

# **ANALIZA UNUI ACCIDENT SURVENIT LA O INCINTA DE SUSTINERE A UNEI EXCAVAȚII DE ADÂNCIME MEDIE**

COMAN Mădalin<sup>1)</sup>, MANOLE Daniela<sup>1)</sup>  
MARCU Anatolie<sup>2)</sup>  
SAIDEL Tudor<sup>3)</sup>

## **REZUMAT**

Se prezintă cazul unei incinte din piloți foraj, realizați cu interspații, proiectată pentru susținerea pereților verticali ai unei excavații cu adâncimea de 8,60m, în terenuri coezive, deasupra nivelului hidrostatic. Realizarea, fara informarea proiectantului, a unei tranșee adânci, alaturate incintei, umpluta cu material necoeziv în care s-a acumulat apa provenită din surse de suprafața, a cauzat, pe una din laturi, cedarea peretelui de susținere, în faza în care acesta a devenit etanș (prin aplicarea izolației verticale). Se analizează cauzele accidentului și modul de remediere.

## **1.GENERALITAȚI**

Prezenta comunicare urmărește o analiză din punct de vedere tehnic asupra unui accident în construcții și totodată se prezintă desfășuratorul acțiunilor și cauzele posibile.

S-a întocmit o documentație pentru realizarea unei incinte de piloți de susținere a unei excavații necesare realizării infrastructurii unui imobil cu destinația birouri având un regim de două subsoluri, parter și șase etaje, situat pe strada G. Constantinescu nr. 2-4, București (Fig.1)

Infrastructura construcției este formată din pereți din beton armat, perimetrali și interiori pe ambele direcții dezvoltate pe înălțimea celor două subsoluri și radier general cu grosimea de 70cm, cota de fundare fiind -8.65 raportată la cota ±0.00, care cotă este aproximativ egală cu cea a terenului neamenajat.

---

<sup>1)</sup> -Ingineri, SC Popp&Asociații, București

<sup>2)</sup> -Profesor, doctor –inginer, Universitatea Tehnică de Construcții București

<sup>3)</sup> -Inginer, SC Popp&Asociații- Inginerie Geotehnică, București

Excavația generală va avea dimensiunile în plan de aproximativ 36mx51m ocupând aproape în totalitate suprafața aflată în posesia beneficiarului urmând ca piloții să fie executați în interiorul limitei de proprietate.

Incinta de piloți avea rolul de a proteja săpătura necesară realizării infrastructurii construcției mai sus menționate, dar și pentru protejarea proprietăților și clădirilor învecinate.

Soluția de sprijinire a rezultat în final, ca fiind alcătuită, din piloți cu diametrul de 62cm din beton armat de clasa C16/20 iar la interior incinta de piloți s-a constituit în suport pentru hidroizolație prin intermediul unei tencuieli armate cu plasă  $\Phi 4/100/100$  și mortar M25, tencuiala care a jucat ulterior un rol important în inițierea evenimentelor.

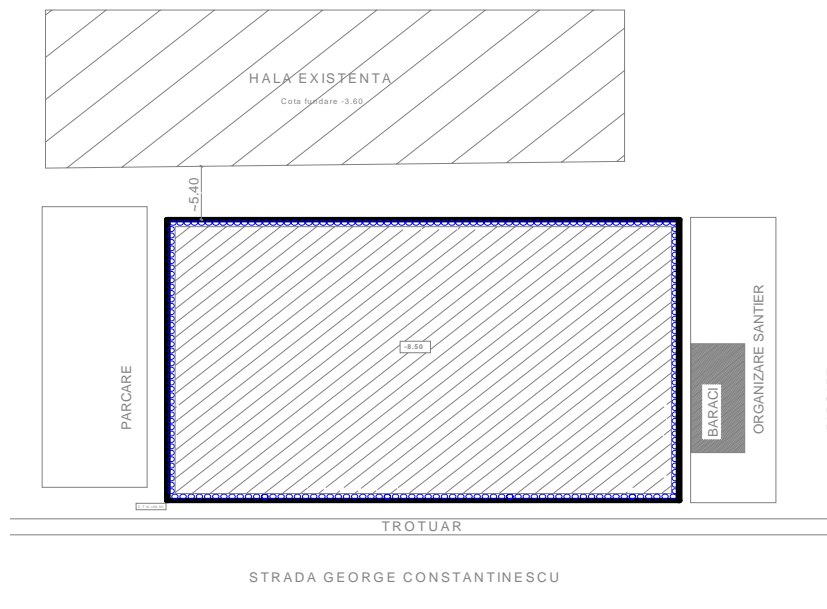


Fig. 1 – Amplasarea incintei

## 2.CONDIȚIILE GEOTEHNICE ȘI DE AMPLASAMENT

Nivelul hidrostatic a fost menționat în studiul geotehnic ca fiind la -10.00m, față de cota terenului natural, în straturile de nisip unde apa este aflată sub presiune, și s-a stabilizat la adâncimea de 8m. S-a luat în considerare faptul că stratificația terenului este valabilă pe tot amplasamentul ca fiind rezultat al studiului geotehnic și anume: un strat de 3m grosime de umplutură coezivă, de la această umplutură până la 10m adâncime există un pachet de straturi coezive – argile plastic coezive și vârtoase, iar în continuare straturi necoezive. Se constată faptul că există o situație geotehnică favorabilă datorată pachetului coeziv cu o înălțime mai mare decât adâncimea săpăturii și nu în ultimul rând lipsa apei pe adâncimea de excavare. (Fig. 2)

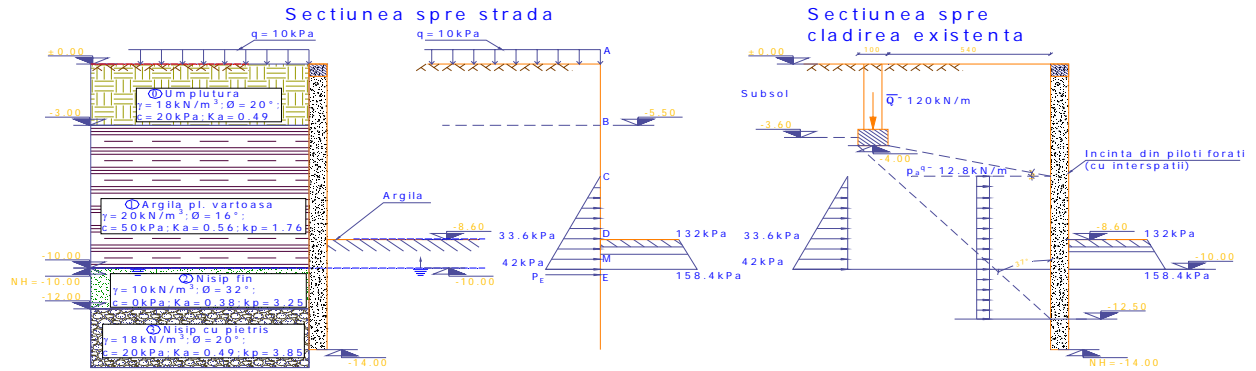


Fig. 2-Schema de calcul a peretelui și verificarea eforturilor în piloți

Moment încovoietor de calcul  $M = nxM_{max} = 1.2 \times 90 = 108 \text{ kNm/m}$

Momentul capabil al pilotului  $M_{cap} = 127 \text{ kNm}$

Moment capabil al peretelui  $M = 127 \times 1 / 0.70 = 181 \text{ kNm/m}$

Vecinătățile viitoarei construcții sunt reprezentate de o clădire cu regim de înălțime S+P+2E, ultimul etaj fiind retras. Structura de rezistență a acestui corp de clădire industrial era alcătuită din cadre din beton armat și ziduri de cărămidă de umplură și se află la cca. 5.40m față de limita de proprietate. Cota de fundare față de nivelul terenului era la cel puțin -3.60m iar greutatea clădirii inducea o suprasarcină liniară distribuită de cca. 120 KN/m. Pe latura paralelă cu clădirea se află strada George Constantinescu cu 2 benzi de circulație auto pentru fiecare sens și trotuar pietonal de cca. 2m lățime, iar pe celelalte două laturi în planul urbanistic de detaliu (PUD) sunt indicate spații destinate parcarilor ceea ce se confirmă parțial cu situația reală de pe teren excepție făcând doar organizarea de șantier proprie formată din containere cu destinație birouri situată pe latura din dreapta (Fig. 1) care nu depășea ca încărcare pe cea cu destinația de parcare. Pentru toate aceste trei laturi s-a considerat o suprasarcină datorată greutății autovehiculelor aflate pe carosabil sau în parcarile adiacente proprietății de 10kN/mp.

La baza evaluării încărcărilor au stat deasemenea și planurile de rețele edilitare care indicau trasee minore cu adâncimi maxime de 1.50m aparținând regiilor autonome: apă, canal și gaze precum și un cablu-magistrală aparținând societății Romtelecom, poziționate de-a lungul străzii G. Constantinescu în zona carosabilă.

Conform unei cereri exprese a beneficiarului, în scopul facilitării montării hidroizolației, de a executa pereții mulați fără etapizări (impuse de eventualele șpraițuri și filate) s-a adoptat schema statică de perete încastrat în bază, fără șpraițuri la partea superioară.

Pentru asigurarea mobilizării împingerii pasive a pământului pilotul a fost încastrat 5.50m în pământ față de cota generală a săpăturii radierului.

Astfel, lungimea piloților rezultată din calcul a fost de 14m ajungând într-un strat de nisip cafeniu mediu spre mare, cu rar pietriș, în stare îndesată.

Distanța între piloții având diametrul de 62cm, s-a prevăzut de 80cm interax pe cele trei laturi cu destinații parcări sau circulație auto (laturile paralele cu axele 1',6 ,si A') iar pe latura adiacentă cu o hală industrială (din axul D') au fost prevăzuți piloți la pas de 70 cm pentru o mai bună protecție a vecinătății.

La capătul superior piloții au fost încastrați într-o grindă de coronament cu dimensiunile de 65x70cm. Grinda de coronament în acest caz a avut rolul de a realiza o redistribuire a eforturilor precum și de a uniformiza valorile deplasărilor.

### 3.DESCRIEREA EVENIMENTELOR

În perioada dintre redactarea și predarea proiectului până la debutarea lucrărilor pe proprietatea în cauză, s-au făcut modificări majore în ceea ce privește rețeaua de apă și canal pe strada G. Constantinescu și anume: de-a lungul străzii, în dreptul proprietății analizate, în zona carosabilă s-a introdus o magistrală de apă și canal cu dimensiunile de  $\varnothing 1000\text{mm}$  la adâncimea de 5.40.

În același timp în zona carosabilă, așa cum am mai menționat, exista un cablu magistrală al societății de telefonie care până în dreptul proprietății era protejat într-o conductă PVC,  $\varnothing 300\text{mm}$ , urmând ca în continuare până la urmatorul cămin de telefonie, cablul să fie îngropat direct în pământ, neprotejat.

Umplutura peste rețelele de canalizare s-a realizat cu material eterogen, un amestec de argilă locală cu pământuri necoezive granulare, modificându-se astfel condițiile geotehnice inițiale. Peste umplutură s-a realizat stratul suport, pentru mixtura asfaltică, din beton simplu în grosime de 20cm. Cota superioară a gurilor de canalizare (gaigărelor) era poziționată cu 20cm mai sus față de nivelul betonului carosabil, probabil la nivelul pachetului asfaltic ce urma să fie aplicat în viitor, nepermițând evacuarea apelor pluviale staționate pe carosabil (Fig. 3).



Fig. 3



Fig. 4

Totodata sub zona trotuarului în apropierea limitei de proprietate nu era prevăzută dală de beton precum în zona carosabilă.

În descrierea de mai sus au fost prezentate toate acele detalii care au avut importanță, mai mult sau mai puțin, în producerea accidentului.

În continuare s-a început execuția incintei de piloți, grinda de coronament și excavația în conformitate cu cele stabilite în proiect. Odată cu coborârea cotei de săpătură, coroborat cu informațiile din timpul forării piloților, s-au confirmat toate datele geotehnice din studiul de amplasament cu privire la grosimea pachetelor de pământuri și totodată referitor la nivelul hidrostatic.

După ce s-a atins cota maximă de fundare s-a realizat o egalizare din beton armat pe toată suprafața subsolului, în grosime de 10cm.

Au urmat în continuare lucrări de tencuire și aplicare a hidroizolației pe pereții verticali ai incintei în sistem carton bituminat protejat de o folie cauciucată la interfața cu viitorul perete de beton armat al infrastructurii (Fig. 4)

Pe limita de proprietate cu strada G. Constantinescu în zona organizării de șantier, încă de la începutul lucrării, a fost instalată o cișmea de apă potabilă care deservea personalul angajat utilizată în special pentru curățarea echipamentelor. Apa menajeră rezultată în cantități relativ mici se infiltra în spatele frontului de piloți prin zona nebetonată dintre carosabil și piloți.

Acestea erau, stadiul lucrărilor și starea de fapt, în șantier la data de 26-08-2007 când, după o perioadă îndelungată cu temperaturi ridicate, au urmat precipitații consistente cu intervale alternante de intensificări mari și medii. Încă de la primele ore ale dimineții cantitatea de apă meteorică a acoperit întreg carosabilul și a stagnat pe această zonă fără ca sistemul de colectare să poată prelua această apă datorită cotelor de nivel ale gurilor de canal mult mai ridicate față de nivelul străzii (Fig. 5 și 6). Pe tot parcursul zilei apa se drena în mod natural prin zona nebetonată între carosabil și frontul de piloți saturând straturile necoezive ale umpluturii care avea o grosime de 5,40m.

În perioadele de acalmie, între aversele puternice, personalul angajat care se afla în interiorul incintei a observat umflarea tencuielii armate, aplicată pe piloți, pe toată latura dinspre zona carosabilă și pe toată înălțimea incintei. Fără a înțelege pericolul în care se aflau și fără să informeze responsabilii de șantier asupra schimbărilor survenite, muncitorii au perforat hidroizolația cu rotopercutanta și au observat jetul care arunca apa la câțiva metri depărtare de piloți cu presiune mare, dedusă ulterior ca fiind de cca 6m coloană de apă.

Conform informațiilor INMH cantitatea de precipitații căzută pe parcursul zilei a fost de 18l/mp în timpul zilei și încă 10l/mp în timpul nopții de 27.08.2007 cu o intensificare maximă între orele 01-02 când s-au măsurat 5l/mp.



Fig. 5- Apă staționată pe stradă



Fig. 6- Apă staționată pe stradă

Cantitatea mare de precipitații pe o perioadă foarte scurtă a condus la acumularea pe suprafața terenului a unei cantități foarte mari de apă culminând cu inundarea unor subsoluri ale clădirilor vecine. Pe timpul serii în încercarea de a evacua apa din subsoluri, singura canalizare aparent funcțională era aceea a societății de telecomunicații, care avea drept scop acela de acces service, transformată ad-hoc în deversor ape. Această situație a cântărit greu în derularea nefastă a evenimentelor ulterioare prin faptul că prin acest „nou” sistem de canalizare se pompa apă, sub presiune, în pachetul de umplutură în zona unde conducta de protecție cablu era întreruptă.

Inexistența unui sistem real de colectare și evacuare a apelor a condus la impregnarea cu apă a stratului de umplutură, practic până la saturare.

La orele 2 în noaptea de 26/27-08-2007 s-a produs un zgomot intens, iar în intervalul 3.15-3.30 peretele incintei adiacent străzii a cedat pe o lungime de 30m. Peretele inițial s-a deformat vizibil în 15 minute, cu cedări ale hidroizolației și scurgerea apei cantonată în spatele piloților, după care a urmat o cedare bruscă prin bascularea piloților în interiorul incintei, formându-se totodată un taluz natural din pământul de umplutură aflat sub carosabil. Terenul de sub zona de trotuar și o bandă de circulație auto a fost deplasat afectându-se astfel și rețeaua de utilități (Fig. 7, Fig. 8, Fig. 10).



Fig. 7- Sistemul rutier distrus



Fig. 8- Rețele utilitare deteriorate

Investigațiile imediat următoare au pus în evidență faptul că la o serie de piloți carcasa de armătură erau deplasate în corpul pilotului datorită lipsei distanțierilor afectându-le astfel capacitatea de rezistență (Fig.11). Deasemenea câteva coloane aveau betonul alterat sau prezentau cavități mari în masa betonului la capătul superior al acestora. La momentul realizării grinzii de coronament aceste zone nu au fost refăcute nerealizându-se astfel rezemarea tuturor piloților în grinda de coronament.



Fig. 9-Armături smulse din grinda de coronament



Fig. 10-Sistemul rutier distrus si căminul canalizării

Toate abaterile constatate la investigațiile post eveniment, apa acumulată în spatele piloților din cișmeaua organizării de șantier, sistemul de hidroizolare ce nu a permis drenarea apei și-au însumat efectele și au „consumat” coeficienții de siguranță.



Fig. 11- Pilot nebetonat complet

Prin căderea bruscă a volumului mare de pământ a fost provocată o undă seismică care s-a resimțit la câteva străzi depărtate, imprimând celorlalte trei laturi un șoc, punând astfel la încercare și capacitatea piloților respectivi. Buna comportare a celor trei laturi s-a constituit în dovada unui calcul adecvat.

Grinda de coronament s-a dovedit în acest caz nu un element dimensionat dintr-o necesitate ci mai degrabă un element de siguranță. În cazul în care evenimentul avea loc în timpul unei perioade de lucru intens, timp de 15 minute, din momentul primelor semne de cedare până la cedarea propriuzisă, se puteau constitui în intervalul de timp suficient evacuării personalului angajat. Cedarea frontului de piloți s-a produs în dreptul îmbinării armăturilor din grinda de coronament (Fig.12 și 13). Prin pierderea aderenței acestea au fost smulse practic din betonul fisurat. Considerăm că se impune, la proiectarea unor astfel de elemente, sudarea a cel puțin jumătate din barele orizontale în dreptul îmbinării sau cel puțin să respecte o suprapunere de 60d.



Fig. 12



Armătura longitudinală smulsă din masa de beton a grinzii

Fig. 13

#### 4.REABILITARE INCINTA

Încă din dimineața zilei de 27-08-2007 s-au luat multiple și majore măsuri de stopare a procesului de degradare și instabilitate, prin devierea apelor de pe carosabil la colectoarele existente, realizarea unui stăvilă în calea apelor, protejarea taluzului instabil împotriva



saturării cu apa prin acoperirea cu folie a întregii zone(Fig.14), realizarea unor berme de nisip cu rol de contrafort în zona laturilor instabile(Fig.15), întrerupererea funcționării rețelelor edilitare și asigurarea stabilității acestora, etc.



Fig. 14

Fig. 15

Odată ce fenomenul a fost stabilizat, în baza unui proiect de intervenție, s-a trecut la reabilitarea propriuzisă a frontului de incintă afectat. Trebuie menționat faptul că societatea care executa lucrările de structură era specializată și pe lucrări de infrastructură și tuneluri ceea ce a adus un plus de siguranță și confort proiectantului și beneficiarului deopotrivă.

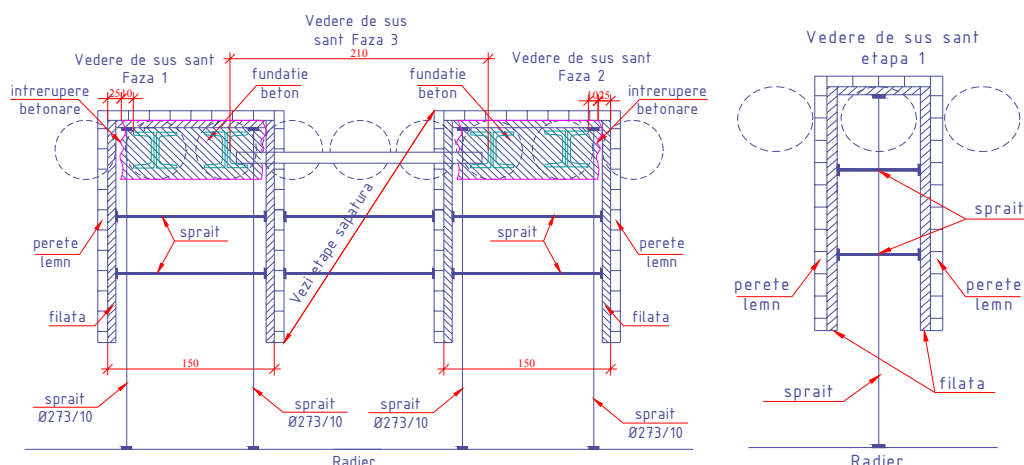


Fig. 16 -Schița etapizării sapatirii în tranșee

Tehnologia aleasă pentru intervenție a fost specifică lucrărilor de infrastructură și, prin realizarea unor tranșee înguste până la limita incintei cu ajutorul sprijinirilor temporare din lemn și profilele metalice. În momentul atingerii limitei de proprietate se proceda la degajarea restului de pilot și se executa o fundație ancorată în armăturile tronsonului de pilot rămas sub cota -8.50m. Fundația izolată cuprindea la partea superioară un profil metalic care urma să fie utilizat pentru sprijinirea generală, metodă identică cu cea cunoscută sub numele de BERLINEZĂ. Ulterior s-a procedat la o lărgire a tranșeei.( Fig. 16,17,18)

În continuare se realizau tranșee, suficient de depărtate una de alta, pentru a menține taluzul într-o poziție stabilă, metodă utilizată în mod frecvent în cazul subzidirilor.

Cu ajutorul sprijinirilor temporare în tehnologia mai sus menționată s-a reușit realizarea radierului și a peretelui perimetral în zona centrală iar planșeul de beton armat de peste subsolul 2 s-a realizat în totalitate chiar și în zonele de colț unde piloții au rămas pe poziție dar cu deformații remanente mari.



Fig. 17



Fig. 18

Piloții afectați fiind astfel sprijiniți la nivelul planșeului s-a intervenit la baza acestora pentru întregirea peretelui perimetral. Astfel prin tehnologia aleasă și profesionalismul executantului s-a reușit reabilitarea structurii, incintei, rețelelor și a sistemului rutier fără să se înregistreze alte pagube materiale.

În urma unor astfel de evenimente trebuie însușite unele învățăminte, așa cum spunea Karl Terzaghi, inginerul are de „...plătit o parte din greul preț al uceniciei pe care-l cere natura pentru progresul în domeniul construcției...”

În nenumărate rânduri ne confruntăm cu planuri de rețele edilitare neadaptate la situația reală din teren sau sisteme de canalizare nefuncționale. În aceste situații ori Primăria preia răspunderea pentru informațiile furnizate, ori inginerii, pe cheltuiala beneficiarilor, trebuie să accepte suplimentarea coeficienților de siguranță la dimensionarea lucrărilor în vecinătatea domeniului public.

## **CASE STUDY OF THE FAILURE OF A CANTILEVER SOLDIER PILE WALL FOR A MEDIUM DEEP EXCAVATION**

**ABSTRACT:** A case study of a cantilever soldier pile wall designed to retain a vertical 8.60m deep excavation in cohesive soils above ground water level is presented. The execution, without informing the precinct's designer, to relocate a sewage channel of 4 to 5m deep trench close to one side of the pile wall was opened and filled back with uncohesive material. In this material, the surface water infiltrated, which caused the failure of the retaining wall along that side, in the phase when this became watertight (after the water insulation coating was applied on the inner side of the excavated wall). The causes and the remedial works of the failure are analysed.