



A C A D E M I A R O M Â N Ă

Comitetul Român de Istoria și Filosofia Științei și Tehnicii

– Divizia de Istoria Științei –

STUDII ȘI COMUNICĂRI/DIS

Vol. XVI/2023

Editura MEGA

SILOZURILE DE CEREALE PROIECTATE ȘI CONSTRUIE DE INGINERUL ANGHEL SALIGNY LA BRĂILA ȘI GALAȚI (1884–1889)

George M. CROITORU¹
george.croitoru70@gmail.com

ABSTRACT: Reinforced concrete was introduced in Romania at the end of the 19th century and the first constructions with a reinforced concrete structure were designed and executed between 1884–1889. The promoter of the introduction of reinforced concrete in constructions from Romania was engineer Anghel Saligny (1854–1925), major personality in the Romanian history of civil engineering. The grain silos built in Braila and Galati, designed by him, have a unitary structure with dimensions of 30.00×120.00 m and a height of 18.15 m. These constructions are of great importance for the history of technology due to the technical innovations introduced: the use of reinforced concrete in the construction of silos and precast technology for reinforced concrete constructions (for the first time in the world), the use of reinforced concrete as a new construction material (for the first time in Romania), the storage system adopted is a new one, with vertical cells (introduced in Europe after 1881). Presently, these constructions are technically and historically representative and are classified as historical monuments of architecture in Romania.

KEYWORDS: reinforced concrete, grain silo, precast elements, hexagonal cell, history of technology.

Introducere

În a doua jumătate a secolului al XIX-lea a apărut, în mod oficial, un nou material de construcție, betonul armat, conform brevetului de invenție *Système de caisses-bassins mobiles en fer et ciment applicables à l'horticulture*, din 16 iulie 1867, al francezului Joseph Monier (1823–1906). Franța a fost prima țară la nivel mondial în care s-a utilizat noul material iar după anul

¹ Doctor inginer, membru asociat la Divizia de Istoria Tehnicii, Comitetul Român de Istoria și Filosofia Științei și Tehnicii (CRIFST), Academia Română.

1886, prin cumpărarea și exploatarea brevetelor Monier, betonul armat a început să fie folosit și în alte țări dezvoltate economic și avansate din punct de vedere științific și tehnologic, atât în Europa (inițial în Germania, Elveția, Austria) cât și în Statele Unite ale Americii.

România a fost printre primele țări din lume ai căror specialiști de frunte, dintre care pot fi menționați inginerii Anghel Saligny, Elie Radu și Ion Ionescu, au intuit avantajele structurale ale noului material și au fost receptivi pentru introducerea acestuia în practică. Astfel, primele construcții din România la care a fost utilizat betonul armat, sub forma unor elemente prefabricate, sunt silozurile de cereale de la Brăila (1888) și Galați (1889), iar prima clădire civilă cu structură de beton armat monolit este Palatul Navigației din Galați (1911).

În anul 2023 se împlinesc 135 de ani de la construcția primului siloz de cereale (la Brăila) din cadrul marilor investiții ale statului român, sub forma unor noi infrastructuri tehnice pentru exportul produselor agricole în cele două mari porturi fluviale românești, al căror proiect a fost elaborat de inginerul Anghel Saligny.

Aceste silozuri de cereale sunt importante pentru istoria tehnicii prin elementele remarcabile de noutate tehnică introduse: s-a utilizat în premieră mondială betonul armat la construcția silozurilor și tehnologia prefabricării la construcțiile de beton armat, au fost primele construcții din România la care s-a utilizat betonul armat și la care s-a introdus în execuție sistemul de armături sudate la montaj.

Pentru documentarea tehnică a lucrării au fost consultate atât surse românești (volume de specialitate, colecția *Buletinul Societății Politehnice*, București, 1885–1890) cât și străine (colecția *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure*², Berlin, 1892 și volumul *Handbuch für Eisenbetonbau, Zwölfter Band, Silos: Landwirtschaftliche Bauten*³, Verlag von Wilhelm Ernst&Sohn, Berlin, 1913). De asemenea, au fost efectuate vizite de investigare prin cercetare vizuală amănunțită la cele două obiective analizate din orașele Brăila și Galați.

² *Jurnalul Asociației Inginerilor Germani.*

³ *Manual pentru construcții din beton armat. Volumul al doisprezecelea, silozuri: structuri agricole.*

România, important producător și exportator de cereale la sfârșitul secolului al XIX-lea

În cea de-a doua jumătate a secolului al XIX-lea, producția agricolă a României a înregistrat creșteri importante iar exportul de produse agricole s-a dezvoltat semnificativ ca urmare a cererii mari de cereale românești, recunoscute pentru calitatea lor. Astfel, spre sfârșitul secolului al XIX-lea, România se afla pe primul loc în Europa în privința procentului ocupat de cereale raportat la suprafața de teren cultivată, era unul din marii exportatori de cereale al lumii (alături de Rusia și Statele Unite ale Americii) iar producția de grâu reprezenta aproape 85% din valoarea totală a exporturilor statului [12].

Creșterea producției de cereale a României în această perioadă, precum și evoluția constant crescătoare a procentului exporturilor de cereale comparativ cu scăderea procentului consumului intern [12] sunt prezentate sugestiv în Tabelul nr. 1.

Perioada	Producția totală de cereale (vagoane)	Consum intern de cereale (vagoane)	Procent al consumului intern de cereale	Export de cereale (vagoane)	Procent al exportului de cereale
1876	125000	99000	79%	26000	21%
1886–1890	157000 ↗	97000 ↘	62% ↘	60000 ↗	38% ↗
1891–1895	158000 ↗	86000 ↘	54% ↘	72000 ↗	46% ↗
1901–1903	192000 ↗	90000 ↘	47% ↘	102000 ↗	53% ↗

LEGENDA

↗ și ↘: creștere / scădere a valorilor prezentate comparativ cu perioada anterioară

Tabel nr. 1 – Producția de cereale a României în perioada 1876–1903 și evoluția procentului exportului de cereale comparativ cu procentul consumului intern [12].

Necesitatea construirii unor docuri și silozuri de cereale la Brăila și Galați

Cele două porturi principale de export ale României (Brăila și Galați) și-au mărit în mod constant traficul vaselor de mare tonaj pentru transportul cerealelor datorită legăturii directe cu Marea Neagră, în special după executarea, de către Comisia Europeană a Dunării, a lucrărilor de regularizare a brațului Sulina și de adâncire a gurii de ieșire la mare. Exista

perspectiva reală ca, într-o perioadă scurtă de timp, instalațiile portuare învechite să devină incompatibile cu noile caracteristici tehnice ale navelor moderne de mare tonaj utilizate pentru transportul cerealelor.

În contextul menționat, mării proprietari de terenuri agricole (în mare parte, producători și exportatori de cereale), comercianții autorizați dar și autoritățile locale din porturile Brăila și Galați, au solicitat sprijinul autorităților guvernamentale pentru asigurarea unor condiții corespunzătoare de desfășurare a activităților portuare specifice. Astfel Ministerul de finanțe a fost însărcinat să înființeze un serviciu de antrepozit de mărfuri în orașele Galați, Brăila și Constanța începând cu 1 aprilie 1883.

În anul 1884, Direcția Generală CFR din cadrul Ministerului lucrărilor publice a început elaborarea proiectelor pentru antrepozitele și silozurile de cereale din porturile Galați și Brăila.

Un sprijin important în inițierea acestei mari investiții a statului român l-a oferit ministrul lucrărilor publice, generalul Nicolae Dabija (1837–1884). Acesta a fost ministru al lucrărilor publice în perioada 9 iunie 1881–1 august 1884, președinte al Consiliului de Miniștri fiind Ion C. Brătianu.

În octombrie 1885, au fost finalizate proiectele bazinelor și cheiurilor docurilor, contractele de execuție s-au încheiat în mai 1886 iar execuția lucrărilor a început în anul 1886 la Brăila, respectiv în anul 1887 la Galați.

Proiectele antrepozitelor de mărfuri și silozurilor de cereale au fost finalizate în noiembrie 1886, iar execuția acestora a început în primăvara anului 1887.

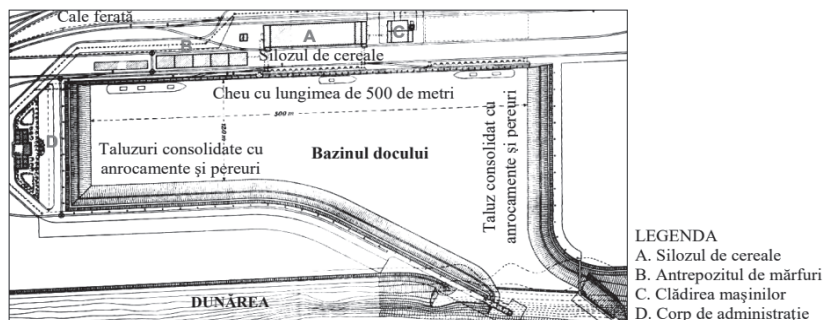


Fig. nr. 1 – Plan de situație și organizarea de ansamblu a unui doc [1].

Dimensiunile bazinului docurilor construite în porturile Brăila și Galați au fost adoptate din necesități tehnologice și funcționale: astfel, lungimea acestora a fost impusă de necesitatea de amplasare a construcțiilor pentru depozitare (antrepozitul de mărfuri și silozul de cereale) iar lărgimea acestora a fost impusă de cerința ca navele să poată întoarce chiar și în partea cea mai îngustă, inclusiv în scenariul ocupării ambelor laturi de un rând de nave.

Principalele caracteristici tehnice ale docurilor evidențiau o importantă realizare inginerească la nivelul epocii [14], după cum se prezintă în Fig. nr. 1: bazinul docurilor avea, pe o latură, un cheu de 500,00 m lungime (pe celelalte laturi, taluzurile erau consolidate cu anrocamente și pereuri), o lărgime curentă de 120,00 m ce se dezvoltă până la 192,00 m în zona de intrare în incinta docului și o adâncime de 5,00 m sub etiaj (nivelul apei celei mai mici, suficient pentru a permite intrarea în doc a tuturor navelor maritime care puteau trece prin portul Sulina).

Bazinele docurilor din cele două porturi fluviale aveau dimensiuni identice, respectiv suprafața bazinului la fund, de 81000 m² iar la nivelul apelor mici de 88000 m².

Silozul de cereale era construcția reprezentativă amplasată în cadrul docului, fiind situat în lungul cheiului împreună cu antrepozitul de mărfuri și clădirea mașinilor, așa cum se prezintă în Fig. 1. Este o construcție aflată în exploatare și în prezent, cu dimensiunile în plan de 30,00 × 120,00 m și înălțimea maximă la cornișă de 18,15 m [15].

Finalizarea tuturor lucrărilor și intrarea în exploatare a obiectivelor în integralitatea lor s-a realizat în anul 1891, iar în anul 1892 a avut loc inaugurarea oficială.

Raportul inginerului Gheorghe I. Duca privind concepția tehnică și funcțională a silozurilor de cereale propuse a se construi la Brăila și Galați

Ministerul lucrărilor publice a stabilit valoarea necesară a capacității de înmagazinare într-un siloz (25000 tone de cereale) iar în anul 1884 a solicitat inginerului inspector-general Gheorghe I. Duca⁴ studierea sistemelor utilizate la nivel mondial pentru depozitarea cerealelor și

⁴ Gheorghe I. Duca (1847–1899), absolvent al Școlii Centrale de Arte și Manufacturi din Paris în anul 1869, a fost unul din marii specialiști români ai epocii: profesor la Școala de Poduri și Șosele din București și director al acesteia din anul 1881, membru fondator

propunerea adoptării unuia dintre acestea împreună cu materialul de construcție potrivit.

Principalele concluzii ale raportului tehnic elaborat de inginerul Gheorghe I. Duca, au fost următoarele [6], [7]:

– în majoritatea țărilor europene era foarte larg utilizat sistemul de depozitare al cerealelor în magazine pe mai multe niveluri, însă noul sistem introdus și folosit în Statele Unite ale Americii, cu celule verticale de depozitare, prezenta avantaje certe: mai buna conservare și ventilare a cerealelor depozitate, o manipulare mult mai comodă a acestora și o mai bună organizare a spațiului construit;

– începând cu anul 1881, câteva țări europene au introdus noul sistem cu celule verticale de depozitare (Germania, Anglia, Ungaria și Rusia), astfel că la momentul anului 1884 erau finalizate noile silozuri de cereale de la Pesta și Hamburg, iar cel de la Liverpool era în fază avansată de execuție, unele caracteristici tehnice ale acestora fiind prezentate în Tabelul nr. 2;

– recomandarea de adoptare a noului sistem american cu celule de depozitare verticale folosind metalul ca material de construcție, cu spații între celule pentru circulația aerului și cu rezemare la nivelul terenului prin intermediul unui radier general.

Amplasarea silozurilor analizate	Capacitatea totală a silozului (tone)	Înălțimea celulelor de depozitare (metri)	Forma în plan a celei de depozitare	Numărul celulelor de depozitare (bucăți)	Materialul de construcție al celulelor de depozitare
Liverpool	50000	26,00	hexagonală	294	zidărie de cărămidă
Hamburg	11900	18,00	pătrată	152	lemn
Pesta	30000	15,50	dreptunghiulară	290	metal

Tabel nr. 2 – Principalele caracteristici tehnice ale silozurilor pentru depozitarea cerealelor analizate în raportul tehnic elaborat de inginerul Gheorghe I. Duca [6].

al Societății Politehnice (decembrie 1881) și președinte al acesteia în anii 1883 și 1890, director general al Direcției Generale a Căilor Ferate Române din anul 1888.

Experiența tehnică a inginerului Anghel Saligny la momentul elaborării proiectului

În anul 1884, inginerul-șef clasa a II-a Anghel Saligny a fost însărcinat cu proiectarea și execuția docurilor și a tuturor construcțiilor aferente acestora din porturile Brăila și Galați.

La momentul proiectării silozurilor de cereale din cele două porturi dunărene, inginerul Anghel Saligny (1854–1925) era unul din specialiștii recunoscuți ai corpului inginerilor români [10], [13] și avea o experiență tehnică importantă dobândită în cei 10 ani de la absolvirea studiilor la Școala Tehnică Superioară din Berlin-Charlottenburg (1874), parcurgând deja primele trepte ale carierei sale profesionale: inginer ordinar clasa a III-a (1 ianuarie 1876), inginer ordinar clasa a II-a (1 august 1878), inginer ordinar clasa I (27 aprilie 1881), inginer-șef clasa a II-a (10 mai 1883).

Anghel Saligny a participat la construcția căilor ferate Cottbus-Frankfurt pe Oder din estul Germaniei (1875), Ploiești-Predeal (din anul 1876), Adjud-Târgu Ocna și Bârlad-Vaslui (din anul 1881). De asemenea, el a fost proiectantul gărilor din Azuga (1881), Râmnicu-Sărat (1881), Târgu-Ocna (1884), Adjud (1884) și al podului metalic peste râul Trotuș de la Onești (1882).

Demnă de menționat este și activitatea sa din anul 1883, alături de reputați specialiști, în cadrul comisiei guvernamentale de examinare pentru concursul în vederea construirii podurilor și a căii ferate peste Borcea și Dunăre (președinte a fost inginerul inspector-general Dimitrie Frunză iar membri ai comisiei au fost profesorul german Emil Winkler de la Școala Tehnică Superioară din Berlin-Charlottenburg, profesorul francez Édouard Collignon de la Școala de Poduri și Șosele din Paris, inginerii inspectori-generalii Spiridon Iorceanu și Constantin Olănescu).

În anul 1881 a devenit membru fondator al Societății Politehnice din România, iar din anul 1884 a devenit și profesor la Școala Națională de Poduri și Șosele din București prin susținerea cursului de *Poduri*.

La momentul anului 1884, când a primit sarcina proiectării docurilor și a tuturor construcțiilor aferente acestora din porturile Brăila și Galați, inginerul Anghel Saligny ocupa funcțiile de șef al noului *Serviciu de Poduri și Căi Ferate* (din anul 1883) și șef al *Serviciului Docuri și Antrepozite* (din anul 1884), ambele din cadrul Ministerului lucrărilor publice.

Aspecte privind organizarea funcțională a silozului

Pentru cele două amplasamente (Brăila și Galați) a fost elaborat un singur proiect iar pentru stabilirea concepției structurale și funcționale a silozului de cereale, proiectantul Anghel Saligny a avut în vedere recomandările raportului tehnic elaborat în anul 1884 de inginerul inspector-general Gheorghe I. Duca [14].

A fost aplicată soluția de depozitare recomandată (noul sistem american cu celule de depozitare verticale), folosind însă un nou material de construcție pentru celulele de depozitare: betonul armat (plăci în sistemul Monier).

Adoptarea variantei de utilizare a plăcilor de beton armat în sistem Monier (a patra variantă de material) s-a realizat după studii preliminare succesive în care au fost propuse ca materiale de construcție metalul, apoi zidăria de cărămidă și betonul simplu [14].

Corpul clădirii silozului este alcătuit, după cum se prezintă în Fig. nr. 2, dintr-o zonă centrală ce cuprinde celulele verticale de depozitare a cerealelor și două zone anexă laterale (Nord și Sud), în care se află instalații tehnologice specifice [15].

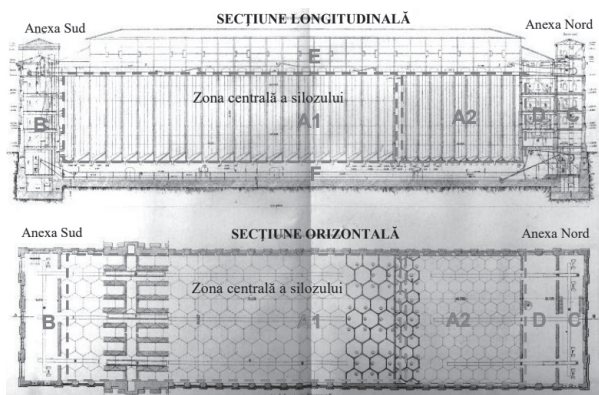


Fig. nr. 2 – Secțiune longitudinală și orizontală a silozului de cereale cu prezentarea organizării funcționale [15].

Zona centrală a silozului este alcătuită din 336 de celule verticale de depozitare a cerealelor, alipite una de alta, dintre care 185 de celule au capacitatea de 100 de tone (A1, bateria de celule mari) iar 151 de celule au capacitatea de 50 de tone (A2, bateria de celule mici).

Zona anexă Nord cuprinde două subansamble funcționale distincte: instalațiile pentru ridicarea cerealelor (C) și instalațiile de curățare a acestora (D).

Zona anexă Sud cuprinde doar instalațiile pentru ridicarea cerealelor (B).

Deasupra zonei centrale a silozului, unde sunt grupate celulele de depozitare a cerealelor, se află zona galeriei superioare, cu rol de transport și distribuire a cerealelor în celule.

La baza zonei centrale a silozului, unde sunt grupate celulele de depozitare a cerealelor, se află zona galeriilor inferioare, cu rol de descărcare și colectare a cerealelor stocate. Există trei galerii tunel longitudinale distincte unde sunt dispuse benzi transportoare pentru preluarea cerealelor din celulele de depozitare.

Transportul cerealelor din celulele de depozitare ale silozului pe navele de transport se realizează prin intermediul benzilor transportoare.

Astfel, cerealele colectate din celule pe benzile transportoare longitudinale ajung pe benzile transportoare transversale din anexele nord și sud care se continuă în galeriile tunel transversale dispuse sub platforma cheiului. Acestea fac legătura cu galeria tunel longitudinală de sub cheu, unde se realizează depozitarea cerealelor și ulterior încărcarea acestora pe navele de transport.

În final, cerealele depozitate în galeria de sub cheu sunt încărcate în navele de transport prin intermediul unor sisteme de instalații amplasate pe cheiul bazinului (elevatorul universal telescopic și elevatorul de încărcare), ce sunt prezentate în Fig. nr. 3 și Fig. nr. 4.

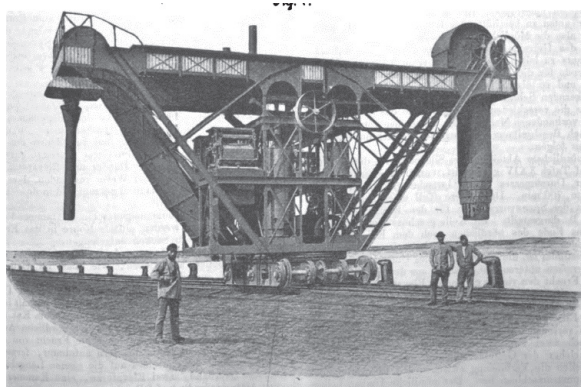


Fig. nr. 3 – Elevator universal telescopic [2].

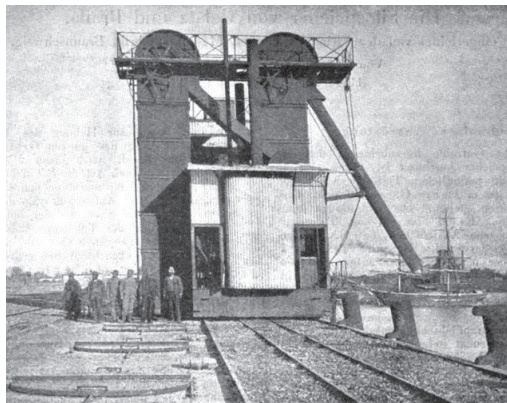


Fig. nr. 4 – Elevator de încărcare [2].

Concepția structurală a silozului

Corpul de construcție al silozului de cereale [14], [15] reprezintă un element unitar, cu dimensiunile în plan de $30,00 \times 120,00$ m, înălțimea maximă la cornișă de 18,15 m și capacitatea de înmagazinare de 25000 tone. Acesta este alcătuit dintr-o zonă centrală vastă ce cuprinde 336 de celule verticale pentru depozitarea cerealelor (185 de celule cu capacitatea de 100 de tone și 151 de celule cu capacitatea de 50 de tone) și două zone anexă laterale în care se află instalații tehnologice specifice (pentru transportul pe verticală și curățirea cerealelor).

În condițiile unui teren slab de fundare, cu variații sezoniere importante ale nivelului pânzei de apă freatică și unui nivel ridicat de solicitare, pentru sistemul de fundare al silozului s-a adoptat soluția unei plăci de tip radier general din beton cu grosimea de 1,50 m. Placa radierului din beton este alcătuită dintr-un strat de bază cu grosimea de 1,20 m și un strat superior cu grosimea de 30 cm, betonul acestuia având performanțe superioare din punct de vedere al rezistenței și protecției împotriva infiltrațiilor terenului.

Radierul general din beton descarcă pe 6306 piloți din lemn de stejar cu lungimea de 12,00 m, dispuși la aproximativ 80 cm distanță unul față de celălalt, după cum se prezintă în Fig. nr. 5.

Pentru introducerea piloților în terenul de fundare (prin batere) a fost utilizată o sonetă mecanică cu aburi.

Cota generală de fundare a radierului (raportat la nivelul cheiului)

este de $-7,00$ m, cu excepția celor două anexe laterale (Sud și Nord) ce adăpostesc instalațiile pentru transportul pe verticală a cerealelor, unde cota de fundare se situează la un nivel inferior ($-9,50$ m), după cum se prezintă în Fig. nr. 5 și Fig. Nr. 6.

Suprastructura silozului este alcătuită din elemente structurale verticale și orizontale, prezentate în continuare.

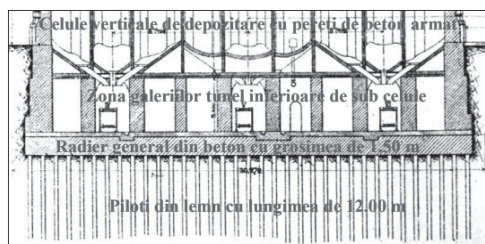


Fig. nr. 5 – Elementele structurale de la baza silozului. Zonele fundației și a galeriilor inferioare longitudinale de sub celulele verticale de depozitare a cerealelor [15].

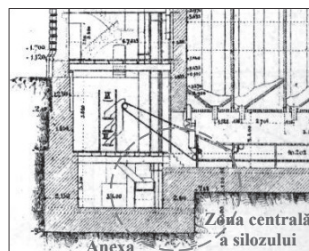


Fig. nr. 6 – Cota de fundare diferențiată a radierului general din beton [15].

Pereții de închidere perimetrală, local prevăzuți cu contraforți (între nivelul cheiului și cota $+18,15$ m) și pereții de separație între zona centrală a celulelor de depozitare și anexele laterale (între cotele $-5,50$ m ... $+18,15$ m), sunt executați din zidărie masivă de cărămidă. Pereții de închidere descarcă pe fundații continue din moloane⁵ brute solidarizate cu mortar de var hidraulic (rețeta mortarului folosind 350 kg var hidraulic la 1 m³ de nisip), acestea fiind amplasate pe placa radierului.

Celulele verticale pentru depozitarea cerealelor au pereți din beton armat (plăci în sistemul Monier) și sunt dispuse între cotele $-2,10$ m ... $+15,44$ m.

Zona galeriilor inferioare de sub celulele de depozitare, cu rol de descărcare și colectare a cerealelor în benzi transportoare, este alcătuită din pereți groși din moloane brute (A) amplasați pe placa radierului, dispuși între cotele $-5,50$ m ... $-2,10$ m. Peste acești pereți este amplasată o placă cu grosimea de 25 cm realizată din beton cu grinzi metalice înglobate (B).

Deasupra celulelor verticale de depozitare a cerealelor se află zona

⁵ Molonul este un bloc de piatră folosit la execuția zidărilor, care are fața văzută cioplită grosier sau prelucrată, cu forma dreptunghiulară sau poligonală.

galeriei superioare. Aceasta are rolul de transport și de distribuire a cerealelor în celule (B) și cuprinde un planșeu din tablă cu grinzi metalice (A) dispus la cota +15,44 m ce reazemă pe pereții de beton armat ai celulelor de depozitare și o structură metalică spațială de acoperiș (C) alcătuită din două șiruri de stâlpi și șarpantă. Toate îmbinările elementelor metalice sunt executate prin nituire.

Celulele verticale de depozitare a cerealelor și elementele de inovație tehnică ale acestora

Pentru proiectarea spațiilor de depozitare a cerealelor în cadrul silozului, inginerul Anghel Saligny a aplicat varianta de depozitare recomandată în raportul tehnic elaborat în anul 1884 de inginerul inspector-general Gheorghe I. Duca, respectiv noul sistem american cu celule de depozitare verticale, însă cu diferența majoră a adoptării unui alt material de construcție pentru celule: betonul armat (plăci în sistemul Monier), ce reprezenta o noutate tehnică la acel moment.

Adoptarea plăcilor de beton armat în sistem Monier [14], a patra variantă de material propusă, s-a realizat după studii preliminare în care au fost propuse și ulterior abandonate variantele unor materiale de construcție cunoscute precum metalul (prima variantă studiată, fiind recomandată în raportul amintit), apoi zidăria de cărămidă și betonul simplu. În acest fel, prin folosirea plăcilor de beton armat în sistem Monier s-a utilizat în premieră mondială betonul armat la construcția silozurilor.

Silozul de cereale de la Brăila (1888) a fost executat cu peste 10 ani înainte de construcția primelor silozuri de beton armat pentru cereale în restul Europei [8] în orașele Schiltigheim (1899), Strasbourg (1899) și Genova (1901).

Dintre cele trei silozuri menționate, doar silozul construit la Genova în perioada 1899–1901 depășește ca dimensiuni și capacitate de înmagazinare silozurile construite de inginerul Anghel Saligny. Silozul din Genova a fost construit de compania germană A.-G. f. Hoch und Tiefbauten din Frankfurt pe Main, este executat cu o structură din beton armat monolit, are dimensiunile în plan de 40,00 × 210,00 m, înălțimea de 28,60 m și capacitatea de 34000 tone [8].

După anul 1900 silozurile cu structură de beton armat au cunoscut o mare dezvoltare la nivel mondial, fiind folosite pentru înmagazinarea unor diverse produse, însă preponderent pentru cereale și ciment.

De asemenea, pentru celulele de depozitare a fost adoptată forma în plan hexagonală, după cum se prezintă în Fig. nr. 7. Astfel, s-au utilizat în premieră mondială celule de depozitare de beton armat (din elemente prefabricate) cu secțiune hexagonală în scopul eficientizării spațiului de depozitare, având în vedere că la o capacitate egală de însilozare aceasta are un perimetru mai mic și laturi mai scurte decât o celulă pătrată [3].

Următorul siloz european cunoscut, ce a utilizat celule de depozitare de beton armat cu secțiune hexagonală (însă turnat monolit), a fost silozul pentru depozitarea cimentului construit în anul 1904 la Itzehoe. Acesta are înălțimea maximă de 17,00 m și capacitatea de 19900 tone fiind construit de compania germană Wayss u. Freytag A.-G. din Neustadt [8].

Pentru reducerea unor dificultăți tehnologice la punerea în operă dar și în scopul asigurării unei execuții calitative, a fost adoptată soluția prefabricării la sol a plăcilor în sistem Monier.

În acest fel, pentru silozurile de cereale construite la Brăila și Galați s-a aplicat în premieră la nivel mondial tehnologia de execuție a elementelor de beton armat prefabricat (utilizând două tipuri de elemente prefabricate) și s-a folosit sistemul de armături sudate la montaj cu mult timp înainte de aplicarea procedurii și în alte țări mult mai avansate tehnologic și dezvoltate economic.

Cele două tipuri de elemente prefabricate din beton armat, prezentate exemplificativ în detaliul din Fig. nr. 7, sunt placa tip dală a celulei silozului (A) și elementul de colț (B) pentru rigidizarea plăcilor tip dală [14], [15].

Placa tip dală a celulei silozului (A) are o înălțime de 1,00 m și o lungime de 66 cm (în cazul celulelor mici cu capacitatea de 50 de tone) și respectiv 1,15 m (în cazul celulelor mari cu capacitatea de 100 de tone).

În cazul elementului de colț pentru rigidizare (B), înălțimea a fost limitată la 50 cm în scopul reducerii greutateii acestuia și asigurării unei mai bune manevrabilități la montaj.

Grosimea celor două tipuri de elemente prefabricate este variabilă pe înălțimea silozului: 16 cm (la bază, între cotele -2,10 m... +5,25 m) și respectiv 12 cm (la partea superioară, între cotele +5,25 m ... + 15,44 m), proporțional cu valoarea presiunii exercitată de cereale pe pereții celulei. Atât placa tip dală a celulei silozului (A) cât și elementul de colț pentru rigidizare (B) au armături de rezistență și armături de repartiție. Diametrul armăturilor de rezistență variază pe înălțimea silozului, de la minimum

5 mm (la partea superioară) la maximum 10 mm (la bază), proporțional cu valoarea presiunii exercitată de cereale pe pereții celei [14].

Valoarea maximă ce a fost considerată în calcul pentru presiunea exercitată de cereale pe pereții celulelor de la baza silozului a fost de 3000 daN/m^2 [14].

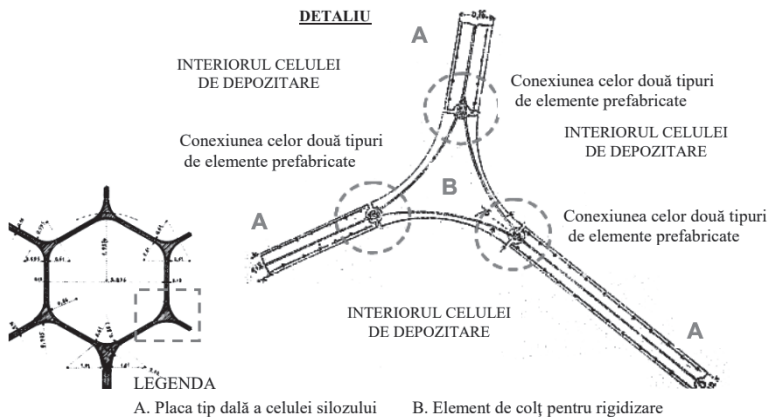


Fig. nr. 7 – Tipurile de elemente prefabricate de beton armat utilizate pentru execuția celulelor hexagonale de depozitare a cerealelor și modul de conexiune între acestea [9], [15].

Placa celei silozului (A) prezintă, în plus, armături suplimentare orizontale cu rol de montaj, prevăzute în axa neutră a elementului, care ies la ambele capete în afara dimensiunii geometrice a acestuia, formând ochiuri ce au fost sudate apoi de elementul vecin.

În cazul elementului de colț pentru rigidizare (B), armătura de rezistență orizontală iese în afara betonului pentru a forma, în toate cele 3 colțuri ale acestuia, ochiuri ce au fost sudate apoi de elementele prefabricate învecinate.

Compoziția betonului utilizat pentru execuția elementelor prefabricate a fost alcătuită din: 3 părți de nisip, 3 părți de pietriș (sort de agregate cu dimensiuni apreciate la 7–16 mm) și 2 părți de ciment [14].

Conexiunea, pe verticală, dintre cele două tipuri de elemente prefabricate și rigidizarea întregului ansamblu s-a realizat prin introducerea unei bare verticale între ochiurile sudate ale celor două elemente și turnarea unui mortar de ciment în spațiul format pentru monolitizare.

Complementar, a fost asigurată și o legătură pe orizontală între elementele prefabricate prin umplerea unor goluri, prevăzute pe suprafața de contact, cu mortar de ciment, după cum se prezintă în Fig. nr. 8.

Prin punerea în operă a acestei tehnologii de execuție, s-a executat în premieră la nivel mondial prefabricarea la sol a pereților de beton armat ai celulelor silozurilor (utilizând două tipuri de elemente prefabricate) și sistemul de armături sudate la montaj.

Lucrările executate pentru construcția unui singur siloz au fost de mare amploare, necesitând aproximativ 35000 bucăți de elemente prefabricate de beton armat de ambele tipuri și 290 de tone de oțel pentru armături [14].

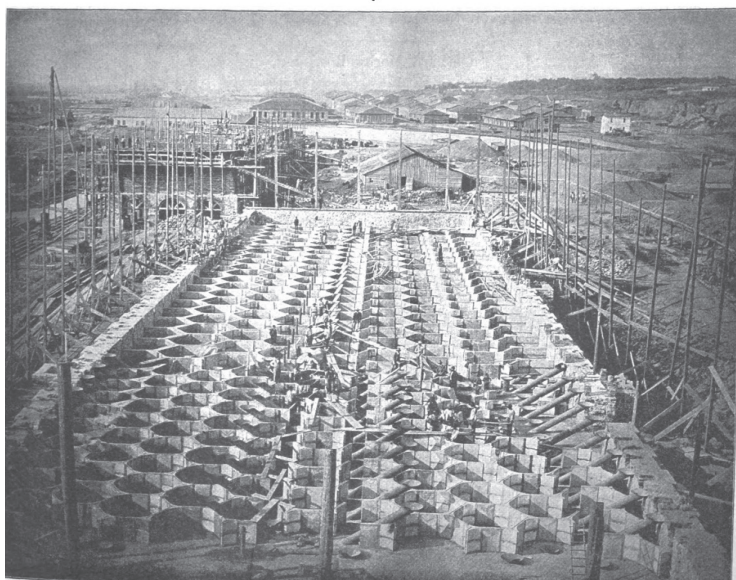


Fig. nr. 8 – Etapă intermediară a construcției silozului de cereale de la Galați (imagine din anul 1887 ce prezintă montarea primelor elemente prefabricate de beton armat ale celulelor de depozitare) [1].

Finalizarea lucrărilor și intrarea în exploatare a obiectivelor

În principal, calendarul derulării acestor mari investiții ale statului român din porturile Brăila și Galați începe în octombrie 1885 când au fost finalizate proiectele bazinelor și cheiurilor docurilor. Contractele de

execuție ale acestora s-au încheiat în mai 1886 cu antreprenorul olandez Schram Bouterse & Oringa, iar execuția lucrărilor a început în anul 1886 (la Brăila) și în anul 1887 (la Galați).

Proiectele antrepozitelor de mărfuri și silozurilor de cereale au fost finalizate în noiembrie 1886 iar execuția acestora, în regie proprie, de către Direcția Generală CFR a început în primăvara anului 1887.

Corpul inginerilor români organizat de inginerul Anghel Saligny, proiectant al obiectivelor, și director al *Serviciului Docuri și Antrepozite*, s-a remarcat prin profesionalism în asigurarea controlului calității și coordonării efective a acestor lucrări de execuție cu dificultate tehnică mare.



Fig. nr. 9 – Imagine aeriană din perioada contemporană a silozului de cereale de la Brăila [11].

Finalizarea lucrărilor pentru aceste obiective s-a realizat în anul 1891 iar în anul 1892 a avut loc inaugurarea oficială.

În acest context, inginerul Anghel Saligny a primit o reală recunoaștere a nivelului său tehnic și profesional la nivelul societății românești: la 9 mai 1890 a fost avansat inginer inspector-general clasa a II-a (conform *Regulamentului pentru organizarea corpului de ingineri civili* adoptat la 4 august 1862), în octombrie 1891 a primit o medalie oficială din partea Societății Politehnice din România pentru construcția docurilor din porturile Brăila și Galați, iar la 31 martie 1892 a fost admis ca membru corespondent al Academiei Române [13].

În anul 1890 a fost publicată lucrarea *Docurile și întreprinderile din porturile Brăila și Galați* la Tipografia Curții Regale F. Göbl Fii din București, în care se oferă o prezentare complexă și valoros documentată tehnic a acestei mari investiții a statului român.

Docurile și silozurile de cereale proiectate și construite de inginerul Anghel Saligny în porturile Brăila și Galați, au primit aprecierea unor specialiști din întreaga lume, oameni de știință și importanți proiectanți. Se remarcă în acest sens, printre altele, aprecierea fostului său profesor Ludwig Franzius (1832–1903) de la Școala Tehnică Superioară din Berlin-Charlottenburg, care la acel moment era director în cadrul portului Bremen, cu care a întreținut o bogată corespondență și un articol foarte bine documentat cu titlul *Silozurile de la Galați și Brăila* [1], [2] elaborat de inginerul C. von Arndt, publicat în anul 1892 în două numere succesive ale prestigioasei publicații științifice *Jurnalul Asociației Inginerilor Germani*.

Importanța acestor mari obiective economice executate la Brăila și Galați a condus la citarea lor în prima enciclopedie română publicată în perioada 1898–1904 la Sibiu [4], [5].

Spre exemplu, în prezentarea orașului Brăila, pe lângă planul portului și o imagine fotografică de ansamblu a docurilor, se informează că:

„Portul Brăila posedă cheuri frumoase și docuri, exact ca cele de la Galați, cu un basin, în care intră vapoarele de mare și căror le facilitează și le accelerează de minune operațiile de descărcare și încărcare. Mai sus de Brăila nu mai pot urca Dunărea vapoarele de mare, ceea ce explică aglomerația cea mare de vapoare din acest port” [4].

Referitor la prezentarea orașului Galați, se precizează, printre altele, că:

„Manoperele comerciale sunt facilitate prin construcțiunea între 1887 și 1892 a docurilor, cari sunt asemenea celor din Brăila și cuprind: a) basinul pentru încărcarea și descărcarea vaselor; b) magazia de grâne; c) magazia de mărfuri; d) atelierul de mașini cu generator de oleiuri și mișcare pentru lumina electrică și macaralele; e) hangarul de transit” [5].

Aspecte generale privind specificul amplasamentului și tipul solicitărilor exercitate în timp asupra construcțiilor

În anul 2023 se împlinesc 135 de ani de la construcția silozurilor de cereale din cele două mari porturi fluviale românești, Brăila și Galați, al căror proiect a fost elaborat de inginerul Anghel Saligny (1854–1925). În

prezent, acestea sunt deținute de operatori economici privați din România și sunt în exploatare, după cum se prezintă în Fig. nr. 9.

Pe întreaga durată de exploatare a celor două silozuri de cereale, acestea au fost supuse unui regim complex de solicitări, astfel:

- solicitări din activitatea curentă de exploatare, cu nivel înalt de repetabilitate, datorită operațiunilor tehnologice de încărcare și descărcare a cerealelor din celulele de depozitare;

- solicitări cu nivel redus și mediu de repetabilitate (acțiuni din tasarea diferențiată a fundațiilor, acțiuni seismice sau diverse acțiuni climatice).

Din punct de vedere a capacității portante a terenului de fundare, amplasamentele celor două construcții sunt semnificativ defavorabile: există formațiuni aluvionare (reprezentate de alternanțe de prafuri argiloase, argile prăfoase și diverse tipuri de nisipuri) ce prezintă compresibilitate foarte mare și sensibilitate la umezire datorită prezenței la adâncimi foarte reduse față de teren a pânzei de apă freatică ce este cantonată în aluviunile permeabile. Aceste caracteristici conduc la încadrarea terenului amplasamentelor celor două construcții în categoria terenurilor de fundare slabe, ceea ce a impus ca la proiectarea din perioada 1884–1886 să fie adoptată cea mai avantajoasă soluție de fundații, respectiv fundații indirecte de tipul piloților (din lemn de stejar) și radier general din beton.

Din punct de vedere seismic, după cum se prezintă în Fig. nr. 10, se remarcă apropierea celor două amplasamente de zona epicentrelor cutremurelor adânci (60–180 km) din zona seismică Vrancea, aceasta fiind cea mai importantă zonă seismică din România, având în vedere energia, amplitudinea efectelor seismice și caracterul persistent și limitat al cutremurelor care au loc în această zonă [16].

O analiză a frecvenței cutremurelor importante din România, începând cu anul 1888 (anul finalizării construcției silozului de la Brăila) până în prezent [18], evidențiază un număr de 46 cutremure importante (cu magnitudinea $M_w > 6,0$).

Dintre acestea, opt cutremure au avut $M_w \geq 7,0$, fiind cutremure majore: $M_w 7,0$ (în anul 1990), $M_w 7,1$ (în anii 1893, 1894, 1908 și 1986), $M_w 7,2$ (în anul 1901), $M_w 7,4$ (în anul 1977) și $M_w 7,6-7,7$ (în anul 1940).

În condițiile specificului seismic, al capacității portante și succesiunii geo-litologice a terenului de fundare în cele două amplasamente și al regimului complex de solicitări, modul de comportare în timp al construcțiilor analizate poate fi apreciat astfel:

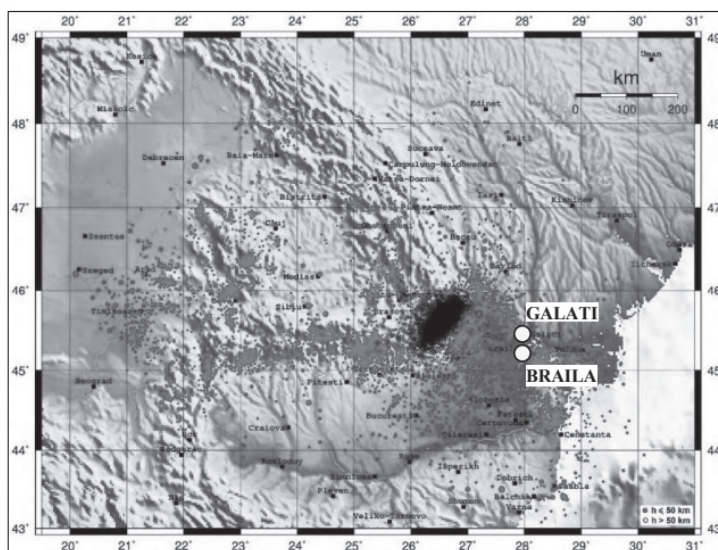


Fig. nr. 10 – Amplasamentele orașelor Brăila și Galați, în raport cu epicentrele cutremurelor crustale, de suprafață (puncte roșii) și epicentrele cutremurelor de adâncime din zona seismică Vrancea (puncte negre) [16].

– comportare foarte bună la solicitările din activitatea curentă de exploatare, respectiv operațiunile tehnologice repetitive de încărcare și descărcare a cerealelor din celulele de depozitare;

– comportare foarte bună la sollicitările seismice majore ce au avut loc în cei 135 de ani de exploatare;

– comportare bună la unele acțiuni climatice, cum ar fi ciclurile de îngheț-dezghet, care au afectat semnificativ finisajele exterioare, însă mai puțin mortarul de zidărie al pereților perimetrali de închidere.

– afectarea semnificativă a unor elemente structurale de către solicitările provenite din tasările diferențiate ale fundațiilor ce au fost cauzate de degradarea prin putrezire a unor piloți din lemn de stejar.

Aceste tasări diferențiate ale fundațiilor au condus la apariția, evoluția și dezvoltarea unor degradări majore în pereții perimetrali de închidere din zidărie de cărămidă. În acest sens, sunt reprezentative crăpăturile verticale pătrunse în grosimea peretelui masiv de închidere al fațadei de Nord de la silozul din Brăila, după cum se prezintă în Fig. nr. 11.

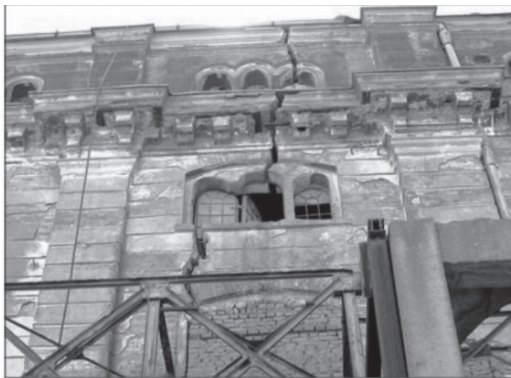


Fig. nr. 11 – Degradări sub forma unor crăpături verticale pătrunse în grosimea peretelui masiv de închidere al fațadei de nord de la silozul din Brăila, datorate tasărilor diferențiate ale fundațiilor ce s-au produs în timp [17].

Aspecte privind durabilitatea elementelor de beton armat

În general, aspectul betonului celor două tipuri de elemente prefabricate ale celulelor de depozitare ale silozurilor evidențiază o bună compactitate și omogenitate, fără defecte de turnare, ceea ce constituie elemente specifice unei execuții de bună calitate. De asemenea, cercetările vizuale efectuate nu au evidențiat fisuri deschise sau crăpături pe suprafața acestor elemente.

În schimb, datorită efectului tasărilor diferențiate ale fundațiilor și efectului complementar al acțiunilor seismice majore manifestate în îndelungata perioadă de exploatare de 135 de ani a celor două construcții, există degradări ale zonelor de conexiune dintre elementele prefabricate de beton armat ale celulelor de depozitare ale silozurilor, după cum se prezintă în Fig. nr.12 și Fig. nr. 13:

- majoritatea conexiunilor verticale dintre cele două tipuri de elemente prefabricate de beton armat (plăcile tip dală ale celei silozului și elementele de colț pentru rigidizare) prezintă fisuri și declanșare a unor crăpături cu deschidere redusă, cu expulzarea locală a stratului de beton de monolitizare pe aproape toată înălțimea celulelor, între cotele $-2,10$ m ... $+15,44$ m (însă mai bine dezvoltate și evidențiate pe zonele superioare ale înălțimii);

- unele conexiuni orizontale dintre elementele prefabricate de beton armat (în special în zona superioară a înălțimii celulelor de depozitare)

prezintă fisuri și dezvoltarea unora dintre acestea în mici crăpături, cu evoluție în general moderată precum și declanșarea procesului de expulzare locală a stratului de beton de monolitizare.

Aceste degradări ale zonelor de conexiune dintre elementele prefabricate de beton armat prezintă un grad ridicat de repetabilitate, sunt specifice îmbinărilor dintre elementele prefabricate și nu se situează la un nivel care să reprezinte un pericol pentru ansamblul structural.

Având în vedere vechimea actuală a construcțiilor și nivelul general actual al degradărilor, durabilitatea elementelor de beton armat prefabricat ale celulelor de depozitare ale silozurilor poate fi apreciată ca fiind corespunzătoare.

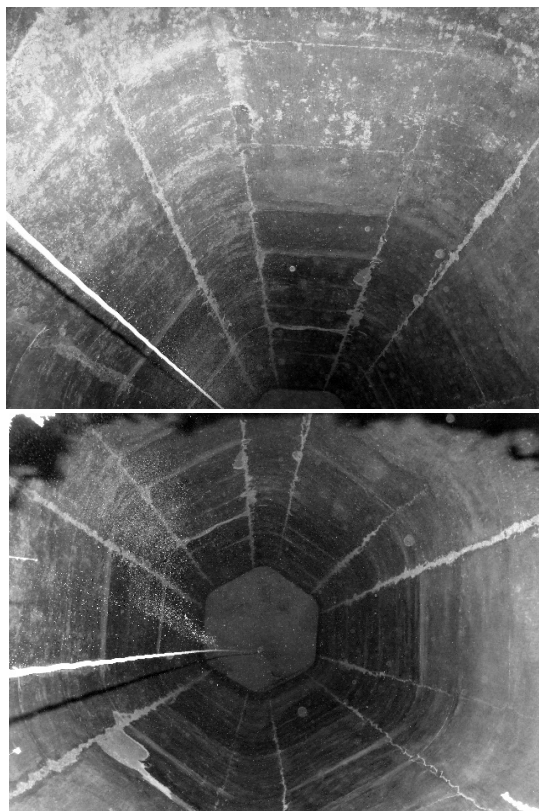


Fig. nr. 12 – Interiorul unor celule de depozitare a cerealelor în silozul de la Brăila (imagine din anul 2021).

Starea actuală de degradare de la nivelul conexiunilor verticale și orizontale dintre elemente prefabricate de beton armat [17].

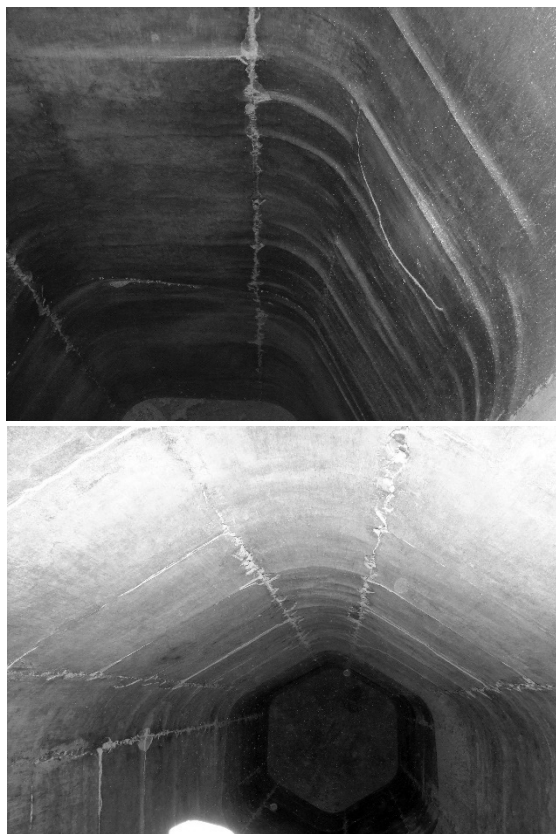


Fig. nr. 13 – Interiorul unor celule de depozitare a cerealelor în silozul de la Galați (imagine din anul 2021).

Starea actuală de degradare de la nivelul conexiunilor verticale și orizontale dintre elemente prefabricate de beton armat [17].

Concluzii

Prin noile soluții tehnice aplicate la proiectarea și execuția silozurilor de cereale în porturile Brăila (1884–1888) și Galați (1884–1889), inginerul Anghel Saligny (1854–1925) a înregistrat un succes semnificativ al tehnicii

românești în construcții. Acesta s-a evidențiat ca un important inovator, reprezentant de seamă al științei din tânărul stat român (România și-a proclamat independența de stat la 9 mai 1877, iar la 14 martie 1881 a devenit regat), fiind apreciat de specialiști din întreaga lume.

Principalele elemente de inovație tehnică, remarcabile la nivelul epocii atât la nivel național, cât și la nivel internațional, sunt următoarele:

(i) Utilizarea în premieră mondială a betonului armat la construcția silozurilor;

(ii) Utilizarea în premieră mondială a tehnologiei prefabricării pentru construcțiile de beton armat;

(iii) Utilizarea în premieră mondială a celulelor de depozitare de beton armat (din elemente prefabricate) cu secțiune hexagonală, în scopul eficientizării spațiului de depozitare;

(iv) Utilizarea în cadrul execuției a sistemului de armături sudate la montaj, cu mult timp înainte de aplicarea procedurii și în alte țări mult mai avansate tehnologic și dezvoltate economic;

(v) Silozurile de cereale din porturile Brăila și Galați sunt primele construcții din România la care a fost utilizat betonul armat.

Soluția structurală adoptată pentru aceste construcții și-a dovedit pe deplin eficiența conceptuală având o comportare foarte bună la cele 8 solicitări seismice majore (cu magnitudinea $M_w \geq 7,0$) ce s-au manifestat într-o perioadă de exploatare de 135 de ani, în condițiile amplasării pe un teren slab de fundare, de tip aluvionar. De asemenea, s-a remarcat o foarte bună comportare a acestor construcții la solicitările din activitatea curentă de exploatare precum și la solicitările din diversele acțiuni climatice.

Silozurile de cereale proiectate și construite de inginerul Anghel Saligny în porturile Brăila (1884–1888) și Galați (1884–1889) sunt în exploatare și în momentul existent. Acestea sunt construcții ingineresti reprezentative ale țării, fiind încadrate ca monumente de arhitectură conform Listei monumentelor istorice din România, având pozițiile BR-II-m-B-02061 și respectiv GL-II-m-B-03052.

În anul 2023 se împlinesc 135 de ani de la construcția silozurilor de cereale din cele două mari porturi fluviale românești, valoroase realizări tehnice ale inginerului Anghel Saligny. Acestea reprezintă, cu certitudine, un model real de excelență inginerască de la sfârșitul secolului al XIX-lea ce merită să fie mult mai bine cunoscut, atât în România cât și la nivel internațional.

Bibliografie:

- [1] von Arndt, C. (1892). *Die Silospeicher von Galatz und Braila*, Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure, 34, Berlin, pp. 973–978.
- [2] von Arndt, C. (1892). *Die Silospeicher von Galatz und Braila*, Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure, 35, Berlin, pp. 1005–1009.
- [3] Constantinescu, Dinu-Teodor (1989). *Construcții monumentale*, Editura Științifică și Enciclopedică, București, p. 195.
- [4] Diaconovich, Constantin (1898). *Enciclopedia Română, Tomul I*, Editura și tiparul lui W. Krafft, Sibiu, pp. 560–563.
- [5] Diaconovich, Constantin (1900). *Enciclopedia Română, Tomul II*, Editura și tiparul lui W. Krafft, Sibiu, pp. 492–494.
- [6] Duca, Gheorghe (1885). *Magasinele de sistem american pentru păstrarea grânelor I*, Buletinul Societății Politecnice din România, 1, București, pp. 44–74, 82.
- [7] Duca, Gheorghe (1885). *Magasinele de sistem american pentru păstrarea grânelor II*, Buletinul Societății Politecnice din România, 2, București, pp. 109–120.
- [8] von Emperger, F. (1913). *Handbuch für Eisenbetonbau, Zwölfter Band, Silos: Landwirtschaftliche Bauten*, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, pp. 108, 110, 124, 171–172, 187, 194.
- [9] Ioanovici, Aurel (1931). *Istoricul dezvoltării tehnice a betonului armat în România*, Buletinul Societății Politecnice din România, 1 (Istoricul dezvoltării tehnice în România. Istoricul Societății Politecnice, Științe pure și aplicate, Arhitectură, Lucrări publice), București, p. 1215.
- [10] Mihăiță, Mihai, Olteneanu, Mihai (2005). *Pagini din istoria învățământului românesc și asociațiilor ingineresti din România. Ingineri români din trecut mari personalități. Schițe biografice*, Editura AGIR, București, p. 228.
- [11] Munteanu, Ioan (2013). *Portul Brăila – Mărire și decădere*, Editura Proilavia, Brăila, p. 230.
- [12] Platon, Gheorghe (coord.) (2003). *Istoria Românilor*, vol. VII, tom II, Editura Enciclopedică, București, pp. 87–88.
- [13] Rusu, Dorina (2003). *Membrii Academiei Române 1866–2003. Dicționar*, ediția a III-a, Editura Enciclopedică / Editura Academiei Române, București, p. 743.
- [14] Saligny, Anghel (1890). *Docurile și întreprinderile din porturile Brăila și Galați*, Buletinul Societății Politecnice din România, 1 (text), București, pp. 72–91.
- [15] Saligny, Anghel (1890). *Docurile și întreprinderile din porturile Brăila și Galați*, Buletinul Societății Politecnice din România, 2 (atlas), București, planșele 1–7.
- [16] ***, Catalog ROMPLUS, Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizica Pământului.
- [17] ***, Arhiva fotografică a autorului.
- [18] ***, https://ro.wikipedia.org/wiki/Listă_de_cutremure_în_România [8 ian. 2023].