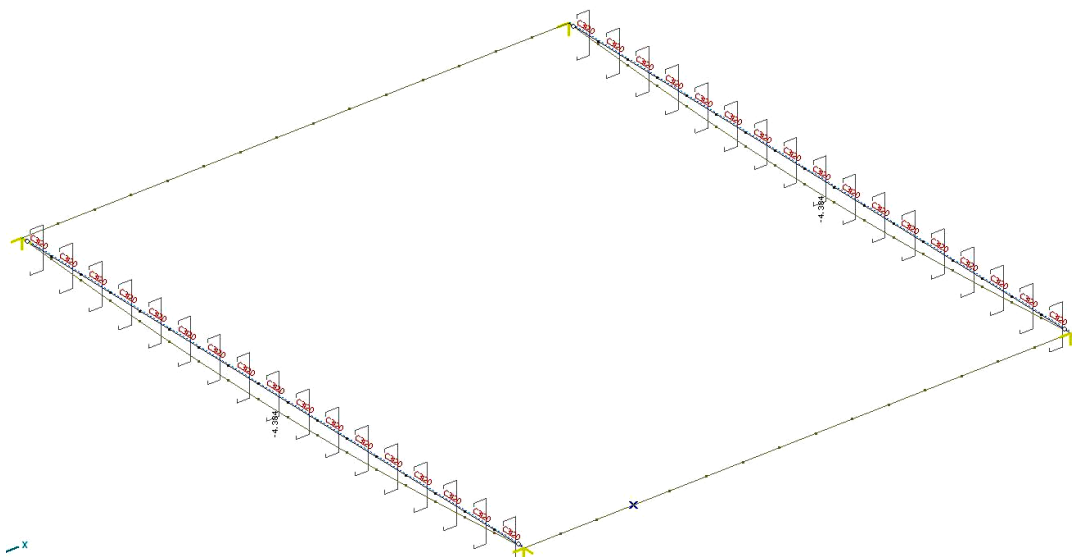
4.4. Situația consolidată, fără luarea în considerare a continuității plăcii pe grinzile cadrelor

Se adoptă o schemă statică acoperitoare, cu neglijarea continuității pe reazeme (în realitate continuitatea este parțială datorită poziției deplasate a armăturii pe reazeme).

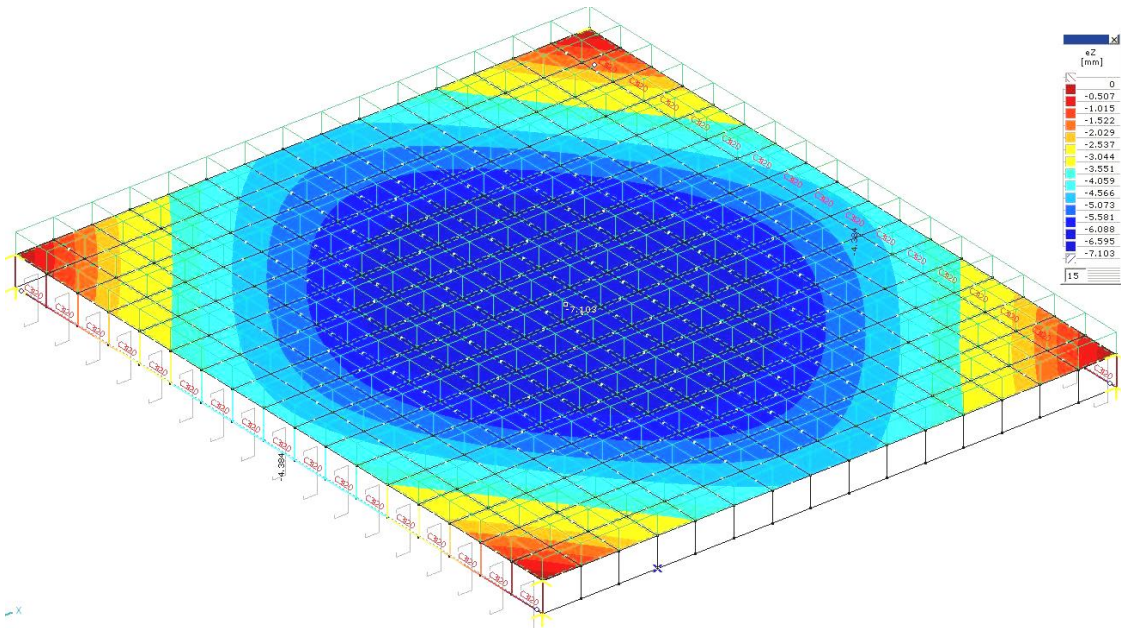
Se consideră placa simplu rezemată pe grinzile cadrelor și liberă pe celelalte două laturi (placa lucrează pe 1 direcție). Analiza se poate face pe un câmp al plăcii cu dimensiuni *traveea x deschiderea cadrului*.

4.4.1. Schema statică pentru calculul la acțiuni dispuse înainte de activarea sistemului de consolidare (acțiuni permanente = greutatea proprie a plăcii + șapă).

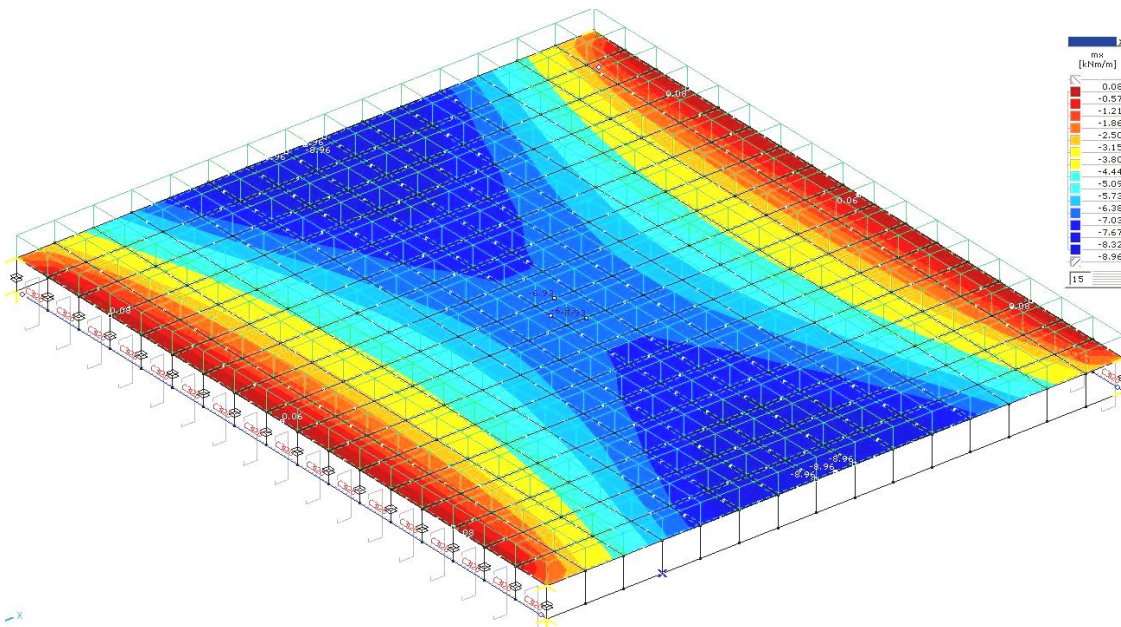
4.4.1.1. Deplasările grinzilor



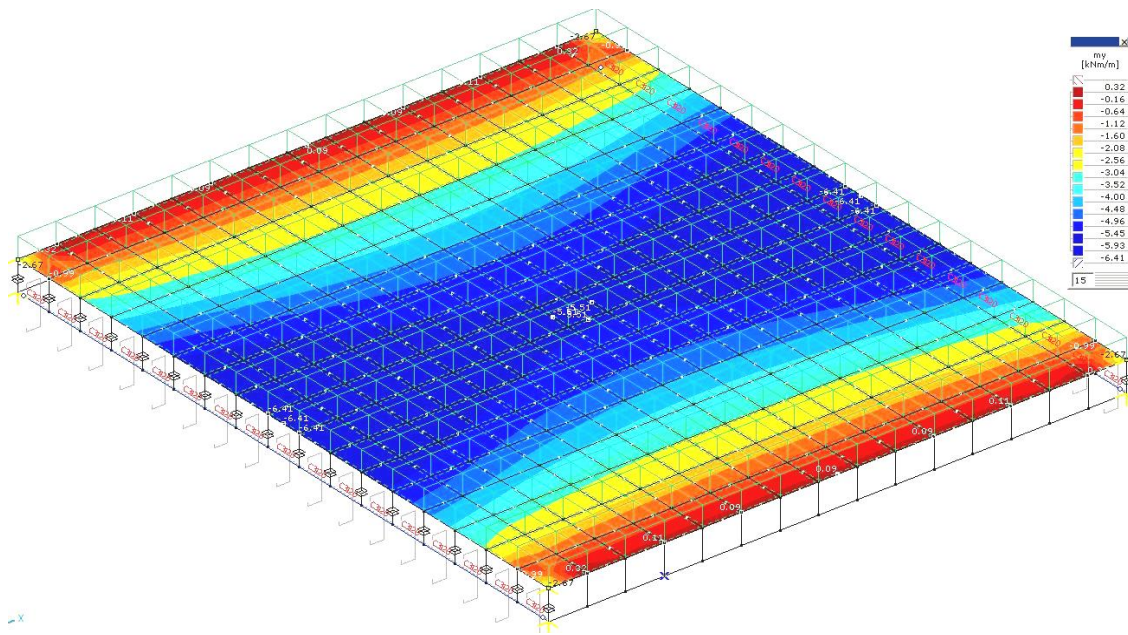
4.4.1.2. Deplasările plăcii



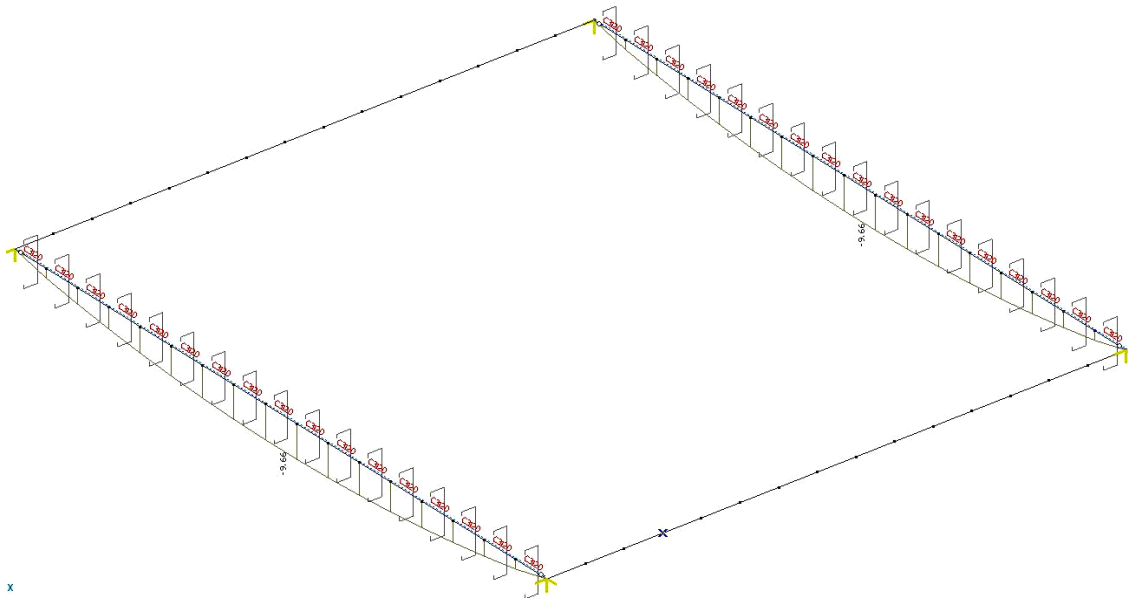
4.4.1.3. Momentele în placă după direcția x



4.4.1.4. Momentele în placă după direcția y

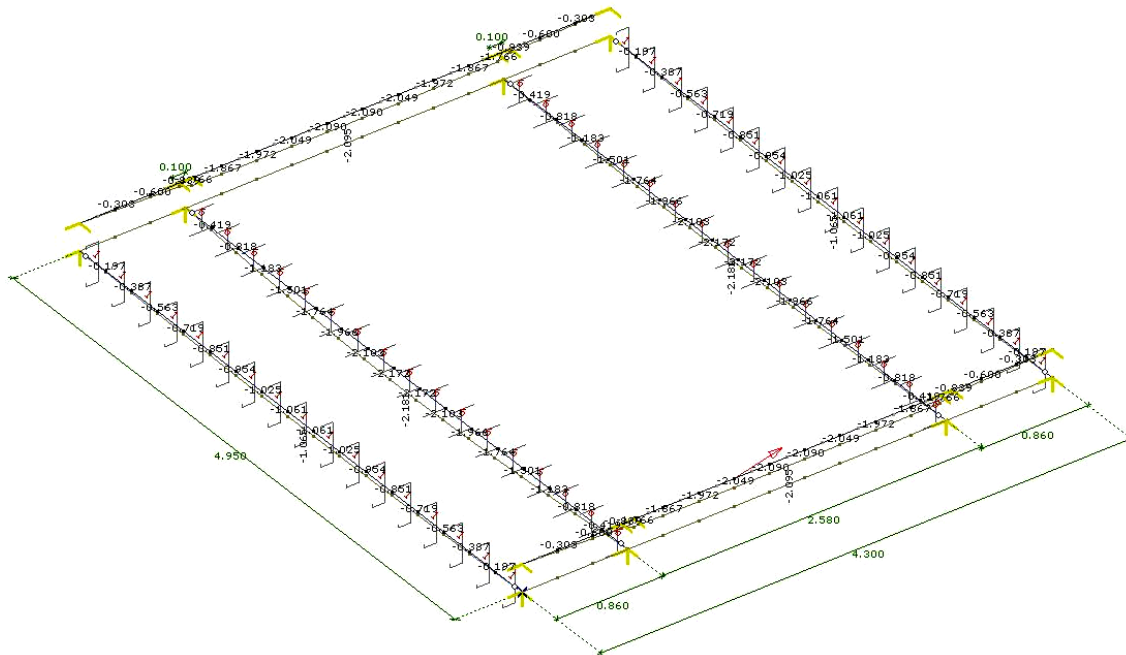


4.4.1.5. Momentele pe grindă

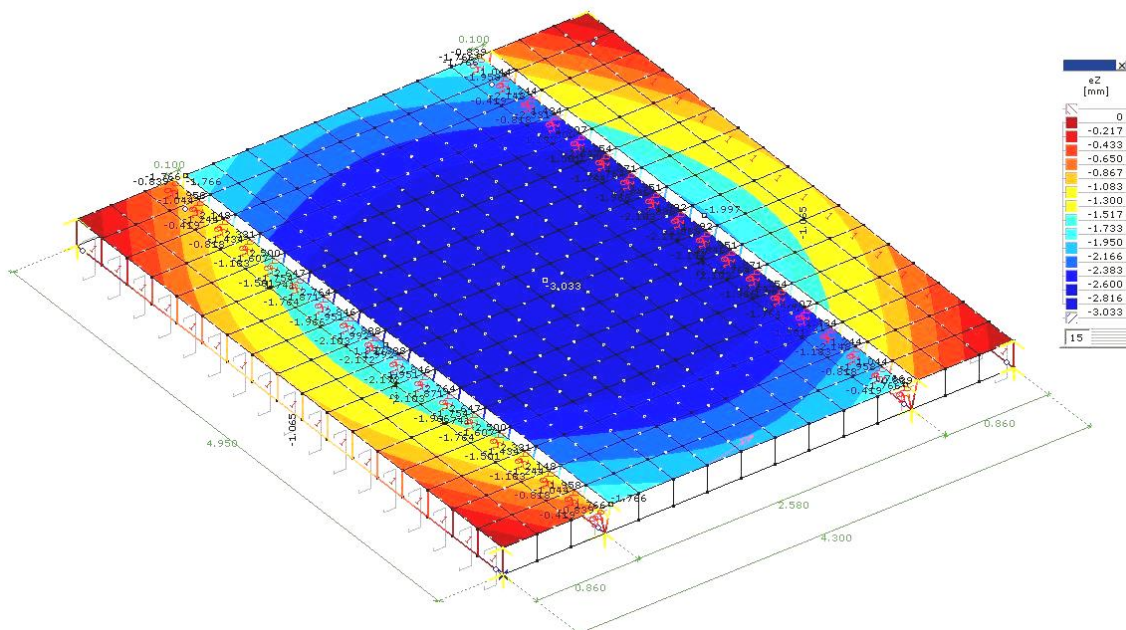


4.4.2. Schema statică pentru calculul la acțiuni dispuse ulterior activării sistemului de consolidare (acțiuni temporare + alte acțiuni permanente)

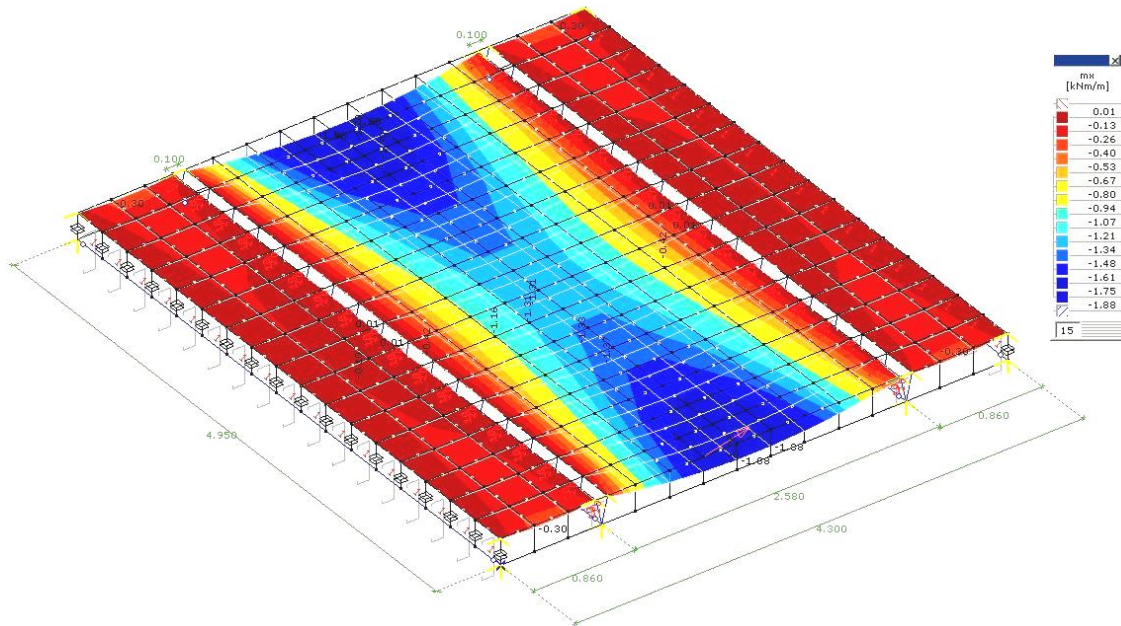
4.4.2.1. *Deplasările grinzilor*



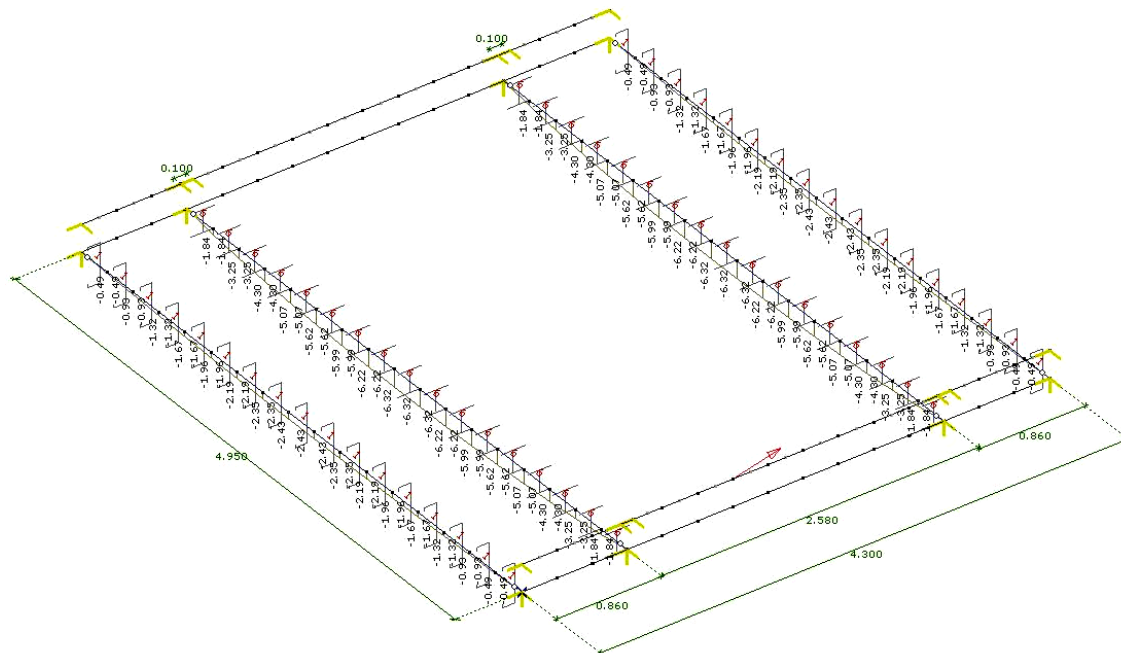
4.4.2.2. *Deplasările plăcii*



4.4.2.3. Momentele în placă pe direcția x



4.4.2.4. Momentele pe grinzi



Analiza făcută pe aceste scheme statice (suprapunerea eforturilor obținute pe schemele statice 4.4.1 + 4.4.2) conduce la concluzia că ipoteza de calcul cu neglijarea continuității plăcii pe reazeme provoacă depășirea momentelor capabile ale plăcii în câmp.

Este necesară o modelare mai apropiată de resursele reale de capacitate portantă a plăcii, motiv pentru care se analizează în continuare situația cu luarea în considerare a continuității parțiale a plăcii pe reazeme.

4.5. Situație consolidată, cu luarea în considerare a continuității parțiale a plăcii pe grinzile cadrelor

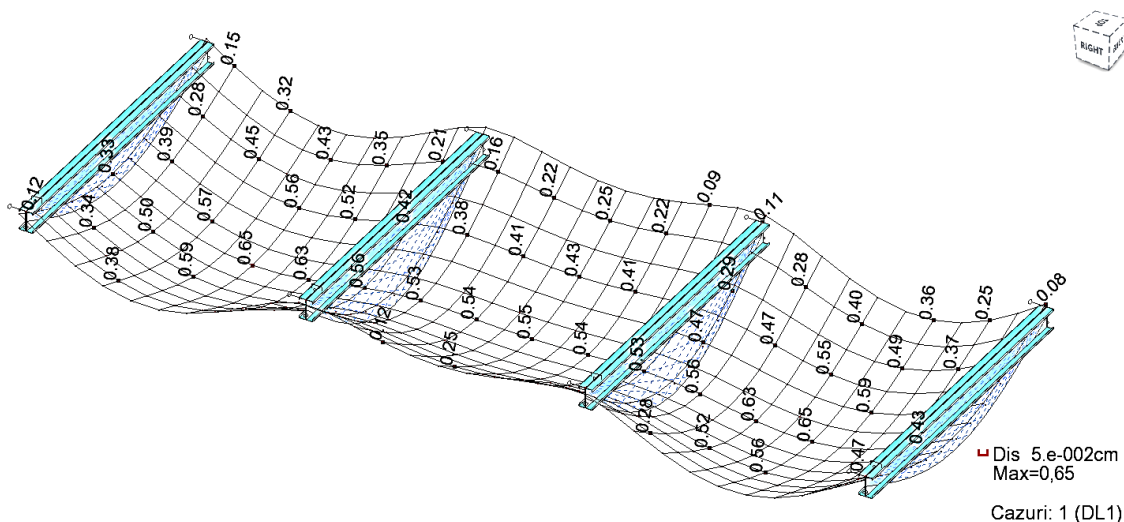
Pe această schemă statică se analizează starea de eforturi și se optimizează sistemul de consolidare pentru asigurarea unei stări de eforturi care să răspundă atât la armarea efectivă a plăcii (deci să nu fie depășite momentele capabile ale plăcii în câmp și pe reazeme), cât și la limitarea creșterii eforturilor în grinzile existente ale cadrului structurii.

Analiza se face pe o *schemă statică cu continuitate parțială pe reazemele intermediare (riglele cadrelor)* - articulație plastică, cu moment egal cu momentul capabil efectiv (corespunzător poziției armăturii coborâte pe reazem la circa jumătate din înălțimea plăcii). Se lucrează în programul Robot Professional 2013.

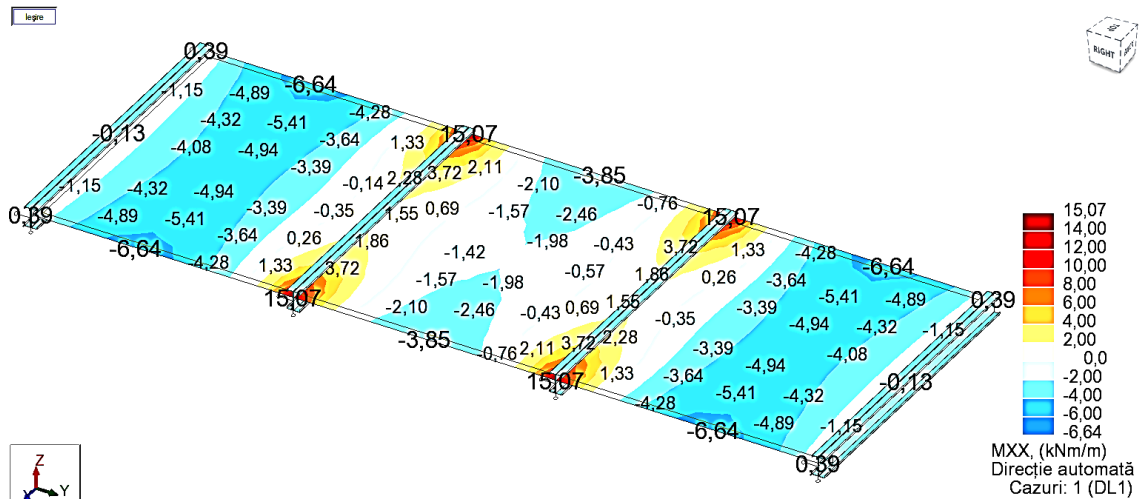
4.5.1. Schema statică pentru calculul la acțiuni dispuse înainte de activarea sistemului de consolidare (acțiuni permanente = greutatea proprie + șapă)

- se consideră placa de beton armat de 12 cm și șapa 2 cm

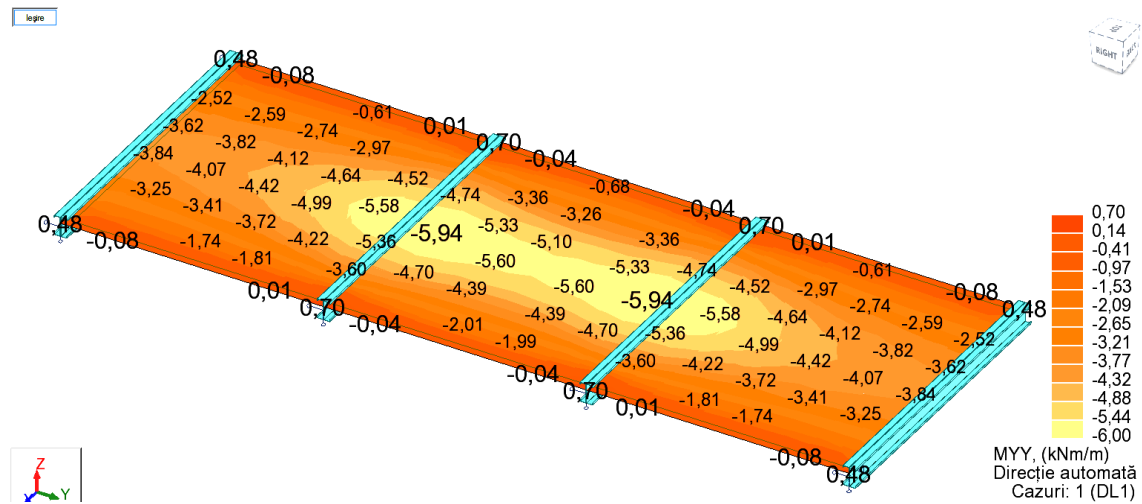
4.5.1.1. Deplasările plăcii



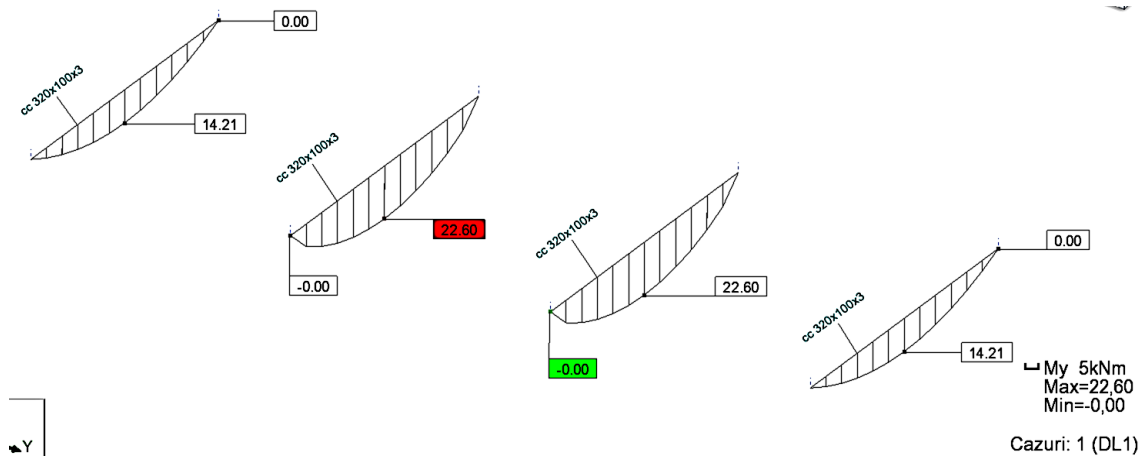
4.5.1.2. Momentele în placă pe direcția x



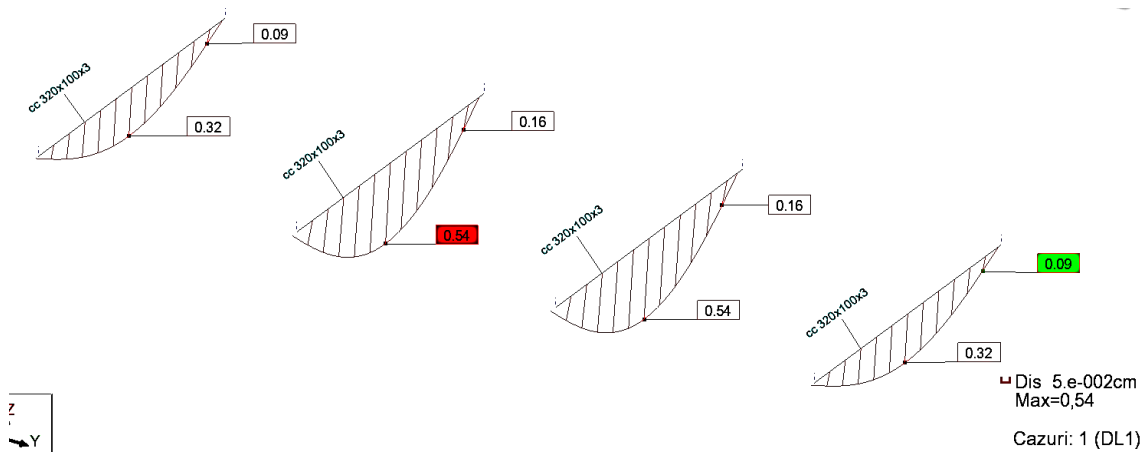
4.5.1.3. Momentele în placă pe direcția y



4.5.1.4. Diagrama de momente pe grinzi



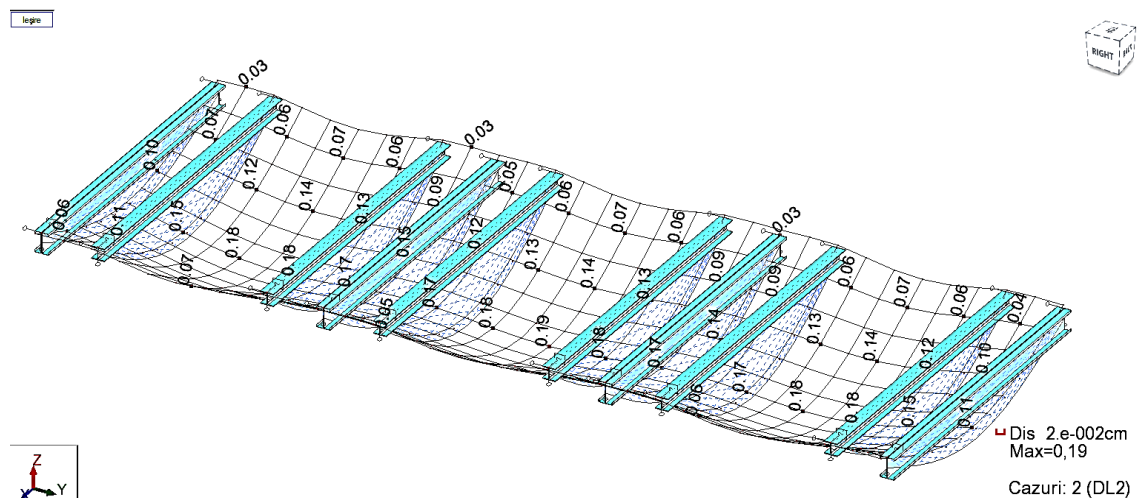
4.5.1.5. Deplasările grinzilor



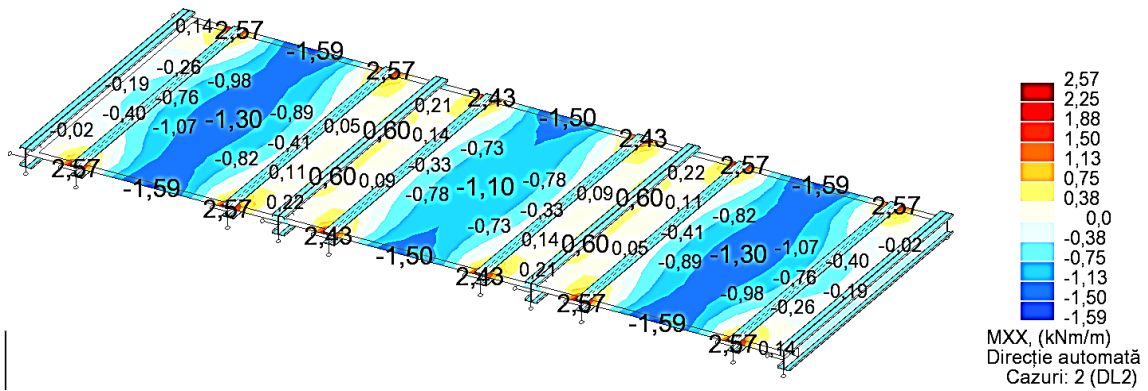
4.5.2. Schema statică pentru calculul la acțiuni dispuse ulterior activării sistemului de consolidare (acțiuni temporare + alte acțiuni permanente)

Se consideră acțiuni temporare 2 kN/m^2 . Acțiunile temporare sunt dispuse pe sistemul consolidat, rezultând eforturile și deplasările aferente. Starea finală de eforturi va rezulta prin suprapunerea eforturilor determinate pe cele două scheme statice și de încărcare.

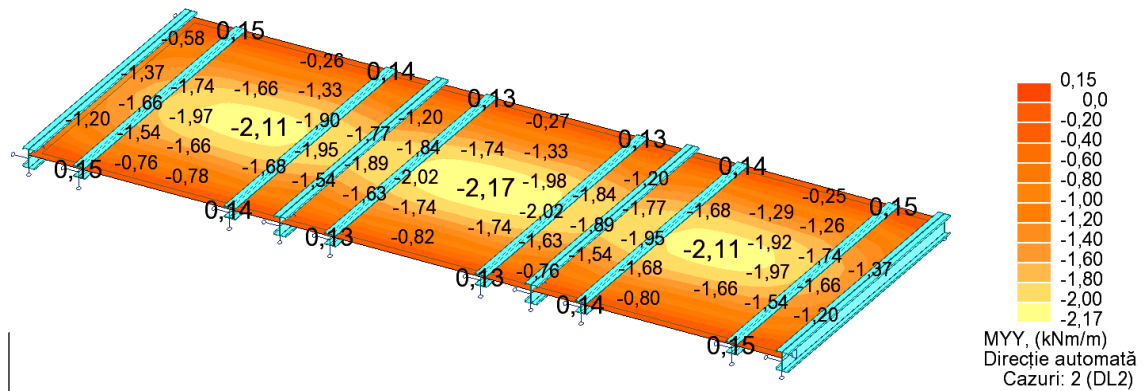
4.5.2.1. Deplasările plăcii



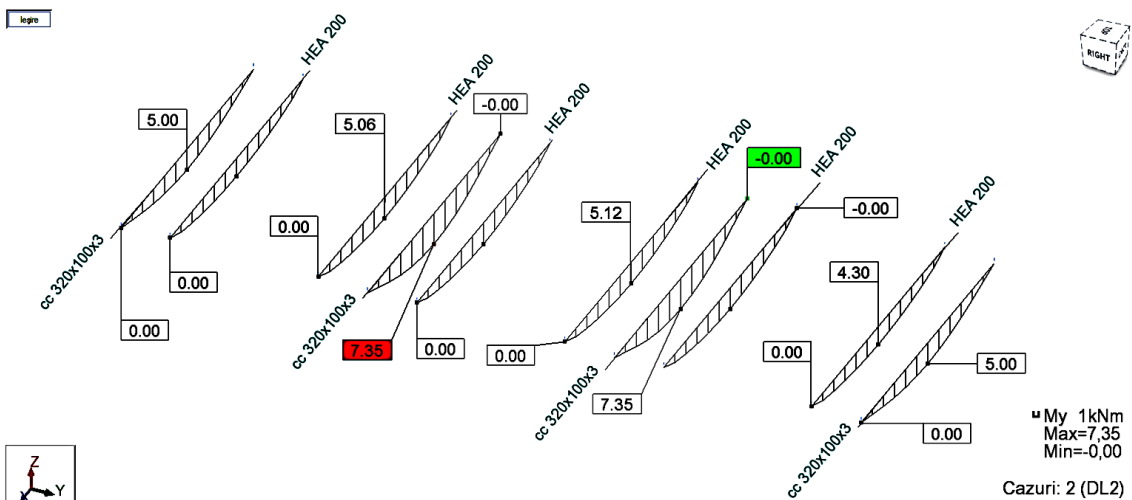
4.5.2.2. Momentele în placă pe direcția x



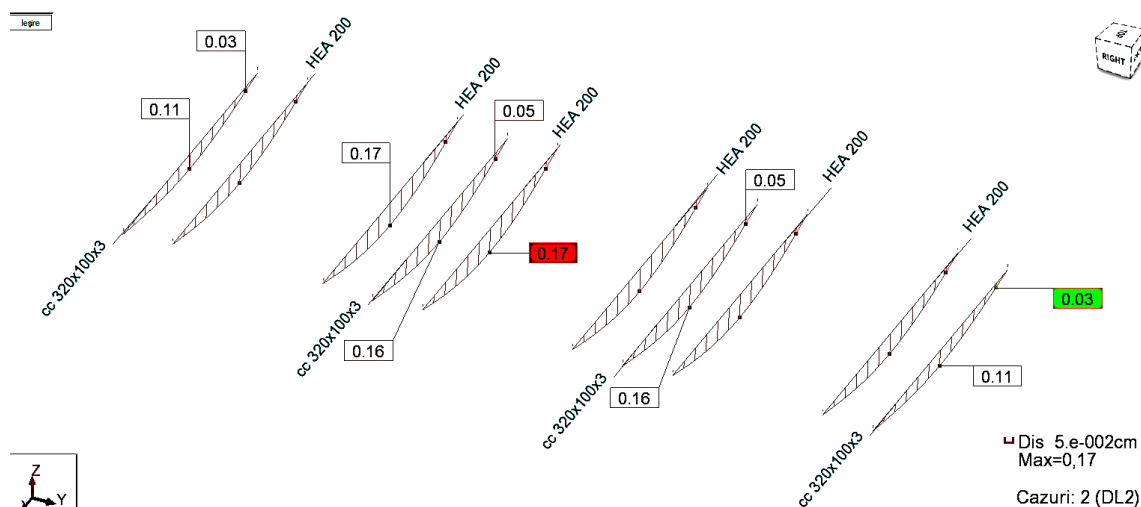
4.5.2.3. Momentele în placă pe direcția y



4.5.2.4. Diagramele de momente pe grinzi



4.5.2.5. Deplasările grinzilor



Eforturile finale, rezultate prin suprapunerea eforturilor obținute pe schemele 4.5.1. și 4.5.2., au valori care nu depășesc capacitatea portantă a plăcii sub acțiuni totale de exploatare.

Sistemul de consolidare a fost optimizat prin definirea poziției și a rigidității optime a grinzilor de consolidare. S-a urmărit ca în nici o secțiune să nu fie depășit momentul capabil al plăcii, atât în câmp cât și în zona reazemelor (zona capabilă să preia momente negative), iar momentul pe rigla cadrului să nu depășească capacitatea portantă a acesteia.

Se prezintă în continuare imagini cu situația înainte și după consolidarea planșeului.



Foto 4.1. Planșeu înainte de consolidare.
Vedere travee cadre structură



Foto 4.2. Planșeu după dispunerea
elementelor de consolidare

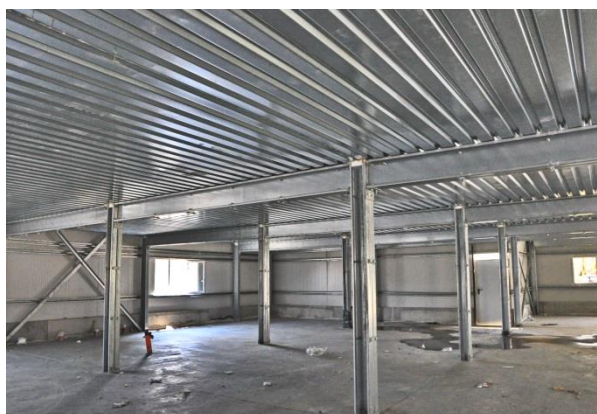


Foto 4.3. Planșeu înainte de consolidare.
Vedere deschideri cadre structură



Foto 4.4. Planșeul după dispunerea
elementelor de consolidare



Foto 4.5. Execuție rezemare pe fundație
elemente de susținere grinzi consolidare

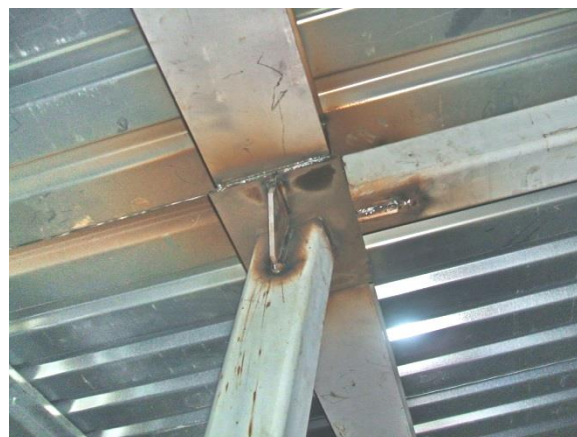


Foto 4.6. Detaliu îmbinare element de
susținere cu grinda de consolidare

Complexitatea problematicii reabilitării/consolidării planșeelor sub exploatare derivă din numărul mare de parametri ce definesc situația inițială și condiționează adoptarea soluției optime de reabilitare. Analiza făcută sintetizează aspectele ce se iau în considerare și modul de soluționare a reabilitării sub exploatare a unui element de suprafață.

Capitolul 5

STUDIU DE CAZ: REABILITAREA STRUCTURII DE REZISTENȚĂ A ESTACADEI DE LA RAMPA DE DESCĂRCARE LA DEPOZITUL DE CLORURĂ DE POTASIU, OBIECT 1325, AZOMUREȘ

5.1. Considerații generale privind fenomenul de coroziune

Coroziunea reprezintă o formă de transformare a materiei în natură și constă în fenomene fizico-chimice de deteriorare a elementelor de construcție, supuse acțiunii unor agenți agresivi, ca urmare a unor reacții chimice sau electrochimice.

Coroziunea este un fenomen deosebit de complex, generat și influențat simultan de o mulțime de factori, depinzând de natura și caracteristicile mediului agresiv și a materialelor de construcție, de solicitarea mecanică, alcătuirea constructivă, sistemele de protecție anticorozivă întrebuințate etc. Acțiunea corozivă se declanșează de obicei la suprafața elementelor de construcție și avansează treptat spre interiorul lor.[62]

Înlăturarea efectelor coroziunii este deosebit de dificilă din punct de vedere tehnic și presupune investiții semnificative din punct de vedere financiar.

5.1.1 Coroziunea armăturilor (a metalelor)

5.1.1.1. Coroziunea prin agenți chimici

Armăturile din elementele de beton armat au un strat de acoperire de 2-5 cm. Dacă armătura ajunge în contact cu agenți chimici, cu apa sau cu aerul, se corodează. Fenomenul se produce prin pătrunderea gazelor sau a soluțiilor agresive în beton, prin pori, microfisuri și fisuri ceea ce conduce la corodarea armăturilor. Volumul oxidului produs de coroziune este de aproape 8 ori mai mare decât al metalului din care provine; expansiunea care urmează produce fisuri și dislocări ale betonului.

Concentrările de tensiuni influențează simțitor procesul de coroziune a armăturilor din oțel. În condițiile în care betonul din vecinătatea armăturii este perfect, fără fisuri sau porozitate ridicată (deci nu a apărut carbonatarea acestuia), betonul protejează armătura până când intervin condiții electrochimice diferențiate, care măresc intensitatea ionilor agresivi.

Dacă armăturile sunt constituite din metale diferite sau chiar din același metal, dar prelucrate sau solicitate diferit, coroziunea atacă punctele de contact dintre acestea și în

particular, cele ale tiranților cu armătura sau elementele de rezemare (procesul se numește pilă de coroziune). În consecință, într-o secțiune dată, toate armăturile trebuie să fie din același tip de oțel și să aibă aceeași prelucrare.[59]

Tipurile de coroziune ale metalelor pot fi grupate în funcție de natura coroziunii și natura surselor agresive care le produc. [25]

În funcție de *natura coroziunii* există coroziune chimică, la care distrugerea metalului se produce în medii agresive neelectrolitice, și coroziune electrochimică, când distrugerea acestuia are loc în medii agresive electrolitice, reprezentând cazul general de distrugere a metalelor prin coroziune. În funcție de localizarea procesului de coroziune la metale se disting:

- coroziunea de suprafață, care poate fi continuă, când aceasta are loc pe toată suprafața metalului, și discontinuă sau locală, când se produce numai pe anumite porțiuni din suprafața lui;
- coroziunea interioară – cea mai periculoasă deoarece se desfășoară în interiorul elementului metalic - este dificil de depistat și poate provoca distrugerii bruște, neașteptate ale acestuia.

În funcție de *natura sursei agresive* care produce coroziunea, se deosebesc următoarele tipuri:

- coroziune atmosferică, datorată vaporilor de apă, impurităților solide sau gazelor agresive care pot declanșa coroziunea electrochimică de aerăție sau concentrație diferențiată;
- coroziunea subterană, provocată de apele subterane care transportă electroliți cu variații de concentrație și aerăție;
- coroziunea microbiologică, produsă de microorganisme, care în metabolismul lor implică procese chimice;
- coroziunea în apa de mare, caracterizată prin viteze mari de coroziune și prin localizarea punctiformă a distrugerilor.

5.1.2. Coroziunea betonului

Coroziunea se produce de la suprafață spre interiorul betonului și se poate clasifica astfel:

- a) *Coroziunea de tipul I* în care se produc dizolvări selective parțiale ale pietrei de ciment și spălarea părților dizolvate. Aici se încadrează acțiunea apei lipsită de duritate, care produce decalcifierea pietrei de ciment și transformarea ei în geluri hidratate. Hidroxidul de calciu $\text{Ca}(\text{OH})_2$ este dizolvat și scos din beton prin difuziune, sub formă de eflorescență de

culoare albă. Concentrația de Ca(OH)_2 scăzând, se produce hidroliza hidrosilicaților și apariția unor noi cantități de Ca(OH)_2 . Fenomenul se repetă și poate continua până la dezagregarea betonului.

b) *Coroziunea de tipul II* se caracterizează prin reacții chimice între substanțele conținute în mediul agresiv și unele componente ale pietrei de ciment. Ele dau naștere la compuși solubili ce pot fi antrenați afară din beton, sau la compuși nesolidificabili. În această categorie intră acțiunea apelor cu CO_2 . Apele încărcate cu H_2CO_3 reacționează cu Ca(OH)_2 , dând în final bicarbonatul de calciu $\text{Ca(HCO}_3)_2$, care este solubil și poate fi spălat din beton. Toți acizii mijlocii și tari în soluții apoase (sărurile de amoniu, apele cu deșeuri de la fabricarea celulozei sau zahărului, uleiurile, grăsimile, soluțiile de săruri de magneziu etc.) dau coroziuni de acest tip.

c) *Coroziunea de tipul III* se datorează acumulării în piatra de ciment a unor săruri care prin cristalizare își măresc volumul sau expandează, înving coeziunea betonului, îl fărâmițează și îl distrug. Acest gen de coroziune îl manifestă soluțiile de sulfați – apele subterane de pe lângă zăcămintele de ghips, gazele de ardere bogate în SO_2 și vaporii de apă, soluțiile concentrate de CaCl_2 . [54][62]

Protecția împotriva coroziunii betonului presupune în primul rând folosirea unor compoziții de betoane corespunzătoare și a unor componenți – ciment, agregate – rezistente la acțiunea corozivă [60]. Ea se realizează și prin obținerea unor straturi protectoare bituminoase, rășini sau prin placarea cu materiale anticorozive.

5.2. Considerații privind cauzele degradării construcțiilor din industria chimică

Pe lângă motivele deteriorării construcțiilor subliniate în subcapitolul anterior, *agresiunea chimică* este unul din factorii principali întâlniți la construcțiile de beton armat din industria chimică. Agresivitatea chimică se analizează la nivelul:

• infrastructurii de beton armat, unde ea se compară prin număr de unități pH și concentrație (mg/l). Aceasta depinde de:

- coeficientul de filtrație al pământului;
- presiunea apei asupra fundației;
- procentul de armare a betonului;
- masivitatea fundației;
- gradul de impermeabilitate a betonului;
- natura cimentului.

- suprastructurii de beton armat unde se identifică prin:
 - concentrația gazelor (mg/m^3 aer);
 - umiditatea relativă a aerului (%).

5.2.1. Coroziunea general acidă

Se verifică având ca indicator concentrația ionilor de hidrogen (pH). Acesta depinde de:

- tăria acidului având valori:
 - $< 3,0$ în cazul acizilor tari
 - $> 3,0$ și $< 5,0$ în cazul acizilor medii
 - $> 5,0$ în cazul acizilor slabi.
- concentrația acidului fiind de:
 - 4,0 când aceasta este 99,7%
 - 5,0 când aceasta este 97,0%
 - 6,0 când aceasta este 76,7%
 - 7,0 când aceasta este 25,0%
 - 8,0 când aceasta este 3,2%
 - 9,0 când aceasta este 0,3%.

Se definesc 5 grade de agresivitate a mediului:

- foarte slabă - corespunzătoare unui $\text{pH} \geq 7,0$
- slabă - corespunzătoare unui $\text{pH} = 6,0-6,9$
- medie - corespunzătoare unui $\text{pH} = 5,5-5,9$
- intensă - corespunzătoare unui $\text{pH} = 5,0-5,4$
- foarte intensă - corespunzătoare unui $\text{pH} \leq 4,9$.

Clasa de agresivitate se mărește cu o treaptă în cazul:

- intrării în contact a apei cu betonul de fundație după mai puțin de 7 zile de maturizare;
- unor temperaturi ale mediului cuprinse între 50°C și 80°C ;
- existenței posibilității de formare a condensului pe suprafața elementelor de construcții.

5.2.2. Coroziunea sulfatică

Spre deosebire de corozia generală acidă, deoarece aprecierea agresivității sulfatice se face în raport cu tipul de ciment folosit. Astfel rezultă trei categorii:

- ciment cu rezistență sulfatică redusă: portland Pa35, P40, P45;
- ciment cu rezistență sulfatică moderată: metalurgic M30, de furnal F25, hidrotehnic H35 și HZ35;
- ciment cu rezistență sulfatică ridicată SR35, SRA35.

Agresiunea sulfatică rezultă în urma prezenței sulfurului sub formă de gaze: sulfura de carbon CS₂, bioxid de sulf SO₂, trioxid de sulf SO₃, hidrogen sulfurat H₂S și sub formă de topituri de carbon și sulf la temperaturi înalte, care în contact cu oxigenul din aer se transformă în acid sulfuric.

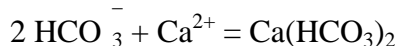
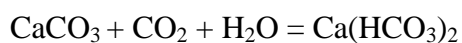
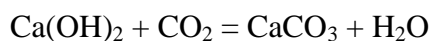
5.2.3. Coroziunea clorului

Se manifestă sub formă de gaze: Cl, HCl, respectiv pulberi: NaCl, KCl, CaCl₂, ZnCl₂ (solubile și higroscopice). În condițiile unei ceți omniprezente (umiditate relativă peste 80%) o concentrație de clor de 0,5 mg/m³ aer este suficientă pentru obținerea unei agresivități intense.

Concentrațiile maxime ale ionilor de Cl⁻ favorizează dezalcanizarea betonului, dispariția etrierilor, reducerea secțiunii armăturilor longitudinale. Acestea împiedică expansiunea betonului datorită dizolvării gipsului și sulfo-aluminatului de calciu în soluția de cloruri.

5.2.4. Coroziunea carbonică

Acidul carbonic are o tărie medie, dar fiindcă numai 0,37% din CO₂ dizolvat în apă se află ca H₂CO₃, efectul său coroziv este slab. Sub acțiunea apelor carbonatate Ca(OH)₂ din piatra de ciment trece în CaCO₃. Acesta este stabil doar în cazul unor concentrații mici de CO₂. Peste așa numita concentrație CO₂ de echilibru, carbonatul format trece în bicarbonat conform reacțiilor :



Carbonatul de calciu este practic insolubil; bicarbonatul însă prezintă o solubilitate ridicată. De fapt migrația apei carbonatate în interiorul betonului înseamnă transportul bicarbonatului. De asemenea ea reprezintă transportul SiO_2 aflat în piatra de ciment și SO_2 aflat în atmosferă. În concluzie, la punctul de ieșire au loc trei fenomene:

- recristalizarea cu formarea carbonatului de calciu;
- silicatarea cu formarea silicatului de calciu;
- gipsarea cu formarea sulfatului de calciu.

Dacă porozitatea betonului este mică atunci migrația apei formează o crustă protectoare superficială. Dacă porozitatea este mare, migrația apei formează depozitele de recristalizare sub stratul superficial. Forța de expansiune considerabilă a acestor săruri provoacă fisurarea stratului superficial și degradarea betonului.

Pentru betoanele simple carbonatarea este un fenomen pozitiv, pentru betoanele armate carbonatarea este un fenomen negativ care conduce la micșorarea alcalinității betonului și implicit la coroziunea electrochimică a armăturilor.

Împotriva coroziunii:

- se folosesc betoane vârtoase, cimenturi cu tras, prafuri cu microsiline;
- se sporește clasa de beton și acoperirea cu beton a armăturii;
- se supradimensionează armăturile de la colțurile stâlpilor;
- se efectuează grunduirea etrierilor;
- se protejează betoanele cu gudron de ulei, email clor-cauciuc, bitum, rășini epoxidice, silicofluorură de magneziu, tetrafluorură de siliciu.

5.2.5. Coroziunea bazică

Agresivitatea alcalină se analizează din punctul de vedere al factorilor de mediu (concentrație, temperatură, presiune, umiditate, valoare pH, timp de acțiune) și al materialelor utilizate (ciment, agregate, metal, protecție anticorozivă). La concentrații:

- *mici* (<10%) de NaOH are loc umflarea, cu efect stabilizator a pietrei de ciment. Hidroxidul feros se depune ca o peliculă protectoare a fierului care frânează înaintarea procesului de coroziune;

- *mari* (>10 %) de NaOH are loc distrugerea betoanelor.

Creșterea temperaturii accelerează atât distrugerea betoanelor, cât și pe cea a peliculei de protecție a fierului.

Umiditatea favorizează reacția dăunătoare pentru beton, dintre calcarele dolomitice ale agregatului și alcaliile din ciment, care are ca rezultat expansiunea, fisurarea și dezintegrarea pastei de ciment.

Dacă tot betonul este scufundat în alcalii, coroziunea are loc datorită solubilizării SiO_2 și a Al_2O_3 (coroziune de tipul I).

- o parte din suprafața betonului vine în contact cu atmosfera, se produce o carbonatare a hidraților alcalini (coroziune de tipul III).

Ridicarea valorii pH-ului peste 10 inhibă coroziunea locală.

5.2.6. Coroziunea sărurilor

5.2.6.1. Prezența azotului în săruri. Azotul participă la formarea gazelor agresive: NH_3 , NO , NO_2 și a pulberilor agresive: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4Cl , $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, NH_4NO_3 , NaNO_3 , KNO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ (cu higroscopicitate scăzută), $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ (cu higroscopicitate ridicată).

Folosirea îngrășămintelor azotoase mărește agresivitatea solurilor.

5.2.6.2. Gradul de agresivitate al diverselor săruri. Clorura de amoniu este mai periculoasă decât sulfatul de amoniu, deoarece clorura de calciu, rezultată în urma reacției cu elementul de beton, se levighează mai ușor decât sulfatul de calciu.

Sulfatul de magneziu realizează o coroziune sulfatică (tip III), magneziană (tip II), sau mixtă.

Ridicarea nivelurilor apelor freactice, în cursul lunii martie (datorită topirii zăpezilor) mărește agresivitatea sulfatică (datorită prezenței oxigenului).

Clorurile sunt mai agresive decât bromurile și iodurile datorită tăriei diferite a acizilor din care provin.

5.2.6.3. Formarea depozitelor de săruri. Canalele termice îngropate sunt periculoase dacă: atrag soluțiile agresive, provoacă evaporarea ulterioară a apei crescând astfel concentrația sărurilor, determină coroziunea betoanelor de fundație atunci când conținutul total al sărurilor depășește 10.000 mg/dm^3 .

Eflorescențele, datorate migrației umezelii, înseamnă transport de sulfați de sodiu proveniți din cărămizi executate din argile piritoase, arse la temperaturi sub 950°C și sodă conținută în ciment, împreună cu materialele organice, existente în piatra calcaroasă.

5.2.6.4. Utilizarea sărurilor ca inhibitori. Pentru inhibarea proceselor chimice sunt necesari: cromații, azotiții, osmiații – care produc pasivarea în absența oxigenului; molibdații,

azotații – care produc pasivarea în prezența oxigenului; fosfații, carbonații, silicații – care interacționează cu metalul de bază, formând pelicule protectoare. [50]

5.2.7. Coroziunea de levigare

Din cauza unor condiții de mediu foarte diferite, construcțiile pot fi supuse acțiunii unor ape de compoziții diferite, la ape de râu moi sau industriale dedurizate și până la ape subterane sau de suprafață puternic mineralizate. În prima etapă este levigat hidroxidul de calciu existent în piatra de ciment, ulterior dizolvat și levigat.

Intensitatea levigării din cauza apei moi este influențată de următorii factori: duritatea apei, starea stagnantă sau curgătoare a apei, cantitatea de apă care percolează sub presiune, temperatura apei moi, tipul cimentului, densitatea betonului, calitatea și starea suprafeței betonului, dimensiunile și vechimea betonului.[1]

Acest tip de coroziune se cercetează prin prisma agresivității de dezcalcinizare. Aceasta se transpune, în cazul fundațiilor uzuale, printr-o concentrație maximă a ionului bicarbonat de 90 mg/dm^3 . Apele de râu sunt mai moi iarna și primăvara. Aceasta se datorează faptului că, acțiunea de dizolvare a ionului bicarbonat, este favorizată vara și toamna de o curgere lentă și temperatura ridicată.

5.2.8. Coroziunea electrochimică

Prin coroziune se înțelege distrugerea materialelor datorită reacțiilor chimice sau electrochimice cu mediul înconjurător. Reacția chimică este posibilă la toate materiile prime folosite în industrie, în timp ce reacția electrochimică nu apare decât la metale, deoarece numai ele posedă electroni liberi. Materialele sintetice nu posedă această structură, ele fiind degradate de obicei numai chimic. Sub acest aspect se cunosc două tipuri de coroziune:

- coroziune chimică, în cursul căreia reacția dintre metal și mediul înconjurător nu are loc cu transport de sarcini electrice;
- coroziune electrochimică, în cursul căreia în timpul reacției metalului cu mediul înconjurător apare și un transport de sarcini electrice.

Coroziunea chimică. Este caracteristică utilajelor tehnologice din industria chimică. Se produce în gaze uscate, la temperaturi ridicate. Constă în reacția $\text{Me} + 1/2\text{O}_2 = \text{M}_e\text{O}$

Coroziunea electrochimică. Pentru apariția acestui tip de coroziune este necesar să existe un anod, un catod, un electrolit și un conductor, deci un element galvanic. Prin înlăturarea uneia dintre aceste condiții, coroziunea electrochimică nu se produce.

Prin introducerea metalului în apă sau în mediu cu proprietăți electrolitice, pe suprafața metalului apar elemente galvanice, în care impuritățile din metal funcționează ca microcatozi cu descărcare de hidrogen pe suprafața lor, în timp ce metalul funcționează ca anod, se dizolvă.

Constă în două reacții, care se desfășoară simultan: oxidare (reacția anodică) $Me=Me^{2+}+ze^{-}$ și reducere (reacția catodică) $Ox+ze^{-} = red$ [50][98][103]

5.3. Studiu de caz: reabilitarea structurii de rezistență a estacadei

5.3.1. Descrierea structurii de rezistență a estacadei și a stării tehnice a acesteia

Caracteristici constructive: estacada dintre rampa de descărcare și depozitul de clorură de potasiu susține banda transportoare. Are lungimea în plan de 30 m. Lățimea estacadei este de 3,60 m. Reazemă pe frontonul depozitului la cota + 9,45 m.

Structura de rezistență a estacadei este realizată din grinzi prefabricate în L cu înălțimea de 1,15 m și lățimea inimii de 30 cm, pe care sunt dispuse, la partea inferioară, elemente prefabricate de planșeu (dimensiuni 2,50 x 1,00 x 0,10 m) ce susțin banda transportoare. Grinzile reazemă pe stâlpi prefabricați cu secțiunea de 60 x 60 cm, dispuși la 9,50 m interax, încastrați în fundații pahar (talpa 2,00 x 2,50 m, adâncimea de fundare -3,65 m). Rezemarea grinzilor estacadei pe frontonul ax 1 se face pe un element orizontal de beton armat, dezvoltat între stâlpii centrali ai frontonului, conformat astfel încât să asigure condițiile corespunzătoare rezemării.

Închiderea estacadei este realizată cu o structură alcătuită din cadre metalice transversale (din profile laminate I12), rezemate pe talpa superioară a grinzilor estacadei și pane metalice. Învelitoarea și pereții laterali sunt din azbociment ondulat. În pereții laterali sunt dispuse ferestre continue, cu tâmplărie metalică, cu ochiuri mobile de 60 x 60 cm.

Starea tehnică a structurii de rezistență: starea tehnică a structurii estacadei, înainte de consolidare, era caracterizată prin existența unui proces avansat de degradare a betonului și armăturii care a afectat semnificativ rezistența și stabilitatea ansamblului estacadei.

Era degradat masiv stratul de acoperire cu beton al armăturii, până la desprinderea sau izolarea armăturilor longitudinale și transversale de beton. Fenomenul a fost prezent la partea inferioară a grinzilor prefabricate ale estacadei (în unele zone și pe fețele laterale ale acestora), precum și la stâlpii prefabricați de susținere ai estacadei. Au fost corodate armăturile longitudinale, cu grad variabil de afectare și armăturile transversale. Partea inferioară a plăcilor prefabricate ale estacadei prezenta un grad mai redus de degradare. Era

afectată de coroziune și structura de susținere a închiderilor laterale și a învelitorii acoperișului.

Factorii agresivi ce acționează asupra structurii de beton a estacadei: estacada este amplasată într-o zonă cu intensitate mare a factorilor chimici. Este o zonă de ”intersecție” a curenților compuși din:

- gaze de ardere uscare KCl, oxizi de carbon, praf KCl;
- praf de îngrășământ: NH_4NO_3 , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_2$, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, CaHPO_4 ;
- fosforit: $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, care în prezența oxizilor de azot și a apei pot trece parțial în H_3PO_4 ;
- gaze NO , NO_2 , vapori de acid azotic, NH_3 , compuși cu fluor.

Concentrația acestora este dată de curenți, condiții climatice, scăpări fugitive etc.

5.3.2. Descrierea soluției de reabilitare a estacadei

S-a realizat în prealabil înlăturarea betonului degradat al grinzilor longitudinale ale estacadei, înlăturarea ruginii de pe barele de oțel beton afectate, neutralizarea procesului de coroziune. S-au dispus, la partea inferioară a grinzilor de beton armat astfel pregătite, în lungul lor, prin intermediul unui mortar de poză, profile metalice U24. Profilele se fixează la lunecare față de beton cu dornuri $\phi 25/500$ mm ancorate cu rășini în găuri $\phi 32$ practicate la talpa inferioară a grinzilor longitudinale. Se dispun etrieri $\phi 14/35$ cm, sudați de profilul U24 și de corniere L70x70x8 dispuse la partea superioară a grinzilor longitudinale. Se reface prin torcretare stratul de protecție cu beton al armăturii.

Rezemarea grinzilor estacadei pe stâlpi se asigură prin intermediul a câte 4 profile metalice din țevă $\phi 219 \times 8$ mm rezemate, prin intermediul unei baze metalice, pe un cuzinet de beton armat cu înălțimea de 40 cm realizat la partea superioară a fundațiilor pahar. În acest fel se evită transmiterea acțiunilor estacadei la fundații prin consolele degradate ale stâlpilor, reabilitarea acestora fiind dificil de realizat sub exploatare. Ancorarea bazei metalice de fundația pahar s-a realizat cu ancore metalice $\phi 25$ fixate cu rășini în găuri $\phi 32$ practicate la fața superioară a pereților paharului.

După activarea confecției metalice de susținere a estacadei, s-a înlăturat betonul degradat de pe stâlpii de susținere ai estacadei. S-a înlăturat rugina de pe barele de oțel, s-a neutralizat, s-au înlocuit etrierii degradați prin coroziune, s-a refăcut stratul de protecție al armăturii.

S-a reabilitat structura metalică de rezistență a închiderii pasarelei. S-a realizat o nouă închidere la pereții laterali și la acoperișul estacadei.

5.3.3. Refacerea caracteristicilor secțiunii de beton a elementelor estacadei

Intervențiile la structura de beton armat constau în torcretare, tencuieli și turnare locală de beton. Condițiile de mediu existente în incinta Azomureș sunt condiții de agresivitate chimică intensă. Conform standardului NE 012-1:2007, clasa de expunere a betonului este, în consecință, XA3, motiv pentru care materialele utilizate respectă exigențele impuse de această clasă de expunere. Mortarele și betoanele de reparație utilizate pentru reparația și/sau înlocuirea betonului necorespunzător și pentru protecția armăturii se aplică conform SR EN 1504 -1-9 ”Produse și sisteme pentru protecția și repararea structurilor din beton”.

Rețetele propuse pentru cele trei tipuri de materiale sunt redată în continuare:

5.3.3.1. Beton pentru torcretare

Tipul de ciment utilizat în rețeta de beton pentru betoane de torcretare este un ciment de tip CEM I 42,5R, cimentul având proprietăți ce rezistă mediilor înconjurătoare cu agresivitate chimică intensă, conform standardului NE 012-1:2007 „Cod de practică pentru executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat”, Partea 1: *Producerea betonului*.

Agregatele utilizate sunt agregate de râu, conform standardului „Instrucțiuni tehnice pentru aplicarea prin torcretare a mortarelor și betoanelor”. Dimensiunea maximă a agregatului utilizat în rețeta de beton va fi de 8 mm, conform standard C130-78. Clasa de beton aleasă în funcție de clasa de expunere a betonului este C 35/45 (Tabelul F.1.2, NE 012-1:2007). Dozajul mediu de ciment este de 450 kg/m³.

Apa utilizată la executarea mortarelor și a betoanelor aplicate prin torcretare trebuie să îndeplinească condițiile tehnice din STAS 790-84.

Conform standardului „Instrucțiuni tehnice pentru aplicarea prin torcretare a mortarelor și betoanelor”, utilizarea aditivilor acceleratori de întărire se va face conform indicațiilor specifice ale furnizorului.

În ceea ce privesc condițiile de aplicare, suprafața pe care urmează să se torcreteze beton trebuie în prealabil să fie curățată de impurități și de stratul superficial de lapte de ciment, realizându-se o suprafață cu rugozitate pronunțată favorabilă aplicării torcretului. Aplicarea torcretului în zonele de reparație a betonului s-a făcut numai după îndepărtarea prin cioplire a părților degradate; după îndepărtarea acestora până s-a ajuns la o suprafață de beton rezistent, s-a efectuat o spălare cu apă sub presiune și suflare cu aer de jet comprimat.

Torcretarea se execută în cel puțin 2 straturi. Primul strat reprezintă o amorsă, cu rol de a asigura o aderență mai bună și o reducere a materialului ricoșat.

Grosimea straturilor de mortar variază între 2-5 cm, în funcție de îndemânarea torcretistului și de condițiile tehnologice locale.

5.3.3.2. Beton pentru turnare

Clasa de beton aleasă în funcție de clasa de expunere a betonului este C 35/45 (Tabelul F.1.2, NE 012-1:2007). Tipul de ciment utilizat este CEM I 42,5R, conform NE 012-1:2007: „Cod de practică pentru executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat”, Partea 1: *Producerea betonului*. Dozajul de ciment este de 555 Kg/m³.

Dimensiunea maximă a agregatelor este de 8 mm (funcție de dimensiunea minimă a elementului, distanța între armătură și acoperirea cu beton și, de asemenea, în funcție de modul de aplicare). Cantitatea de agregat necesară este de 1563 kg/m³.

Raportul A/C = 0.40. Cantitatea de apă necesară este 206 l/m³. Clasa de consistență a betonului este S2, iar tasarea betonului de 70 cm.

<i>REȚETA BETONULUI</i>		
<i>Materiale</i>	<i>Tip</i>	<i>Cantitate</i>
Ciment	CEM I 42,5R	555 Kg/m ³
Agregat	de râu	1563 Kg/m ³
90/96 apă	A/C = 0,40	206 l/ m ³

5.3.3.3. Mortar pentru tencuire

Pentru etapa de tencuire s-a ales un mortar pe bază de ciment, mortar de clasă CS IV, marca mortarului M100T (SR EN 1015-11). Dimensiunea maximă a agregatelor este de 4 mm. Cantitatea de agregat necesară este de 1550 kg/m³. Dozajul minim de ciment este de 385Kg/m³. Tipul de ciment utilizat este CEM I 42,5R.

5.3.4. Protecția anticorozivă a scheletului metalic

Pentru acesta s-a propus un grund de tip G 4040 AC și mai apoi aplicarea unei vopsele de tip GUDROPOL V 3207.

5.3.5. Soluție alternativă de consolidare a estacadei

A fost analizată o soluție de consolidare alternativă la soluția adoptată la execuție. Această soluție presupunea preluarea integrală a acțiunilor permanente (greutatea proprie a structurii de rezistență și a închiderilor) și a acțiunilor de exploatare de către structura de consolidare.

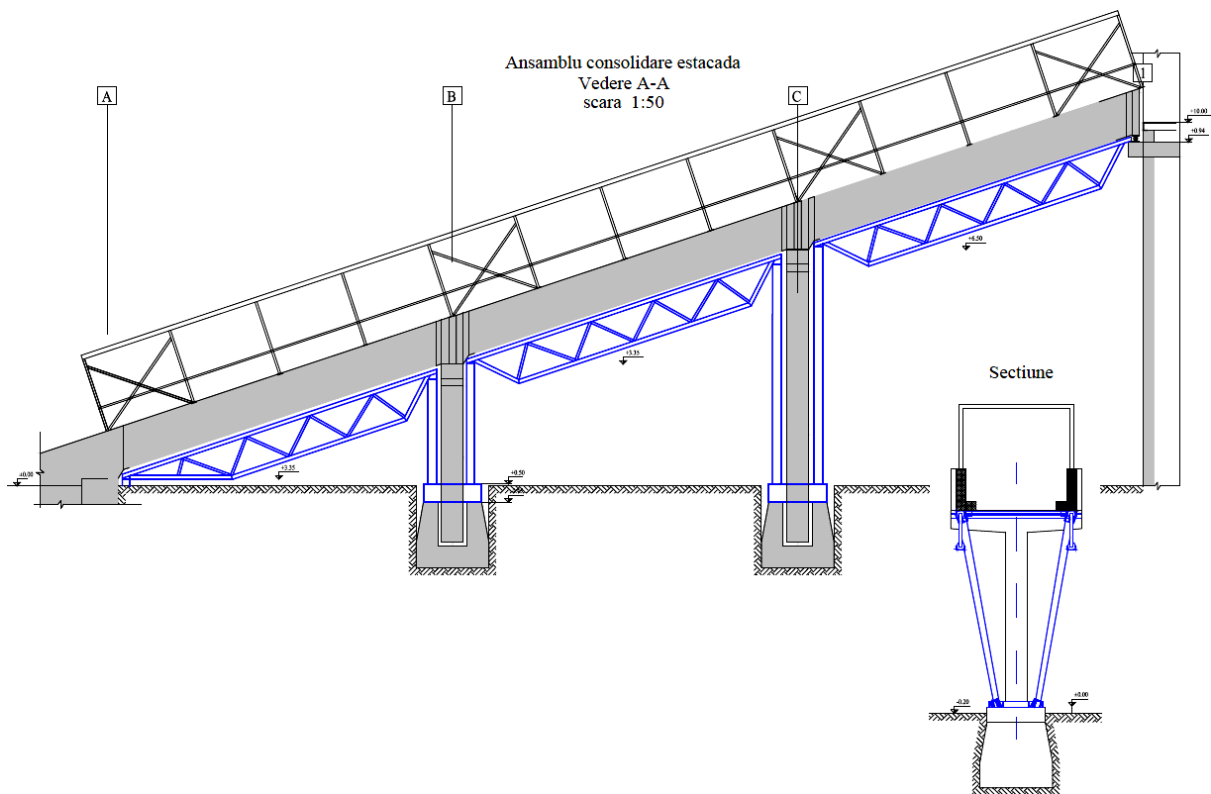


Fig. 5.1. Soluția alternativă. Principii de conformare

Soluția consta în dispunerea a câte două grinzi cu zăbrele (câte una sub fiecare grindă de beton armat a estacadei), în fiecare deschidere, rezemate pe profile metalice sau stâlpi ce descarcă pe fundațiile existente. Soluția putea fi executată sub exploatare.

Dezavantajele acestei soluții erau următoarele:

- rigiditatea mare necesară pentru grinzile metalice de consolidare;
- grinzile metalice se dimensionau la acțiuni ce includeau și greutatea proprie a structurii estacadei, aceasta fiind de circa 7 ori mai mare decât sarcina din acțiuni de exploatare;
- micșorarea gabaritului cerut de circulația utilajelor sub estacadă sub limita admisă;
- dificultățile produse de adaptarea soluției constructive la abaterile de execuție a estacadei;
- detalii constructive dificil de realizat pentru rezemarea estacadei la cele două extremități;
- dificultăți de execuție – montaj.

5.3.6. Breviar de calcul la soluția de consolidare adoptată

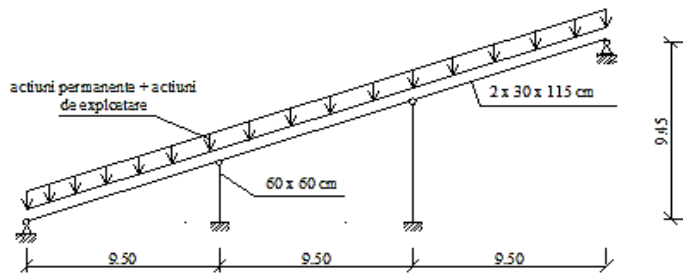


Fig. 5.2. Schema statică inițială

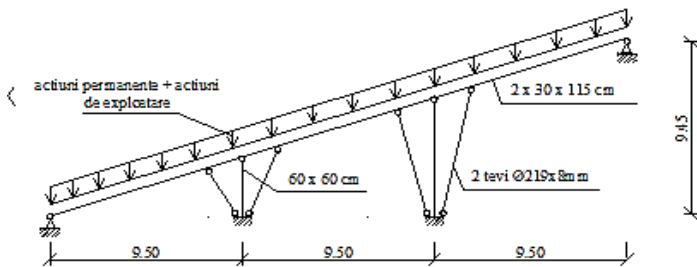


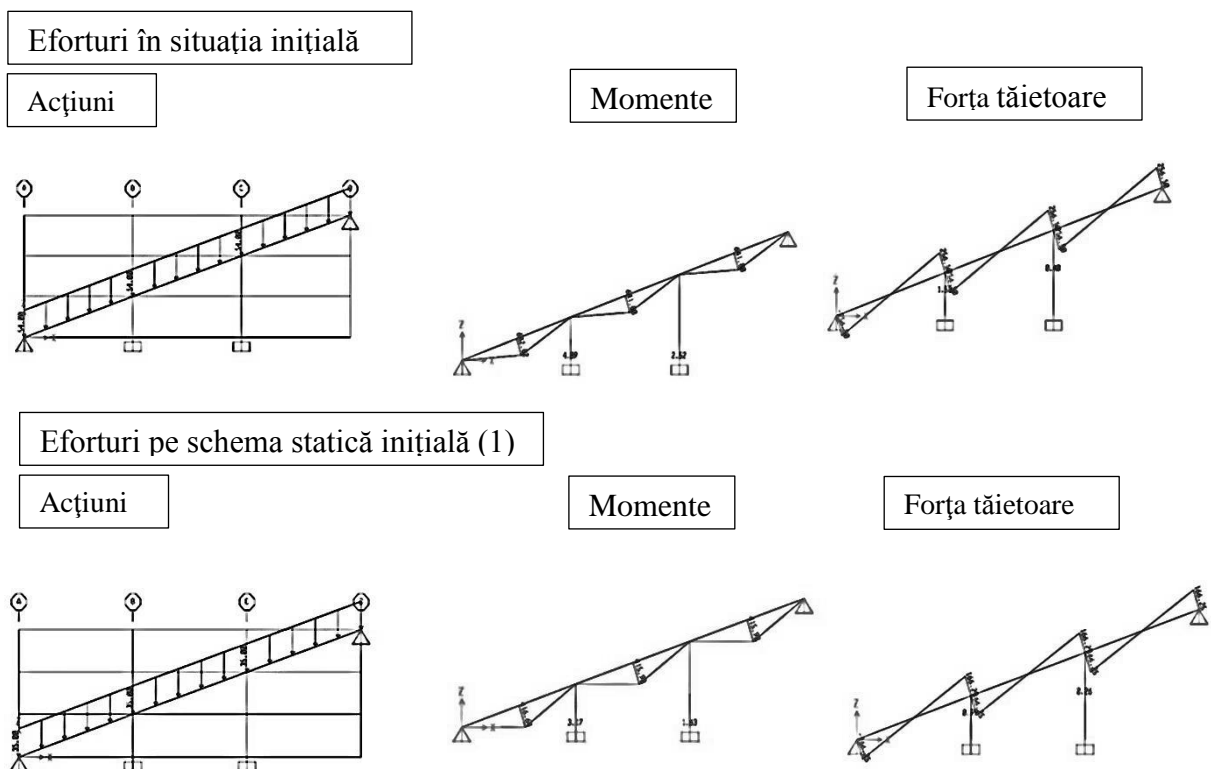
Fig. 5.3. Schema statică după consolidare

Calculul static al structurii reabilitate s-a făcut:

- pe schema statică inițială (1) - la acțiuni permanente date de greutatea proprie a estacadei (exclusiv închiderea) și acțiuni utile date de banda transportoare cu material
- pe schema statică după consolidare (2) - la acțiuni permanente date de greutatea închiderii și acțiuni seismice.

Starea de eforturi finală în elementele estacadei și în elementele structurii de consolidare s-au obținut prin suprapunerea eforturilor determinate pe cele două scheme statice.

Pentru comparație s-au determinat și eforturile în situația inițială.

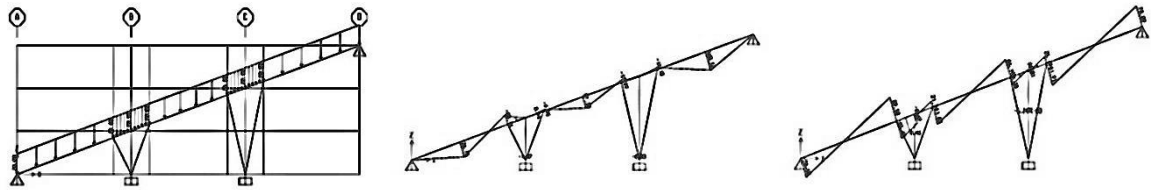


Eforturi pe schema statică după consolidare (2)

Ațiuni

Momente

Forța tăietoare



Se preiau din calculul static valorile momentului și ale forței tăietoare, din acțiuni gravitaționale, pe grinda estacadei.

Este prezentat în continuare calculul forței de alunecare preluate de conectori.

Evaluarea încărcărilor:

1. Materiale
2. Determinarea capacității portante a conectorilor
3. Determinarea forței de alunecare
4. Determinarea numărului necesar de conectori
5. Verificare conform STAS 10107/0-90
6. Sudarea conectorului de profilul metalic

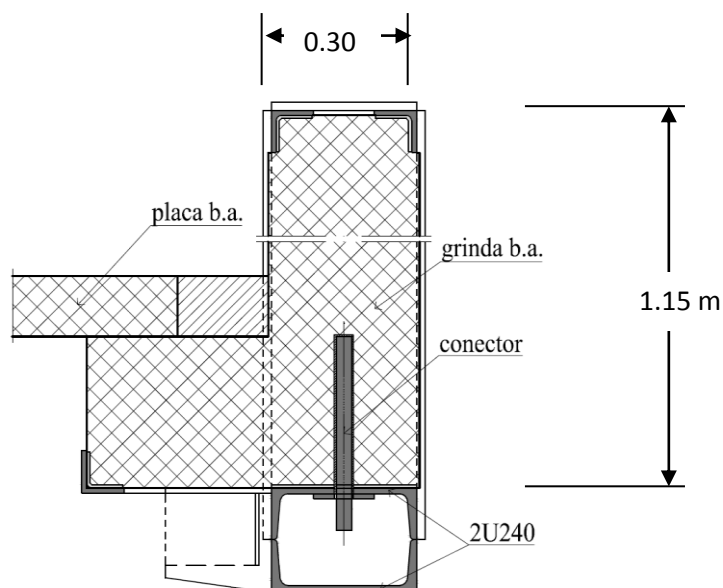


Fig. 5.4. Caracteristicile secțiunii grinzii estacadă

1. Evaluarea incarcarilor

Denumirea Incarcarii	Incarcare		Arie/Lungime e descarcare	Valoare normalizata [kN/m]
	pe mp [kN/mp]	pe mc [kN/mc]		
Total Actiuni Permanente				
Structura Metalica	3		2,9	8,7
Grinda de Beton Armat		25	0,3625	18,125
Placa de Beton Armat		25	0,29	7,25
Incarcarea Utila				
Banda Transportoare	1,72		2,9	5
Total Incarcari pe o grinda [kN/ml]:				

Eforturi rezultate din calculul structural

$$M_i := 335 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad T_i := 160 \text{ kN} \quad l := 10 \text{ m}$$

2. Materiale

2.1. Beton: Bc15 C12/15 B200

- proprietati material $f_{ck} := 9.5 \text{ MPa}$ $E_1 := 24000 \text{ MPa}$ $\gamma_c := 1.5$ $R_t := 0.7 \text{ MPa}$

- caracteristici sectiune $b_1 := 0.25 \text{ m}$ $h_1 := 1.15 \text{ m}$ $A_1 := b_1 \cdot h_1 = (2.875 \cdot 10^3) \text{ cm}^2$

$$I_{1g} := \frac{b_1 \cdot h_1^3}{12} = 0.032 \text{ m}^4 \quad g_{y1} := \frac{h_1}{2}$$

2.2. Profil metalic: 2xU24 OL37

- proprietati material $f_y := 235 \text{ MPa}$ $E_2 := 210000 \text{ MPa}$ $\gamma_a := 1.15$

- caracteristici sectiune $b_2 := 0.24 \text{ m}$ $h_2 := 2 \cdot 0.085 \text{ m}$ $g_{y2} := 0.085 \text{ m}$

$$I_{2g} := 3820.83 \text{ cm}^4 \quad A_2 := 2 \cdot 0.00421 \text{ m}^2 = 84.2 \text{ cm}^2$$

2.3. Conectori PC 52

- proprietati material $R_a := 300 \text{ MPa}$ $m_{at} := 0.8$ $R_{at} := m_{at} \cdot R_a = 240 \text{ MPa}$

$$f_u := R_a \quad \gamma_s := 1.25$$

- caracteristici sectiune $d_c := 25 \text{ mm}$ $h_c := 4 \cdot d_c = 10 \text{ cm}$

3. Determinarea capacitatii portante a conectorilor

$\alpha := 1$ - factor de forma

$h_{c1} := 20 \text{ cm}$ - inaltime conector

4.2. Calcul conform EC 4

Efortul total de lunecare longitudinală L poate fi determinat presupunând ca momentul de rezistență plastic este atins în secțiunea critică centrală.

Fiind grinda simplu rezemată lungimea critică este egală cu $l/2$.

$$b_{eff} := b_1 \quad A_c := b_{eff} \cdot h_1$$

$$F_{cf2} := \frac{A_2 \cdot f_y}{\gamma_a} = (1.721 \cdot 10^3) \text{ kN} \quad \text{rezistența la întindere a grinzii metalice}$$

$$F_{cf1} := \frac{0.85 \cdot A_c \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = (1.548 \cdot 10^3) \text{ kN} \quad \text{rezistența la compresiune a dalei de beton}$$

$$L_2 := \min(F_{cf2}, F_{cf1}) = (1.548 \cdot 10^3) \text{ kN} \quad \text{efort total de lunecare}$$

5. Determinarea numărului necesar de conectori

$$N_1 := \frac{L_1}{P_{Rd}} = 7.769 \quad \text{număr conectori conform 4.1.} \quad N_1 := \text{trunc}(N_1 + 1) = 8$$

$$N_2 := \frac{L_2}{P_{Rd}} = 22.354 \quad \text{număr conectori conform 4.2.} \quad N_2 := \text{trunc}(N_2 + 1) = 23$$

$$d_1 := \frac{l}{N_1} = 0.625 \text{ m} \quad d_2 := \frac{l}{N_2} = 0.217 \text{ m} \quad \text{distanța între conectori}$$

Condiție suplimentară de verificare în cazul secțiunilor alcătuite din profile metalice

inglobate parțial sau total în beton conectorii sunt solicitați suplimentar de forța P:

$$P_f := 0.5 \cdot \frac{P_{Rd}}{2} = 17.309 \text{ kN} \quad P_R := \frac{L_2}{30} + \frac{P_f}{2} = 60.245 \text{ kN}$$

$$P_R \leq P_{Rd} = 1$$

6. Verificare conform STAS 10107/0-90

$$\mu_f := 0.7 \quad \text{coeficient echivalent de frecare}$$

$$N_1 := 8 \quad \text{număr conectori}$$

$$A_{ac} := N_1 \cdot \pi \cdot \frac{d_c^2}{4} \quad \text{suma ariilor secțiunilor conectorilor}$$

Determinare forța totală de lunecare:

$$L_{cap} := \mu_f \cdot A_{ac} \cdot R_{at} = 659.734 \text{ kN}$$

Valoarea efortului unitar mediu $\tau_1 := \frac{L_{cap}}{b_1 \cdot l} = 0.264 \text{ MPa}$

Conditie 1 de verificare $\tau_1 < 4 \cdot R_t = 1$

Conditie 2 de verificare $A_{int} := 6 \cdot \pi \cdot \frac{(20 \cdot \text{mm})^2}{4} = 18.85 \text{ cm}^2$

aria armaturii longitudinale din grinda de
b.a. respectiv 6 bare cu diametru 20 mm

$L_3 := A_{int} \cdot R_a = 565.487 \text{ kN}$ $L_3 < L_{cap} = 1$

7. Sudarea conectorului de profilul metalic

Placuta metalica 2 diametre din axul gaurii $d_g := 32 \text{ mm}$ $l_p := 4 \cdot d_g = 128 \text{ mm}$

$N := \pi \cdot \frac{d_c^2}{4} \cdot R_{at} = 117.81 \text{ kN}$ $a := 6 \text{ mm}$ $l_a := (l_p - 2 \cdot a) \cdot 2 = 232 \text{ mm}$

$\tau := \frac{N}{2 \cdot a \cdot l_a} = 42.317 \text{ MPa}$ $R_{fs} := 150 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

$\tau < R_{fs} = 1$

5.3.7. Comentarii privind calculul structurii la acțiuni gravitaționale și orizontale

Calculul la acțiuni gravitaționale s-a făcut sub acțiuni permanente și acțiuni de exploatare. Acțiunile de exploatare, provenite din banda transportoare, nu au efect dinamic, datorită modului de funcționare (viteza redusă) și a caracteristicilor constructive ale acesteia. Schemele statice pe care s-au calculat eforturile sub acțiuni gravitaționale sunt prezentate la pct. 5.3.6.

Acțiunile din seism au fost determinate pe o structură liniara (estacada), cu reazeme fixe la cele două extremități (deschidere de 28,5 m) și reazeme elastice intermediare (la 9,5 m) reprezentate de stâlpii estacadei. Dimensiunea mare a secțiunii estacadei pe direcția de acțiune a sarcinilor din seism, de 3,5 m, face ca să nu apară probleme la preluarea eforturilor din această acțiune.

Se prezintă în continuare imagini foto cu starea estacadei înainte și după consolidare, asociate cu detalii semnificative din proiectul de execuție.

5.3.8. Documentația foto. Situația inițială/ Situația după reabilitare. Extrase din proiectul de execuție



Foto 5.1. Vedere de ansamblu estacadă beton armat – situația inițială

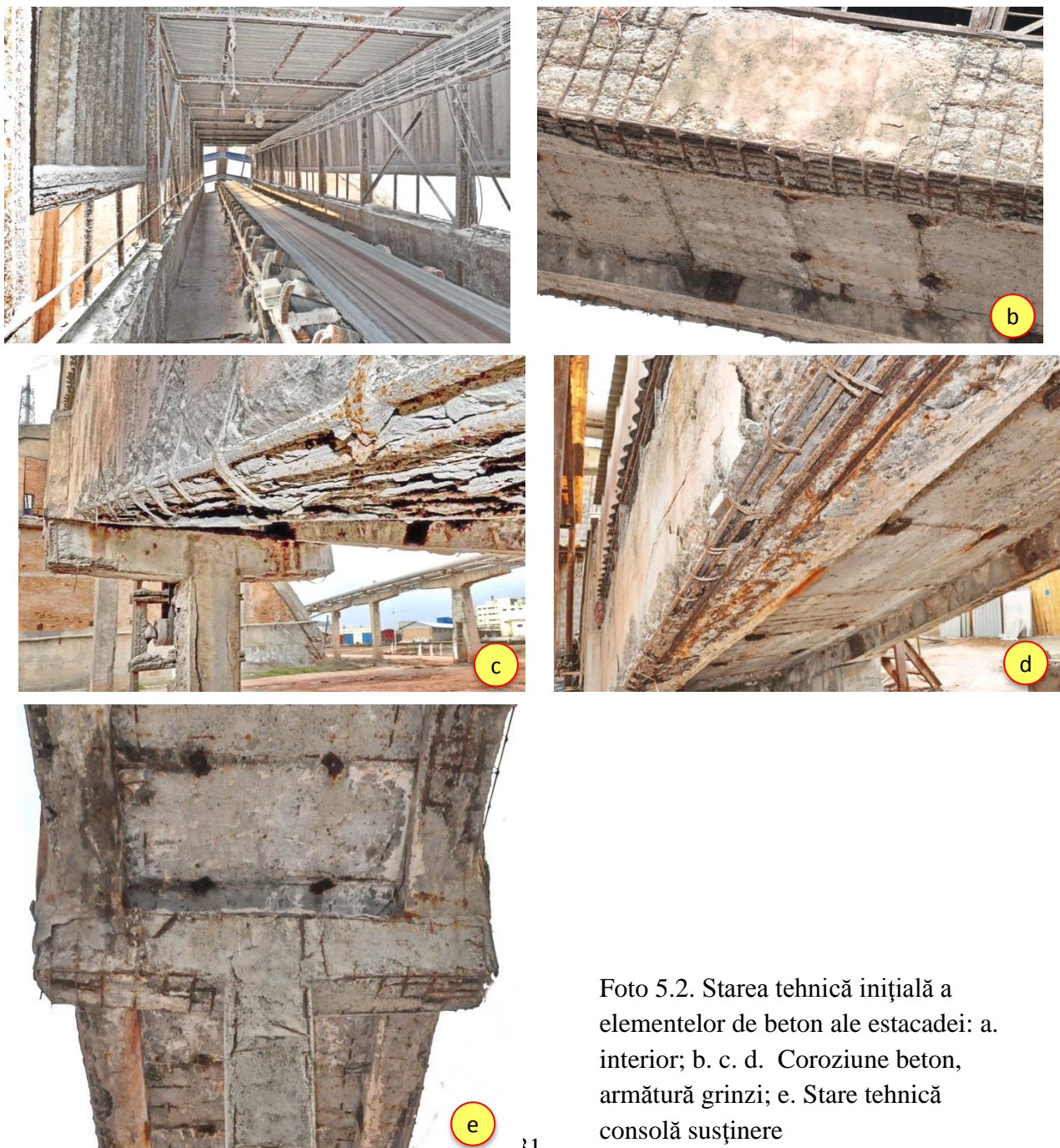
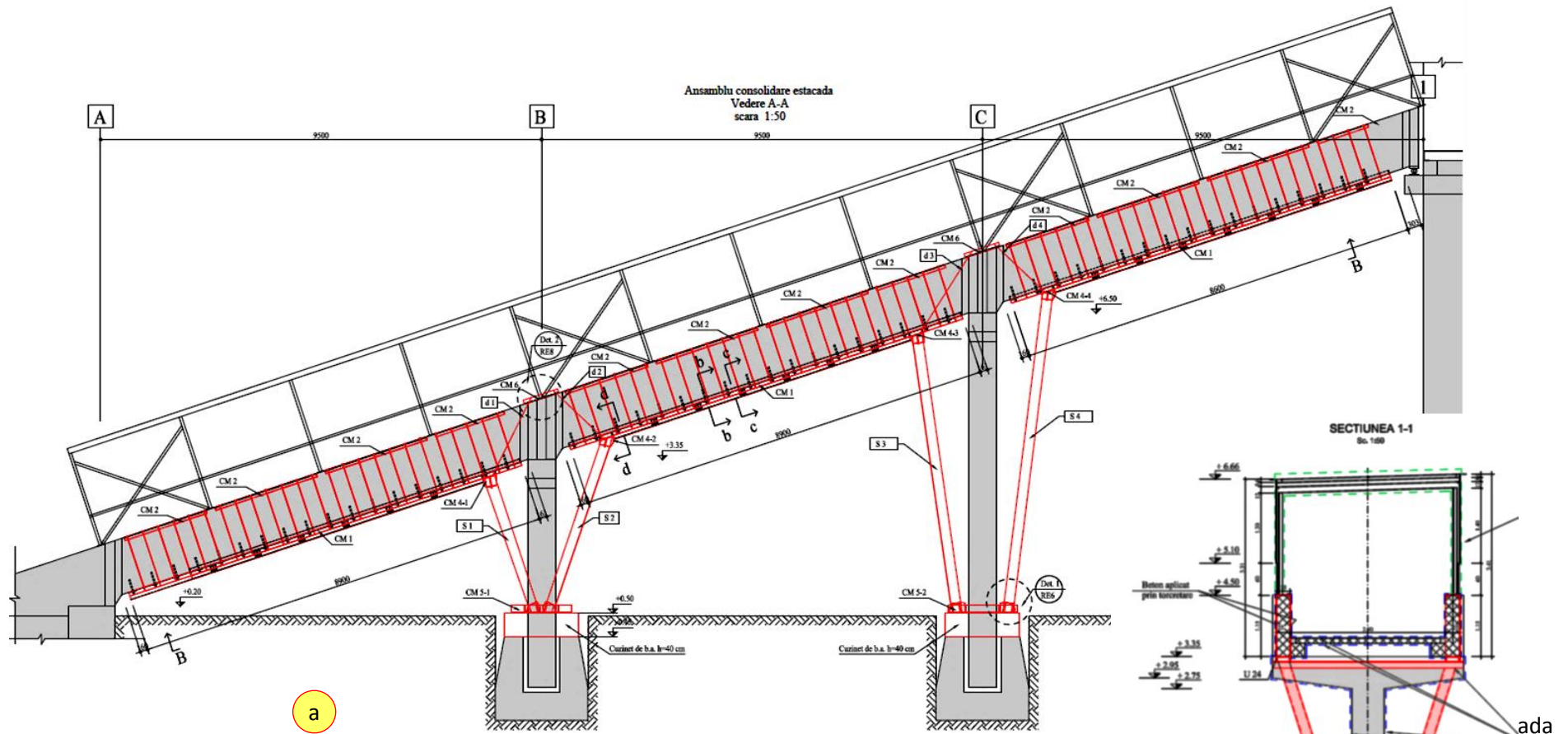


Foto 5.2. Starea tehnică inițială a elementelor de beton ale estacadei: a. interior; b. c. d. Coroziune beton, armătură grinzi; e. Stare tehnică consolă susținere



a

b

vedere de ansamblu

Fig. 5.5. Soluție de consolidare ansamblu estacadă
 a. Vedere laterală
 b. Secțiune și soluție reabilitare stâlpi



Foto 5.3. Execuție lucrări reabilitare

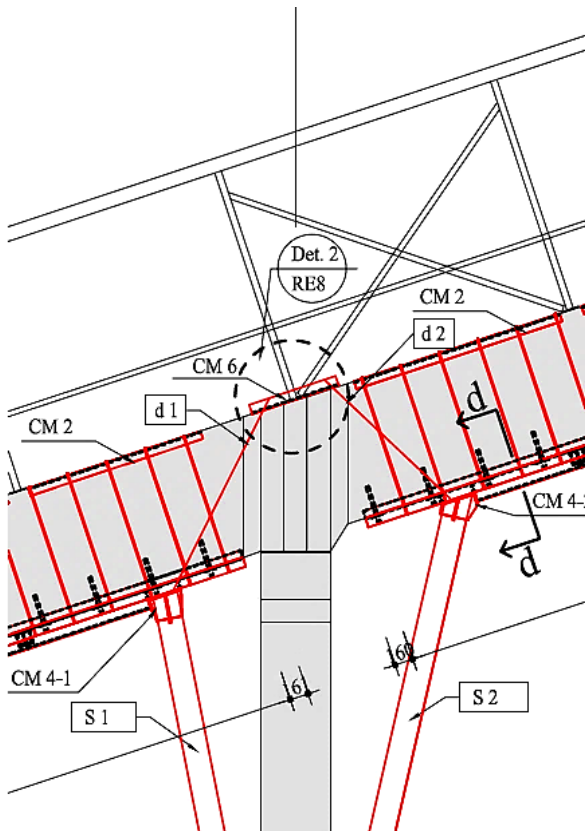


Fig 5.6. Soluție proiectată reabilitare în zona reazemului pe stâlpi

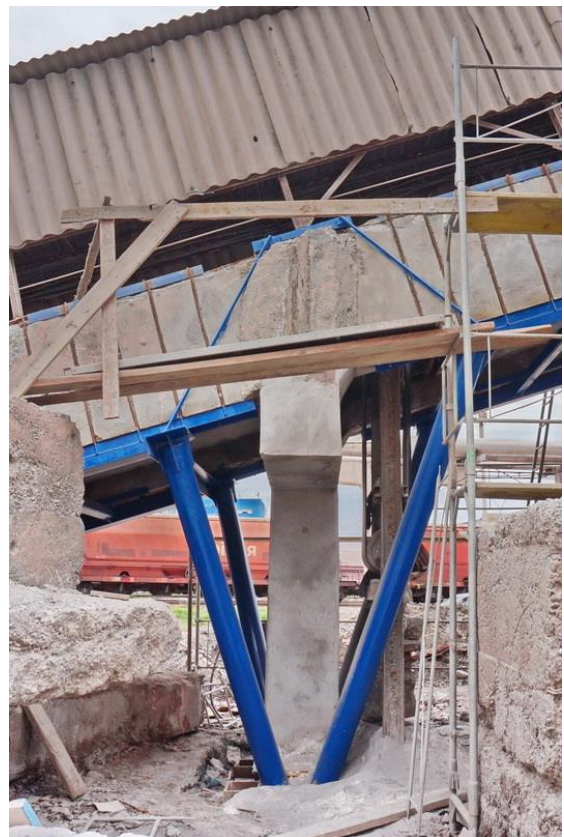


Foto 5.4. Idem Fig. 5.6, execuție

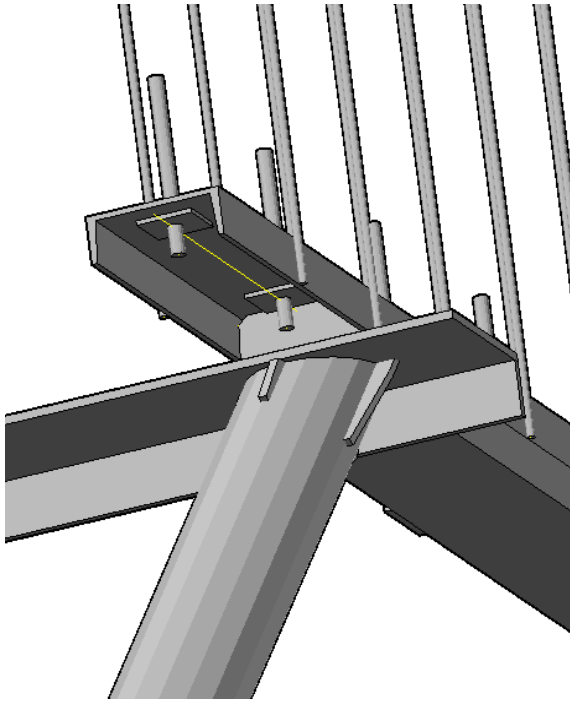


Fig 5.7. Nod confecție metalică de rehabilitare la rezemarea pe stâlp

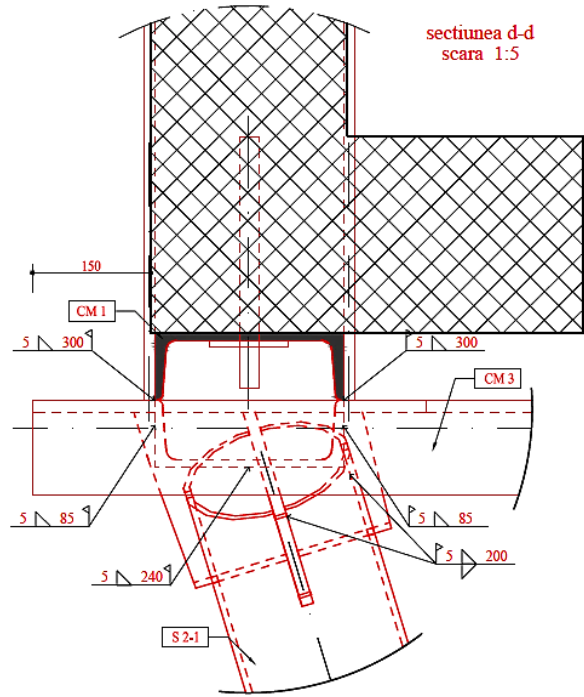


Fig 5.8. idem Fig. 5.7, detaliu proiectat



Foto 5.5. Idem Fig. 5.8, execuție



Foto 5.6. Detalii execuție

Foto 5.7. Situația după realizarea protecției prin vopsire



Ansamblu consolidare estacada
 Secțiune baza stalpi
 scara 1:50

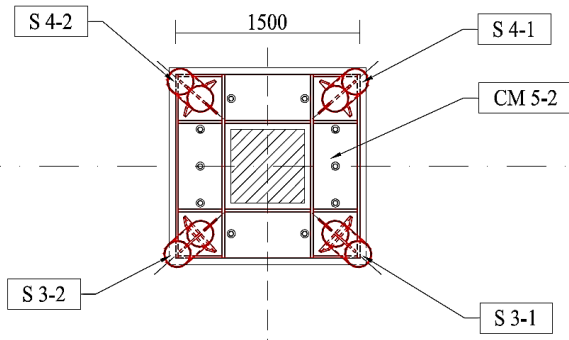


Fig 5.9. Bază confecție metalică
 consolidare stâlpi . Proiect

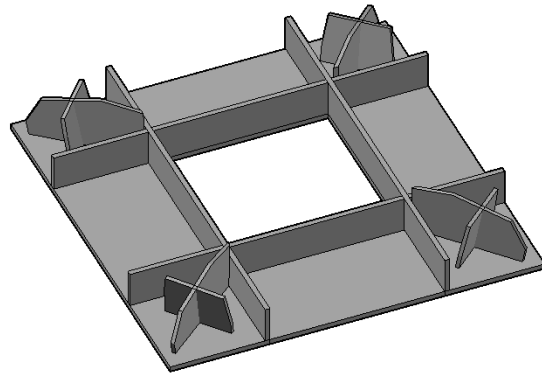


Fig 5.10. Idem fig. 5.9

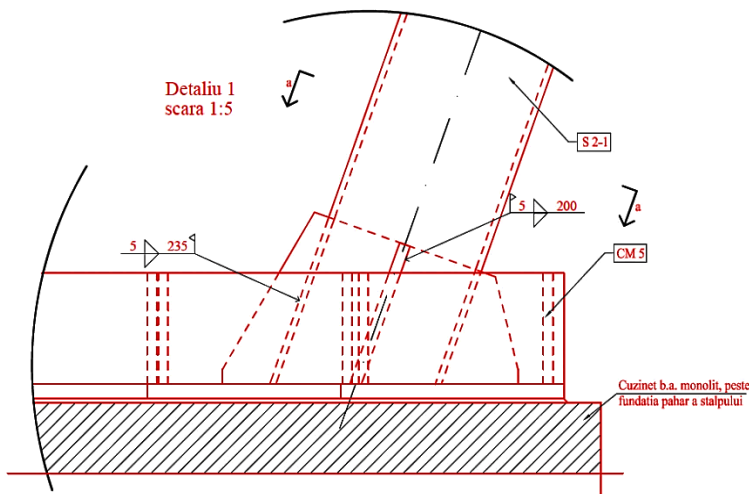


Fig 5.11. Detaliu rezamare bară metalică
 susținere estacadă pe confecția de bază

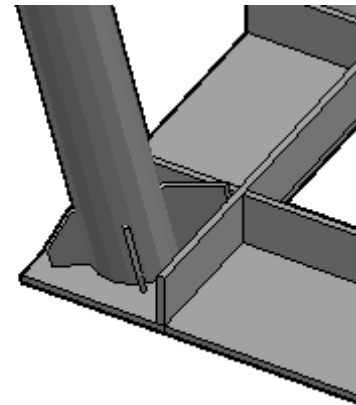


Fig 5.12. Idem fig. 5.11



Foto 5.8. Execuție sistem susținere
 estacadă la rezemarea pe fundație

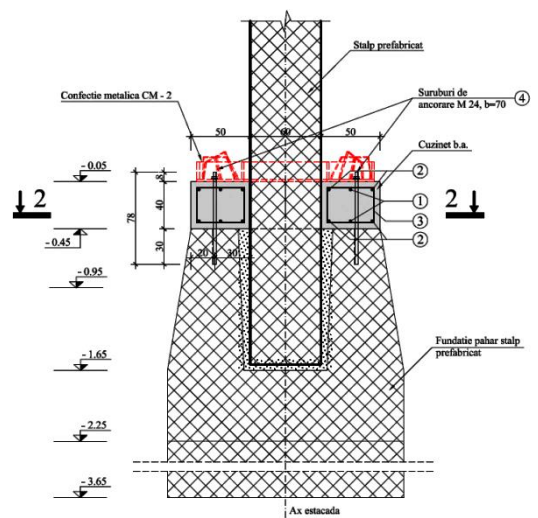


Fig 5.13. Soluție proiectată la
 rezemarea pe fundație

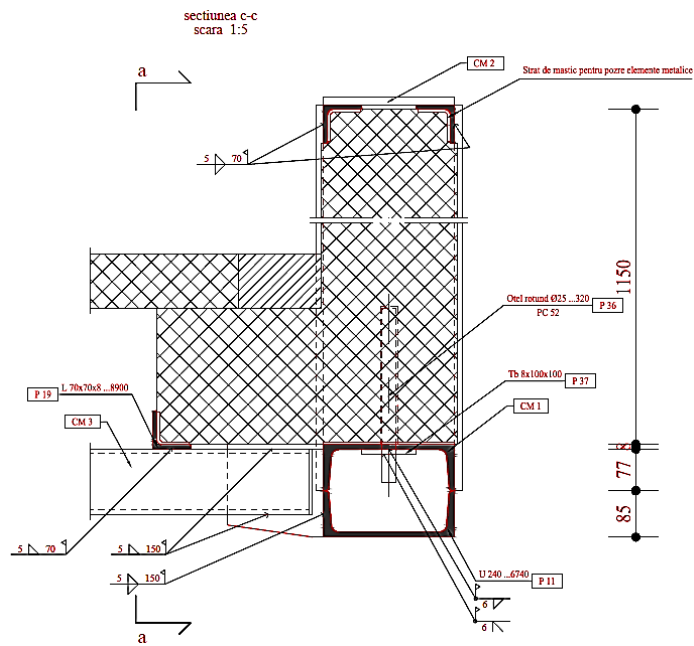


Fig 5.14. Soluție reabilitare grinzi estacadă. Proiectat

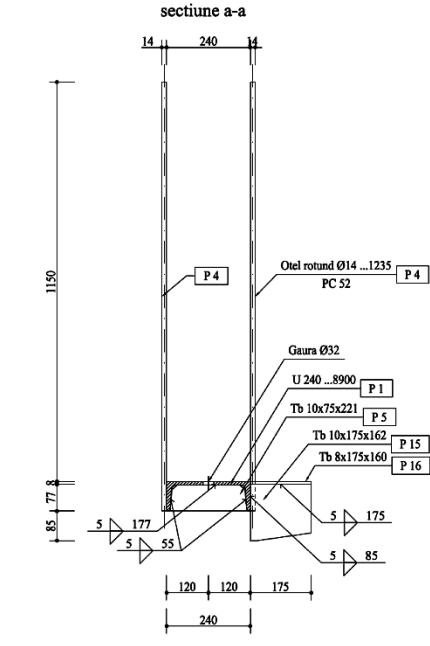


Fig 5.15. Confecție metalică realizată în atelier- profil longitudinal + etrieri

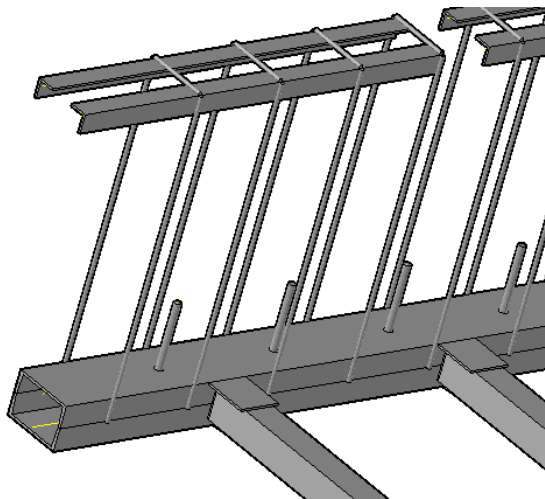


Fig 5.16. Idem fig. 5.15



Foto 5.9. Execuție consolidare grinzi

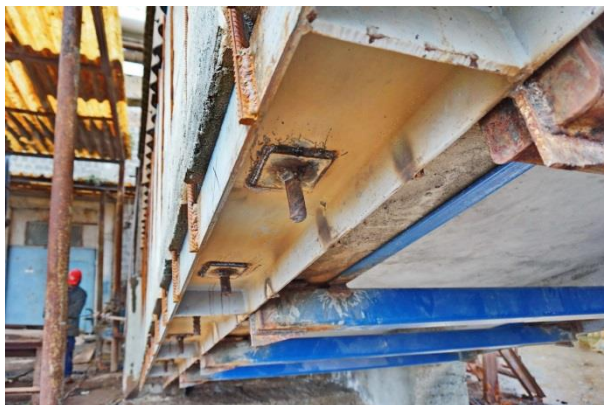


Foto 5.10. Idem Foto 5.9, vedere conectori



Foto 5.11. Idem foto 5.9, ansamblu

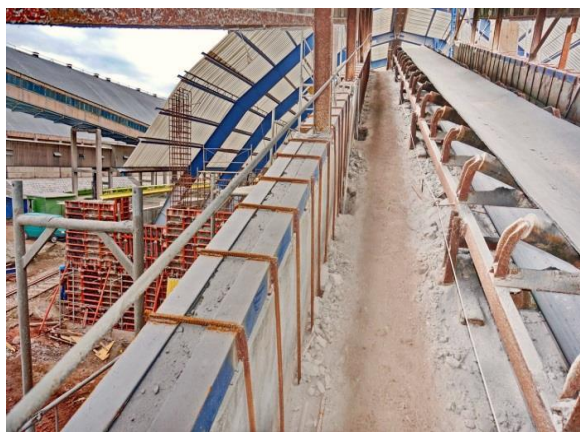


Foto 5.12. Fixare etrieri la partea superioară a grinzilor



Foto 5.13. idem Foto 5.12



Foto 5.14. Ansamblu estacadă după reabilitare



Foto 5.15. Vedere estacadă reabilitată în zona stâlpului



Foto 5.16. Vedere estacadă reabilitată în zona întinzătorului benzii transportoare

5.4. Analiza cost-beneficiu

Analiza cost-beneficiu întocmită în cele ce urmează (în baza [100],[101],[102]) are rolul de a oferi echipei manageriale ale beneficiarului răspunsul corect în luarea deciziei de finanțare a investiției. Prin intermediul acesteia se compară costurile și beneficiile înregistrate în urma implementării investiției în două scenarii diferite, transformate în unități monetare și previzionate pe o durată egală cu durata de viață a investiției, respectiv 25 de ani. Analiza nu se face doar din punct de vedere pur economic, astfel, se acordă o atenție sporită asupra avantajelor și dezavantajelor pe care le implică cele două variante constructive, întrucât acestea pot influența decisiv funcționalitatea proiectului propus. Aceasta creează un cadru pentru cuantificarea eficienței tehnice, economice și sociale.

5.4.1. Identificarea investiției și definirea obiectivelor

5.4.1.1. Identificarea investiției

Obiectivul de investiție este situat în Municipiul Târgu Mureș, județul Mureș, în cadrul societății AZOMUREȘ S.A, într-o zonă cu intensitate mare a factorilor chimici.

Traseu tehnologic al materiei prime:

- materialul transportat pe estacadă se aduce pe calea ferată cu vagoanele;
- se descarcă în buncărul tampon de la capătul estacadei;
- se transportă, cu banda rulantă pe estacadă și se depozitează în depozitul de clorură de potasiu/sulfat de potasiu;
- se transportă de la depozit, cu o altă bandă rulantă/estacadă la uzina de fabricație.

Valoarea producției lunare a îngrășământului chimic pentru agricultură transportat este de 600.000 euro, din care cunatumul aferent estacadei care face obiectul prezentei documentații este de 3%, respectiv de 18.000 euro, conform datelor puse la dispoziție de către beneficiar.

5.4.1.2. Obiectivul investiției:

- asigurarea funcționalității estacadei de la rampa de descărcare a depozitului de clorură de potasiu.

Perioada analizată pentru investiția propusă este egală cu durata de viață a investiției și anume 25 de ani.

5.4.2. Analiza opțiunilor

În vederea evidențierii importanței realizării proiectului, au fost analizate 3 variante:

- varianta zero (varianta fără investiție);
- varianta 1 (varianta cu investiție minimă);
- varianta 2 (varianta cu investiție maximă).

Calcululele sunt reprezentate prin tabele pentru fiecare variantă constructivă, prezentate în cadrul prezentei documentații.

5.4.2.1. Varianta zero (varianta fără investiție)

În această variantă, situația actuală va rămâne neschimbată, datorită faptului că nu se va realiza nicio investiție prin care beneficiarul să își îndeplinească obiectivul.

Starea tehnică a structurii estacadei este caracterizată prin existența unui proces avansat de degradare a betonului și armăturii care a afectat semnificativ rezistența și stabilitatea ansamblului estacadei, punând în pericol siguranța în exploatare. Prin urmare, există posibilitatea, ca în orice moment, structura să cedeze punând în pericol continuitatea activității desfășurate și muncitorii implicați în procesul de producție.

5.4.2.2. Varianta 1 (varianta cu investiție minimă)

În această variantă, se analizează reabilitarea estacadei cu oprirea producției pe durata realizării lucrărilor de execuție. Soluția constă în demolarea instalației existente, demolarea elementelor de beton armat ale estacadei degradate, realizarea unei estacade noi, concepută integral în variantă metalică.

5.4.2.2.1. Veniturile pentru varianta 1 sunt compuse din:

- venituri din producția îngrășământului chimic pentru agricultură, venituri care nu se înregistrează dacă producția se oprește:

→ 80.100 lei /lună

Total: 80.100 lei / lună x 12 luni = 961.200 lei / an

Centralizarea veniturilor pentru varianta 1 este prezentată în Tab. 5.1 pentru toți cei 25 de ani analizați.

PROIECTIA VENITURILOR - VARIANTA 1

Perioada de referinta (Ani)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Venit lunar in RON din care:	0,00	80100,00	80901,00	81710,01	82527,11	83352,38	84185,91	85027,76	85878,04
Venituri din productie	0,00	80100,00	80901,00	81710,01	82527,11	83352,38	84185,91	85027,76	85878,04
Nr. luni	1,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Total venituri anuale (RON)	0,00	961200,00	970812,00	980520,12	990325,32	1000228,57	1010230,86	1020333,17	1030536,50

Perioada de referinta (Ani)	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00	15,00	16,00	17,00
Venit lunar in RON din care:	89313,16	92885,69	96601,12	100465,16	104483,77	108663,12	113009,64	117530,03	122231,23
Venituri din productie	89313,16	92885,69	96601,12	100465,16	104483,77	108663,12	113009,64	117530,03	122231,23
Nr. luni	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Total venituri anuale (RON)	1071757,96	1114628,28	1159213,41	1205581,95	1253805,22	1303957,43	1356115,73	1410360,36	1466774,77

Perioada de referinta (Ani)	18,00	19,00	20,00	21,00	22,00	23,00	24,00	25,00
Venit lunar in RON din care:	127120,48	132205,30	137493,51	138868,45	140257,13	141659,70	143076,30	144507,06
Venituri din productie	127120,48	132205,30	137493,51	138868,45	140257,13	141659,70	143076,30	144507,06
Nr. luni	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Total venituri anuale (RON)	1525445,77	1586463,60	1649922,14	1666421,36	1683085,57	1699916,43	1716915,59	1734084,75

Tab. 5.1. Centralizatorul veniturilor pentru varianta 1

5.4.2.2.2. Cheltuieli pentru varianta 1:

- cheltuieli cu utilitățile:

→ 1.848 lei/lună – banda transportoare funcționează 8 ore/zi, timp de 21 de zile lucrătoare/lună, consumând aproximativ 20 kW/zi, conform fișei tehnice puse la dispoziție de către furnizor.

Aceste cheltuieli se înregistrează începând cu anul 1, după darea în exploatare a obiectivului reabilitat. Ele nu se înregistrează în anul 0, anul derulării lucrărilor de construcție.

- cheltuieli generate de nerealizarea producției:

→ 2.675.100 lei/lună – producția se oprește pentru derularea lucrărilor de reabilitare timp de o lună, în anul implementării investiției. Aceste cheltuieli nu se mai înregistrează începând cu anul 1.

- cheltuieli cu reparații și întreținere (înlocuire bandă transportoare, vopsire elemente metalice etc)

→ 6.461,59 lei/lună – s-au estimat pe baza experienței proiectantului și se înregistrează doar începând cu funcționarea estacadei ca o medie anuală.

Total: 6.461,59 lei/lună x 12 luni = 77.539,08 lei/an

- cheltuieli cu personalul (inclusiv contribuțiile obligatorii ale angajatorului)

→ 4.806 lei/lună – datele privind aceste cheltuieli au fost puse la dispoziția proiectantului de către beneficiar, pentru 3 muncitori.

Total: 4.806 lei/lună x 12 luni = 57.672 lei/an

Muncitorii responsabili pentru producția îngrășământului chimic pentru agricultură vor fi alocați altor departamente din cadrul societății, întrucât aceștia nu pot fi concediați pe perioada de derulare a lucrărilor de execuție.

- cheltuieli cu materia primă

→ 41.652 lei/lună – datele privind aceste cheltuieli au fost puse la dispoziția proiectantului de către beneficiar și nu se înregistrează pe perioada reabilitării obiectivului.

41.652 lei/lună x 12 luni = 499.824 lei/an

- alte cheltuieli indirecte (salariile personalului administrativ, birotică, amortizări etc – procent alocat proiectului propus)

→ 4.005 lei/lună – datele privind aceste cheltuieli au fost puse la dispoziția proiectantului de către beneficiar și acestea se înregistrează indiferent dacă producția este oprită sau nu.

4.005 lei/lună x 12 luni = 48.060 lei

Total/an 0: 2.683.911 lei/an

Total/an 1: 705.271,08 lei/an

Centralizarea cheltuielilor pentru varianta 1 este prezentată în Tab. 5. 2 pentru toți cei 25 de ani analizați.

PROIECTIA CHELTUIELILOR - VARIANTA 1

Perioada de referinta (Ani)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Cheltuieli lunare din care:	2683911,00	58772,59	59360,32	59953,92	60553,46	61158,99	61770,58	62388,29	63012,17
Cheltuieli cu utilitatile	0,00	1848,00	1866,48	1885,14	1904,00	1923,04	1942,27	1961,69	1981,31
Cheltuieli generate de nerealizarea productiei	2675100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cheltuieli cu reparatii si intretinere	0,00	6461,59	6526,21	6591,47	6657,38	6723,96	6791,20	6859,11	6927,70
Cheltuieli cu personalul	4806,00	4806,00	4854,06	4902,60	4951,63	5001,14	5051,15	5101,67	5152,68
Cheltuieli cu materia prima	0,00	41652,00	42068,52	42489,21	42914,10	43343,24	43776,67	44214,44	44656,58
Cheltuieli indirecte	4005,00	4005,00	4045,05	4085,50	4126,36	4167,62	4209,30	4251,39	4293,90
Nr. luni	1,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Cheltuieli totale anuale (RON)	2683911,00	705271,08	712323,79	719447,03	726641,50	733907,91	741246,99	748659,46	756146,06

Perioada de referinta (Ani)	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Cheltuieli lunare din care:	63642,29	64278,72	64921,50	65570,72	66226,43	66888,69	67557,58	68233,15	68915,48
Cheltuieli cu utilitatile	2001,12	2021,13	2041,34	2061,76	2082,37	2103,20	2124,23	2145,47	2166,93
Cheltuieli generate de nerealizarea productiei	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cheltuieli cu reparatii si intretinere	6996,98	7066,95	7137,62	7208,99	7281,08	7353,89	7427,43	7501,71	7576,72
Cheltuieli cu personalul	5204,21	5256,25	5308,81	5361,90	5415,52	5469,68	5524,37	5579,62	5635,41
Cheltuieli cu materia prima	45103,15	45554,18	46009,72	46469,82	46934,52	47403,86	47877,90	48356,68	48840,25
Cheltuieli indirecte	4336,84	4380,21	4424,01	4468,25	4512,93	4558,06	4603,64	4649,68	4696,18
Nr. luni	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Cheltuieli totale anuale (RON)	763707,52	771344,59	779058,04	786848,62	794717,11	802664,28	810690,92	818797,83	826985,81

Perioada de referinta (Ani)	18	19	20	21	22	23	24	25
Cheltuieli lunare din care:	69604,64	70300,69	71003,69	71713,73	72430,87	73155,17	73886,73	74625,59
Cheltuieli cu utilitatile	2188,59	2210,48	2232,59	2254,91	2277,46	2300,23	2323,24	2346,47
Cheltuieli generate de nerealizarea productiei	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cheltuieli cu reparatii si intretinere	7652,49	7729,01	7806,30	7884,37	7963,21	8042,84	8123,27	8204,50
Cheltuieli cu personalul	5691,77	5748,68	5806,17	5864,23	5922,88	5982,10	6041,93	6102,34
Cheltuieli cu materia prima	49328,65	49821,93	50320,15	50823,36	51331,59	51844,90	52363,35	52886,99
Cheltuieli indirecte	4743,14	4790,57	4838,48	4886,86	4935,73	4985,09	5034,94	5085,29
Nr. luni	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Cheltuieli totale anuale (RON)	835255,67	843608,22	852044,30	860564,75	869170,39	877862,10	886640,72	895507,13

Tab. 5.2. Centralizatorul veniturilor pentru varianta 1

Valoarea la care se ridică întreaga investiție în acest caz este de 536.622 lei + TVA, respectiv 665.411,28 lei.

5.4.2.3. Varianta 2 (varianta cu investiție maximă)

În această variantă, se propune reabilitarea estacadei sub exploatare, conform soluției analizate în cadrul studiului de caz.

5.4.2.3.1. Veniturile pentru varianta 2 sunt compuse din:

PROIECTIA VENITURILOR - VARIANTA 2

Perioada de referinta (Ani)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Venit lunar in RON din care:	80100,00	80100,00	80901,00	81710,01	82527,11	83352,38	84185,91	85027,76	85878,04
Venituri din productie	80100,00	80100,00	80901,00	81710,01	82527,11	83352,38	84185,91	85027,76	85878,04
Nr. luni	2,50	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Total venituri anuale (RON)	200250,00	961200,00	970812,00	980520,12	990325,32	1000228,57	1010230,86	1020333,17	1030536,50

Perioada de referinta (Ani)	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00	15,00	16,00	17,00
Venit lunar in RON din care:	86736,82	87604,19	88480,23	89365,03	90258,68	91161,27	92072,88	92993,61	93923,55
Venituri din productie	86736,82	87604,19	88480,23	89365,03	90258,68	91161,27	92072,88	92993,61	93923,55
Nr. luni	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Total venituri anuale (RON)	1040841,87	1051250,28	1061762,79	1072380,41	1083104,22	1093935,26	1104874,61	1115923,36	1127082,59

Perioada de referinta (Ani)	18,00	19,00	20,00	21,00	22,00	23,00	24,00	25,00
Venit lunar in RON din care:	94862,78	95811,41	96769,53	97737,22	98714,59	99701,74	100698,76	101705,75
Venituri din productie	94862,78	95811,41	96769,53	97737,22	98714,59	99701,74	100698,76	101705,75
Nr. luni	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Total venituri anuale (RON)	1138353,42	1149736,95	1161234,32	1172846,67	1184575,13	1196420,88	1208385,09	1220468,94

Tab. 5.3. Centralizatorul veniturilor pentru varianta 2

- venituri din producția îngrășământului chimic pentru agricultură, venituri care se înregistrează în situația în care reabilitarea are loc sub exploatare:

→ 80.100 lei /lună

Total: 80.100 lei / lună x 12 luni = 961.200 lei / an

Centralizarea veniturilor pentru varianta 2 este prezentată în Tab. 5.3 pentru toți cei 25 de ani analizați.

5.4.2.3.2. Cheltuieli pentru varianta 2:

- cheltuieli cu utilitățile:

→ 1.848 lei/lună – banda transportoare funcționează 8 ore/zi, timp de 21 de zile lucrătoare/lună, consumând aproximativ 20 kW/zi);

- cheltuieli cu reparații și întreținere (înlocuirea bandei transportoare, vopsire elemente metalice etc)

→ 5.874,17 lei/lună – s-au estimat pe baza experienței proiectantului:

Total: 5.874,17 lei/luna x 12 luni = 70.490,04 lei/an

- cheltuieli generate de nerealizarea producției

0 lei/lună – producția nu se oprește pentru derularea lucrărilor de reabilitare, care se desfășoară pe durata a două luni și jumătate;

- cheltuieli cu personalul (inclusiv contribuțiile obligatorii ale angajatorului)

→ 4.806 lei/lună – datele privind aceste cheltuieli au fost puse la dispoziția proiectantului de către beneficiar, pentru 3 muncitori.

Total: 4.806 lei/lună x 12 luni = 57.672 lei/an

Muncitorii responsabili pentru producția îngrășământului chimic pentru agricultură nu vor fi alocați altor departamente din cadrul societății, întrucât aceștia pot să își desfășoare activitatea pe durata de derulare a lucrărilor de execuție.

- cheltuieli cu materia primă

→ 41.652 lei/lună – datele privind aceste cheltuieli au fost puse la dispoziția proiectantului de către beneficiar și se înregistrează și pe perioada reabilitării obiectivului, având în vedere că nu se oprește funcționarea acestuia.

41.652 lei/lună x 12 luni = 499.824 lei/an

- alte cheltuieli indirecte (salariile personalului administrativ, birotică, amortizări etc – procent alocat proiectului propus)

→ 4.005 lei/lună – datele privind aceste cheltuieli au fost puse la dispoziția proiectantului de către beneficiar și acestea se înregistrează indiferent dacă producția este oprită sau nu.

4.005 lei/lună x 12 luni = 48.060 lei

Total/an 0: 130777,50 lei/an

Total/an 1: 705271,08 lei/an

Centralizarea cheltuielilor pentru varianta 2 este prezentată în Tab. 5.4 pentru toți cei 25 de ani analizați.

PROIECTIA CHELTUIELILOR - VARIANTA 2

Perioada de referinta (Ani)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Cheltuieli lunare din care:	52311,00	58185,17	58767,02	59354,69	59948,24	60547,72	61153,20	61764,73	62382,38
Cheltuieli cu utilitatile	1848,00	1848,00	1866,48	1885,14	1904,00	1923,04	1942,27	1961,69	1981,31
Cheltuieli generate de nerealizarea productiei	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cheltuieli cu reparatii si intretinere	0,00	5874,17	5932,91	5992,24	6052,16	6112,68	6173,81	6235,55	6297,91
Cheltuieli cu personalul	4806,00	4806,00	4854,06	4902,60	4951,63	5001,14	5051,15	5101,67	5152,68
Cheltuieli cu materia prima	41652,00	41652,00	42068,52	42489,21	42914,10	43343,24	43776,67	44214,44	44656,58
Cheltuieli indirecte	4005,00	4005,00	4045,05	4085,50	4126,36	4167,62	4209,30	4251,39	4293,90
Nr. luni	2,50	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Cheltuieli totale anuale (RON)	130777,50	698222,04	705204,26	712256,30	719378,87	726572,65	733838,38	741176,77	748588,53

Perioada de referinta (Ani)	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Cheltuieli lunare din care:	63006,20	63636,26	64272,63	64915,35	65564,51	66220,15	66882,35	67551,18	68226,69
Cheltuieli cu utilitatile	2001,12	2021,13	2041,34	2061,76	2082,37	2103,20	2124,23	2145,47	2166,93
Cheltuieli generate de nerealizarea productiei	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cheltuieli cu reparatii si intretinere	6360,88	6424,49	6488,74	6553,63	6619,16	6685,35	6752,21	6819,73	6887,93
Cheltuieli cu personalul	5204,21	5256,25	5308,81	5361,90	5415,52	5469,68	5524,37	5579,62	5635,41
Cheltuieli cu materia prima	45103,15	45554,18	46009,72	46469,82	46934,52	47403,86	47877,90	48356,68	48840,25
Cheltuieli indirecte	4336,84	4380,21	4424,01	4468,25	4512,93	4558,06	4603,64	4649,68	4696,18
Nr. luni	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Cheltuieli totale anuale (RON)	756074,42	763635,16	771271,51	778984,23	786774,07	794641,81	802588,23	810614,11	818720,25

Perioada de referinta (Ani)	18	19	20	21	22	23	24	25
Cheltuieli lunare din care:	68908,95	69598,04	70294,02	70996,96	71706,93	72424,00	73148,24	73879,73
Cheltuieli cu utilitatile	2188,59	2210,48	2232,59	2254,91	2277,46	2300,23	2323,24	2346,47
Cheltuieli generate de nerealizarea productiei	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cheltuieli cu reparatii si intretinere	6956,81	7026,37	7096,64	7167,60	7239,28	7311,67	7384,79	7458,64
Cheltuieli cu personalul	5691,77	5748,68	5806,17	5864,23	5922,88	5982,10	6041,93	6102,34
Cheltuieli cu materia prima	49328,65	49821,93	50320,15	50823,36	51331,59	51844,90	52363,35	52886,99
Cheltuieli indirecte	4743,14	4790,57	4838,48	4886,86	4935,73	4985,09	5034,94	5085,29
Nr. luni	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Cheltuieli totale anuale (RON)	826907,46	835176,53	843528,30	851963,58	860483,21	869088,05	877778,93	886556,72

Tab. 5.4. Centralizatorul cheltuielilor pentru varianta 2

Valoarea la care se ridică întreaga investiție în acest caz este de 802.530 lei + TVA, respectiv 995.137,2 lei.

5.4.3. Analiza financiară

Analiza financiară este foarte importantă în recomandarea variantei optime din punct de vedere financiar prin calcularea indicatorilor de performanță financiară, precum: fluxul de numerar net, valoarea actualizată netă, rata internă de rentabilitate, raportul cost – beneficiu. Aceasta se realizează având ca bază analiza fluxului de numerar actualizat, care cuantifică diferența dintre veniturile și cheltuielile înregistrate de proiect în exploatarea sa, diferență care se ajustează cu un factor de actualizare.

Pentru a determina dacă proiectul întâmpină dificultăți în asigurarea lichidităților, se calculează fluxul de numerar cumulat. Acesta trebuie să fie pozitiv pe fiecare an analizat pentru a nu pune în pericol realizarea sau exploatarea investiției propuse.

În calculul întocmit nu vom lua în considerare valoarea reziduală, aceasta fiind zero ca urmare a faptului că la sfârșitul perioadei de 25 de ani investiția nu se lichidează.

Valoarea actualizată netă (VAN) se calculează cu următoarea formulă:

$$VAN = \sum_{i=1}^n CF_i \times a_i$$

unde CF_i = fluxurile de numerar nete anuale
 a_i = factor de actualizare

$$a_i = \frac{1}{(1 + r_a)^{i-1}}$$

r_a = rata de actualizare

În mod curent, valoarea actualizată netă este excedentul care rămâne ca urmare a exploatarea unei investiții și se exprimă în valoare absolută. Determinarea acestui indicator are o importanță deosebită pentru fezabilitatea investiției, întrucât furnizează informații clare despre evoluția în timp a fluxurilor de numerar estimate și costul investiției, iar o valoare pozitivă a valorii actualizate nete semnifică că proiectul de investiții este eficient.

Rata internă de rentabilitate (RIR) este rata de actualizare pentru care valoarea actualizată netă este zero. Pentru a fi considerat sustenabil, proiectul propus prin prezenta documentație, trebuie să genereze o rată internă de rentabilitate mai mare decât rata de actualizare luată în calcul.

Raportul cost-beneficiu pune în evidență raportul dintre beneficiile și costurile totale rezultate din exploatarea investiției și se determină prin evaluarea totalului veniturilor actualizate și cumulate raportat la totalul cheltuielilor actualizate și cumulate.

5.4.3.1. Compararea variantelor în vederea alegerii variantei optime

Principalii indicatori vor fi calculați luând în considerare următoarele date:

- durata de viață economică a proiectului

→ durata de viață economică a proiectului este de de 25 de ani, prin urmare orizontul de timp pentru care se va realiza previziunea este de 25 de ani;

- costurile investiției

→ valoarea totală a investiției:

Varianta 1 = 536.622 lei + TVA, respectiv 665.411,28 lei (inclusiv TVA);

Varianta 2 = 802.530 lei + TVA, respectiv 995.137,20 lei (inclusiv TVA);

- proiecția costurilor și veniturilor operaționale pentru cele două variante

→ veniturile operaționale sunt prezentate în Tab. 5.1 și Tab. 5.2, iar cheltuielile operaționale sunt prezentate în Tab. 5.3 și Tab. 5.4, prezentate anterior.

- valoarea actualizată netă (VAN) și rata internă de rentabilitate (RIR)

→ rata de actualizare folosită pentru calcularea VAN este de 5%.

→ acestea sunt calculate și prezentate în Tab. 5.5, Tab. 5.6, Tab. 5.7 și Tab. 5.8 pentru cele două variante constructive analizate.

DETERMINAREA VNAF/C - VARIANTA 1

Nr. crt.	Rata de actualizare		Coef	Cheltuieli		Venituri		Flux	
	An	5%		Total	Actualizat	Total	Actualizat	Numerar	Actualizat
1	0	5%	1,0000	3220533,00	3220533,00	0,00	0,00	-3220533,00	-3220533,00
2	1	5%	0,9524	705271,08	671686,74	961200,00	915428,57	255928,92	243741,83
3	2	5%	0,9070	712323,79	646098,68	970812,00	880555,10	258488,21	234456,43
4	3	5%	0,8638	719447,03	621485,39	980520,12	847010,15	261073,09	225524,75
5	4	5%	0,8227	726641,50	597809,76	990325,32	814743,09	263683,82	216933,33
6	5	5%	0,7835	733907,91	575036,05	1000228,57	783705,26	266320,66	208669,21
7	6	5%	0,7462	741246,99	553129,92	1010230,86	753849,82	268983,87	200719,90
8	7	5%	0,7107	748659,46	532058,30	1020333,17	725131,73	271673,71	193073,43
9	8	5%	0,6768	756146,06	511789,42	1030536,50	697507,67	274390,44	185718,25
10	9	5%	0,6446	763707,52	492292,68	1071757,96	690864,74	308050,44	198572,06
11	10	5%	0,6139	771344,59	473538,67	1114628,28	684285,07	343283,69	210746,40
12	11	5%	0,5847	779058,04	455499,10	1159213,41	677768,07	380155,37	222268,97
13	12	5%	0,5568	786848,62	438146,75	1205581,95	671313,14	418733,33	233166,38
14	13	5%	0,5303	794717,11	421455,45	1253805,22	664919,68	459088,12	243464,23
15	14	5%	0,5051	802664,28	405400,00	1303957,43	658587,11	501293,16	253187,11
16	15	5%	0,4810	810690,92	389956,19	1356115,73	652314,85	545424,81	262358,66
17	16	5%	0,4581	818797,83	375100,72	1410360,36	646102,33	591562,53	271001,61
18	17	5%	0,4363	826985,81	360811,17	1466774,77	639948,98	639788,97	279137,81
19	18	5%	0,4155	835255,67	347065,98	1525445,77	633854,22	690190,10	286788,24
20	19	5%	0,3957	843608,22	333844,42	1586463,60	627817,52	742855,37	293973,10
21	20	5%	0,3769	852044,30	321126,54	1649922,14	621838,30	797877,84	300711,76
22	21	5%	0,3589	860564,75	308893,15	1666421,36	598149,22	805856,61	289256,08
23	22	5%	0,3418	869170,39	297125,79	1683085,57	575362,59	813915,18	278236,80
24	23	5%	0,3256	877862,10	285806,71	1699916,43	553444,01	822054,33	267637,30
25	24	5%	0,3101	886640,72	274918,84	1716915,59	532360,43	830274,87	257441,60
26	25	5%	0,2953	895507,13	264445,74	1734084,75	512080,03	838577,62	247634,30
Total					14175055,15		17058941,70		2883886,55

Tab. 5.5. Valoarea actualizată netă (VAN) pentru varianta 1

DETERMINAREA VNAF/C - VARIANTA 2

Nr. crt.	Rata de actualizare		Coef	Cheltuieli		Venituri		Flux	
	An	Rata		Total	Actualizat	Total	Actualizat	Numerar	Actualizat
1	0	5%	1,0000	802530,00	802530,00	200250,00	200250,00	-602280,00	-602280,00
2	1	5%	0,9524	698222,04	664973,37	961200,00	915428,57	262977,96	250455,20
3	2	5%	0,9070	705204,26	639641,05	970812,00	880555,10	265607,74	240914,05
4	3	5%	0,8638	712256,30	615273,77	980520,12	847010,15	268263,82	231736,37
5	4	5%	0,8227	719378,87	591834,77	990325,32	814743,09	270946,46	222908,32
6	5	5%	0,7835	726572,65	569288,69	1000228,57	783705,26	273655,92	214416,57
7	6	5%	0,7462	733838,38	547601,50	1010230,86	753849,82	276392,48	206248,32
8	7	5%	0,7107	741176,77	526740,49	1020333,17	725131,73	279156,40	198391,24
9	8	5%	0,6768	748588,53	506674,18	1030536,50	697507,67	281947,97	190833,48
10	9	5%	0,6446	756074,42	487372,31	1040841,87	670935,95	284767,45	183563,64
11	10	5%	0,6139	763635,16	468805,75	1051250,28	645376,48	287615,12	176570,74
12	11	5%	0,5847	771271,51	450946,48	1061762,79	620790,71	290491,27	169844,23
13	12	5%	0,5568	778984,23	433767,57	1072380,41	597141,54	293396,19	163373,97
14	13	5%	0,5303	786774,07	417243,09	1083104,22	574393,29	296330,15	157150,20
15	14	5%	0,5051	794641,81	401348,11	1093935,26	552511,64	299293,45	151163,53
16	15	5%	0,4810	802588,23	386058,66	1104874,61	531463,58	302286,38	145404,92
17	16	5%	0,4581	810614,11	371351,66	1115923,36	511217,35	305309,25	139865,68
18	17	5%	0,4363	818720,25	357204,93	1127082,59	491742,40	308362,34	134537,47
19	18	5%	0,4155	826907,46	343597,13	1138353,42	473009,36	311445,96	129412,23
20	19	5%	0,3957	835176,53	330507,71	1149736,95	454989,95	314560,42	124482,24
21	20	5%	0,3769	843528,30	317916,94	1161234,32	437657,00	317706,03	119740,06
22	21	5%	0,3589	851963,58	305805,82	1172846,67	420984,36	320883,09	115178,53
23	22	5%	0,3418	860483,21	294156,08	1184575,13	404946,86	324091,92	110790,78
24	23	5%	0,3256	869088,05	282950,13	1196420,88	389520,31	327332,84	106570,18
25	24	5%	0,3101	877778,93	272171,08	1208385,09	374681,44	330606,17	102510,36
26	25	5%	0,2953	886556,72	261802,66	1220468,94	360407,86	333912,23	98605,21
Total					11647563,94		15129951,48		3482387,54

Tab. 5.6. Valoarea actualizată netă (VAN) pentru varianta 2

DETERMINAREA RIRF/C - VARIANTA 1

Nr. crt.	An	RIRF/C	Coef	Cheltuieli		Venituri		Flux	
				Total	Actualizat	Total	Actualizat	Numerar	Actualizat
1	0	10,5784%	1,0000	3220533,00	3220533,00	0	0,00	-3220533	-3220533,00
2	1	10,5784%	0,9043	705271,08	637801,73	961200,00	869247,36	255928,92	231445,63
3	2	10,5784%	0,8178	712323,79	582554,66	970812,00	793952,22	258488,21	211397,56
4	3	10,5784%	0,7396	719447,03	532093,15	980520,12	725179,23	261073,09	193086,08
5	4	10,5784%	0,6688	726641,50	486002,68	990325,32	662363,43	263683,82	176360,75
6	5	10,5784%	0,6049	733907,91	443904,60	1000228,57	604988,80	266320,66	161084,20
7	6	10,5784%	0,5470	741246,99	405453,11	1010230,86	552584,03	268983,87	147130,91
8	7	10,5784%	0,4947	748659,46	370332,33	1020333,17	504718,61	271673,71	134386,28
9	8	10,5784%	0,4473	756146,06	338253,75	1030536,50	460999,34	274390,44	122745,59
10	9	10,5784%	0,4045	763707,52	308953,85	1071757,96	433574,03	308050,44	124620,18
11	10	10,5784%	0,3658	771344,59	282191,94	1114628,28	407780,28	343283,69	125588,34
12	11	10,5784%	0,3308	779058,04	257748,17	1159213,41	383521,02	380155,37	125772,85
13	12	10,5784%	0,2992	786848,62	235421,75	1205581,95	360704,97	418733,33	125283,22
14	13	10,5784%	0,2706	794717,11	215029,26	1253805,22	339246,27	459088,12	124217,01
15	14	10,5784%	0,2447	802664,28	196403,20	1303957,43	319064,17	501293,16	122660,97
16	15	10,5784%	0,2213	810690,92	179390,54	1356115,73	300082,72	545424,81	120692,18
17	16	10,5784%	0,2001	818797,83	163851,54	1410360,36	282230,50	591562,53	118378,96
18	17	10,5784%	0,1810	826985,81	149658,55	1466774,77	265440,33	639788,97	115781,78
19	18	10,5784%	0,1637	835255,67	136694,96	1525445,77	249649,01	690190,10	112954,05
20	19	10,5784%	0,1480	843608,22	124854,30	1586463,60	234797,15	742855,37	109942,84
21	20	10,5784%	0,1338	852044,30	114039,29	1649922,14	220828,83	797877,84	106789,54
22	21	10,5784%	0,1210	860564,75	104161,08	1666421,36	201700,40	805856,61	97539,32
23	22	10,5784%	0,1095	869170,39	95138,54	1683085,57	184228,89	813915,18	89090,36
24	23	10,5784%	0,0990	877862,10	86897,54	1699916,43	168270,79	822054,33	81373,25
25	24	10,5784%	0,0895	886640,72	79370,38	1716915,59	153695,00	830274,87	74324,62
26	25	10,5784%	0,0810	895507,13	72495,23	1734084,75	140381,77	838577,62	67886,54
Total					9819229,13		9819229,13		0,00

Tab. 5.7. Rata internă de rentabilitate (RIR) pentru varianta 1

DETERMINAREA RIRF/C - VARIANTA 2

Nr. crt.	An	RIRF/C	Coef	Cheltuieli		Venituri		Flux	
				Total	Actualizat	Total	Actualizat	Numerar	Actualizat
1	0	44,6582%	1,0000	802530	802530,00	200250,00	200250,00	-602280,00	-602280,00
2	1	44,6582%	0,6913	698222,04	482670,05	961200,00	664462,63	262977,96	181792,58
3	2	44,6582%	0,4779	705204,26	336998,93	970812,00	463926,02	265607,74	126927,09
4	3	44,6582%	0,3303	712256,30	235291,75	980520,12	323911,90	268263,82	88620,15
5	4	44,6582%	0,2284	719378,87	164280,07	990325,32	226154,42	270946,46	61874,35
6	5	44,6582%	0,1579	726572,65	114699,90	1000228,57	157900,41	273655,92	43200,51
7	6	44,6582%	0,1091	733838,38	80083,16	1010230,86	110245,64	276392,48	30162,48
8	7	44,6582%	0,0754	741176,77	55913,85	1020333,17	76973,21	279156,40	21059,36
9	8	44,6582%	0,0522	748588,53	39038,90	1030536,50	53742,49	281947,97	14703,59
10	9	44,6582%	0,0361	756074,42	27256,85	1040841,87	37522,86	284767,45	10266,01
11	10	44,6582%	0,0249	763635,16	19030,66	1051250,28	26198,36	287615,12	7167,70
12	11	44,6582%	0,0172	771271,51	13287,16	1061762,79	18291,63	290491,27	5004,47
13	12	44,6582%	0,0119	778984,23	9277,06	1072380,41	12771,16	293396,19	3494,11
14	13	44,6582%	0,0082	786774,07	6477,22	1083104,22	8916,79	296330,15	2439,58
15	14	44,6582%	0,0057	794641,81	4522,38	1093935,26	6225,68	299293,45	1703,30
16	15	44,6582%	0,0039	802588,23	3157,51	1104874,61	4346,75	302286,38	1189,24
17	16	44,6582%	0,0027	810614,11	2204,57	1115923,36	3034,89	305309,25	830,33
18	17	44,6582%	0,0019	818720,25	1539,22	1127082,59	2118,95	308362,34	579,73
19	18	44,6582%	0,0013	826907,46	1074,68	1138353,42	1479,45	311445,96	404,77
20	19	44,6582%	0,0009	835176,53	750,34	1149736,95	1032,95	314560,42	282,61
21	20	44,6582%	0,0006	843528,30	523,88	1161234,32	721,20	317706,03	197,32
22	21	44,6582%	0,0004	851963,58	365,77	1172846,67	503,54	320883,09	137,77
23	22	44,6582%	0,0003	860483,21	255,38	1184575,13	351,57	324091,92	96,19
24	23	44,6582%	0,0002	869088,05	178,31	1196420,88	245,47	327332,84	67,16
25	24	44,6582%	0,0001	877778,93	124,49	1208385,09	171,38	330606,17	46,89
26	25	44,6582%	0,0001	886556,72	86,92	1220468,94	119,66	333912,23	32,74
Total					2401619,03		2401619,03		0,00

Tab. 5.8. Rata internă de rentabilitate (RIR) pentru varianta 2

- proiecția fluxurilor de numerar

→ fluxul de numerar este pozitiv pe toată perioada de analiză pentru ambele variante analizate.

5.4.3.2. Avantajele și dezavantajele variantelor analizate

5.4.3.2.1. Avantajele variantei 1

- valoarea totală a investiției inițiale este mai mică decât în varianta 2, prin urmare, resursele financiare neutilizate se pot aloca altor proiecte;
- VANF/C este pozitivă, prin urmare proiectul nu necesită finanțare externă, poate fi susținut de beneficiar;
- asigurarea unui flux de numerar pozitiv pentru fiecare an analizat;
- durata de execuție este mai scurtă decât cea din varianta 2;
- reducerea manoperei ca urmare a faptului că o parte din elemente sunt realizate în atelierul de confecții metalice, la șantier având loc doar operații de montaj-asamblare;

- grad mare de prefabricare și implicit un control eficient al calității datorită reducerii operațiilor efectuate la șantier.

5.4.3.2.2. Dezavantajele variantei 1

- pe durata derulării lucrărilor de reabilitare, se oprește producția îngrășământului chimic pentru agricultură, fapt care duce la o pierdere de 2.675.100 lei + TVA, ca urmare a nerealizării venitului;
- întreruperea livrării mărfii către clienți pe perioada de oprire a producției și, prin urmare, posibilitatea ca aceștia să își găsească alți furnizori;
- probleme tehnologice la demolarea structurii de beton existente;
- probleme de proiectare/execuție pentru adaptarea soluției propuse la poziția elementelor ce se păstrează (fundații stâlpi, buncăr pornire, punct descărcare în depozit);
- perioada de recuperare a investiției este de 12 ani conform Tab. 5.5, mai mare decât cea din varianta 2.

5.4.3.2.3. Avantajele variantei 2

- VANF/C este mai mare decât în varianta 1 și este pozitivă, prin urmare proiectul nu necesită finanțare externă, poate fi susținut de beneficiar;
- asigurarea unui flux de numerar pozitiv pentru fiecare an analizat;
- raportul cost-beneficiu este mai mare decât în varianta 1;
- realizarea venitului din vânzări ca urmare a derulării lucrărilor de reabilitare fără oprirea producției;
- respectarea angajamentelor față de clienți prin livrarea mărfii către aceștia, fără întrerupere, conform contractelor;
- perioada de recuperare a investiției este de 3 ani conform Tab. 5.6, mai mică decât cea din varianta 1.

5.4.3.2.4. Dezavantajele variantei 2

- investiția inițială pentru lucrările de reabilitare este mai mare;
- termen mai mare de execuție a lucrărilor.

Din analiza financiară a principalilor indicatori, precum și a avantajelor și dezavantajelor celor două variante, rezultă concluzia asupra alegerii variantei optime, varianta 2, din punct de vedere tehnico – economic, după cum se poate observa din Tab. 5.9 de mai jos și din explicațiile prezentate anterior.

VNAF/C	2883886,55	3482387,54
RIRF/C	10,5784%	44,6582%
RAPORT C/B	1,2034	1,2990

Tab. 5.9. Centralizator pentru alegerea variantei optime

5.4.4. Analiza de senzitivitate

Analiza de senzitivitate este o practică iterativă, îndelungată, pe parcursul căreia se evaluează diferitele modificări posibile ale factorilor exogeni și impactul lor asupra indicatorilor de eficiență economică și financiară. Cu ajutorul acesteia se evaluează cele mai probabile rezultate ale proiectelor și se crează premisele de a reține variantele cele mai plauzibile de desfășurare ale acestora.

Posibilitățile de variație luate în considerare sunt:

- variația (creșterea) costurilor, cu menținerea la nivel constant a veniturilor anuale previzionate;
- variația veniturilor (scăderea) cu menținerea la un nivel constant a costurilor previzionate;
- modificarea simultană a costurilor și a veniturilor anuale.

Variantele luate în considerare pentru a vedea senzitivitatea proiectului sunt:

5.4.4.1. Varianta 1'

În această variantă am ales factor critic variația (creșterea) cheltuielilor cu 1%, cu menținerea la nivel constant a veniturilor anuale previzionate, exemplificat în Tab. 5.10 Analiza de senzitivitate – creșterea cheltuielilor cu 1% - varianta 1 și Tab. 5.11 Analiza de senzitivitate – creșterea cheltuielilor cu 1% - varianta 2.

5.4.4.1.1. Creșterea cheltuielilor cu 1%, venituri constante – varianta 1:

- VAN inițial: 2.883.886,55
- Raportul C/B inițial: 1,2034
- VAN ch+1%: 2.774.341,33
- Raportul C/B ch+1%: 1,1942

Variația VAN este de 3,95%

ANALIZA DE SENZITIVITATE - CRESTEREA CHELTUIELILOR CU 1% - VARIANTA 1

Nr. crt.	An	Rata	Coef	Cheltuieli		Venituri		Flux	
				Total	Actualizat	Total	Actualizat	Numerar	Actualizat
1	0	5%	1,0000	3220533,00	3220533,00	0	0,00	-3220533	-3220533,00
2	1	5%	0,9524	712323,79	678403,61	961200,00	915428,57	248876,21	237024,96
3	2	5%	0,9070	719447,03	652559,66	970812,00	880555,10	251364,97	227995,44
4	3	5%	0,8638	726641,50	627700,25	980520,12	847010,15	253878,62	219309,90
5	4	5%	0,8227	733907,91	603787,86	990325,32	814743,09	256417,41	210955,24
6	5	5%	0,7835	741246,99	580786,41	1000228,57	783705,26	258981,58	202918,85
7	6	5%	0,7462	748659,46	558661,22	1010230,86	753849,82	261571,40	195188,60
8	7	5%	0,7107	756146,06	537378,89	1020333,17	725131,73	264187,11	187752,85
9	8	5%	0,6768	763707,52	516907,31	1030536,50	697507,67	266828,98	180600,36
10	9	5%	0,6446	771344,59	497215,60	1071757,96	690864,74	300413,37	193649,13
11	10	5%	0,6139	779058,04	478274,06	1114628,28	684285,07	335570,24	206011,02
12	11	5%	0,5847	786848,62	460054,09	1159213,41	677768,07	372364,79	217713,98
13	12	5%	0,5568	794717,11	442528,22	1205581,95	671313,14	410864,84	228784,92
14	13	5%	0,5303	802664,28	425670,00	1253805,22	664919,68	451140,95	239249,68
15	14	5%	0,5051	810690,92	409454,00	1303957,43	658587,11	493266,51	249133,11
16	15	5%	0,4810	818797,83	393855,76	1356115,73	652314,85	537317,90	258459,10
17	16	5%	0,4581	826985,81	378851,73	1410360,36	646102,33	583374,55	267250,60
18	17	5%	0,4363	835255,67	364419,28	1466774,77	639948,98	631519,11	275529,70
19	18	5%	0,4155	843608,22	350536,64	1525445,77	633854,22	681837,54	283317,58
20	19	5%	0,3957	852044,30	337182,86	1586463,60	627817,52	734419,29	290634,65
21	20	5%	0,3769	860564,75	324337,80	1649922,14	621838,30	789357,39	297500,50
22	21	5%	0,3589	869170,39	311982,08	1666421,36	598149,22	797250,97	286167,15
23	22	5%	0,3418	877862,10	300097,05	1683085,57	575362,59	805223,48	275265,54
24	23	5%	0,3256	886640,72	288664,78	1699916,43	553444,01	813275,71	264779,24
25	24	5%	0,3101	895507,13	277668,02	1716915,59	532360,43	821408,47	254692,41
26	25	5%	0,2953	904462,20	267090,19	1734084,75	512080,03	829622,55	244989,84
Total					14284600,37		17058941,70		2774341,33

Tab. 5.10 Analiza de senzitivitate – creșterea cheltuielilor cu 1% - varianta 1

5.4.4.1.2. Creșterea cheltuielilor cu 1%, venituri constante – varianta 2:

- VAN inițial: 3.482.387,54
- Raportul C/B inițial: 1,2990
- VAN ch+1%: 3.373.937,20
- Raportul C/B ch+1%: 1,2870

Variația VAN este de 3,21%.

ANALIZA DE SENZITIVITATE - CRESTEREA CHELTUIELILOR CU 1% - VARIANTA 2

Nr. crt.	An	Rata	Coef	Cheltuieli		Venituri		Flux	
				Total	Actualizat	Total	Actualizat	Numerar	Actualizat
1	0	5%	1,0000	802530,00	802530,00	200250,00	200250,00	-602280,00	-602280,00
2	1	5%	0,9524	705204,26	671623,11	961200,00	915428,57	255995,74	243805,47
3	2	5%	0,9070	712256,30	646037,46	970812,00	880555,10	258555,70	234517,64
4	3	5%	0,8638	719378,87	621426,51	980520,12	847010,15	261141,25	225583,63
5	4	5%	0,8227	726572,65	597753,12	990325,32	814743,09	263752,67	216989,97
6	5	5%	0,7835	733838,38	574981,57	1000228,57	783705,26	266390,19	208723,69
7	6	5%	0,7462	741176,77	553077,51	1010230,86	753849,82	269054,10	200772,31
8	7	5%	0,7107	748588,53	532007,89	1020333,17	725131,73	271744,64	193123,84
9	8	5%	0,6768	756074,42	511740,93	1030536,50	697507,67	274462,08	185766,74
10	9	5%	0,6446	763635,16	492246,03	1040841,87	670935,95	277206,70	178689,91
11	10	5%	0,6139	771271,51	473493,80	1051250,28	645376,48	279978,77	171882,68
12	11	5%	0,5847	778984,23	455455,95	1061762,79	620790,71	282778,56	165334,77
13	12	5%	0,5568	786774,07	438105,24	1072380,41	597141,54	285606,34	159036,30
14	13	5%	0,5303	794641,81	421415,52	1083104,22	574393,29	288462,41	152977,77
15	14	5%	0,5051	802588,23	405361,59	1093935,26	552511,64	291347,03	147150,05
16	15	5%	0,4810	810614,11	389919,25	1104874,61	531463,58	294260,50	141544,33
17	16	5%	0,4581	818720,25	375065,18	1115923,36	511217,35	297203,11	136152,17
18	17	5%	0,4363	826907,46	360776,98	1127082,59	491742,40	300175,14	130965,42
19	18	5%	0,4155	835176,53	347033,10	1138353,42	473009,36	303176,89	125976,26
20	19	5%	0,3957	843528,30	333812,79	1149736,95	454989,95	306208,66	121177,16
21	20	5%	0,3769	851963,58	321096,11	1161234,32	437657,00	309270,74	116560,89
22	21	5%	0,3589	860483,21	308863,88	1172846,67	420984,36	312363,45	112120,48
23	22	5%	0,3418	869088,05	297097,64	1184575,13	404946,86	315487,09	107849,22
24	23	5%	0,3256	877778,93	285779,63	1196420,88	389520,31	318641,96	103740,68
25	24	5%	0,3101	886556,72	274892,79	1208385,09	374681,44	321828,38	99788,65
26	25	5%	0,2953	895422,28	264420,68	1220468,94	360407,86	325046,66	95987,18
Total					11756014,28		15129951,48		3373937,20

Tab. 5.11 Analiza de senzitivitate – creșterea cheltuielilor cu 1% - varianta 2

5.4.4.1. Varianta 2'

În această variantă am ales factor critic variația (scăderea) veniturilor cu 1%, cu menținerea la nivel constant a cheltuielilor anuale previzionate. Variațiile se pot observa în amănunt în Tab. 5.12 Analiza de senzitivitate – scăderea veniturilor cu 1% - varianta 1 și Tab. 5.13 Analiza de senzitivitate – scăderea veniturilor cu 1% - varianta 2.

5.4.4.1.1. Scăderea veniturilor cu 1%, cheltuieli constante – varianta 1:

- VAN inițial: 2.883.886,55
- Raportul C/B inițial: 1,2034
- VAN ven.-1%: 2.714.986,13
- Raportul C/B ven.-1%: 1,1915

Variația VAN este de 6,22%.

ANALIZA DE SENZITIVITATE - SCADEREA VENITURILOR CU 1% - VARIANTA 1

Nr. crt.	An	Rata	Coef	Cheltuieli		Venituri		Flux	
				Total	Actualizat	Total	Actualizat	Numerar	Actualizat
1	0	5%	1,0000	3220533,00	3220533,00	0	0,00	-3220533	-3220533,00
2	1	5%	0,9524	705271,08	671686,74	951683,17	906364,92	246412,09	234678,18
3	2	5%	0,9070	712323,79	646098,68	961200,00	871836,73	248876,21	225738,06
4	3	5%	0,8638	719447,03	621485,39	970812,00	838623,91	251364,97	217138,51
5	4	5%	0,8227	726641,50	597809,76	980520,12	806676,33	253878,62	208866,57
6	5	5%	0,7835	733907,91	575036,05	990325,32	775945,80	256417,41	200909,75
7	6	5%	0,7462	741246,99	553129,92	1000228,57	746385,96	258981,58	193256,04
8	7	5%	0,7107	748659,46	532058,30	1010230,86	717952,21	261571,40	185893,91
9	8	5%	0,6768	756146,06	511789,42	1020333,17	690601,65	264187,11	178812,24
10	9	5%	0,6446	763707,52	492292,68	1061146,50	684024,49	297438,98	191731,82
11	10	5%	0,6139	771344,59	473538,67	1103592,36	677509,97	332247,76	203971,30
12	11	5%	0,5847	779058,04	455499,10	1147736,05	671057,50	368678,01	215558,40
13	12	5%	0,5568	786848,62	438146,75	1193645,49	664666,47	406796,87	226519,72
14	13	5%	0,5303	794717,11	421455,45	1241391,31	658336,32	446674,21	236880,87
15	14	5%	0,5051	802664,28	405400,00	1291046,96	652066,45	488382,69	246666,44
16	15	5%	0,4810	810690,92	389956,19	1342688,84	645856,29	531997,92	255900,10
17	16	5%	0,4581	818797,83	375100,72	1396396,40	639705,28	577598,57	264604,56
18	17	5%	0,4363	826985,81	360811,17	1452252,25	633612,85	625266,44	272801,68
19	18	5%	0,4155	835255,67	347065,98	1510342,34	627578,44	675086,68	280512,46
20	19	5%	0,3957	843608,22	333844,42	1570756,04	621601,50	727147,81	287757,08
21	20	5%	0,3769	852044,30	321126,54	1633586,28	615681,49	781541,97	294554,95
22	21	5%	0,3589	860564,75	308893,15	1649922,14	592226,95	789357,39	283333,81
23	22	5%	0,3418	869170,39	297125,79	1666421,36	569665,93	797250,97	272540,14
24	23	5%	0,3256	877862,10	285806,71	1683085,57	547964,37	805223,48	262157,66
25	24	5%	0,3101	886640,72	274918,84	1699916,43	527089,54	813275,71	252170,70
26	25	5%	0,2953	895507,13	264445,74	1716915,59	507009,93	821408,47	242564,20
Total					14175055,15		16890041,28		2714986,13

Tab. 5.12. Analiza de senzitivitate – scăderea veniturilor cu 1% - varianta 1

5.4.4.1.2. Scăderea veniturilor cu 1%, cheltuieli constante – varianta 2:

- VAN inițial: 3.482.387,54
- Raportul C/B inițial: 1,2990
- VAN ven.-1%: 3.3325.86,04
- Raportul C/B ven.-1%: 1,2861

Variația VAN este de 4,49%.

ANALIZA DE SENZITIVITATE - SCADEREA VENITURILOR CU 1% - VARIANTA 2

Nr. crt.	An	Rata	Coef	Cheltuieli		Venituri		Flux	
				Total	Actualizat	Total	Actualizat	Numerar	Actualizat
1	0	5%	1,0000	802530	802530,00	198267,33	198267,33	-604262,67	-604262,67
2	1	5%	0,9524	698222,04	664973,37	951683,17	906364,92	253461,13	241391,55
3	2	5%	0,9070	705204,26	639641,05	961200,00	871836,73	255995,74	232195,68
4	3	5%	0,8638	712256,30	615273,77	970812,00	838623,91	258555,70	223350,13
5	4	5%	0,8227	719378,87	591834,77	980520,12	806676,33	261141,25	214841,56
6	5	5%	0,7835	726572,65	569288,69	990325,32	775945,80	263752,67	206657,12
7	6	5%	0,7462	733838,38	547601,50	1000228,57	746385,96	266390,19	198784,46
8	7	5%	0,7107	741176,77	526740,49	1010230,86	717952,21	269054,10	191211,72
9	8	5%	0,6768	748588,53	506674,18	1020333,17	690601,65	271744,64	183927,47
10	9	5%	0,6446	756074,42	487372,31	1030536,50	664293,02	274462,08	176920,71
11	10	5%	0,6139	763635,16	468805,75	1040841,87	638986,62	277206,70	170180,87
12	11	5%	0,5847	771271,51	450946,48	1051250,28	614644,27	279978,77	163697,79
13	12	5%	0,5568	778984,23	433767,57	1061762,79	591229,25	282778,56	157461,68
14	13	5%	0,5303	786774,07	417243,09	1072380,41	568706,23	285606,34	151463,14
15	14	5%	0,5051	794641,81	401348,11	1083104,22	547041,23	288462,41	145693,12
16	15	5%	0,4810	802588,23	386058,66	1093935,26	526201,56	291347,03	140142,90
17	16	5%	0,4581	810614,11	371351,66	1104874,61	506155,79	294260,50	134804,13
18	17	5%	0,4363	818720,25	357204,93	1115923,36	486873,67	297203,11	129668,73
19	18	5%	0,4155	826907,46	343597,13	1127082,59	468326,10	300175,14	124728,97
20	19	5%	0,3957	835176,53	330507,71	1138353,42	450485,10	303176,89	119977,39
21	20	5%	0,3769	843528,30	317916,94	1149736,95	433323,77	306208,66	115406,82
22	21	5%	0,3589	851963,58	305805,82	1161234,32	416816,19	309270,74	111010,37
23	22	5%	0,3418	860483,21	294156,08	1172846,67	400937,48	312363,45	106781,41
24	23	5%	0,3256	869088,05	282950,13	1184575,13	385663,67	315487,09	102713,54
25	24	5%	0,3101	877778,93	272171,08	1196420,88	370971,72	318641,96	98800,65
26	25	5%	0,2953	886556,72	261802,66	1208385,09	356839,47	321828,38	95036,81
Total					11647563,94		14980149,99		3332586,04

Tab. 5.13 Analiza de senzitivitate – scăderea veniturilor cu 1% - varianta 2

Conform variațiilor VAN în cele două variante, respectiv varianta în care cheltuielile cresc cu 1% față de varianta inițială și varianta în care veniturile scad cu 1% față de varianta inițială, rezultă concluzia că proiectul este mai sensibil la scăderea veniturilor cu 1% decât la creșterea cheltuielilor cu 1%.

Orice variabilă a proiectului pentru care variația cu 1% va produce o modificare cu mai mult de 5% în valoarea de bază a VAN va fi considerată variabilă critică, ca urmare proiectul nostru nu are variabile critice întrucât în varianta constructivă 2, variația cu 1% a variabilelor analizate nu au produs o modificare cu mai mult de 5% în valoarea de bază a VAN. În varianta constructivă 1, scăderea veniturilor cu 1%, produce o modificare în valoarea de bază VAN cu mai mult de 5%, prin urmare acest factor va fi considerat o variabilă critică, susținând cu atât mai mult decizia corectă de a alege varianta constructivă 2.

5.4.5. Analiza de risc și principalele riscuri care pot influența proiectul propus

Analiza riscului constă în studierea probabilității ca obiectivul de investiții ce urmează a fi realizat, să obțină o performanță satisfăcătoare (sub forma ratei interne a rentabilității sau valorii actualizate nete). Procedura recomandată pentru evaluarea riscului se bazează pe o analiză a sensibilității, care reprezintă impactul pe care schimbările presupuse ale variabilelor care determină costuri și beneficii le au asupra indicilor economici calculați (rata internă de rentabilitate și valoare actualizată netă).

Suportul creșterii economice îl constituie în principal investițiile. Activitatea este dependentă de eficiența de exploatare, de calitatea și fiabilitatea acestora, precum și de calitatea managementului și acuratețea deciziei. Cu alte cuvinte, activitatea investițională este o componentă importantă de luat în analiză din acest punct de vedere. Atât activitatea economică, dar mai ales decizia sunt sub incidența riscului și al incertitudinii referitoare la atingerea țintelor propuse. Aceasta apare indiferent dacă ne referim la activități productive, directe sau la investiții financiare. Toate elementele enumerate constituie materialul de lucru al proiectului.

În prezenta analiză cost-beneficiu s-a inclus și o evaluare a riscurilor. Aceasta a fost făcută în doi pași:

a) analiza de sensibilitate: identificarea variabilelor critice; s-au analizat performanțele financiare și economice ale proiectului atunci când valorile acestora variază, în plus sau în minus cu 1%. Ceea ce s-a încercat a se determina sunt acele valori care influențează stabilitatea proiectului nostru.

b) analiza de risc: am luat în calcul și probabilitatea ca variabila critică să nu evolueze așa cum am estimat în analiza de sensibilitate. Nu întotdeauna se poate determina probabilitatea modificării cu un anumit procent a valorii unei variabile critice, astfel că am dezvoltat o analiză de risc pe baza analizei de sensibilitate. În acest caz, am efectuat o analiză de risc calitativă (evaluare calitativă a riscurilor prezentată narativ).

Variabilele luate în considerare în cadrul analizei riscului și sensibilității în acest proiect sunt următoarele:

- costul investiției;
- dinamica veniturilor.

Identificarea variabilelor critice	Exemple de variabile
Dinamica veniturilor	Fluctuații ale schimbului valutar, termenul de întârziere a livrării mărfii către clienți, creșterea prețului la materia primă, modificarea fiscalității etc
Costul investiției	Durata reabilitării estacadei, costul orar al forței de muncă, productivitatea orară, costul transportului, costul betonului, costul metalului etc.

5.4.5.1. Riscurile tehnice

Risc	Probabilitate	Efecte	Metode de diminuare
Apariția greșelilor de proiectare: <ul style="list-style-type: none"> evaluarea greșită a încărcărilor statice și dinamice etc 	risc mediu	<ul style="list-style-type: none"> posibilitatea de cedare a unui reazem sau a mai multor reazeme; posibilitatea de cedare casantă a unei îmbinări metalice; oprirea producției 	<ul style="list-style-type: none"> analiza firmelor de proiectare cărora li se solicită ofertă; solicitarea din partea acestora a experienței similare etc.
Apariția greșelilor de execuție: <ul style="list-style-type: none"> controlul superficial al execuției lucrărilor 	risc mediu	<ul style="list-style-type: none"> realizarea defectuoasă a cămășuirilor; montarea defectuoasă a elementelor metalice care în urma acțiunii dinamice a benzii pot ceda mult mai ușor etc. 	<ul style="list-style-type: none"> supraveghere atentă a șantierului, alegerea corectă a firmelor de execuție și cu experiență similară, fazele cheie ale execuției nu se realizează fără prezența proiectantului.
Depășirea termenului de execuție	risc mare	<ul style="list-style-type: none"> posibilitatea de apariție a unor erori 	<ul style="list-style-type: none"> stabilirea unui grafic clar de lucrări și urmărirea acestora.
Apariția accidentelor de muncă	risc mediu	<ul style="list-style-type: none"> oprirea lucrărilor pentru efectuarea controalelor și a investigațiilor; depășirea termenului de execuție 	<ul style="list-style-type: none"> întocmirea unui plan SSM corect și complet; instruirea și supravegherea muncitorilor.

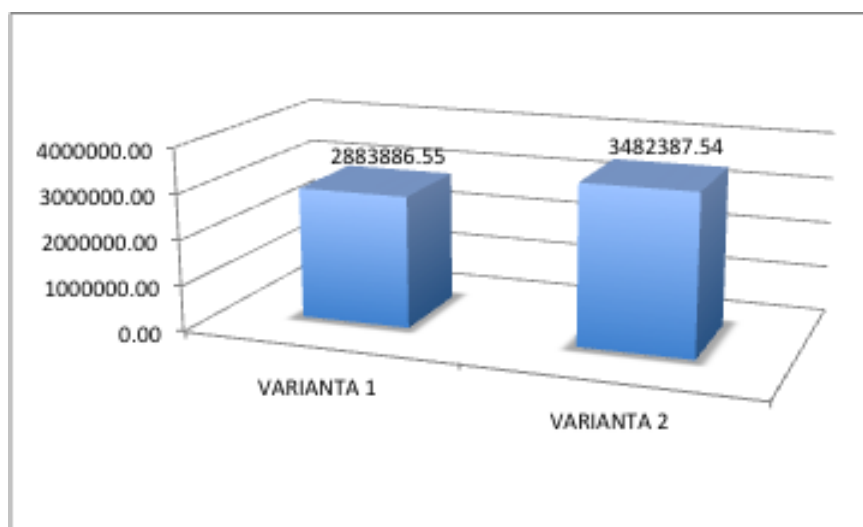
5.4.5.2. Riscuri financiare

Risc	Probabilitate	Efecte	Metode de diminuare
Apariției greșelilor de proiectare <ul style="list-style-type: none"> estimare greșită a cantităților de lucrări din stadiul de proiect etc 	risc mediu	<ul style="list-style-type: none"> depășirea bugetului propus pentru realizarea investiției 	<ul style="list-style-type: none"> verificarea de către managerul de proiect a listelor de cantități
Creșterea prețului la materiale	risc mic	<ul style="list-style-type: none"> depășirea bugetului estimat în etapa de întocmire a proiectului tehnic 	<ul style="list-style-type: none"> solicitarea ofertelor de preț și realizarea aprovizionării din timp.

5.4.6. Concluzii

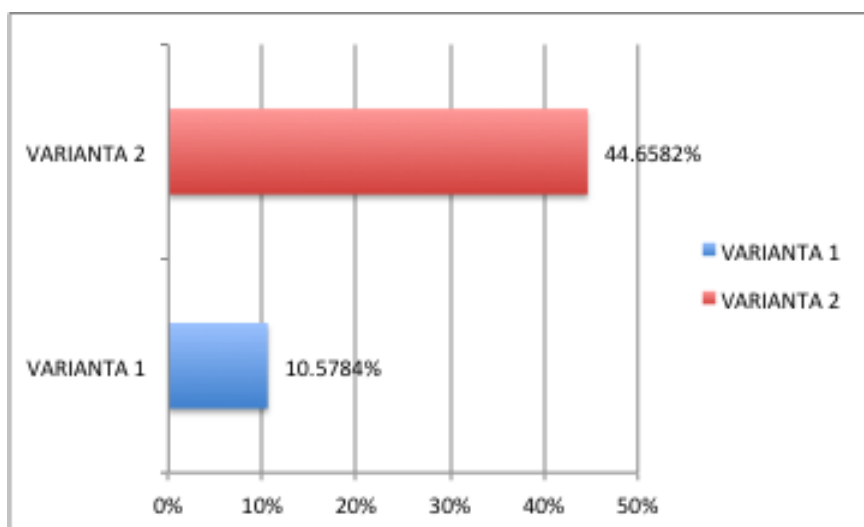
Prin prezenta documentație s-au prezentat și justificat cele două variante constructive analizate din punct de vedere tehnic și economic, din care au rezultat următoarele:

1. Varianta 2 are o valoare actualizată netă mai mare decât varianta 1.



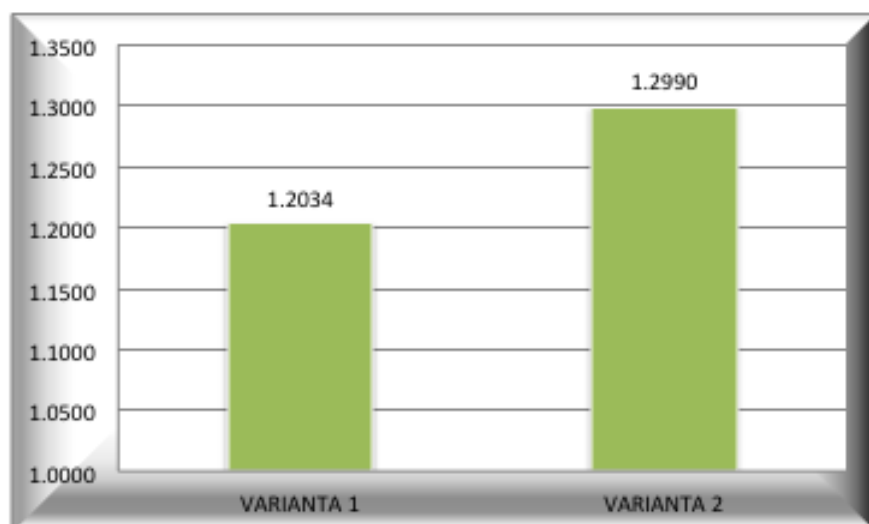
VAN/C V1 vs. V2

2. Rata internă de rentabilitate este mai mare în varianta 2 decât în varianta 1.



RIR/C V1 vs. V2

3. Raportul cost-beneficiu este mai mare în varianta 2 decât în varianta 1.



**Raportul cost-beneficiu
V1 vs. V2**

4. Se asigură păstrarea portofoliului de clienți pe durata de realizare a lucrărilor de reabilitare, prin respectarea angajamentelor și livrarea mărfurilor la termen către aceștia, aspect care nu se poate cuantifica valoric pe termen mediu și lung.

Astfel, prin evaluarea principalelor aspecte tehnico-economice ale investiției în cele două variante propuse prin prezenta documentație, rezultă concluzia selectării variantei 2 ca variantă optimă și se propune echipei de management a beneficiarului alegerea acesteia.

Capitolul 6

CONCLUZII

Cercetările teoretice efectuate și studiile de caz analizate în cadrul tezei de doctorat au condus la obținerea unor date utile procesului de abordare și optimizare a soluțiilor de consolidare sub exploatare a structurilor de beton armat.

Concluziile la care s-a ajuns în urma prelucrării și interpretării datelor cercetărilor vizează aspecte privind alcătuirea, tehnologia de execuție, calculul, comportarea structurilor consolidate sub sarcini, corespondența între ipotezele de calcul și comportarea reală a sistemelor de consolidare.

Teza integrează într-un concept unitar date ale experienței existente în domeniu, cu rezultatele obținute în urma aprofundării modului de concepere, calcul și comportare a sistemelor de consolidare.

În acest ultim capitol se prezintă sintetic concluziile care se desprind din analiza rezultatelor cercetărilor făcute în cadrul tezei de doctorat.

6.1. Concluzii referitoare la cercetarea efectuată în teză

6.1.1. Consolidarea/reabilitarea structurilor de beton armat degradate sau a căror capacitate portantă trebuie majorată datorită modificării cerințelor de performanță constituie un domeniu important al activității în construcții, motiv pentru care este necesară aprofundarea aspectelor ce țin de calculul și soluțiile tehnice adoptate.

Procesul de reabilitare a structurilor este un proces complex în care identificarea parametrilor ce definesc starea construcției și cerințele la care trebuie să răspundă ea după reabilitare/consolidare este determinant în abordarea corectă a acestui proces. Numărul mare de situații distincte posibile conduce la concluzia că fiecare caz este practic unic, ceea ce a determinat abordarea distinctă a fiecărei situații în parte.

Reabilitarea sub exploatare, devine singura modalitate de abordare a reabilitării/consolidării la o serie de obiective industriale, la care nu este posibilă întreruperea procesului de producție în perioada efectuării operațiilor de consolidare a structurii de rezistență. Complexitatea problemelor ce trebuie relaționate pentru definirea-analiza-rezolvarea situației în acest caz se amplifică, ceea ce transformă problematica reabilitării într-un proces a cărui abordare obligă la o sinteză a cunoștințelor ce definesc profesia de inginer: modelarea structurii cu ipoteze de schematizare ce se stabilesc funcție

de situația concretă, analiza prin calcul static/dinamic a sistemului consolidat, procese de optimizare a soluției adoptate, definirea tehnologiilor de execuție/montare/activare a sistemului de consolidare și de control a eficienței lui, soluții pentru controlul eficienței sistemului.

Teza de doctorat își propune să contribuie la definirea complexității problematicei reabilitării sub exploatare, a modului de abordare și de soluționare a aspectelor ce definesc acest domeniu.

Din cele studiate și prezentate în teza de doctorat se desprind aspecte ce sunt enumerate în continuare.

6.1.2. Analiza stadiului actual al problemei și a modalităților de intervenție pentru reabilitarea/consolidarea structurilor utilizate în practica națională și internațională, respectiv a procedeelelor de refacere a capacității portante a elementelor liniare, analiză făcută în Cap. 1, permite conturarea complexității problemei reabilitării structurilor și a diversității soluțiilor de reabilitare ce se pot adopta.

6.1.3. Definirea principiilor teoretice ale reabilitării sub exploatare, făcută la Cap. 2, este urmată de abordarea alcătuirii și calculului sistemelor de consolidare a elementelor liniare încovoiate.

Calculul sistemului de consolidare tip macaz, pasiv sau activ, se face pe un sistem static nedeterminat. Rigiditatea elementelor de consolidare este determinantă pentru eficiența soluției de consolidare. S-a definit în consecință o modalitate de predimensionare a sistemelor de consolidare a elementelor liniare. Pentru predimensionarea ariei tirantului se utilizează coeficientul de eficiență al soluției de consolidare, folosind în acest scop nomograme sau programele de predimensionare elaborate, în Matlab, în acest scop. Verificarea stării de eforturi în elementul consolidat se face pe un caz concret, rezultatele obținute fiind verificate și prin calculul în element finit cu ajutorul programului Robot Structural Analysis Professional 2013. Se analizează și eficiența sistemului de consolidare pentru valori diferite ale ariei tirantului și excentricități diferite.

Este prezentat calculul efortului în tirant și pentru alte cazuri de distribuție a încărcării, elaborându-se și un program de calcul folosind limbajul de programare Matlab (pentru încărcarea concentrată).

S-au utilizat abordări diferite ale calculului sistemului macaz, obținându-se rezultate similare.

Modul de calcul adoptat are ca efect optimizarea soluției de consolidare.

6.1.4. Sisteme de alcătuire a soluțiilor de consolidare sub exploatare și aspecte tehnologice specifice sunt prezentate în Cap.3. Soluțiile prezentate au fost validate de realizarea lor în practică. Ele aduc rezolvări care pot constitui modele de abordare a detaliilor de execuție. Se evidențiază importanța soluției/detaaliilor constructive ale sistemului de consolidare în vederea aplicării lui în condițiile cerute de consolidarea sub exploatare.

6.1.5. Consolidarea sub exploatare a elementelor de suprafață dezvoltată în Cap.4 presupune o abordare relativ similară cu cea a elementelor liniare. Importanța rigidității elementelor de consolidare în eficiența sistemelor de consolidare trebuie asociată cu aspectele ce definesc comportarea reală a planșeului ce se consolidează.

Procesul de analiză presupune alegerea poziției și a rigidității adecvate a elementelor sistemului de consolidare, eficiența acestuia și implicit efectul asupra stării de eforturi în elementul consolidat fiind determinate de acestea.

6.1.6. Studiul de caz făcut la Cap.5 permite analiza, pe un caz concret, a etapelor ce definesc procesul de consolidare sub exploatare a unei structuri, de la identificarea stării tehnice inițiale, la analiza soluțiilor posibile pentru reabilitare, aspecte ale calculului soluției adoptate, detalii de execuție, realizarea efectivă a soluției de consolidare.

Studiul de caz evidențiază complexitatea analizei necesare în vederea consolidării sub exploatare a unei structuri.

S-a făcut și o analiză cost-beneficiu în vederea adoptării soluției de consolidare optime și din punct de vedere investițional.

6.2. Contribuții originale

Elementele care reprezintă principalele contribuții ale tezei de doctorat la soluționarea temei propuse pot fi sintetizate în următoarele:

6.2.1. Teza își propune să aducă contribuții la integrarea, într-un sistem cuprinzător, a problematicii complexe a reabilitării sub exploatare a unei structuri, punând în evidență modul de abordare a problemei, respectiv rolul fiecărei etape ce definește reabilitarea/consolidarea, începând cu identificarea problemei ce determină decizia de intervenție până la recepția finală a lucrărilor executate. Această abordare presupune contopirea aspectelor ce țin de cercetare, proiectare, execuție într-un algoritm coerent care să soluționeze corespunzător fiecare fază a acestui proces.

6.2.2. Analiza și folosirea coeficienților de eficiență ai sistemelor de consolidare tip macaz, pentru predimensionarea și optimizarea ariei tirantului, prin utilizarea comparativă a nomogramelor și a unor programe de calcul elaborate în limbajul de programare Matlab.

6.2.3. Calculul comparativ al efortului în tirant utilizând atât relații de calcul rezultate în urma calculului stemului static nedeterminat cu metoda forței, metoda energetică (pentru încărcări diferite de sarcina liniară uniform distribuită) cât și prin programul de calcul elaborat în limbajul de programare Matlab. Valorile eforturilor astfel determinate s-au comparat cu cele obținute în urma calculului în element finit cu programul Robot 2013 a elementului consolidat. S-a făcut analiza eficienței sistemului de consolidare pentru caracteristici diferite ale tirantului macaz (aria secțiunii, poziția).

6.2.4. Contribuții la consolidarea sub exploatare a elementelor de suprafață. Se analizează efectul activării sistemului de consolidare asupra eforturilor în planșeul consolidat în funcție de rigiditatea elementelor de consolidare și poziția lor în plan. Se urmărește respectarea parametrilor ce definesc comportarea plăcii de beton armat (momentele capabile pe reazeme și în câmp, dimensiunea zonei capabile să preia moment negativ, reacțiunile capabile ale grinzilor planșeului existente, deplasările admise). S-au adoptat schemele statice corespunzătoare fiecărui tip de încărcare. Starea de eforturi finală în elementul consolidat rezultă prin suprapunerea eforturilor din încărcări permanente, pe schema statică aferentă cu eforturile din acțiuni temporare, pe schema statică aferentă.

6.2.5. Studiul de caz, a cărui abordare se face prin prisma principiilor dezvoltate în teză. Analiza cost-beneficiu completează criteriile ce stau la baza adoptării soluției de intervenție optime.

6.3. Direcții de cercetare viitoare

În elaborarea tezei de doctorat s-au conturat câteva idei pentru cercetări viitoare:

- conceperea unor sisteme de consolidare a elementelor liniare, la acțiuni gravitaționale, adaptabile pentru diverse situații constructive;
- perfecționarea modului de calcul prin analiza problemelor legate de schematizarea structurilor consolidate, atât din punct de vedere al schematizării legăturilor între elementele sistemului cât și al definirii caracteristicilor mecanice ale materialelor ce alcătuiesc structura degradată;
- continuarea cercetărilor privind optimizarea sistemelor de consolidare sub exploatare;

- extinderea cercetărilor pentru analiza eficienței unor sisteme pentru consolidarea sub exploatare a cadrelor la forțe orizontale.

Bibliografie

- [1] ***, *Coroziunea betonului. Cauze și fenomene*, Revista Construcțiilor, 2008
- [2] ***, *Seismic Rehabilitation of Existing Buildings*, colectivul Institutului de Inginerie Structurală (SEI) al Societății Americane de Inginerie Civilă (ASCE), Ed. American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, SUA, 2007
- [3] Agent R., Dumitrescu D., Postelnicu T., *Îndrumător pentru calculul și alcătuirea elementelor structurale de beton armat*, Ed. Tehnică, București, 1992
- [4] Aguilar, Jorge Alfredo, *Case studies of rehabilitation of existing reinforced concrete buildings in Mexico City*, teză de doctorat, The University of Texas at Austin, Austin, Texas, SUA, 1995
- [5] Al-Hammad, Abdul-Mohsen, *Causes of deterioration in buildings*, teză de doctorat, College of Environmental Design, King Fahd University of Petroleum & Minerals, Dhahran, Saudi Arabia, 2010
- [6] Al-Ostaz, Ahmed, *Diagnostic Evaluation and Repair of Deteriorated Concrete Bridges*, teză de doctorat, The University of Mississippi, Mississippi, SUA, 2004
- [7] Avram, Constantin; Bota, Valentin, *Structuri compuse oțel beton, beton precomprimat, beton armat*, Ed. Tehnică, București, 1975
- [8] Avram, C., *Manual pentru calculul construcțiilor*, Secțiunea II: *Calculul și alcătuirea elementelor*, Ed. Tehnică, București, 1975
- [9] Avram, C.; Făcăoanu, T.; Filimon, T.; Mîrșu, O.; Terțea, I., *Rezistențele și deformațiile betonului*, Ed. Tehnică, București, 1981
- [10] Avram, C.; Deutsch, I.; Pop, A.; Weisz-Birnholtz, A., *Proiectarea economică a elementelor de construcții din beton armat*, Ed. Facla, Timișoara, 1979
- [11] Banu, Dragoș; Țăranu, N., *Traditional Solutions for strengthening reinforced concrete slabs*, Buletinul Institutului Politehnic din Iași, 2010
- [12] Bob, Corneliu; Dan, Sorin; Badea, Cătălin, ș.a., *Rehabilitation of existing structures subjected to extreme events*, Buletinul Institutului Politehnic din Iași, 2007
- [13] Bob, Corneliu, *Verificarea calității, siguranței și durabilității construcțiilor*, Ed. Facla, Timișoara, 1989
- [14] Branco, F.; Julio, E.S.; Silva, V. D., *Structural rehabilitation of columns with reinforced concrete jacketing*, Ed. John Wiley & Sons, Portugalia, 2003
- [15] Budan, Constantin, *Contribuții în managementul și ingineria proceselor de construcții pentru realizarea lucrărilor de reparații și consolidări a elementelor din beton, beton armat și beton precomprimat*, teză de doctorat, UTCB, București, 1998

- [16] Caracostea, A.; Beiu-Paladi, E.; Ilie, C.; Ionescu, G.; Mazilu, P.; Mihăilescu, M.; Petcu, V.; Sandi, H.; Soare, M.; Țopa, N., *Manual pentru calculul construcțiilor*, Ed. Tehnică, București, 1977
- [17] Cadar, I.; Clipii, T.; Tudor, A., *Beton armat*, Ed. Orizonturi Universitare, Timișoara, 1999
- [18] Cătărig, Alexandru; Petrina, Mircea, *Statica construcțiilor, metode de calcul și aplicații*, Ed. Dacia, Cluj-Napoca, 1991
- [19] Cătărig, Alexandru; Petrina, Mircea; Coheci, Tiberiu, *Mecanica Construcțiilor- Statica Construcțiilor*, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, 1978
- [20] Câmpian, Cristina, *Note de curs*, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, 2008
- [21] Câmpian, Cristina, *Elemente de construcții metalice*, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, 2008
- [22] Cerri, M.; Vestroni, F., *Detection of damage in beams subjected to diffused cracking*, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 234, No. 2, 2000
- [23] Ciocănel, Cezar, *Contribuții privind tehnologiile moderne de reabilitare structurală a elementelor din beton armat*, teză de doctorat, UTCB, București, 2010
- [24] Craig, James D., *Evaluation and Repair of Concrete Structures*, Engineering and Design Manual, Department of the Army, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, 1995
- [25] Dalban, C.; Juncan, N.; Varga, Al., *Construcții metalice*, Ed. Didactică și pedagogică, București, 1983
- [26] Dan, Sorin, *Reabilitarea structurilor din beton armat prin folosirea compozitelor pe bază de fibre de carbon*, Universitatea Politehnică din Timișoara, *Revista de Politica Științei și Șcientometrie*, 2006
- [27] Darwish, Mohamed Nasser, *Structural Cracks: Causes, Repair & Rehabilitation - Case Studies*, Alexandria University, Alexandria, Egipt, 2014
- [28] Chul-Woo, Kim, *Reliability and Optimisation of Structural Systems: Assessment, Design and Life-Cycle Performance*, ed. T & F Books UK, Londra, Anglia, 2009
- [29] Georgescu, Dan, *Metode de investigare specifice elementelor și structurilor prefabricate*, INCERC, 2007
- [30] Ghafarn Ahmad, *Why buildings decay*, 1994
- [31] Gherghel, Gabriela, *Studii și cercetări privind soluții de consolidare a construcțiilor avariate și urmărirea în timp a acestora*, teză de doctorat, Brașov, 2011
- [32] Gioncu, V., *Teoria structurilor*, Institutul Politehnic Timișoara, 1975

- [33] Gupta, Y.P., *Causes for Accelerated Structural Deterioration of Reinforced Concrete*, DIPL Consortium, Allahabad, 2012
- [34] Gupta, Y.P., *Use of Malwa Recycled Aggregate in Concrete Construction: a Need of Society for Better Environment*, Journal of Indian Concrete Institute, Vol. 10, 2010
- [35] Hardt, Dorian, *Proiectarea detaliilor de construcții*, Ed. Tehnică, București, 1973
- [36] Ioani, A.; Filip, M., *Elemente din beton armat avariate și consolidate: caracteristicile structurale și comportarea în timp*, Sesiunea științifică aniversară *Construcții – Instalații Brașov*, Universitatea Transilvania, Brașov, 2002
- [37] Ionescu, Anton; Păcurar, Vasile; Rus, Petru, *Sisteme de consolidare a structurilor de rezistență sub exploatare*, faza 1.1./1991 *Stadiul actual al problemei; prelucrarea sintetică a cazurilor de degradare și a soluțiilor adoptate* și faza 1.2./1991 *Principii teoretice de abordare a realizării sub exploatare*, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Facultatea de Construcții - contract nr.62/F/1991
- [38] Ionescu, Anton; Păcurar, Vasile; Rus, Petru, *Sisteme de consolidare a structurilor de rezistență sub exploatare*, faza 2.1./1992 *Sisteme de alcătuire și aspecte tehnologice specifice consolidărilor sub exploatare*, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Facultatea de Construcții - contract nr.62/F/1991
- [39] Ionescu, Anton; Matei, Adriana; Rus, Petru, *Sisteme de consolidare a structurilor de rezistență sub exploatare*, faza de execuție: etapa 1994, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Facultatea de Construcții – contract 3003-1994
- [40] Jirsa, James O., *Research on Seismic Rehabilitation of RC Structures - Past and Future*, US-Japan Symposium, June 2000
- [41] Kiss, Zoltan; Oneț, Traian, *Proiectarea structurilor de beton după SR EN 1992*, Ed. Abel, Cluj-Napoca, 2008
- [42] Kiss, Zoltan; Oneț, Traian; Muntean, G., *Îndrumător pentru proiectarea betonului armat*, Ed. UTPres, Cluj-Napoca, 2004
- [43] Lakshmikandhan, K.; Sivakumar, P.; Ravichandran, R., *Damage Assessment and Strengthening of Reinforced Concrete Beams*, International Journal of Material and Mechanical Engineering, vol.2, ediția 2 mai 2013
- [44] Lupu, A., *Inhibitori de coroziune pentru protecția metalelor*, Ed. Tehnică, București, 1982
- [45] Maldonado, N.G.; Michelini, R.J.; Pizarro, N., *On pathology and rehabilitation teaching of concrete structures: A case study*, publicația *Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting II*, Ed. Taylor & Francis Group, London, 2009
- [46] Mazilu, Panait, *Rezistența materialelor*, Institutul de Construcții București, 1974

- [47] Mazilu, Panait, *Statica construcțiilor*, Ed. de Stat pentru arhitectură și construcții, București, 1955
- [48] Mazzolani, Federico, *Seismic Design of Steel Structures*, CRC Press, 2013
- [49] Othuman Mydin, Md Azree; Ramli, Mahyuddin; Awang, Hanizam, *Factors of Deterioration in Building and the Principles of Repair*, Analele Universității “Eftimie Murgu”, Reșița, 2012
- [50] Mihailescu, Dan, *Contribuții la teoria și practica consolidării construcțiilor de beton armat în industria chimică*, teză de doctorat, Cluj-Napoca, 1994
- [51] Mihăilescu, M.; Szabó, Balint, *Tendențe actuale în domeniul proiectării și execuției construcțiilor din beton armat*, vol. Simpozionului I.J.C.M., Sf. Gheorghe, 1975
- [52] Mihăilescu, M.; Szabó, Balint; Rus, Petru, *Reabilitarea comportării de saibă a planșelor clădirilor înalte*, vol. Conferinței de betoane, Timișoara, 1991
- [53] Mihăilescu, M.; Bucur, I.; Szabó, Balint; Rus, Petru, *Some Aspects of Shell Prestressing*, vol. IASS Sympozion, Osaka, Japonia, 1986
- [54] Mihalcu, M., *Coroziunea*, Ed. Științifică, București, 1966
- [55] Mîrșu, O., *Construcții industriale speciale din beton armat*, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1975
- [56] Mîrșu, O., *Construcții din beton armat*, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1980
- [57] Mondal, Subhajit; Bandyapadhy, J.N.; Gautam, Chandra Pal, *Strengthening and rehabilitation of reinforced concrete beams with opening*, International Journal of Civil and Structural Engineering, vol. 2, no. 1, 2011
- [58] Nicula, Iorgu; Oneț, Traian, *Beton armat*, Ed. Didactică și pedagogică, București, 1982
- [59] Nistor, Corneliu; Troia, Laurențiu; Teodor, Mihaela; Helgomar, Minialov, *Consolidarea și întreținerea construcțiilor*, Ed. Tehnică, București, 1991
- [60] Oneț, Traian, *Durabilitatea betonului armat*, Ed. Tehnică, București, 1994
- [61] Onufriev, M.N., *Procedee simple de consolidare a elementelor de construcție din beton armat la clădiri industriale*, 1961
- [62] Pașca, Remus Emil; Moga, Andrei, *Tehnologia reabilitării clădirilor*, Ed. UTPres, Cluj-Napoca, 2004
- [63] Pașca, Remus Emil; Moga, Andrei, *Tehnologia reabilitării construcțiilor*, Ed. UTPres, Cluj-Napoca, 2001
- [64] Pavan, D. Tikate; Tande, S., *Repair and Rehabilitation of Structures*, International Journal of Engineering Sciences & Research Technology, 2014

- [65] Peștișanu, C.; Voiculescu, M.; Darie, M.; Vierescu, R., *Construcții*, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1995
- [66] Popa, R.; Teodorescu, M., *Montarea elementelor prefabricate de beton armat, beton precomprimat și metalice*, Ed. ICB, București, 1992
- [67] Popa, R.; Teodorescu, M., ș.a., *Utilajul și tehnologia structurilor de construcții*, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1981
- [68] Popa, R.; Teodorescu, M., *Tehnologia lucrărilor de construcții*, Ed. ICB, București, 1984
- [69] Popescu, V., *Calitatea și siguranța construcțiilor*, Ed. Tehnică, București, 1987
- [70] Popescu E., *Materiale de construcții din deșeurii industriale*, Ed. Tehnică, București, 1974
- [71] Popescu, Paul, *Degradarea construcțiilor*, Ed. Fundației România de Mâine, 2002
- [72] Pruteanu N., *Tehnologia efectuării construcțiilor*, partea a II-a, UTM, Chișinău, 1997
- [73] Rus, Petru; Petrina, Mircea, *The structural implications produced by the consolidation of the foundation to the block of flats*, International conference Constructions, 2003
- [74] Rus, Petru; Petrina, Mircea; Socaciu, Nicolae, *Methods of computing the consolidation of the reinforced concrete beams using tie-rods in trapezoidal system*, International conference Constructions 2003
- [75] Rus, Petru; Petrina, Mircea; Lăpuște, Adina; Máthé, Aliz, *Pursuit of behaviour in a period of time of the buildings part of Iernut Thermal Power Station*, Acta Technica Napocensis, Technical University of Cluj-Napoca, 2008
- [76] Rus, Petru; Petrina, Mircea; Lăpuște, Adina; Máthé, Aliz, *The expert's appraisal of the Iernut forced draught cooling towers*, Acta Technica Napocensis, Technical University of Cluj-Napoca, 2008
- [77] Sanz, B.; Planas, J.; Sancho, J.M., *An experimental and numerical study of the pattern of cracking of concrete due to steel reinforcement corrosion*, 2013
- [78] Singh, Varinder, *Structural Repair and Rehabilitation of 3 no. (G+8) Multi-Storied Residential Buildings, at ONGC*, Chemical, Civil and Mechanical Engineering Tracks of 3rd Nirma University International Conference on Engineering, Colony at Chandkheda, Ahmedabad, India, 6-8 December 2012
- [79] Singh, Ramesh, *Corrosion Control for Offshore Structures*, 2014
- [80] Sivaraja, Saileysh; Aranganathan, Moses; Thandavamoorthy, T.S., *Earthquake Damaged Reinforced Concrete Structures - Rehabilitation and Strengthening*, publicația *Ijeuham*, vol. 4, Serials Publications, India, 2012

- [81] Skokan, Matthew John, *Reliability based seismic Performance Evaluation of Steel Frame Building using Nonlinear Static Analysis Methods*, University of California, Los Angeles, 2000
- [82] Strătescu, A., *Breviar de defecte în construcții*, Ed. Tehnică, București, 1990
- [83] Suman, R., *Tehnologii moderne în construcții*, vol.1,2,3, Ed. Tehnică, București, 1988, 1989, 1990
- [84] Szabo, Balint; Rus, Petru; Hodișan, Titu, *Elemente și structuri din beton armat*, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, 1985
- [85] Szabó, Balint, *Introducere în teoria structurilor de rezistență istorice*, Ed. Utilitas, Cluj-Napoca, 1997
- [86] Szabó Balint, *Introducere în teoria reabilitării structurilor de rezistență istorice*, Ed. Utilitas, Cluj-Napoca, 1998
- [87] Szabó, Balint; Mihăilescu, M.; Ionescu, A.; Bucur, I.; Budiu, V., *Conceptul de spațialitate al construcțiilor*, vol. simpozionului *Structuri spațiale. Teorie și practică*, Cluj-Napoca, 1984
- [88] Szabó, Balint, *Reabilitarea monumentelor istorice din Transilvania în renaștere*, revista *Muemlékvédelem*, Budapesta, Ungaria, 1997
- [89] Szabó, Balint, *Reabilitarea structurală a castelelor*, vol. Universității de vară, Eger, 1995
- [90] Szabó, Balint, *Evoluția concepției de reabilitare a structurilor istorice în partea a doua a secolului XX*, vol. simpozionului internațional “Tușnad 1995 - Teoria și Practica Reabilitării Monumentelor Istorice”, Ed. T3, Sfântu Gheorghe, 1996
- [91] Szabó, Balint, *Castele, fortificații - introducere în teoria de reabilitare a structurilor de rezistență*, vol. simpozionului internațional “Tușnad 1996 - Teoria și Practica Reabilitării Monumentelor Istorice”, Ed. T3, Sfântu Gheorghe, 1997
- [92] Szabó, Balint, *Aspecte tehnologice ale lucrărilor de intervenții asupra construcțiilor istorice*, Ed. Utilitas, Cluj-Napoca, 2005
- [93] Szabó, Balint, *De la restaurarea monumentelor istorice la reabilitarea patrimoniului construit*, Ed. Utilitas, Cluj-Napoca, 2005
- [94] Szabó, Balint; Kirizsán, Imola, *Durability of Historic Buildings*, vol. Simpozionului Științific Internațional de Structuri Portante Istorice, Ed. Utilitas, Cluj-Napoca, 2002
- [95] Talbot, David; Talbot, James, *Corrosion Science And Technology*, CRC Press, 1997
- [96] Talpoși, A.; Muntean, G., *Tehnologia consolidării construcțiilor*, Reprografia Universității Transilvania din Brașov, 1999

- [97] Teodorescu, Mihai; Budan, Constantin, *Tehnologia lucrărilor de întreținere, reparații și consolidări*, Universitatea Tehnică de Construcții București, 1996
- [98] Teodorescu, Mihai; Ilinoiu, George, *Protecția anticorrosivă a armăturilor. Fenomenul de coroziune al armăturilor din oțel*, rev. *Antreprenorul*, nr. 3,4,5, 2000
- [99] Teodorescu, Mihai; Ilinoiu, George, *Gradul de maturizare al betonului*, Ed. UTCB, București, 1997
- [100] Teodorescu, Mihai; Ilinoiu, George, *Tehnologia lucrărilor de zidărie, izolații și finisaje*, vol.I, Ed. UTCB, București, 1996
- [101] Tologea, S., *Accidente și avarii în construcții*, Ed. Tehnică, București, 1979
- [102] Tologea, S., *Probleme privind patologia construcțiilor*, Ed. Tehnică, București, 1975
- [103] Tuns, I.; Tămaș, F., *Aspects regarding diagnosis and rehabilitation of an industrial reinforced concrete structure*, Bulletin of Transilvania, University of Brașov, vol. 3, 2010
- [104] Vanantwerp, Robert L., *Deformation Monitoring and Control Surveying*, Engineering and Design Manual, Department of the Army, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, 1994
- [105] GP079-2003: *Ghid privind proiectarea și execuția consolidării structurilor în cadre din beton armat cu pereți turnați în situ* (revizuire)
- [106] GP079-03: *Ghid privind proiectarea și execuția consolidării structurilor în cadre din beton armat cu pereți turnați în situ*
- [107] GP080-03: *Ghid privind proiectarea și execuția consolidării prin precomprimare a structurilor din beton armat și a structurilor din zidărie*
- [108] GE040/2001: *Ghid privind utilizarea metodei electromagnetice la determinarea parametrilor de armare a elementelor existente din beton armat*
- [109] GT002/1996: *Ghid practic pentru determinarea degradărilor și rezistențelor betoanelor*
- [110] NE 012-2007: *Cod de practică pentru executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat*
- [111] NE 013-2002: *Cod de practică pentru execuția elementelor prefabricate din beton, beton armat și beton precomprimat*
- [112] NP 007-1997: *Cod de proiectare pentru structuri în cadre din beton armat*
- [113] P100-3/2008: *Cod de evaluare și proiectare a lucrărilor de consolidare la clădiri existente, vulnerabile seismic*

- [114] P100-3/2010: *Cod de evaluare și proiectare a lucrărilor de consolidare la clădiri existente, vulnerabile seismic, vol. 2: Consolidare*
- [115] CR006/2006: *Cod de proiectare pentru structuri din zidărie*
- [116] C150-1999: *Normativ privind calitatea îmbinărilor sudate din oțel ale construcțiilor civile, industriale și agricole*
- [117] NP093-03: *Normativ de proiectare a elementelor compuse din betoane de vârste diferite și a conectorilor pentru lucrări de cămășuieli și suprabetonări*
- [118] P130/1999: *Normativ privind comportarea în timp a construcțiilor*
- [119] C149/1987: *Instrucțiuni tehnice privind procedeele de remediere a defectelor pentru elementele din beton și beton armat*
- [120] C056/2002: *Normativ pentru verificarea calității și recepția lucrărilor de instalații aferente construcțiilor*
- [121] C156/1989: *Elemente prefabricate din beton armat și beton prefabricat. Procedee și dispozitive de verificare a caracteristicilor geometrice*
- [122] C244/1993: *Îndrumător pentru inspectarea și diagnosticarea privind durabilitatea construcțiilor din beton armat și beton precomprimat*
- [123] ICCPDC- 1997: *Indicații privind consolidarea structurilor de beton avariate*
- [124] ICCPDC- 1997: *Indicații privind consolidarea stâlpilor prin cămășuire*
- [125] ME003/1999: *Manual privind investigarea de urgență post-seism și stabilirea soluțiilor cadru de intervenție imediată pentru punerea în siguranță provizorie a construcțiilor avariate*
- [126] P059/86: *Instrucțiuni tehnice pentru proiectarea și folosirea armării cu plase sudate a elementelor de beton*
- [127] STAS 438/1-89: *Produse din oțel pentru armarea betonului. Oțel beton laminat la cald. Mărci și condiții tehnice de calitate*
- [128] ST042/2001: *Specificație tehnică privind ancorarea armăturilor cu rășini sintetice la lucrările de consolidare a elementelor și structurilor din beton armat*
- [129] ST043/2001: *Specificație tehnică privind cerințe și criterii de performanță pentru ancorarea în beton cu sisteme mecanice și sisteme de încercare*
- [130] STAS 10107/0-90: *Calculul și alcătuirea elementelor structurale din beton, beton armat și beton precomprimat*
- [131] STAS 10101/2A1-87: *Acțiuni datorate procesului de exploatare*

- [132] STAS 10101/1-78: *Greutăți tehnice și încărcări permanente*
- [133] STAS 10101/01-77: *Acțiuni în construcții*
- [134] SR EN 1990:2004: *Bazele proiectării structurilor*
- [135] SR EN 1991-1-(1÷7) – Eurocod 1: *Acțiuni asupra structurilor*
- [136] SR EN 1992-1-(1÷2) – Eurocod 2: *Proiectarea structurilor de beton*
- [137] SR EN 1993-1-(1÷12) – Eurocod 3: *Proiectarea structurilor din oțel*
- [138] SR EN 1996-1÷3 – Eurocod 6: *Proiectarea structurilor de zidărie*
- [139] SR EN 1504 -1-9: *Produse și sisteme pentru protecția și repararea structurilor din beton*
- [140] *Regulamentul (CE) nr. 1083/2006 al Consiliului din 11 iulie 2006*
- [141] *Ghid Național pentru Analiza Cost-Beneficiu*, întocmit de Ministerul Economiei și Finanțelor, Autoritatea pentru Coordonarea Instrumentelor Structurale
- [142] “*Finanțele întreprinderii*”, Marin Dumitru - București, Editura Fundației Romania de Mâine, 2006
- [143] ” *Contributions to the Theory and Practice of Rehabilitation During Exploitation of Reinforced Concrete Structures. Part I- Analysis and Applications*”, **Adina Lăpuște**, Acta Technica Napocensis: Civil Engineering & Architecture (acceptat, în curs de publicare)

ANEXE

Articole științifice publicate

- ”The Expert’s Appraisal of The Iernut Forced Draught Cooling”; Mircea Petrina, Ioan Pop, **Adina Lăpuște**, Acta Technica Napocensis: Civil Engineering & Architecture Vol. 51, No. 2, (2008), <http://constructii.utcluj.ro/ActaCivilEng>
- ”Pursuit of Behaviour in a Period of Time of The Buildings Part of Iernut Thermal Power Station”; Petru Rus, Mircea Petrina, **Adina Lăpuște**, Acta Technica Napocensis: Civil Engineering & Architecture Vol. 51, No. 2, (2008), <http://constructii.utcluj.ro/ActaCivilEng>
- “General Concepts in The Optimal Design of Structures” , Alexandru Cătărig, Aliz Mathé, Ilinca Moldovan, **Adina Lăpuște**, Acta Technica Napocensis: Civil Engineering & Architecture Vol. 52 (2009), <http://constructii.utcluj.ro/ActaCivilEng>
- ” Contributions to the Theory and Practice of Rehabilitation During Exploitation of Reinforced Concrete Structures. Part I- Analysis and Applications”, **Adina Lăpuște**, Acta Technica Napocensis: Civil Engineering & Architecture (acceptat, în curs de publicare)
- “ Contributions to the theory and practice of rehabilitation during exploitation of reinforced concrete structures. Part II-Case Study ”- **Adina Lăpuște**, Acta Technica Napocensis: Civil Engineering & Architecture (acceptat ,în curs de publicare)

Lucrări publicate

- „Programarea calculatoarelor în Construcții. Aplicații în Fortran, Excel și Mathcad” Mircea Petrina ,Roxana Balc,Aliz Mathe, Bogdan Petrina, Mihai Nedelcu, Cristian Ciplea, **Adina Lăpuște** , Nicolae Oniga - Editura U.T. Pres 2007, ISBN 978-973-662-291-5

Lucrări de cercetare –proiectare elaborate

- „Raport anual privind urmărirea comportării în exploatare a construcțiilor speciale și hidrotehnice pentru anul 2006 din CTE Iernut ”, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, ianuarie 2007; Rus Petru, Petrina Mircea, **Lăpuște Adina**
- „Raport de expertiză tehnică - Turnul de răcire natural nr.4 la SE Mures ”, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, iunie 2007; Petrina Mircea, Pop Ioan, **Lăpuște Adina**

THE EXPERT'S APPRAISAL OF THE IERNUT FORCED DRAUGHT COOLING TOWERS

P. Rus, M. Petrina, Adina Lăpuște, Aliz Máthé

ABSTRACT

This scientific paper debates the problem of damages in the structural element of forced cooling towers in Iernut. It's illustrated the determination of the structural element's and the buildings' examined by experts technical state and also the elements' types of specific damages, the development and the degree of damage. Another aspect followed in this study is the analysis of the damages on the structure's bearings strength. The internal forces are computed after they are first loaded with usage forces. The degree of bearings strength reduction of the structural element is being established in the last part of the study.

Keywords: forced cooling towers, technical expertise, structural rehabilitation

1.INTRODUCTION

Forced draught water-cooling towers from the Iernut Power Station are of the counter-stream humid type, their nominal cooling power is 11.500 cm/h.

Considering the damage in time at structural level, the beneficiary SC "ELCEN Bucuresti" SA- Sucursala Electrocentrale Mures, with headquarters in Iernut sets the issue of rehabilitating the cooling towers. For this purpose, the building expertise is necessary in order to establish the measures to provide for the strength, stability and durability of the cooling towers, taking into account the present physical state as well as the new standards for the calculus of the building, that are more strict than at the moment these towers were designed.

For the existing cooling towers, the survey consists in the following: the appraisal of the present state; the determination of the state of stress and strains produced in the structure of the cooling towers due to the action of grouped calculated loading, according to the present norms, and the selection of the maximum loads; checks for the strength of the structural members considering the present physical state of the towers; the assessment of the resistance to seismic shocks R; the proposal for rehabilitation and the technical and economic survey of the measures of intervention to be performed.

2. DESCRIPTION OF THE CONSTRUCTION

The structural part of the cooling tower no. 1 is composed of: the buried reinforced concrete tank playing the role of cooled water reservoir; reinforced concrete frames (columns and beams) to support functional members; a reinforced concrete plate at the top of the construction; prefabricated reinforced concrete outlet; the building is closed with corrugated asbestos cement plates.

The cooling system of the towers has the following composition: the functional elements (distribution of asbestos cement and PVC (partially) tubes and ceramic outlet devices as well as a cooling system of plane asbestos cement plates); metal components for access and traffic (staircases, landings and footpaths); metal pipes for water delivering water to tower); lightning arrester plants; light beacons and day marks; winter protection system by means of blinders , to which how water based protection is added.



Fig.1. Forced draught cooling tower no. 1. General view.

The access to the towers is made through some buildings made of concrete framed brick masonry attached at the end of the towers.

2.1. Data on the construction history

CTE Iernut owns seven cooling towers, of which three are provided with forced draught and the rest of four have natural draught; they are interlinked within a cooling mixed

circuit with water supplied from the Mures river. The cooling towers have been operational since their construction with the interruptions induced by the practical needs of the power station. In order to protect the forced draught cooling towers with some during cold seasons, they were supplied with wooden blinders, hanging from the upper part of the air admission to the tower. At present these blinders are fully deteriorated and no more functional.

The towers were subjected to survey concerning the service behaviour and periodical inspections of their technical state and annual measurements on mobile measuring marks were performed to determine potential settlements.

As events, the earthquakes of 1977, 1986 and 1990 should be mentioned, though they had no evident effects on the towers.

3.THE PRESENT PHYSICAL STATE OF THE TOWERS

The present physical state of the towers structural part was found by the beneficiary, the MLPAT expert and designers from the Technical University of Cluj-Napoca on the visit to the cooling tower.

On the occasion of the inspection of the designer and expert, the following findings were shown:

- Practically, in all cells, the majority of the linear members (columns, beams) exhibit local damages, and covering layer and the reinforcement are corroded.

- The poor quality of the concrete used for such structures, i.e. with river based aggregates, where fine coarse grains lack, led to the setting up of the carbonation phenomenon.

- The columns reinforcement does not observe the norms: the vertical steel bars are not joined with cramps, the distances between the longitudinal bars do not exceed 25 cm, the potentially plastic areas are not given the right conformation, and the minimal cross sectional reinforcing is not observed either.

- The joints between the members are not affected by the carbonation phenomenon.

- The closing walls made of asbestos cement plates were full of holes and not tight, as they were loose.

- The inner side of the outlets shows degradations as the reinforcement presents scale.

- No trace of surface protection can be found on the concrete.

- The asbestos cement plates that are part of the cooling system have been broken and have fallen to a great extent.

- The hot water pipes are corroded and not tight. Many asbestos cement or PVC tubes are broken. Tube and pipe ends lack. The dispersion devices provided for upward sprinkling are damaged in general, or not complete or lack entirely.
- The asbestos cement corrugations for raindrop retaining are broken or fallen.
- All the exterior metal elements in the cooling tower (staircases, doors, footpaths, railings) as well as the interior ones and the metal walls of the fan engine cabs are very rusted.
- The engine-fan members are also in an advanced state of corrosion.

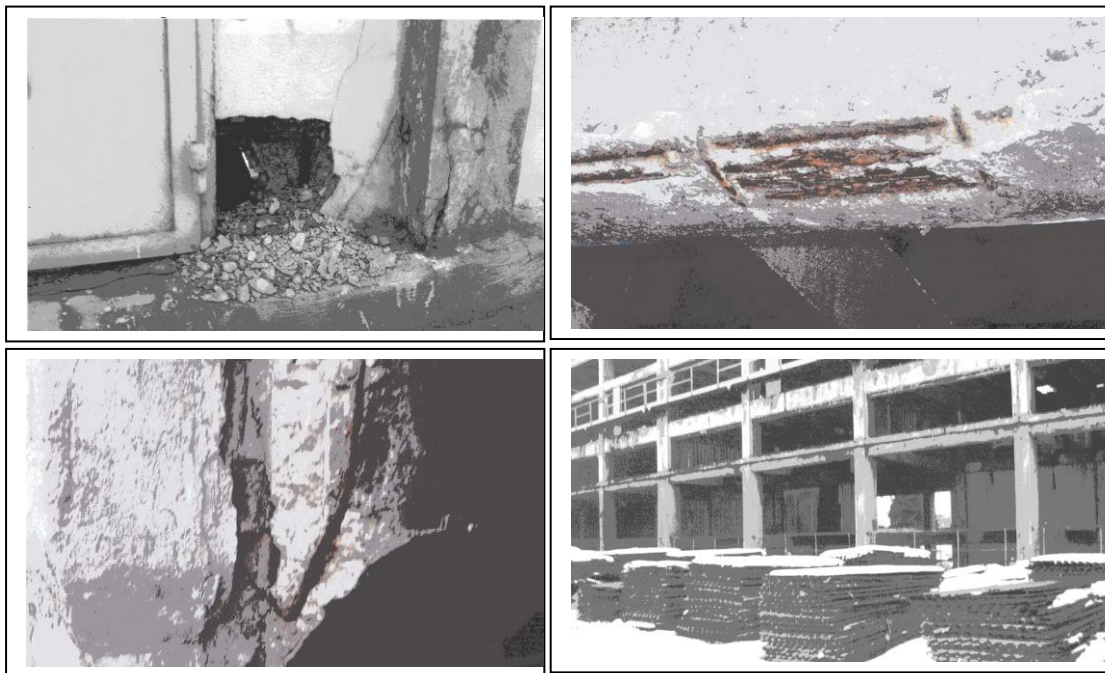


Fig.2. Cracks, corroded reinforcement, deterioration of the reinforced concrete members, corroded metal service bridge

The damages found out are due both to the building itself, as well as to the climate factors, to the thaw-freezing phenomenon and to the action of the water vapours released inside the tower while a surface protection with efficiency missed. No damages due to the mechanical stresses produced by various actions were found.

The reinforced concrete beams supporting the operational systems present reinforcement concrete cover peeling off on its intrados, local indentations and local surface roughness due to cement paste washing off.

4. RESEARCH AND DESIGN METHODS

According to the provisions of the Normative P 100 – 92 chapter. 11 (version 1996), the research of the structures of constructions for expert reports purposes can be performed through two methods:

- E1 – the quantitative assessment method
- E2 – the design assessment method.

The quantitative method of assessment consists in visually evaluating the structure and materials in the construction.

The analytical calculus contains :

- the determination of the stress-strain state of the structure while under the action of service loads;
- the checking of the strength and stability of the structure and of its component elements;
- the evaluation of the antiseismic protection level of the construction.

The calculi for the determination of the stress – strain state of the structures under discussion were performed through static and space seismic analysis.

The analytical calculus contains:

- the determination of the stress-strain state of the structure component members, by means of the elastic domain calculus where the actual dimensions of the revealed members are included, according to the measurement in the site;
- the checking of the strength of the structural members;
- the evaluation of the antiseismic protection level of the structure.

The determination of the stress-strain state and the selection of results was performed with the help of computer software and the finite element method.

4.1. Checking of the strength

The calculi for the checking of the structural members are performed according to the Norms and standards in force. There was checked the manner in which maximum stresses in the structural members of the cooling towers were taken over.

The checks carried out led us to the following findings:

- The own fundamental vibration period for the external structure is of 0.59 sec; this was taken into account to define the dynamic coefficients while determining the normed intensities of the forces under consideration.

- The structural members of the cooling towers take over entirely maximum compression and tensile stresses occurring during service (maximum 80% of the bearing capacity of these members is used).

The poor technical state of the construction, its destination and function respectively, the time when it was designed (with no observance of all prescriptions of the time mainly with respect structural members such as columns) and built, the nominal protection to seismic forces $R=1.81$, and the lack of degradation owing to earthquakes made us contain the construction in the group Seismic risk class R_s III that corresponds to constructions where structural damage that does not significantly influence structural safety, though important, are included.

5. SOLUTIONS PROPOSED

The external surface of the concrete structural members presents a high level of chemical corrosion in a thickness of about 1-1.5 cm. The reinforcements are rusted in the areas where the concrete covers them in a thin layer, i.e. 0,0-1,0 cm. In such areas, the cover layer is removed, the reinforcement is visible and one can notice it is covered with a corrosive layer of up to 10 % of the reinforcement section. Concrete presents segregations in many areas; concrete local degradation and the corrosion of columns and beams reinforcements are emphasised by ice, and by the thaw-freeze processes. The metal components are strongly corroded and need replacement. The antiseismic conformation of the members shows that the safety of the existing structure (as designed) is under the required safety level today, as ductility requirements are not fulfilled, and energy dissipation in the post-elastic range cannot occur.

Taking into consideration the defects and flaws found, it is necessary to take remedial actions to keep the cooling towers in operation.

The remedial measures for the structure (reinforced concrete columns and beams):

The main structural parts and members forming the space frame will be lined with reinforced concrete of thickness 7...8 cm. In the joint areas, the lining will be performed on three sides, while the fourth side, seen from the joint, will be treated with the technological procedure

The outlets will be treated as follows: the damaged concrete and the corroded clamping elements will be removed, the reinforcements will be cleaned by sanding

procedures, STNB meshes will be mounted fixed with anchor part and the outlets will be gunite covered all over (both inside and outside and on ribs, too).

For the last level floor, the layers up to the reinforced concrete plate will be removed, local repair and hydrofuge insulations, protected under a less strong flooring will be performed.

The non-structural members will be treated as follows:

- the non-structural members will suffer local repairs to rebuilt the portions of concrete that are degraded, damaged, with corrosions and peeling offs;
- the hydro insulation of the members will be replaced by a durable and efficient anticorrosion protective layer;
- a durable and efficient anticorrosion protective layer will be put on the external surface of the tower members to avoid the penetration of the atmospheric fumes;
- the functional systems (cooling and distribution systems) will be replaced with now, high performance systems;
- all the metal parts affected by rust will be repaired or replaced;
- the landings and railings will be repaired or replaced;
- the metal members and elements will be cleaned and protected against corrosion;
- the lightning arrester will be remedied;
- tanks will be checked and repaired with hydrofuge mortars.

By applying such intervention procedures, the structure of the forced draught cooling towers will be supplied the necessary bearing capacity during service and the construction will operate in full safety conditions.

CONCLUSIONS

The maintenance of the parameters of strength, stability and durability in service can be achieved through a specialised activity containing technical expertise, rehabilitation solutions and their putting into operation. The case study presented in the paper highlights these activities, their degree of complexity, the approach and solving modality

EXPERTIZAREA TURNURILOR DE RĂCIRE FORȚATĂ DE LA IERNUT

Lucrarea abordează problema degradării structurii de rezistență a unor turnuri de răcire forțată de la Centrala Termică Iernut. Se prezintă modul de investigare a stării tehnice a

structurii de rezistență, analiza efectului degradărilor asupra capacității portante a structurii. Se face evaluarea prin calcul a eforturilor efective în structura corespunzător încărcărilor de exploatare. Se apreciază gradul de vulnerabilitate în exploatare datorat degradărilor, a turnurilor de răcire. Se prezintă soluții constructive de reabilitare și tehnologiile de aplicare.

REFERENCES

1. Normative P130-1999
2. Normative P100/2006
3. Stas 10107/0/1990

AUTHORS INFORMATION

Dr. **Petru Rus** (petru.rus@arch.utcluj.ro) is professor of structural engineering at the Technical University of Cluj-Napoca (Romania), Faculty of Architecture, MLPAT technical expert, member of ICOMOS Romania.

Dr. **Mircea Petrina** (mircea.petrina@mecon.utcluj.ro) is professor of structural engineering at The Technical University of Cluj-Napoca , Civil Engineering Faculty. Since 2004 he is Vice-rector of the same institution. Since 2002 he is member of IASS (International Association for Shell and Spatial Structures) and AICPS (Asociația Inginerilor Constructori Proiectanți de Structuri).

Adina Lăpuște (adina_cluj@yahoo.com) is assistant of structural engineering at the Technical University of Cluj-Napoca (Romania), Civil Engineering. Her studies concern in rehabilitation of natural cooling towers.

Aliz Máthé (aliz.mathe@mecon.utcluj.ro) is a lecturer of structural engineering at the Technical University of Cluj-Napoca (Romania), Civil Engineering Faculty. Her interest for the research is semi-rigid steel fram

Contributions to the Theory and Practice of Rehabilitation During Exploitation of Reinforced Concrete Structures. Part I- Analysis and Applications

Adina Victorița Lăpuște*¹

¹Technical University of Cluj-Napoca, Civil Engineering Faculty, 15 C Daicovicu Str., 400020, Cluj-Napoca, Romania

(Received 29 May 2015)

Abstract

In the paper are analyzed defining aspects of the elaboration and composition of rehabilitation during exploitation systems for linear structural elements, respectively for planar elements. Are defined principles of conformation and applicability of these systems, also detailed constructive solutions that enable the materialization of these principles in the practice of rehabilitation during exploitation.

Constructive solutions for consolidation of linear elements are presented exemplified at the consolidation of a reinforced concrete simply supported beam, at a roof caisson, at a slab with metal beams and at a reinforced concrete continuous trestle.

Constructive solutions in the case of planar structures: rigid passive systems are presented (consolidation of the slab normal to its plane) and flexible passive systems (consolidation in slab plane).

Rezumat

În lucrare sunt analizate aspecte definiții ale modului de alcătuire a sistemelor de reabilitare sub exploatare ale elementelor structurale liniare, respectiv de suprafață. Sunt definite principiile de conformare și aplicabilitate a acestor sisteme, precum și soluții constructive de detaliu ce permit materializarea acestor principii în practica reabilitării sub exploatare.

Soluțiile constructive pentru consolidarea elementelor liniare sunt prezentate exemplificativ la consolidarea unei grinzi de beton armat simplu rezemate, la un cheson de acoperiș, la un planșeu cu grinzi metalice și la o estacadă continuă de beton armat.

Soluțiile constructive în cazul structurilor plane: sunt prezentate sisteme rigide pasive (consolidarea plăcii normal pe planul ei) și sisteme flexibile pasive (consolidarea plăcii în planul ei).

Keywords: consolidation during exploitation solutions, load bearing capacity, linear structure consolidation, consolidated planar structure, active consolidation system, passive consolidation system.

*Corresponding author: tel.: +4 0722 787 765, e-mail address: adina_cluj@yahoo.com

Introduction

The process of consolidation of the structures requires a complex analysis of the causes that have caused, or contributed to the production of structural deficiencies and also identifying physical and mechanical characteristics of structural elements, with the aim of the design of a consolidation solution to ensure after the intervention, the initial design parameters or even better ones.

Restrictions concerning the interruption of the production process during the period of carrying out the load bearing structure consolidation, due to the considerable financial losses which would be caused, require the adoption of consolidation solutions applicable without affecting the production process that is taking place in that industrial building.

The restoration process by local or global rehabilitation of the construction involves restoring:

- physical properties of the constitutive materials (integrity of masses, resistance to fatigue)
- mechanical properties (resistance, rigidity and ductility). [1]

Generally, the reduction of physical properties leads to solutions of rehabilitation which restore the load bearing capacity with or without the change of the static scheme, while, reduced mechanical properties lead to solutions that modify the initial static scheme restoring or even improving the dynamic behavior of the damaged structure.

Next, are analyzed defining aspects of elaboration of rehabilitation during exploitation of linear structural elements, respectively, planar.

1. Consolidation solutions for linear structures

Consolidation systems for linear structures are made up of bar type elements (made of laminated profiles) which, after connecting with the consolidated structure (by means of specially designed metal parts), play a role of the taking over the tensile stresses resulting from the working together of the concrete structure and the consolidation system. According to the mode of working can be distinguished:

- active systems;
- passive systems.

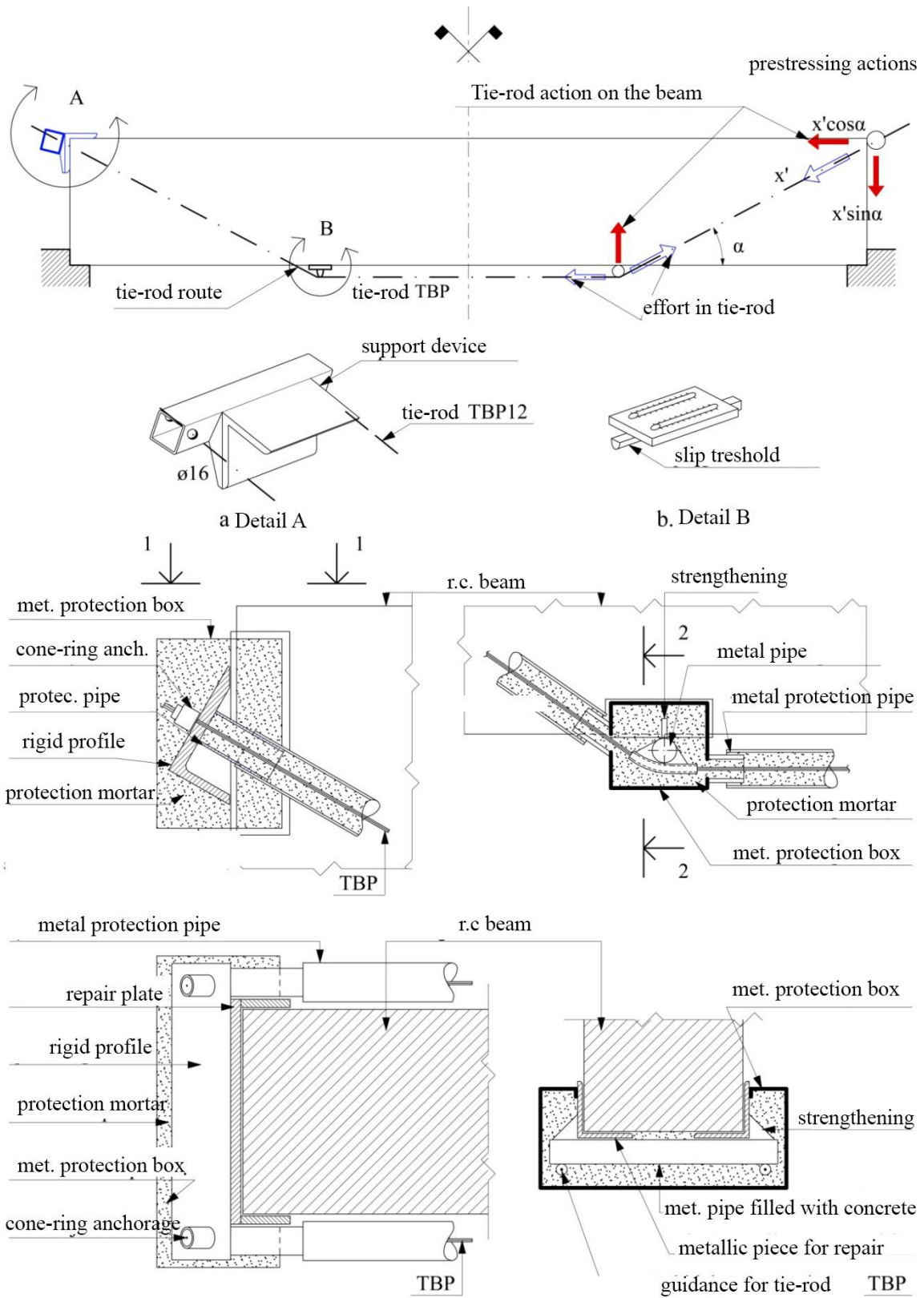
1.1 Active Systems

The primary element of an active system is a high strength steel bar with which initial efforts are introduced into the reinforced concrete that is consolidated. Done by external prestressing, the system is effective for the rehabilitation or the increase of bearing capacity of a linear structural element. Use of prestressing for solving situations of insufficient bending resistance, for reinforced concrete or prestressed concrete elements, shall be applied to the concrete elements without degradation or to concrete elements having physical deficiencies (cracked, corroded, etc.).

Technologically, achieving an external prestressing requires:

- the choice of external prestressing reinforcement layout (rectilinear or polygonal);
- the choice of prestressing effort transmission system.

Strengthening of reinforced concrete beam through active polygonal system is shown schematically in Fig. 1. It is emphasized the effect of efforts from the tie-rod on the reinforced concrete. The system offers the advantage of transforming the bent reinforced concrete element into an element subjected to eccentric compression. In addition the active polygonal system also ensures



c. Detail A and view 1-1

d. Detail B and section 2-2

an increase in shear strength. From technological point of view, execution during exploitation of such a system has the great advantage of execution speed, the process being carried out dry and with a high degree of prefabrication.

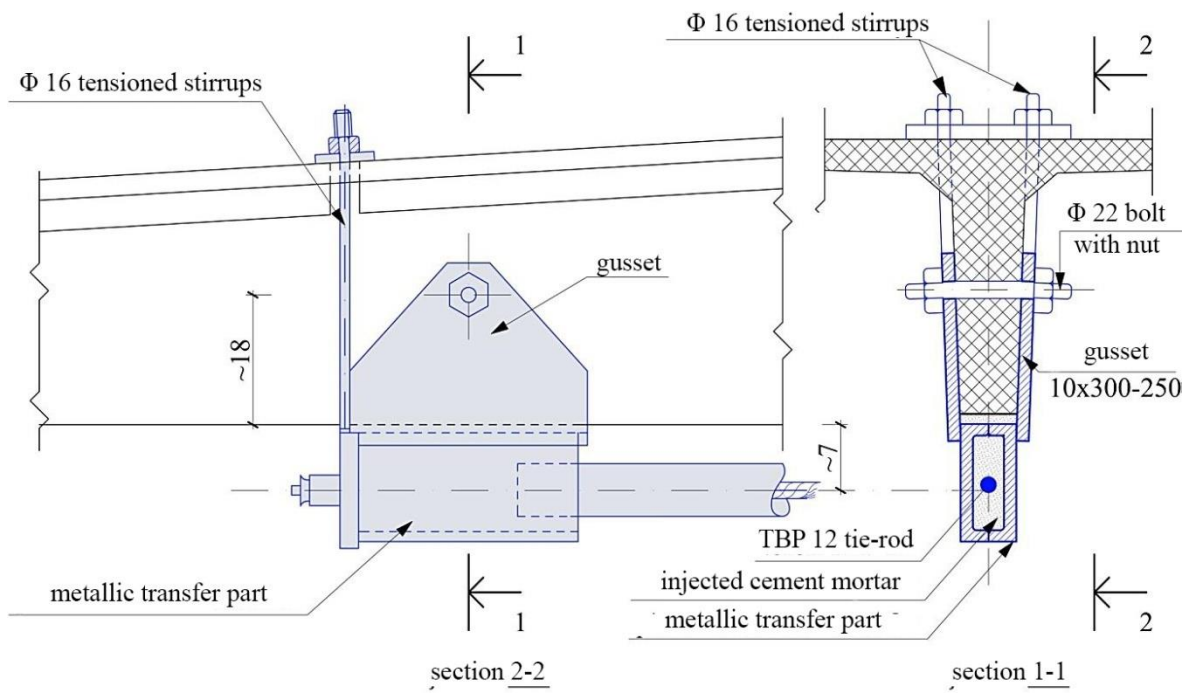


Figure 1. Active polygonal system: a) reinforced concrete beam with post tensioned tie-rod; b) explanatory details of anchoring and deviation of active polygonal post-tensioned tie-rod; c) post-tensioned polygonal tie-rod deflector

Figure 2. Linear element consolidation (reinforced concrete caisson) with active rectilinear tie-rod system

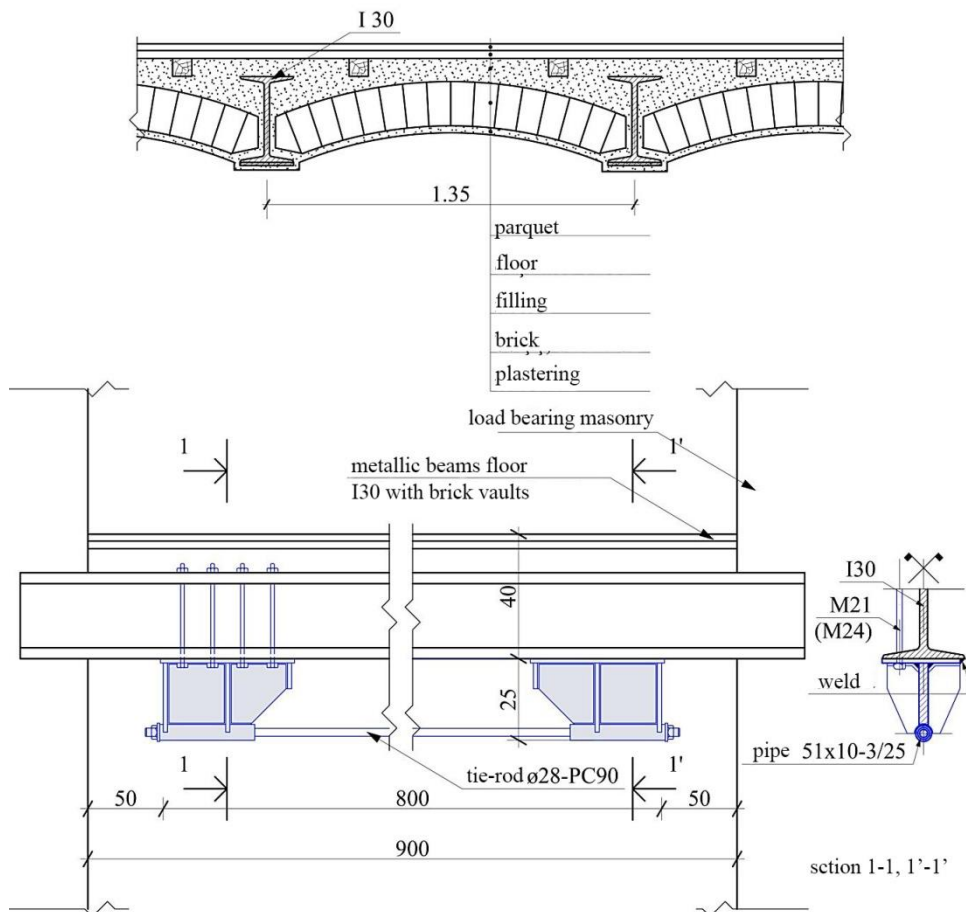


Figure 3. Beam type linear element consolidation with active tie-rod system

Consolidation solution with rectilinear active system is shown in Fig. 2. The transfer is solved with gusset plate and tensioned stirrup. The solution provides a good transfer control of the pretensioning force. In comparison with the polygonal system, which is done with two tensioning bars arranged symmetrically in relation to the vertical axis of the reinforced concrete element, the rectilinear prestressing system presented uses a single tensioning bar which implies a high accuracy in positioning relative to the element of reinforced concrete. It is necessary to check lateral stability. The rectilinear system does not provide an increase in shear strength.

In Fig. 3 are presented variants of metal beams consolidation with rectilinear active system with specific details for the transfer device. [2]

1.2 Passive Systems

Passive systems start working when is modified the deformation state (and implicitly the state of efforts) of consolidated elements compared with the situation which exists when the system is fitted. Their effect upon the element can be assimilated with the introduction of elastic supplementary supports, in the beam field, and with the emergence of horizontal compression forces that have to be compensated on its height.

Efficiency of the system is given by the elements in tension deformability (in the elastic stage). Dimensioning of elements with tensile stresses is done, as a result, by means of trials, until they reach the desired effectiveness i.e. the necessary load-bearing capacity of the ensemble, which is similar to the reduction of the stresses in the consolidated element.

Passive systems can be used both for restoring load bearing capacity of damaged elements as well as for the purpose of increasing it over the designed one.

1.2.1. Passive polygonal systems, with horizontal tie-rods

In the case of continuous beams that rest on pillars, the consolidation system can be solved as shown in Fig. 4 and 5. The number of supplementary elastic supports (dit. C, Fig. 6) created in the beam field may be 2 or 4, depending on the beam height which is consolidated and the necessary increase in load bearing capacity. The efficiency of inclined bars decreases with decreasing the angle made with horizontal, which conditions the placing of elastic supports in terms of the number and position.

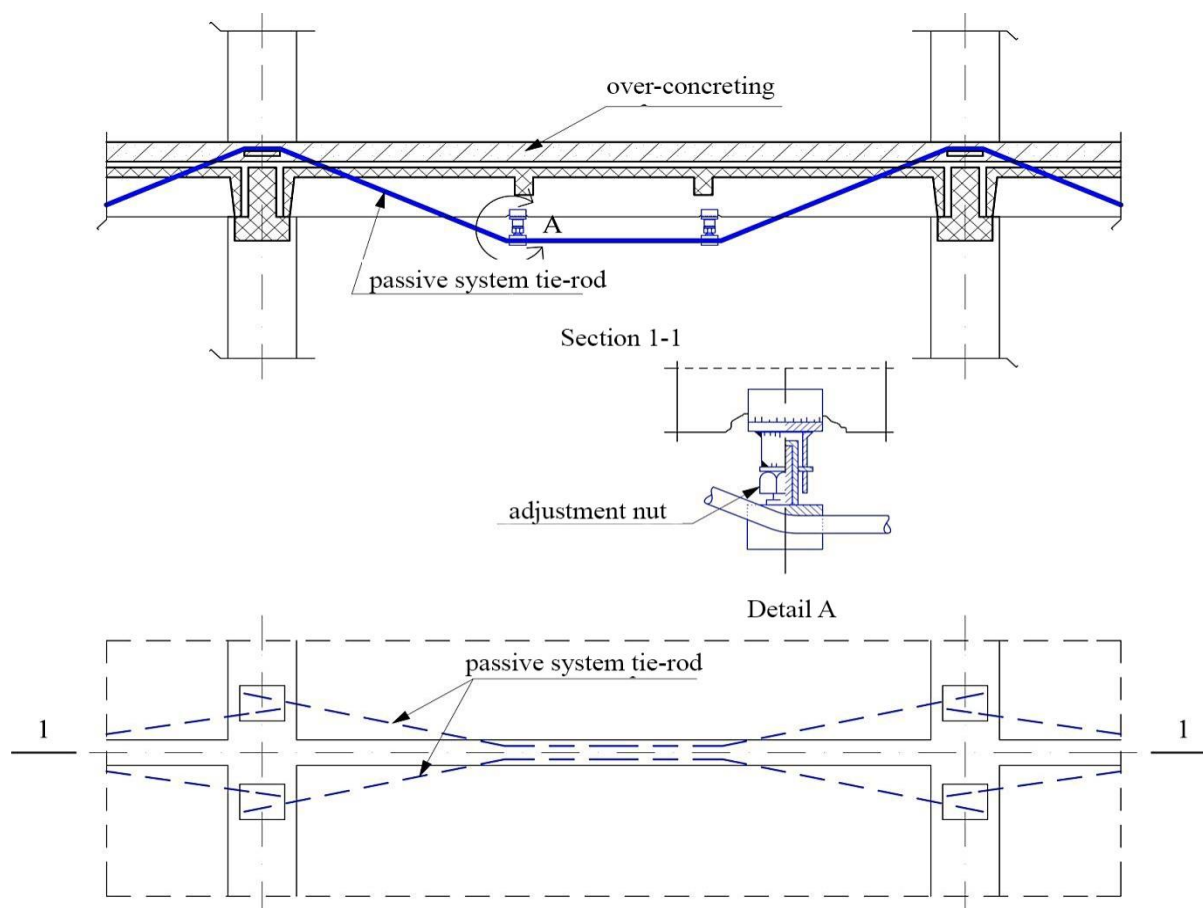
Vertical component of the efforts in the inclined tie-rods ensures the effect of intermediate elastic support for the consolidated beam.

Horizontal components of the tensions that appear in the tie rods are taken over and balanced, in the field, by horizontal tie-rods, and in supports through intermediate support devices disposed at the top (Fig. 6, dit. A and B). Differences that may arise in the case of different loads in the fields (different loads, different openings) are transmitted through the system to end support devices, where, overlapping horizontal components from marginal fields are transferred to the consolidated element. The consolidated element is transformed into a continuous element on fixed supports (resting on the pillars) and elastic supports (due to the consolidation system) subjected to bending (from external forces) and compression (transmitted from end support devices). In the case of trestles the supporting device is limited in height to the height of a cross member, constituting also the support for the rail.

Connecting inclined tie-rods with the horizontal ones and with the support devices is done with hinge type connection, which provides an easy adaptability of the system to actual geometry of the element to be consolidated. The length of the thread at the ends is determined considering probable dimensional deviations of the consolidated element.

Mounting the support device on the superior face of the element, shall be made on the concrete cleaned of parts that may have been damaged, by means of an epoxy mortar.

The working of the system is done by tightening the nuts on the ends of the tilted tie-rods using a torque wrench. An more efficient start of working of the system can be achieved, in case of



the existence of a mobile load on the consolidated element (bridge cranes, wheel carts, etc.), by loading neighboring fields of the field in which are tightened tie-rod nuts. The components of the consolidated system shall be crafted in specialized workshops, with a thorough inspection of the quality of joints. Dimensions and low weight of these elements ensure easy handling and mounting.

Figure 4. Consolidating with passive polygonal tie-rods. Variant

Operations to be carried out on-the-spot consist mostly in operations of assembly and do not pose significant difficulties from a technological point of view. The system of consolidation remains visible and shall be protected by painting. Here below are presented some images with linear concrete elements, reinforced with polygonal passive system – Photo 1 and 2.

1.2.2. Passive polygonal systems, with braces

For this consolidation system (Fig. 7) horizontal components of tension in tie-rods are taken by compressed bars and transmitted to pillars. The system is composed of ensembles arranged independently of each other, on the beam supports (pillars).

Theory of cutting and fitting is similar to the one shown in the previous point. The system is used with good results for inclinations of tie-rods from vertical up to 45° . It is realized with a lower metal consumption than previous version, but the processing of horizontal components of tension in the tie rods is done by transfer of compression forces to the concrete pillars.

1.2.3. Passive tie-rods system for rehabilitation of vertical reinforced concrete cantilever at bridge crane trestle

Vertical reinforced concrete cantilevers, from the pillars, that hold the rolling track beams at crane bridge trestle have the role of fixing to horizontal forces the superior flange of the rolling track beam. Cantilever degradation generally occurs at the bottom, in the area of maximum moment.

The consolidation system (Fig. 8) is designed with the idea that we disposition the components only towards the exterior of the trestle, due to the presence of the bridge crane on the inside. Adaptability to variations of the consolidated ensemble geometry is due to the 3 blocking pipes that can rotate in their supports and 2 inclined tie-rods threaded at one end- see Photo 3.

Resting of the metallic parts on concrete is done through a layer of an epoxy based putty layer. [2]

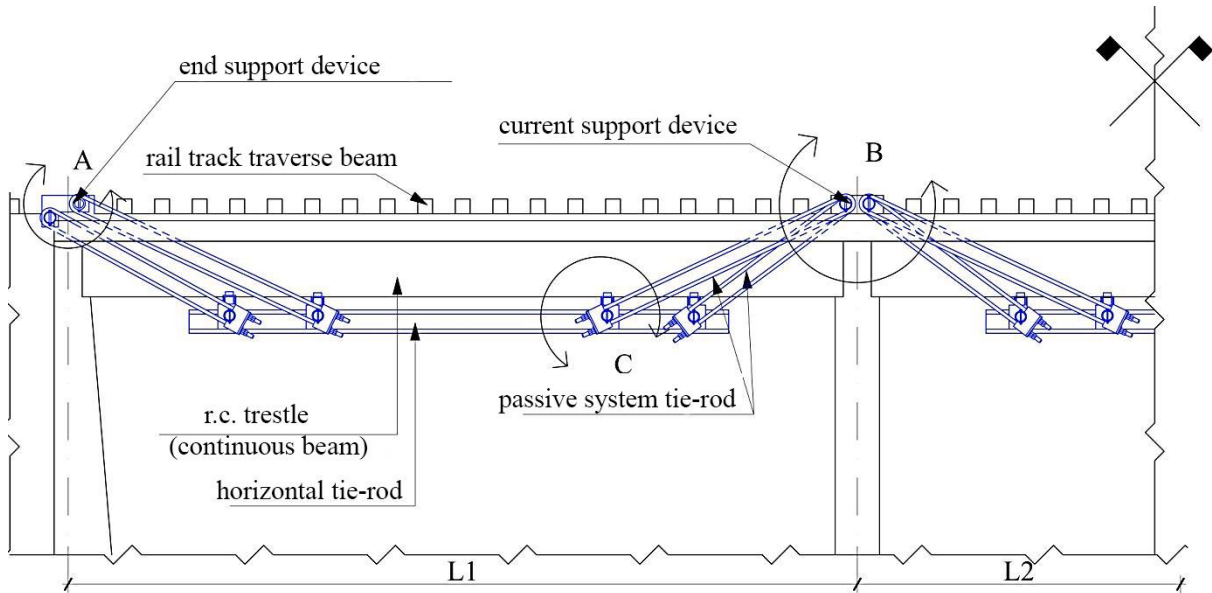


Figure 5. Continuous r.c. beam consolidation (trestle) with polygonal passive system

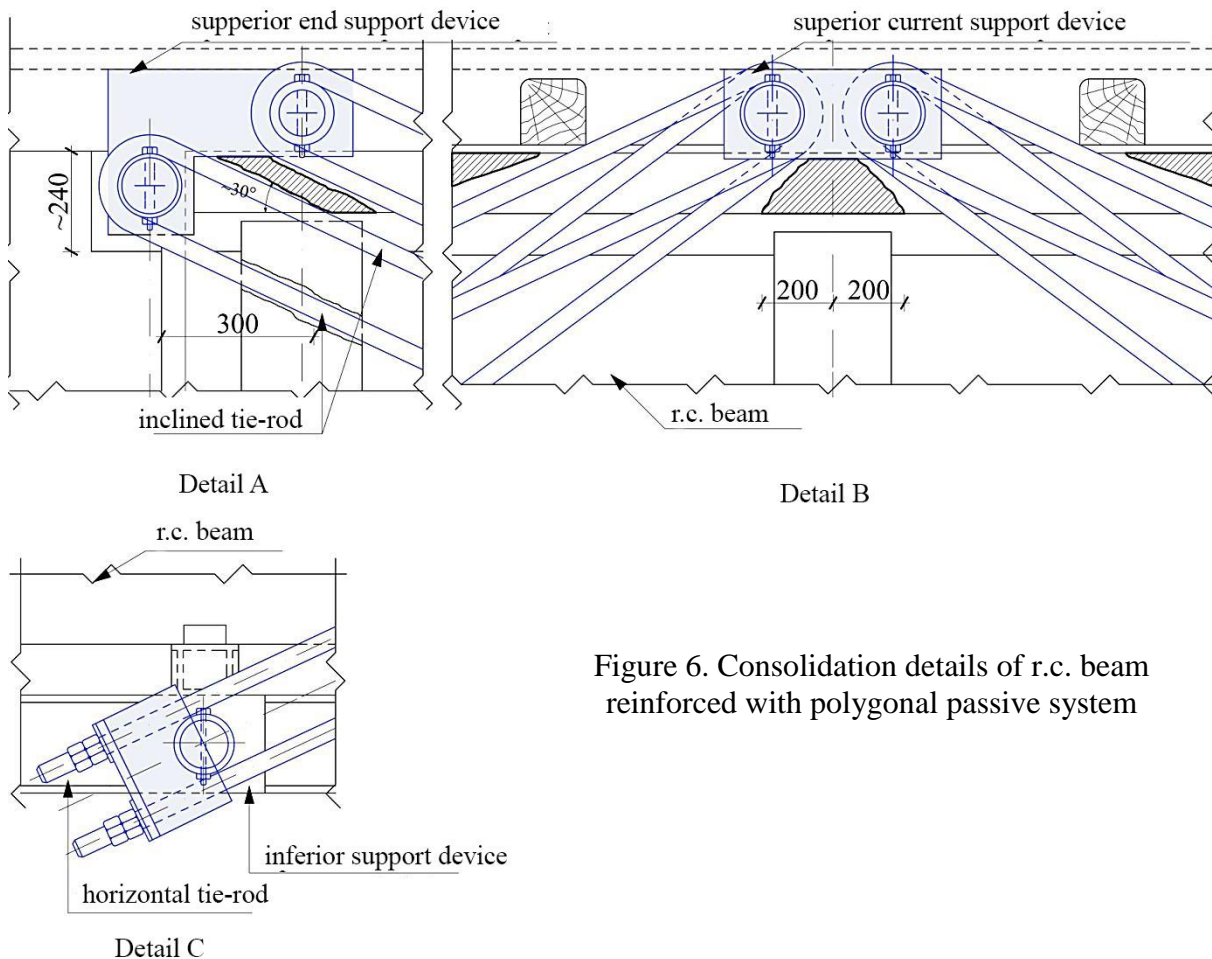


Figure 6. Consolidation details of r.c. beam reinforced with polygonal passive system

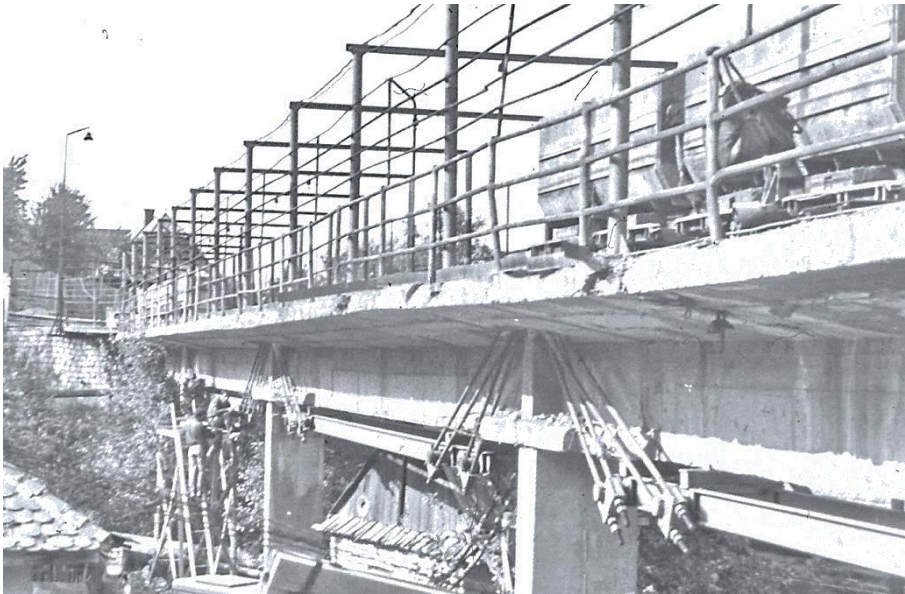
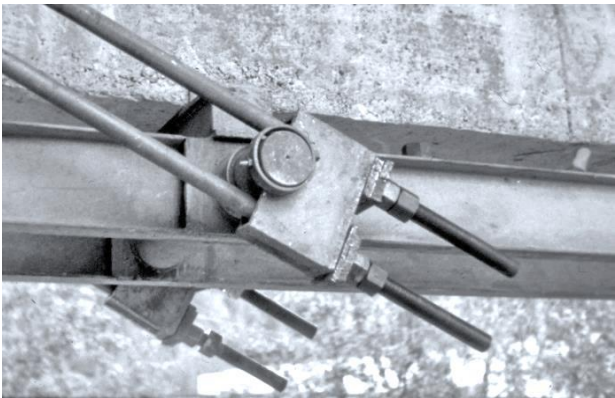
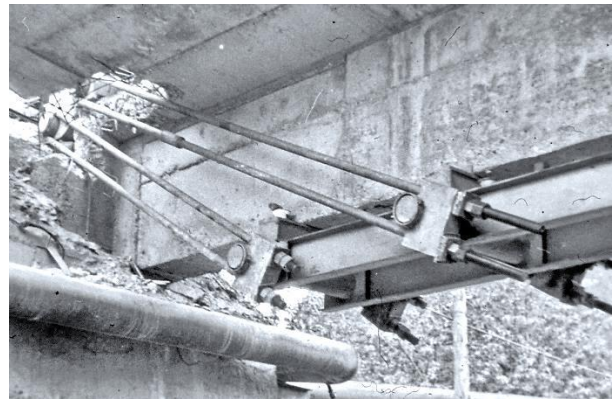
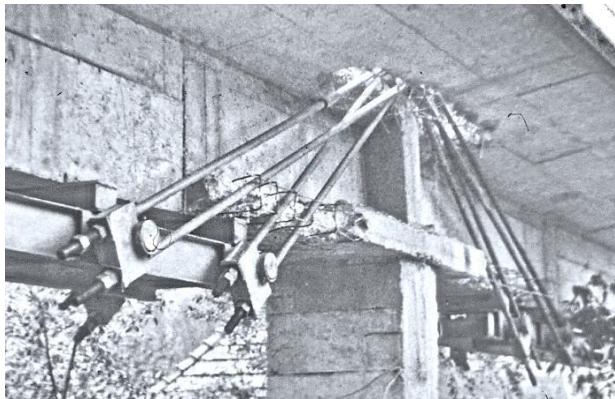
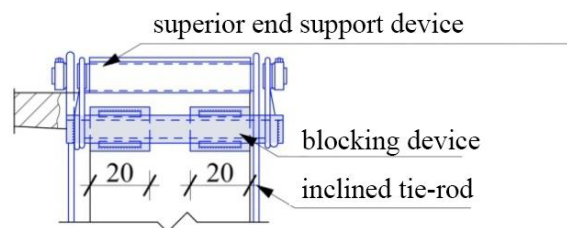
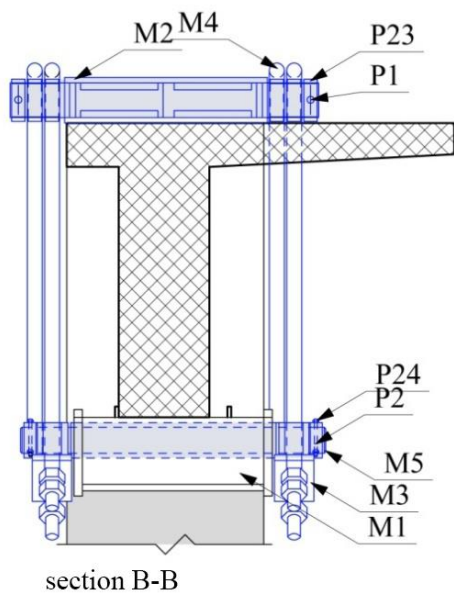
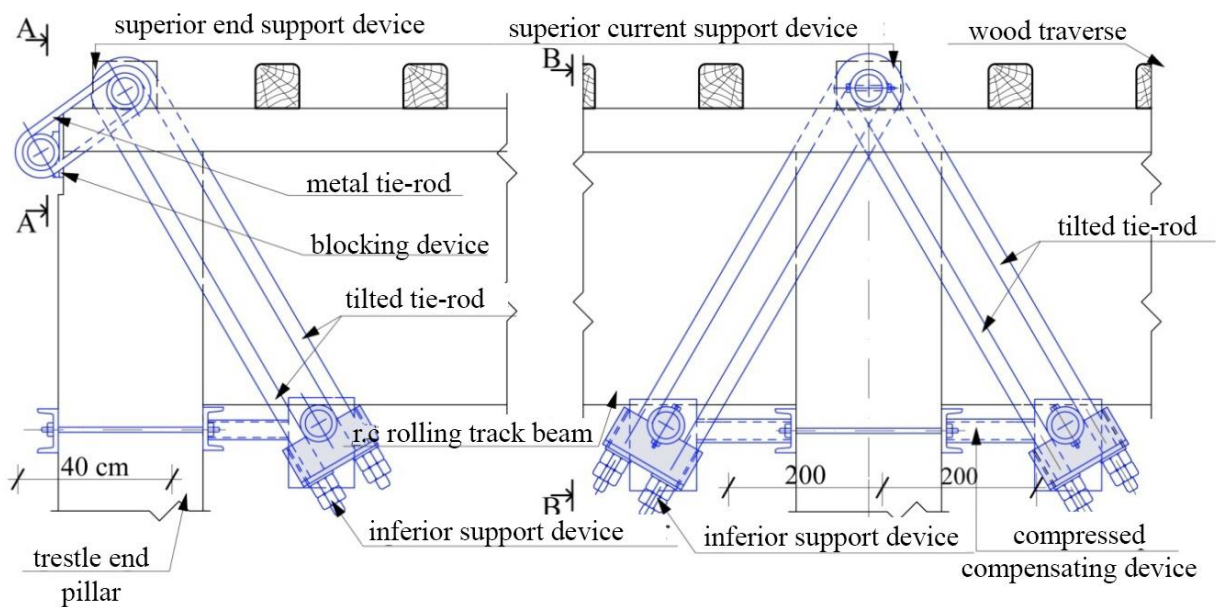
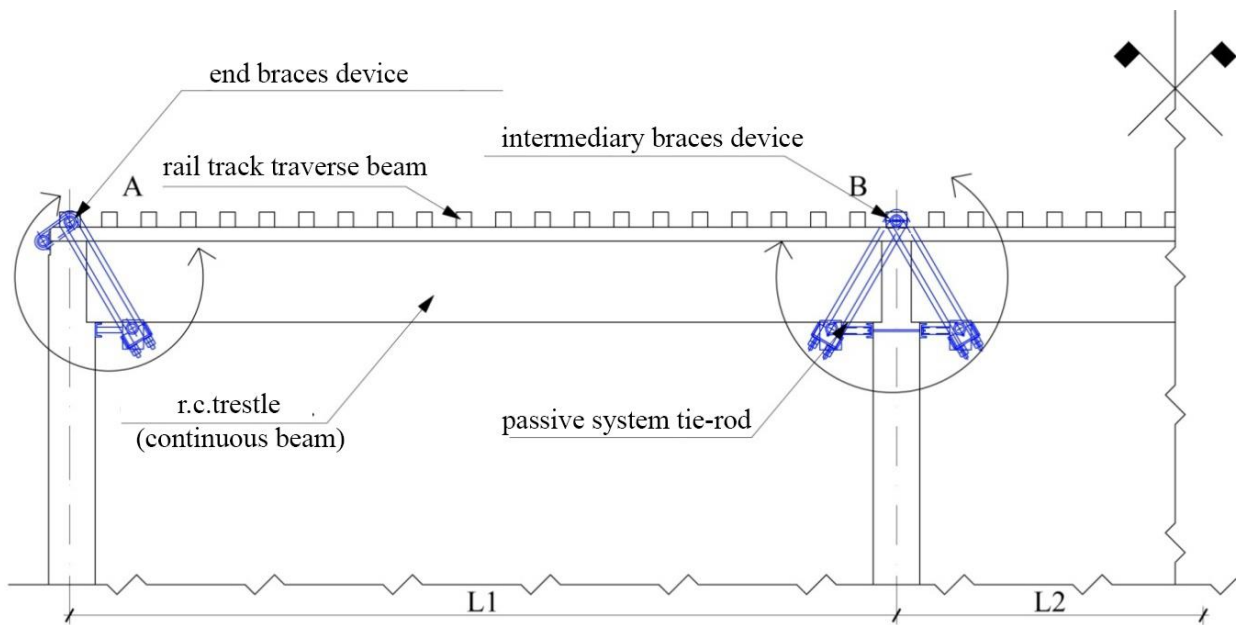


Photo 1. Consolidation during operation of a trestle for wheel carts filled with ore, mining exploitation Balan



- (a)
- (b)
- (c)
- (d)
- (e)

Photo 2 (a-e). Details of the metallic consolidation system



view A-A

Figure 7. Consolidation of continuous reinforced concrete beam with passive polygonal system – variant with "braces"

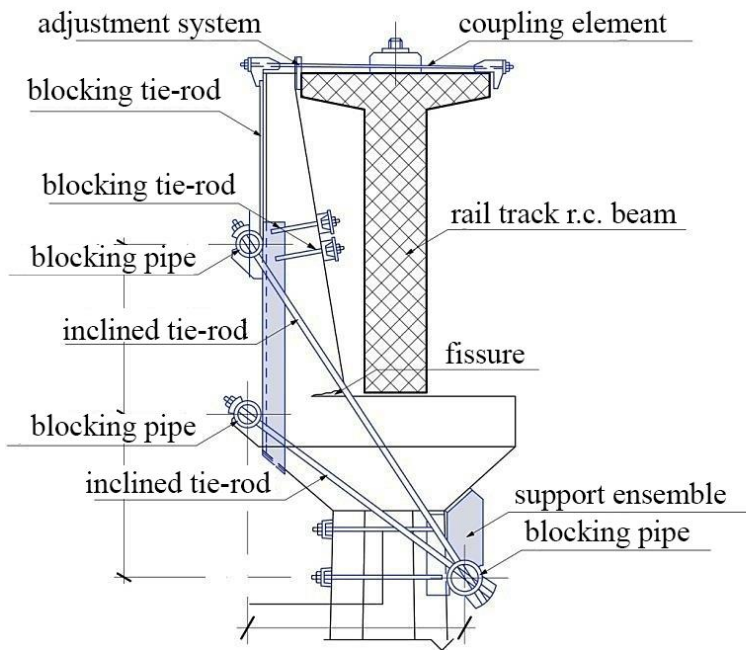


Figure 8. Reinforced concrete cantilever consolidation for fixing rolling track beam – passive tie-rods system.

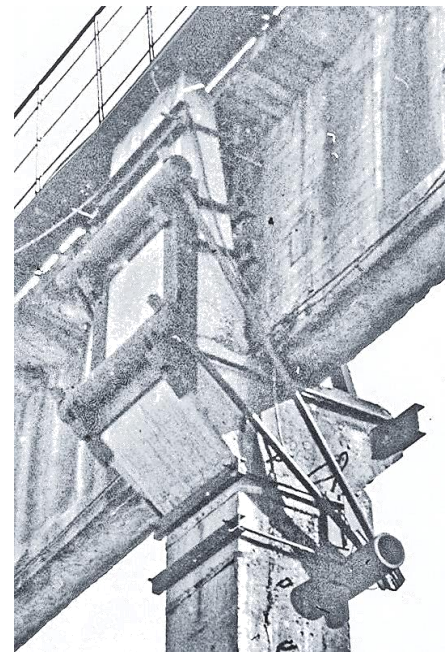


Photo 3. The same as Fig. 8. Consolidation during exploitation of a trestle at CCH Dej

2. Consolidation solutions for plane structures

2.1. Passive rigid systems

2.1.1. Rigid systems in bending are used in the rehabilitation of plane structures in the case of need for increasing load bearing capacity or rigidity normal to their plan. Consolidation solutions of surface elements during exploitation supposes the positioning of additional supports for floor plate, made of metal beams resting on the primary beams of the structure or on their own supports.

Analysis of the efforts in the plane element to be consolidated, necessary for detailing the consolidation solution, shall be made after the adoption of static schemes appropriate for real behavior of the surface element. Final efforts state in the consolidated plate is obtained by overlapping efforts developed under the permanent existing loads before activating the consolidation system, as calculated on the static scheme of the unconsolidated structure, with efforts arising under the action of live loads and dead loads disposed after the activation of the consolidation system, on the static scheme resulting from consolidation.

The analysis assumes the choice of appropriate position and rigidity of elements of the consolidation system, its efficiency and by default the effect on the efforts in consolidated element being determined by them.

A consolidation system with bending rigidity (Fig. 9), used for rehabilitation of plates, may be designed in the form of metal beams which shall be fixed between main beams faces with purlin type support devices. Various types of support devices can be developed, their role being to transmit the reaction of metal consolidation beam to the main floor beams. The system must be adaptable to the actual geometry of the structure, keep the efficiency parameters and to ensure control of entry into work after activation.

Fitting technology and activation of the consolidation system is a function of the constructive solution chosen.

For example, for variant shown in Fig. 9, the succession of technological operations used in mounting and activating the system, is as follows:

- are drilled holes in the reinforced concrete plate for the fixing bolts of the consolidation system;
- is placed the metal beam in position (with epoxy mortar between metal and concrete) with the help of bolts that provide the working together of the elements;
- type purlin support devices are mounted, fixing bolts are tightened, resulting in a blockage of the metallic beam on supports, including to the horizontal movement;
- is welded the support apparatus to the metal beam.

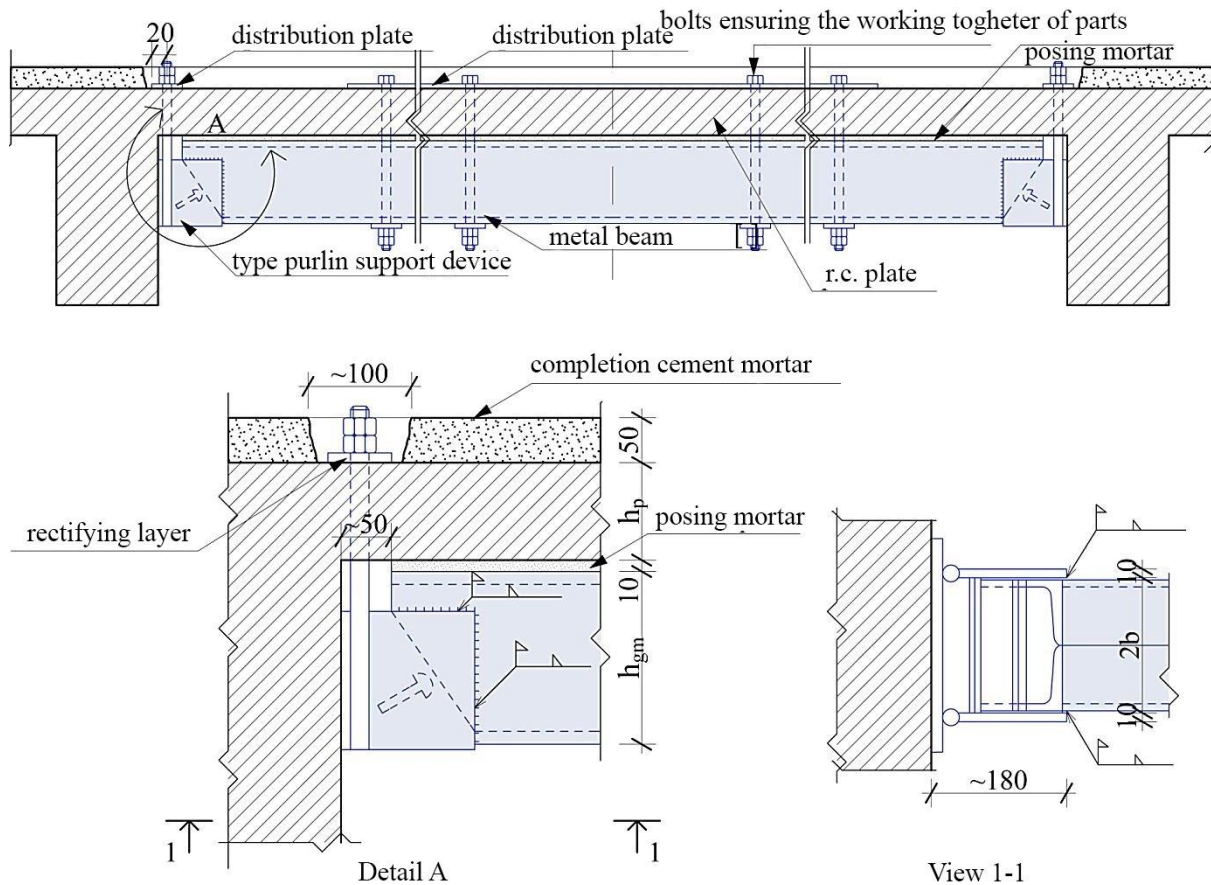


Figure 9. Strengthening of a reinforced concrete slab with rigid system

2.2. Flexible passive systems

Flexible systems are used in the rehabilitation of plane structures when it is needed the increase/recreation of the load bearing capacity or rigidity of the elements in their plan.

Restoring rigid plane effect behavior of the prefabricated floors [4] (see Fig. 10), damaged during seismic action by cracking along joints between prefabricated elements, shall be done by means of horizontal bracing, mounted under the floor, without interrupting current exploitation of the floor.

Braces, from round steel, are anchored in both central core as well as in perimetral, more flexible, structure, forcing them to work together to horizontal forces. The adaptability of the system to the geometry of the building is carried out by attaching the tie-rods with hinged connection at their intersection and by the provision of threaded areas at the ends.

In order to ensure instant entry in work of the elements of consolidation elements it shall be introduced in the bars of the system an initial effort of about 5-10 % of the capable effort.

Longitudinal rigidization of reinforced concrete trestles for a bridge crane can be carried out with the system shown in Fig. 11: a system of crossed tie-rods fixed into the ends of pillars by means of bolts. Slippage of the fixing device on the pillars is eliminated by stripping off the

concrete concrete from the longitudinal reinforcement and welding on to it some fixers or by fixing with chemical anchors.

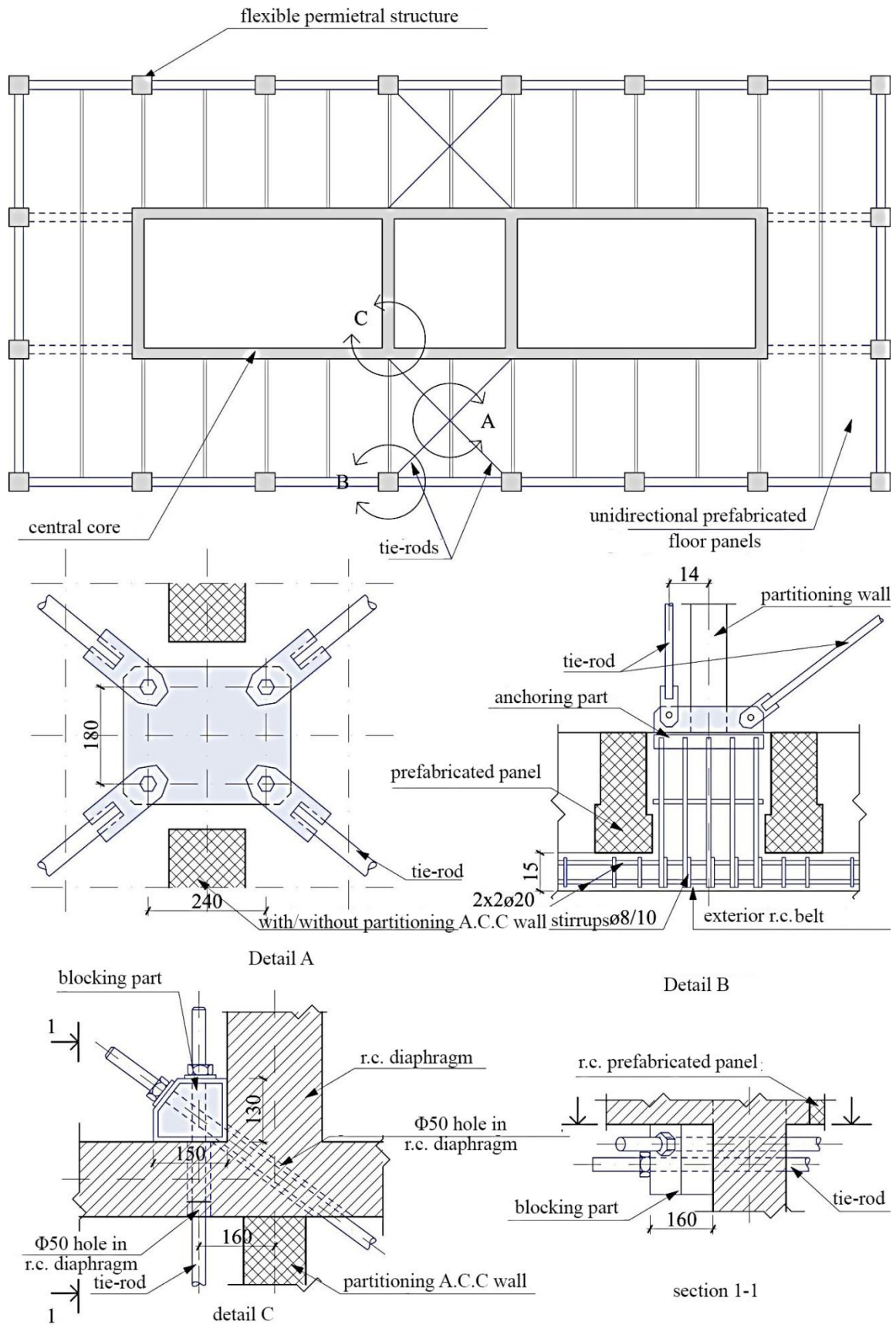


Figure 10. Restoring the rigid plane effect of the floor with passive tie-rods system

Sizing the system is done to the longitudinal force coming from the braking of the crane bridge. [2]

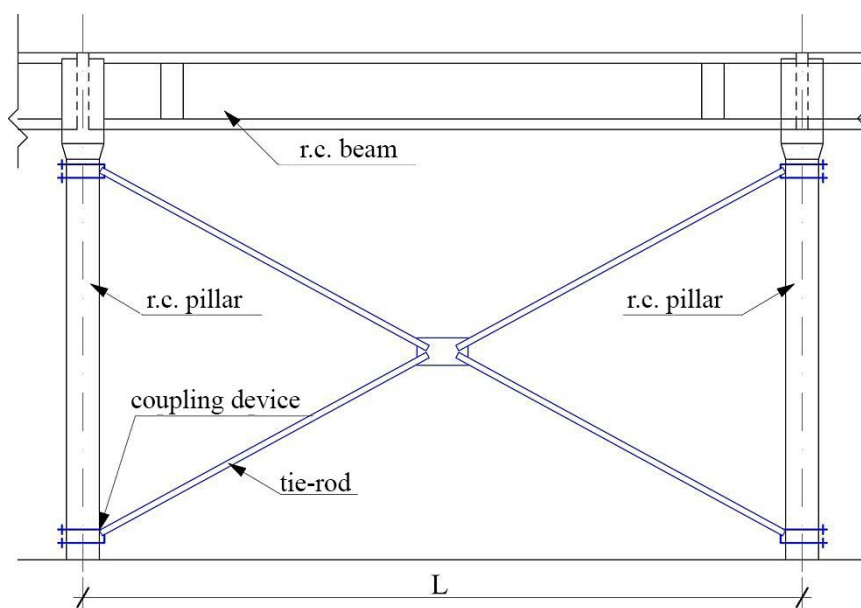


Figure 11. The longitudinal rigidization of a bridge crane trestle with passive tie-rods system

3. Aspects of the schematization for the calculation of the consolidation systems analyzed

For the analysis of the presented consolidation systems have been commented the particularities of the system in question.

In the case of polygonal passive systems used to reinforce linear elements, respectively in the case of passive flexible systems used to strengthen plane structures, the connections between metal sub-assemblies of the system are of hinge type. Connections between lower support devices (elastic supports introduced by the consolidation system) and the element of reinforced concrete are of simple support type, with or without taking into account the friction between metal-concrete. Connections between superior metal supporting devices and the concrete element, arranged at the ends of the element, are hinge type.

Modeling for the calculation of the support devices does not involve a special approach, its formation and the rigidity of constitutive elements permitting their dimensioning on the basis of efforts determined through static equilibrium relations.

4. Conclusions

The constructive solutions presented in this article allow the introduction in structural consolidation practice of the rehabilitation during exploitation concept of linear and plane elements. The solutions are demonstrative for the way in which the requirements of such a consolidation system may be carried out. The common element of the above mentioned solutions represent the geometry's adaptability/flexibility of the consolidation system at element's particularities with the maintainance of its efficiency.

5. References

[1] Oneț Traian, *Reinforced concrete durability*, ed. București Tehnică, 1994

- [2] Ionescu Anton, Păcurar Vasile, Rus Petru, Technical University of Cluj-Napoca, Faculty of Civil Engineering - contract nr.62/F/1991, "*Consolidation systems for structures in exploitation*", 2.1./1992 phase, "*Systems and technology aspects regarding structural consolidation in exploitation*"
- [3] Pașca Remus Emil, Moga Andrei, *Buildings rehabilitation technology*, ed. Cluj-Napoca UTPress, 2004
- [4] Mihailescu M., Szabó B., Rus P., Reabilitarea comportării de șaibă a planșelor clădirilor înalte, *Concrete Conference Vol.*, Timișoara, 1991