

ACȚIUNEA APEI ASUPRA DIGURILOR ȘI BARAJELOR DIN PĂMÂNT ȘI ANROCAMENTE

Din experiența română și americană a autorului

VLAD PERLEA

**ACȚIUNEA APEI ASUPRA DIGURILOR ȘI
BARAJELOR DIN PĂMÂNT ȘI ANROCAMENTE**

Din experiența română și americană a autorului



**EDITURA UNIVERSITARĂ
București**

Redactor: Gheorghe Iovan
Tehnoredactor: Ameluța Vișan
Coperta: Monica Balaban

Editură recunoscută de Consiliul Național al Cercetării Științifice (C.N.C.S.) și inclusă de Consiliul Național de Atestare a Titlurilor, Diplomelor și Certificatelor Universitare (C.N.A.T.D.C.U.) în categoria editurilor de prestigiu recunoscut.

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României
PERLEA, VLAD

**Acțiunea apei asupra digurilor și barajelor din pământ
și anrocamente : din experiența română și americană a
autorului / Vlad Perlea. - București : Editura Universitară, 2023**

Conține bibliografie
ISBN 978-606-28-1603-2

556

DOI: (Digital Object Identifier): 10.5682/9786062816032

© Toate drepturile asupra acestei lucrări sunt rezervate, nicio parte din această lucrare nu poate fi copiată fără acordul Editurii Universitare

Copyright © 2023
Editura Universitară
Editor: Vasile Muscalu
B-dul. N. Bălcescu nr. 27-33, Sector 1, București
Tel.: 021.315.32.47
www.editurauniversitara.ro
e-mail: redactia@editurauniversitara.ro

Distribuție: tel.: 021.315.32.47/ 0745 200 718/ 0745 200 357
comenzi@editurauniversitara.ro
www.editurauniversitara.ro

CUPRINS

| | | |
|----------|---|----|
| 1 | Cuvânt înainte..... | 9 |
| 2 | Consecințele posibile ale infiltrațiilor necontrolate (Cazuri celebre)..... | 13 |
| 2.1. | Diguri (Olanda, New Orleans)..... | 13 |
| 2.2. | Baraje din pământ (Baldwin Hills, Teton)..... | 16 |
| 2.3. | Halde din deșeuri (Certej-Săcărâmb, Buffalo Creek)..... | 21 |
| 3 | Consecințele acțiunii seismice asupra depozitelor din pământ saturate..... | 25 |
| 3.1. | Diguri..... | 25 |
| 3.2. | Baraje din pământ..... | 31 |
| 3.3. | Halde din deșeuri..... | 34 |
| 4 | Reamintirea unor noțiuni din teoria infiltrațiilor..... | 37 |
| 4.1. | Permeabilitate..... | 37 |
| 4.2. | Legea lui Darcy..... | 37 |
| 4.3. | Curgerea apei prin pământ și interacțiunea ei cu scheletul solid..... | 43 |
| 4.4. | Forțe generate de infiltrații..... | 47 |
| 4.5. | Controlul infiltrațiilor..... | 48 |
| 4.5.1. | Filtre și drenuri..... | 48 |
| 4.5.2. | Puțuri autodescărcătoare..... | 51 |
| 5 | Creșterea presiunii apei din pori în condiții statice sau urma acțiunii seismice..... | 55 |
| 5.1. | Bazele teoretice ale lichefierii spontane (în condiții statice)..... | 55 |
| 5.2. | Comportarea nisipurilor saturate sub încărcarea ciclică..... | 59 |
| 5.2.1. | Încărcarea ciclică drenată..... | 59 |
| 5.2.2. | Încărcarea ciclică nedrenată..... | 61 |
| 5.3. | Răspunsul presiunii apei din pori la încărcarea ciclică..... | 62 |
| 5.4. | Factori intrinseci care condiționează sensibilitatea la lichefiere..... | 63 |
| 5.4.1. | Compoziția granulometrică și forma particulelor..... | 64 |
| 5.4.2. | Caracteristici de stare a pământului în depozit..... | 66 |
| 5.4.2.1. | Starea de îndesare..... | 66 |
| 5.4.2.2. | Starea de umiditate și condițiile de drenare ale stratului lichefiabil în depozit..... | 67 |
| 5.4.2.3. | Starea de eforturi în masiv și istoricul eforturilor..... | 68 |
| 5.4.2.4. | Anizotropia stării de eforturi și eforturi unitare de forfecare inițiale (statice)..... | 70 |

| | |
|---|-----|
| 5.4.2.5. Istoricul seismic..... | 73 |
| 5.4.3. Factori geologici..... | 75 |
| 5.4.4. Criteriu empiric (estimativ) de apreciere a susceptibilității la lichefiere .. | 76 |
| 5.5. Sunt pământurile coezive lichefiabile? | 76 |
| 5.5.1. Cazuri de lichefiere a unor pământuri coezive..... | 78 |
| 5.5.2. Caracteristicile fizice ale pământurilor coezive lichefiabile. | 80 |
| 5.6. Calculul simplificat al lichefiabilității pământurilor | 82 |
| 5.6.1. Coeficientul de siguranță la lichefiere..... | 82 |
| 5.6.2. Estimarea eforturilor de forfecare ciclice induse de cutremur. | 82 |
| 5.6.3. Evaluarea rezistenței la lichefiere a pământurilor nisipoase. | 85 |
| 5.6.3.1. Folosirea rezultatelor penetrării dinamice standard, SPT. | 85 |
| 5.6.3.2. Folosirea rezultatelor penetrării statice cu con, CPT. | 86 |
| 5.6.3.3. Factorul de corecție pentru magnitudine | 87 |
| 5.6.3.4. Factorul de corecție pentru eforturi mari. | 87 |
| 5.6.3.5. Factorul de corecție pentru eforturi de forfecare statice | 87 |
| 5.7. Presiunea apei din pori în exces corespunzătoare diverșilor coeficienți de siguranță la lichefiere | 88 |
| 5.8. Evaluarea rezistenței la solicitări ciclice a pământurilor coezive | 90 |
| 5.9. Rezistența reziduală | 92 |
| 5.9.1. Consecințele lichefierii – considerații generale. | 92 |
| 5.9.2. Rezistența la eforturi tangențiale a materialului lichefiat..... | 92 |
| 5.9.3. Evaluarea rezistenței reziduale a pământurilor nisipoase. | 93 |
| 5.9.4. Evaluarea rezistenței reziduale a pământurilor argiloase..... | 94 |
| 6 Moduri posibile de cedare și probabilitatea lor. | 95 |
| 6.1. Eroziunea externă..... | 95 |
| 6.1.1. Exemplu de eroziune externă în roci sedimentare și studiul ei..... | 96 |
| 6.1.2. Exemplu de eroziune externă în rocă eruptivă alterată. | 100 |
| 6.2. Eroziunea internă..... | 105 |
| 6.2.1. Fazele cedării..... | 108 |
| 6.2.2. Căi posibile de eroziune internă. | 109 |
| 6.2.3. Inițierea eroziunii interne | 115 |
| 6.2.4. Continuarea eroziunii interne | 116 |
| 6.2.5. Progresarea eroziunii interne | 116 |
| 6.2.6. Formarea unei breșe | 117 |
| 6.2.7. Detectarea eroziunii, intervenție și reparare | 117 |
| 6.3. Cedarea prin acțiunea subpresiunii | 117 |
| 6.3.1. Considerații teoretice..... | 117 |
| 6.3.2. Caz neobișnuit de cedare prin subpresiune | 119 |
| 6.4. Cedarea prin lichefiere spontană (în condiții statice)..... | 120 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 6.4.1. | Iazuri de decantare a deșeurilor din industria minieră. | 120 |
| 6.4.2. | Proprietățile geotehnice ale materialelor depozitate prin depunere hidraulică. | 123 |
| 6,4.3. | Analiza stabilității depozitelor realizate prin depunere hidraulică. | 126 |
| 6.4.4. | Evaluarea stabilității depozitelor de deșeuri din industria minieră a cărbunelui. | 130 |
| 6.5. | Acțiunea combinată a apei din pori și a solicitărilor dinamice de tip seismic..... | 131 |
| 6.5.1. | Caz celebru de cedare prin lichefiere. | 131 |
| 6.5.2. | Cazuri neobișnuite de efecte ale cutremurelor asupra depozitelor de pământ saturate..... | 132 |
| 7 | Modelarea numerică a deformației barajelor din pământ în urma acțiunii combinate a apei și a solicitării seismice. | 135 |
| 7.1. | Analiza cedării barajului San Fernando Aval din California..... | 135 |
| 7.1.1. | Analiza inițială. | 135 |
| 7.1.2. | Modelarea cu programul de calcul FLAC..... | 135 |
| 7.2. | Analiza deformării seismice a barajului San Fernando Amonte..... | 137 |
| 7.2.1. | Barajul înainte de cutremurul din 1971..... | 137 |
| 7.2.2. | Comportarea barajului în timpul cutremurului din 1971. | 137 |
| 7.2.3. | Modelarea matematică a comportării barajului..... | 138 |
| 7.2.3.1. | Solicitarea dinamică. | 138 |
| 7.2.3.2. | Secțiunea de calcul..... | 139 |
| 7.2.3.3. | Ipoteze de calcul. | 139 |
| 7.2.3.4. | Rezultate..... | 140 |
| 7.3. | Studiul de caz al barajului Tuttle Creek din Kansas..... | 143 |
| 7.3.1. | Evaluarea deformației cu programul DYNAFLOW. | 144 |
| 7.3.2. | Evaluarea deformației cu programul TARA-3..... | 145 |
| 7.3.3. | Modelarea comportării dinamice a barajelor de pământ cu FLAC..... | 147 |
| 7.4. | Studiile de caz ale două baraje din California..... | 148 |
| 7.4.1. | Modelarea comportării diverselor materiale pămâtoase. | 150 |
| 7.4.2. | Simularea istoricului încărcărilor înainte de solicitarea seismică. | 151 |
| 7.4.3. | Rezultatele analizei barajului Success. | 152 |
| 7.4.4. | Rezultatele analizei barajului auxiliar Isabella..... | 154 |
| 7.5. | Aplicații ale modelării deformației seismice a barajelor din pământ..... | 160 |
| 7.5.1. | Evaluarea siguranței barajelor în exploatare. | 160 |
| 7.5.1.1. | Evaluarea inițială. | 162 |
| 7.5.1.2. | Metode simplificate. | 165 |
| 7.5.1.3. | Metode de echilibru limită pentru condiția după cutremur. | 169 |
| 7.5.1.4. | Metode avansate..... | 169 |
| 7.5.2. | Proiectarea soluțiilor de remediere..... | 170 |
| 7.5.3. | Analiza de risc..... | 172 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 8 | Managementul riscului..... | 173 |
| 8.1. | Necesitatea analizei de risc | 173 |
| 8.2. | Siguranța barajelor existente | 173 |
| 8.3. | Considerații teoretice | 176 |
| 8.3.1. | Istoric și definiții. | 176 |
| 8.3.2. | Sistemul de clasificare a activităților pentru asigurarea siguranței barajelor..... | 178 |
| 8.3.3. | Portofoliul de gestionare a riscului în siguranța barajelor din S.U.A. | 180 |
| 8.3.4. | Inspecții. | 181 |
| 8.4. | Studii de caz | 188 |
| 8.4.1 | Barajul Tuttle Creek din Kansas | 188 |
| 8.4.1.1. | Seismicitatea zonei unde este amplasat barajul. | 189 |
| 8.4.1.2. | Caracterizarea lichefiabilității pământurilor din teren și baraj.... | 194 |
| 8.4.1.3. | Evaluarea deformației seismice posibile a barajului neconsolidat. | 195 |
| 8.4.1.4. | Consecințele posibile ale cedării barajului..... | 195 |
| 8.4.2. | Barajul Success din California. | 196 |
| 8.4.2.1. | Secțiunea transversală analizată. | 197 |
| 8.4.2.2. | Accelerograme seismice de calcul. | 197 |
| 8.4.2.3. | Nivelul coincident al apei în lacul de acumulare. | 199 |
| 8.4.2.4. | Rezultatele calculelor de deformație seismică. | 199 |
| 8.4.2.5. | Alegerea modurilor potențiale de cedare (PFMA, Potential Failure Modes Analysis). | 200 |
| 8.4.2.6. | Reguli de exploatare a acumulării..... | 207 |
| 8.4.2.7. | Analiza de risc..... | 208 |
| 8.4.3. | Barajul Isabella Auxiliar din California. | 214 |
| 8.4.3.1. | Analiza modurilor potențiale de cedare. | 214 |
| 8.4.3.2. | Modul potențial de cedare „Rupere de-a lungul faliei Kern Canyon rezultând în fisuri transversale și infiltrații”. | 217 |
| 8.4.3.3. | Modul potențial de cedare „Infiltrații prin terenul de fundare și eroziune internă de-a lungul conductei de golire”. | 217 |
| 8.4.3.4. | Modul potențial de cedare „Infiltrații și eroziune internă prin fisuri transversale provocate de cutremur”. | 217 |
| 8.4.3.5. | Concluziile analizei de risc. | 218 |
| 9 | Referințe bibliografice..... | 219 |

1. CUVÂNT ÎNAINTE

La cei 85 de ani ai mei, am norocul de a acumula mulți ani de experiență în proiectarea și urmărirea comportării construcțiilor hidrotehnice, în particular baraje din pământ și anrocamente. Primii 25 de ani în România, la Institutul de Studii și Cercetări Hidrotehnice (ISCH) din București între 1960 și 1985; au urmat 35 de ani de experiență în Statele Unite ale Americii: 1985 – 1992 la Bowser-Morner & Associates, Inc. din Dayton, Ohio, 1992 – 2006 la U.S. Army Corps of Engineers, Kansas City District, Missouri, 2006 – 2016 la U.S. Army Corps of Engineers, Sacramento District, California și 2016 – 2020 la AECOM Technical Services, Inc., Sacramento, California.

Idea împărtășirii experienței noastre a aparținut, acum câțiva ani, fostului coleg și bun prieten Alexandru (Nike) Constantinescu, care urma să acopere problemele legate de barajele din beton. Din nefericire Nike s-a stins din viață înainte de a începe lucrul la proiect. Consider că este datoria mea de a finaliza (parțial) proiectul, publicând partea care îmi revenea mie.

Autorul

1. INTRODUCTION

At my age of 85-years, it is my privilege to accumulate many years of experience in the design and maintenance of hydraulic structures, particularly of earth and rockfill dams. The first 25 years of my activity were in Romania, with the Hydraulic Engineering Research Institute in Bucharest between 1960 – 1985; 35 years of experience in the United States of America followed: 1985 – 1992 with Bowser-Morner & Associates, Inc. in Dayton, Ohio, 1992 – 2006 with U.S. Army Corps of Engineers, Kansas City District, Missouri, 2006 – 2016 with U.S. Army Corps of Engineers, Sacramento District, California and 2016 – 2020 with AECOM Technical Services, Inc., Sacramento, California.

The idea of sharing our experience with the Romanian engineering community belonged to my former fellow and good friend Alexandru (Nike) Constantinescu, who was intended to cover the problems related to concrete dams. Unfortunately Nike passed away before actually started to work on this project. It is my duty, I believe, to finalize (in part) our project, publishing my share of the projected book.

The author

Dedic această carte soției mele, inginer hidro Maria Pulcheria (Pușa) Perlea care, după căsătorie a împărțit cu mine timp de 48 de ani bucuriile și necazurile vieții și a fost colega și sfătuitoarea mea în toată activitatea mea de după căsătorie: 1974 – 1985 la ISCH București, 1986 – 1992 la Bowser-Morner & Associates, Inc. din Dayton, Ohio, 1992 – 2006 la U.S. Army Corps of Engineers, Kansas City District, Missouri, 2006 – 2016 la U.S. Army Corps of Engineers, Sacramento District, California și 2016 – 2020 la AECOM Technical Services, Inc., Sacramento, California. Pușa s-a stins din viață înaintea publicării acestei cărți, în ianuarie 2022.

2. CONSECINȚELE POSIBILE ALE ACȚIUNII APEI (CAZURI CELEBRE)

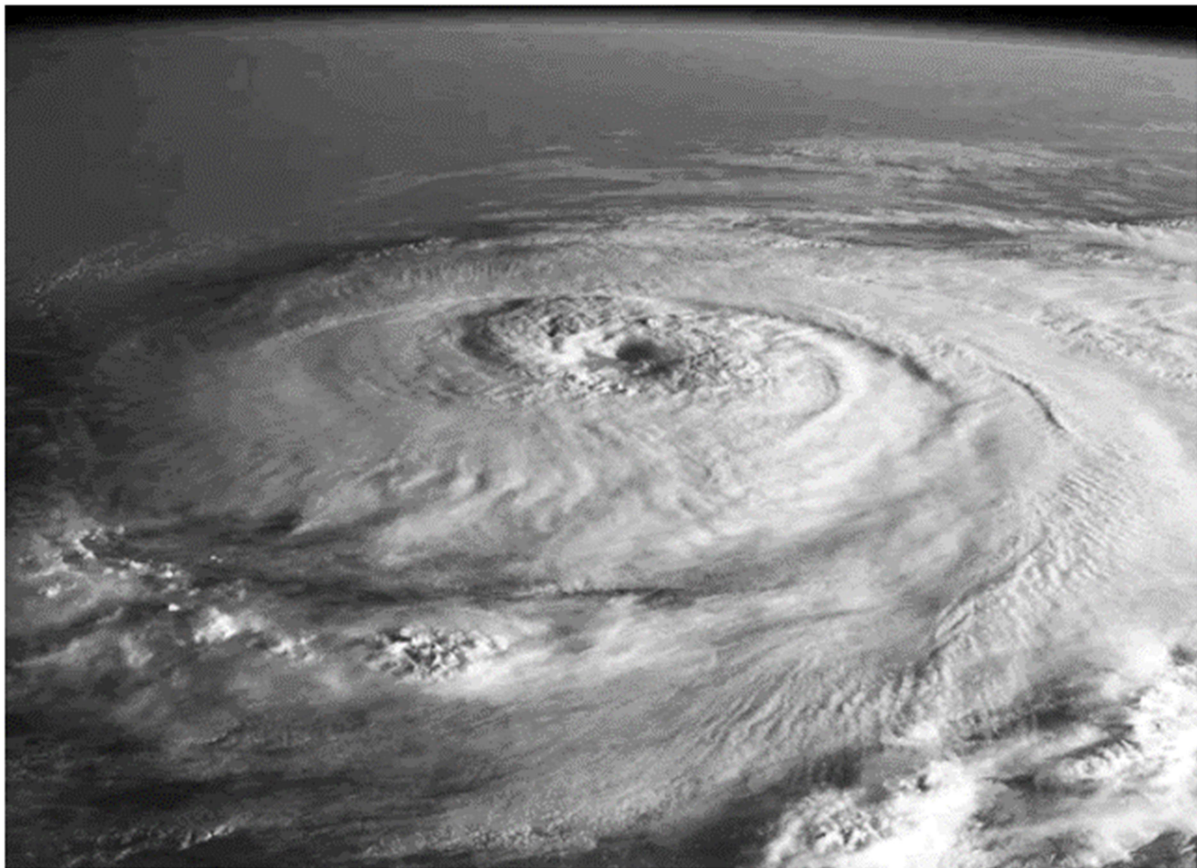
2.1. Diguri

Wikipedia, enciclopedia gratuită oferită de Internet, a publicat în 2012 o listă (incompletă, cu rugămintea de a fi completată de cititori) a breșelor în diguri care, prin consecințele lor au devenit celebre. Printre cazurile citate:

- Inundația „Sf. Elisabeth” din noaptea de 18-19 noiembrie 1421 în Olanda, a fost indusă de o furtună puternică în marea Nordului: hula s-a propagat pe râuri interioare și a provocat numeroase breșe în digurile de apărare de-a lungul râurilor interioare, inundând aproximativ 300 km² și provocând mii de victime.
- Tot în Olanda, inundații cu consecințe catastrofale s-au produs în 1570 (inundația „All Saints”), 1651 („St. Peter’s” a inundat Amsterdam), 1686 („St. Martin’s”).
- „Marea Furtună” din 1703 a afectat nu numai Olanda, dar și Marea Britanie, între Wales și Friesland. Numărul victimelor a fost cuprins între 8.000 și 15.000.
- Inundația „din noaptea de Crăciun” a anului 1717 a fost tot o urmare a unei furtuni în marea Nordului care a afectat coastele Olandei, Germaniei și peninsulei Scandinave. În total au fost aproximativ 14.000 de victime.
- Olanda a mai suferit inundații datorite furtunilor în anii 1820, 1825 și 1916. În 1809 și 1855 ruperea digurilor s-a datorat înghețării râurilor în apropierea vărsării în mare și ridicării nivelurilor râurilor în spatele barajelor de gheață.
- „Marea inundație de pe Mississippi” din 1927 a fost cea mai dezastruoasă inundație de râu din istoria SUA, provocând inundarea a 7 milioane de hectare cu adâncimi de apă de până la 10 metri și omorând 246 de persoane în 7 state. Fenomenul meteorologic a început cu ploi torențiale în vara anului 1926 în bazinul central al Mississippi; în primăvara 1927 s-au produs 145 breșe în digurile din lungul râului. Ca urmare a acestei inundații și pentru a preveni dezastru asemănătoare în viitor, guvernul a alocat fonduri pentru construirea celui mai lung sistem de diguri din lume.
- În 1928 hula provocată de huricanul Okeechobee a rupt digurile din jurul lacului Okeechobee din Florida și a provocat 2500 de victime.
- Inundația „Râului Galben” din 1938, provocată prin distrugerea voluntară a digurilor în timpul celui de-al doilea război sino-japonez a avut ca urmare 500.000 de morți.
- Combinația de maree înaltă de primăvară și furtună în marea Nordului în 1953 a rupt multe diguri în Olanda și Anglia, provocând mai mult de 2000 de victime, dintre care 1836 în Olanda. În Olanda, acest eveniment tragic a fost principalul motiv pentru construirea sistemului „Delta”, probabil cel mai ingenios și extensiv sistem de diguri de apărare din lume.
- Ruperea unui dig în 1976 în Belgia, care a provocat inundarea unui sat și evacuarea a 2000 de locuitori, a justificat proiectarea planului „Sigma”, o replică a planului „Delta” din Olanda.

Digurile de apărare ale orașului New Orleans au cedat în numeroase locuri în timpul huricanului Katrina care a lovit coasta statului Louisiana și zona de vărsare a râului

Mississippi în ziua de 29 august 2005. Huricanul a fost de Categoria 5, maximă, în golful Mexic și a scăzut la Categoria 3 când a atins coasta. Digurile au fost solicitate în special de supraînălțarea nivelului apei datorită furtunii de intensitate maximă, care a coincis cu marea înaltă. Pe lângă cele circa 1600 victime omenești, huricanul a produs pagube între 100 și 200 miliarde de dolari, reprezentând cea mai costisitoare furtună din Statele Unite ale Americii până la acea dată. Nu toate victimele și pagubele s-au datorat cedării digurilor, mare parte datorându-se vântului puternic și inundării comunităților din lungul coastei neapărate de diguri (Jordan și Paulis, 2006).



Source: www.noaa.gov

Figura 2.1. Huricanul Katrina văzut din satelit.

De notat că zona orașului New Orleans este sub nivelul apei în golful Mexic și mult sub cel al lacurilor Pontchartrain și Borgne din vecinătate și al fluviului Mississippi care îl străbate, chiar când nu bate vântul. Ridicarea nivelurilor apei în timpul furtunilor îl face dependent de digurile de apărare și stațiile de pompare. New Orleans a fost inundat de huricane de șase ori în ultimul secol, în 1915, 1940, 1947, 1965, 1969 și 2005.

Figurile 2.2 și 2.3 arată poziția orașului New Orleans și digurile sale de apărare. Practic orice strop de ploaie care cade în zona apărată de diguri trebuie evacuat prin pompare. La apa de ploaie se adaugă cea infiltrată prin și pe sub diguri. În 2005 funcționau circa 80 de stații de pompare, majoritatea construite cu 50-100 de ani în urmă. După trecerea huricanului numai 16% dintre stații au rămas complet în funcțiune.

În multe locații digurile erau suplimentate cu „componente structurale” din beton armat sau oțel. Palplanșe erau folosite pentru reducerea infiltrațiilor pe sub diguri sau ca suport pentru

ziduri de beton armat menite să înalțe nivelul de apărare sau să permită construire unor porți, de obicei deschise pentru a permite traficul (de automobile, trenuri, sau vapoare) dar închise în caz de furtună.

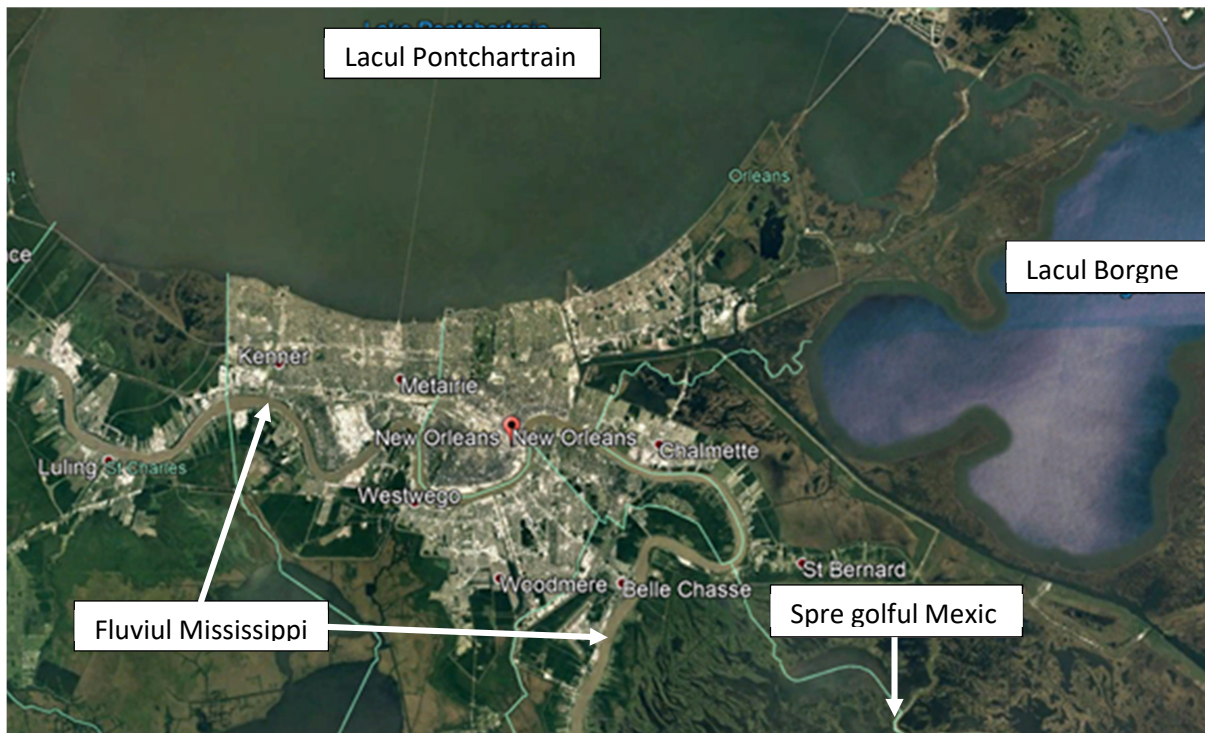


Figura 2.2. New Orleans văzut de Google Earth (ediția 2019).

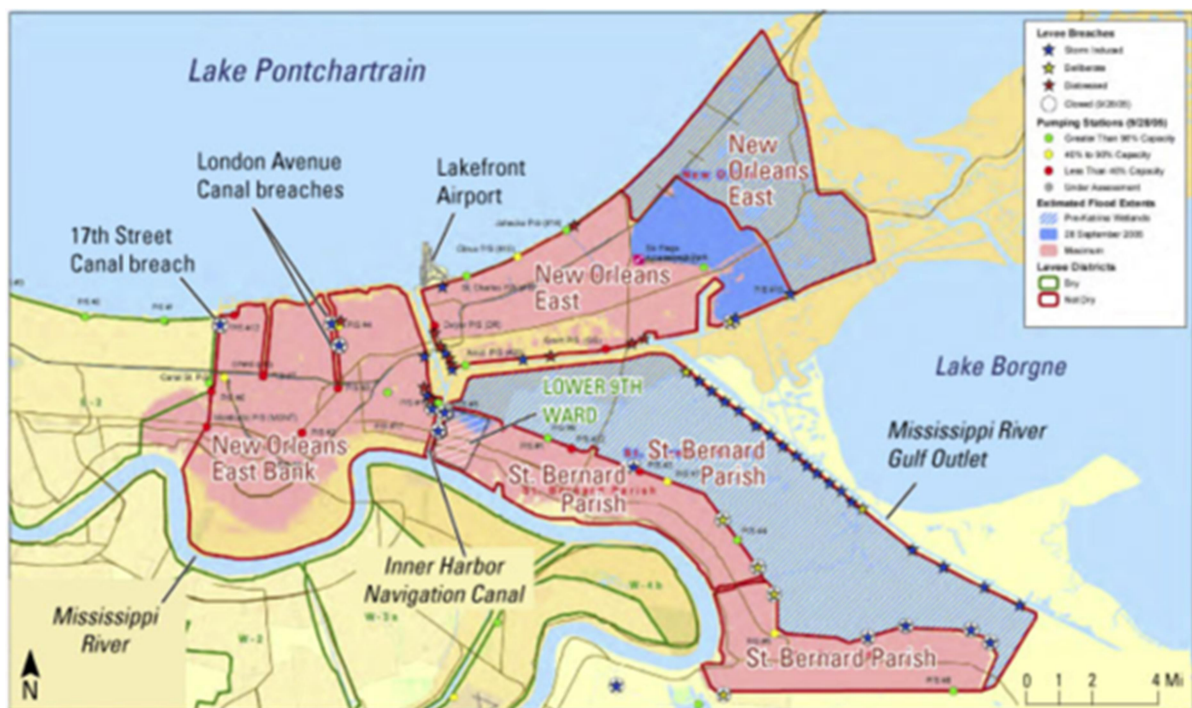


Figura 2.3. Sistemele de diguri de apărare existente în 2005. Digurile sunt marcate cu linii roșii sau verzi. Locurile unde s-au produs breșe sunt marcate cu stele (Seed și alții, 2006).

Huricanul Katrina a provocat ruperea digurilor în numeroase locații (a se vedea figura 2.3) și, în consecință, inundarea catastrofală a incintelor. Aproximativ 85% din zona metropolitană (marcată cu roz în figura 2.3) a fost sub apă. U.S. Army Corps of Engineers (prescurtat USACE în cele ce urmează) a fost principalul responsabil de proiectarea, construcția și managementul sistemului de apărare. Când s-a produs huricanul Katrina, pe 29 august 2005, proiectul era complet construit în proporție de 60-90% (Wikipedia, 2016). După cedarea catastrofală a sistemului de apărare, au fost efectuate numeroase studii, printre care cel independent condus de Universitatea Californiană din Berkeley (Seed și alții, 2006) de unde a fost reprodusă figura 2.3.

Au fost raportate 28 de cedări în primele 24 de ore după declanșarea huricanului și mai mult de 50 în următoarele zile. Cele mai multe cedări au fost ca urmare a deversării digurilor și eroziune de suprafață. S-au semnalat și deficiențe în proiectare în patru cazuri, precum supraestimarea rezistenței terenului de fundare, sau neglijarea presiunii apei în golul format prin rotirea sub presiune a zidurilor din beton (Wikipedia, 2016).

2.2. Baraje din pământ (Baldwin Hills, Teton).

Acumularea Baldwin Hills a fost proiectată și construită de Departamentul de Energie Hidroelectrică din Los Angeles între anii 1947-54. Barajul avea o capacitate de reținere de 1,1 milioane metri cubi și un volum al umpluturii de aproape un milion de metri cubi. În dimineața zilei de 14 decembrie 1963, începând pe la ora 11:15, inginerul rezident a auzit niște sunete neobișnuite la golirea de fund; conducerea departamentului a fost anunțată și s-a decis golirea cât mai rapidă a lacului, începând pe la amiază. Ar fi fost nevoie de 24 de ore ca

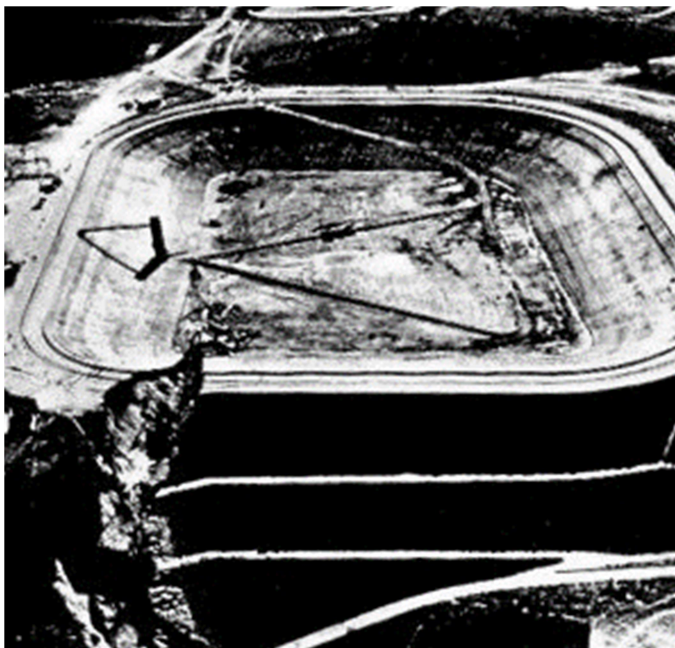


Figura 2.4. Lacul Baldwin Hills după cedarea din 1963. Breșa prin baraj corespunde cu traseul unei falii.

să fie golit întregul lac, care acumula la acea dată 910 mii de metri cubi. În același timp au fost anunțate Poliția, Radioul și Televiziunea, și a fost ordonată evacuarea zonei din aval de baraj. La ora 15:38 s-a format o breșă adâncă în barajul de pământ care a lăsat să treacă cei 910 mii de metri cubi în decurs de 3 ore, distrugând 277 locuințe și provocând 5 victime.

Deși au existat victime, detectarea în timpul unei inspecții zilnice de rutină a unui defect în membrana asfaltică de etanșare a permis evacuarea în decurs de patru ore a 1600 rezidenți din aval de iaz, împiedicând producerea unei catastrofe de mare amploare.

Se știa că există o falie sub baraj și ca măsură de prevenire a infiltrațiilor în fundație proiectul a prevăzut un strat

de pământ compactat sub întreaga lucrare. Totuși membrana de etanșare a crăpat, lăsând apa să erodeze construcția din pământ. Deși cauza crăpăturii nu a fost elucidată, s-a considerat că a fost o combinație de fenomen natural (mișcări în terenul de fundare) și activitate umană

(injectarea de lichid sub presiune într-un teren petrolifer din apropiere, sau circulația unor echipamente grele pe coronamentul digului). (ASDSO, 2014)

Barajul Teton era un baraj din pământ de 93 m înălțime și o lățime la coronament de 945 m în statul Idaho, construit de Bureau of Reclamation pe râul Teton, care a cedat catastrofal la prima umplere a lacului format prin barare. Cedarea s-a declanșat într-o zi senină, 5 iunie 1976 la amiază.



Figura 2.5. Barajul Teton cu puțin timp înainte de dezastru.

În dimineața zilei de 3 iunie au apărut două mici izvoare de apă curată pe taluzul aval al barajului. O încercare a unui operator de buldozer de a acoperi izvoarele cu anrocamente nu a avut succes. Pe 5 iunie 1976 la ora 11 dimineața un șuvoi de apă a trecut prin baraj, cu un debit de peste 28000 m³/s. Trei localități în aval de baraj au fost afectate de viitura care transporta pomi, case, vite și mașini. În final, 11 persoane și-au pierdut viața iar pagubele materiale au fost de ordinul a 400 milioane de dolari.

Pe pagina următoare este prezentată evoluția breșei, așa cum este prezentată de Bureau of Reclamation în Internet:

<https://www.usbr.gov/pn/snakeriver/dams/upperSnake/teton/7.html>

Deoarece barajul fusese proiectat și construit pe baza standardelor moderne, cedarea sa a fost discutată și analizată de experți din întreaga lume. La 6 luni după cedare a fost publicat un raport amănunțit, elaborat de un grup independent de experți (Chadwick și alții, 1976).

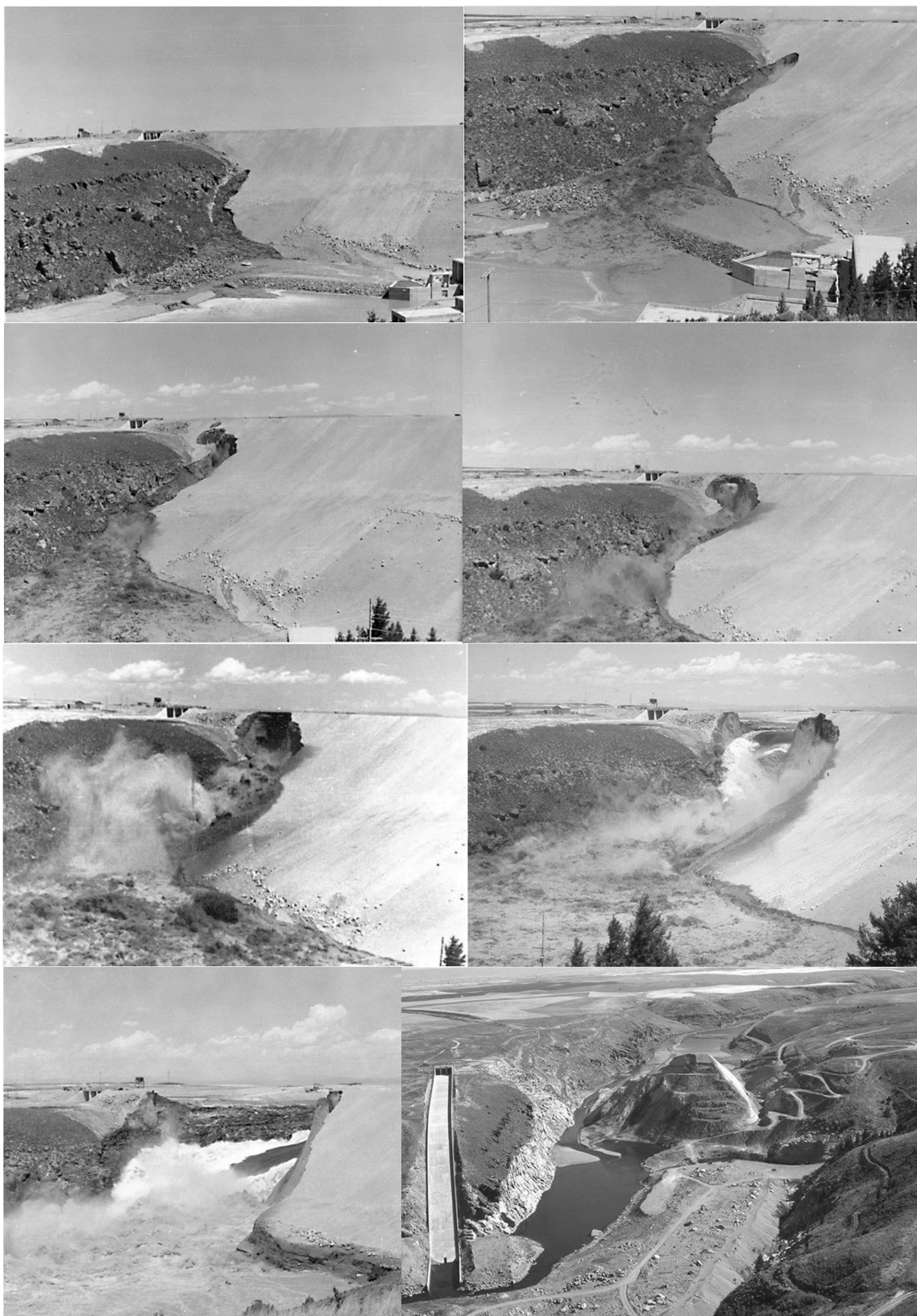


Figura 2.6. Primele 7 imagini: evoluția breșei în ziua de 5 iunie 1976; ultima imagine: barajul abandonat.

Grupul de experți a constatat că: (1) barajul a cedat în urma eroziunii interne (sufozie) a materialului din nucleul de argilă din tranșeea de malul drept al văii, particulele erodate fiind transportate de apă prin canale și crăpături ale rocii foarte permeabile, până la piciorul umpluturii de pe malul drept; (2) canalele au fost distruse de apa curgând necontrolat din lac; (3) au existat spații goale în roca impermeabilizată nesatisfăcător; (4) odată pornită eroziunea a evoluat rapid, cuprinzând întregul baraj și conducând foarte repede la cedarea completă; (5) proiectul barajului nu a ținut seama în mod adecvat de condițiile de fundare și de caracteristicile pământului folosit pentru umplerea tranșeei; și (6) activitățile de construcție au fost conforme cu proiectul (Fig. 2.7 și 2.8).

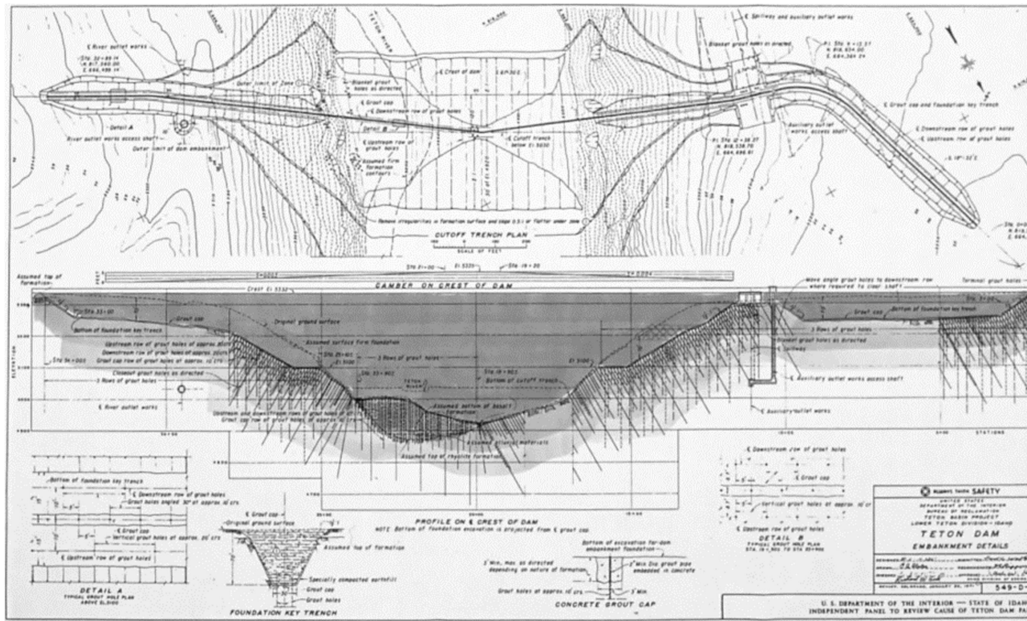


Figura 2.7. Planul și secțiunea longitudinală a barajului Teton.
Este arătat și un detaliu al tranșeei de pe malul drept.

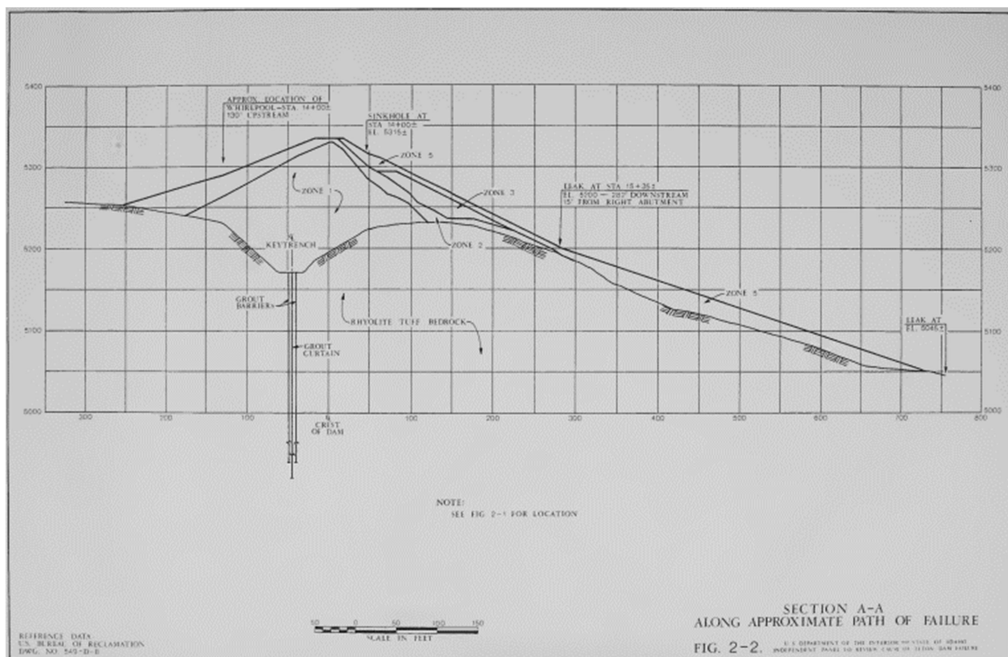


Figura 2.8. Secțiunea transversală a barajului Teton, aproximativ în zona cedării inițiale.



Figura 2.9. Aspectul rocii de fundare a barajului Teton.

Faptul că un baraj proiectat și construit de o companie cu experiență și renume a putut ceda catastrofal la prima umplere, a determinat comunitate inginerescă internațională să studieze acest caz, mulți ani după eveniment. Sherard (1987) a constatat cu mâhnire că studiile cedării