

SCIENTIFIC BULLETIN OF THE TECHNICAL UNIVERSITY OF CIVIL
ENGINEERING, BUCHAREST, NO 4, 2003

CONTENTS

STUDIES

ANDREI SILVAN , Systematization, stockage and reuse of informations concerning geotechnical parameters	1
VIRGIL PETRESCU, ALEXANDRU DIMACHE, NICOLAI SÎRBU , Study upon heterogeneous fluids. Industrial pollutants migration in aquifers adjacent to Vega-Ploiești Oil Refinery	19
DAN STEMATIU, TUDOR BUGNARIU, ALTAN ABDULAMIT , Aspects concerning the methematical modeling of seepage through the foundation rock of the "Iron Gates I" powerhouse	38
LORETTA BATALI , Technical equivalence of landfill linear systems	53
ADRIAN POPOVICI, CORNEL-DUMITRU ILINCA, IRINA ȚIBULEAC , Comparative study by statistical models and neuronal networks of seepages in Zetea Dam	70
PHILIPPE RIGO, STÉPHANE VERCRUYSE, RADU SÂRGHIUȚĂ , Structural optimization of the Blanc Pain flood control gate	86
VIOREL MARINESCU, MARIANA MARINESCU, SORIN DUMITRACHE, ELENA DUMITRACHE , Almost 20 years of Computer Assisted Learning in The Hydraulics Faculty of TUCEB	100
VIOREL MARINESCU, MARIANA MARINESCU, SORIN DUMITRACHE, ELENA DUMITRACHE , BD-SIM v.11 ORACLE 9i – National System for Environment Monitoring	106

EVENTS

2003 – Anniversary year for the Romanian National Committee on Large Dams	111
---	-----

SOMMAIRE

ÉTUDES

ANDREI SILVAN , La systématisation, le stockage et la réutilisation des informations géotechniques	1
VIRGIL PETRESCU, ALEXANDRU DIMACHE, NICOLAI SÎRBU , L'étude des fluides heterogenes. Migration des polluants industriels dans des aquifères limitrophes du Complexe Chimique Industriel Vega-Ploiești	19
DAN STEMATIU, TUDOR BUGNARIU, ALTAN ABDULAMIT , Quelques aspects concernant la modélisation mathématique des infiltrations dans le terrain de fondation de l'usine hydroélectrique "Portes de Fer I"	38
LORETTA BATALI , L'équivalence des systèmes d'étanchéité des centres de stockage de déchets	53
ADRIAN POPOVICI, CORNEL-DUMITRU ILINCA, IRINA ȚIBULEAC , Aspects concernant le comportement en exploitation du barrage Zetea	70
PHILIPPE RIGO, STÉPHANE VERCRUYSE, RADU SÂRGHIUȚĂ , Optimisation du dimensionnement de La Porte de garde du Blanc-Pain	86
VIOREL MARINESCU, MARIANA MARINESCU, SORIN DUMITRACHE, ELENA DUMITRACHE , Presque 20 ans enseignement assisteé par l'ordinateur dans la Faculté d'Hydrotechnique dans le cadre d'Université Technique de Constructions de Bucarest	100
VIOREL MARINESCU, MARIANA MARINESCU, SORIN DUMITRACHE, ELENA DUMITRACHE , BD-SIM v.11 ORACLE 9i – le systém national de surveillance de l'environnement	106

ÉVÉNEMENTS

2003 – An Anniversaire pour Comité National Roumain de Grands Barrages	111
--	-----

Optimizarea structurală a Porții de gardă Blanc Pain

Structural optimization of the Blanc Pain flood control gate

Philippe Rigo, Ph.D., Research Director, (National Fund of Scientific Research of Belgium), Professor at University of Liege (ANAST), Belgium, e-mail: ph.rigo@ulg.ac.be

Stéphane Vercruysse, Civil engineer, MET, Voies Hydrauliques, Belgium, e-mail: svercruysse@met.wallonie.be

Radu Sârghiută, conf. univ. dr. ing., Universitatea Tehnică de Construcții București (Technical University of Civil Engineering, Bucharest), e-mail: sarghiut@mail.utcb.ro

1. Introducere

Concepția structurală este întotdeauna definită în primele faze ale unui proiect. Este ușor de înțeles de ce un instrument de optimizare în faza de predimensionare este atractiv. Acesta este exact modul în care a fost conceput programul de optimizare a structurilor rigidizate LBR -5 [1-6]. LBR-5 este acronimul în limba franceză pentru "Logiciel des Bordages Raidis", versiunea 5.0.

Fondul Național de Cercetare Științifică din Belgia (NFRS) al cărui obiectiv este promovarea cercetării avansate și inovatoare sponsorizează acest studiu.

LBR-5 este compus din trei module de bază: OPTI, CONSTRAINT și COST. Utilizatorul alege restricțiile relevante (geometrice și structurale) în baze de date externe. Îi sunt de asemenea propuse utilizatorului seturi de restricții normate. Deoarece această optimizare tratează costurile minime de construcție, utilizatorul trebuie să definească costurile pe unitatea de material, sudură, decupaj și manoperă, printr-o funcție obiectiv explicită (nu empirică). Utilizând toate aceste date (restricții, funcția obiectiv și analize parametrice) soluția optimă este determinată prin utilizarea unui algoritm bazat pe liniarizare convexă și abordare duală [6]. Indiferent de numărul variabilelor de calcul și al restricțiilor, numărul de iterații necesar unei reanalizări structurale complete este limitat la 10 sau 15.

Domeniul de aplicare a programului LBR-5 cuprinde structuri hidrotehnice și structuri navale și privește etapa de predimensionare. Într-adevăr în timpul primei faze a unui proiect, flexibilitatea, viteza de modelare și ușurința utilizării sunt de mare ajutor proiectanților. La acest nivel puțini parametri/dimensiuni au fost stabiliți definitiv, iar o modelare grosieră cu elemente finite este

1. Introduction

Structural design is always defined during the earliest phases of a project. It is thus not difficult to understand why a preliminary design stage optimization tool is attractive. This is precisely the way the LBR-5 optimization software for stiffened structures was conceptualised [1-6]. "LBR-5" is the French acronym of "Logiciel des Bordages Raidis", i.e. "Stiffened Panels Software", version 5.0. The National Fund for Scientific Research of Belgium (NFSR), whose goal is to promote applied, advanced and innovative researches, sponsors this study.

LBR-5 is composed of three basic modules: OPTI, CONSTRAINT and COST. The user selects the relevant constraints (geometrical and structural constraints) in external databases. Standard constraint sets are also proposed to users. Since the present optimization deals with least construction costs, unitary material, welding, cutting and labor costs must be specified by the user to define an explicit objective function (not empirical). Using all these data (constraints, objective function and sensitivity analysis), the optimum solution is found using an optimization algorithm based on convex linearizations and a dual approach [6]. Independent of the number of design variables and constraints, the number of iterations requiring a complete structural re-analysis is limited to 10 or 15.

Application fields of LBR-5 include hydraulic structures and naval structures and concern the preliminary design stage. It is indeed during the first stages of the project that flexibility, modelling speed and ease of use provide precious help to designers. At this moment, few parameters/dimensions have been definitively fixed and a coarse modelling by standard finite elements is often unusable.

adesea nefolositoare. Modulul poate fi de asemenea utilizat în stadiul final pentru o verificare globală sau de detaliu. Totuși în acest stadiu final al proiectării, LBR-5 trebuie utilizat în mod obligatoriu, în completarea celorlalte analize specifice, pentru a obține de exemplu factori de concentrări de eforturi, rezistență la oboseală, zgomot și nivel de vibrații, etc.

2. LBR-5 și conceptul de „Optimizare orientată pe modul”

Un model de optimizare multi-scop deschis utilizatorilor și compatibil cu diferite regulamente și normative trebuie să conțină diverse metode de analiză pentru evaluarea rezistenței, ușor de perfecționat și completat de către utilizator. Utilizatorul trebuie să fie capabil să modifice restricțiile și să adauge limitări/impuneri suplimentare în concordanță cu tipul structurii studiate (hidrotehnice, navale, structuri offshore, etc.), normativul sau regulamentul în vigoare și cu experiența și capacitatea sa de analiză. Obiectivul este crearea unei tehnici de optimizare orientată către utilizator aflată într-o permanentă evoluție, astfel încât să se dezvolte odată cu utilizatorul și nevoile sale. Definim aceasta ca „Optimizare Orientată pe Modul”.

Modelul de optimizare LBR-5 se bazează pe acest nou concept și este compus din mai multe module. Nici numărul și nici tipul acestora nu este impus. La început întregul model este alcătuit din 3 module de bază (fig. 1) ce formează scheletul acestuia și anume: COST, CONSTRAINT și OPTI.

În jurul modulelor COST și CONSTRAINT există un număr mare de sub-module. Fiecare dintre aceste sub-module este specific unui anumit tip de restricție. În principiu este nevoie de cel puțin un astfel de sub-modul pentru fiecare tip de restricție. Deocamdată doar un număr limitat de module este disponibil (în general 1 sau 2 pentru fiecare tip de restricție). Depinde de utilizator să perfecționeze, să adapteze și să adauge noi module în funcție de necesitățile sale specifice (tip de structură, normative, regulamente ce trebuie respectate, nivel tehnic și științific, echipament de calcul disponibil, etc.).

The module can also perform a general verification or a refining scantling. Nevertheless, at the final design stage, LBR-5 must imperatively be used as a complement to other specific analyses to obtain, for instance, stress concentration factors, fatigue strength, noise and vibration level, etc.

2. LBR-5 and the concept of “module-oriented optimization”

A multi-purpose optimization model, open to users and compatible with different codes and regulations must contain various analysis methods for strength assessment that could be easily enriched and complemented by users. The user must be able to modify constraints and add complementary limitations/impositions according to the structure type studied (hydraulic, naval, offshore structures, etc), the code or the regulation in force and to his experience and ability in design analysis. The objective is to create a user-oriented optimization technique, in permanent evolution, i.e. that evolves with the user and his individual needs. We define this as “Module-Oriented Optimization”.

The LBR-5 optimization model is based on this new concept and is composed of several modules. Neither the module number nor their type is imposed. At the start, the whole model is made up of 3 basic modules (Fig. 1) and forms the framework of the tool (COST, CONSTRAINT and OPTI).

Around the COST and CONSTRAINT modules there are a large number of sub-modules. Each of these sub-modules is specific to a type of constraint. In principle, it is necessary to have at least one sub-module for each constraint type. To date, only a limited number of modules are available (in general 1 or 2 for each constraint type). It is up to the user to complete, adapt and add new modules according to his specific requirements (type of structure, codes and regulations to be followed, technical and scientific level, available hardware, etc.). The objective is to enable the user himself to build the tool he needs.

Obiectivul este acela de a permite utilizatorului să își construiască el însuși instrumentul de care are nevoie. Figura 1 ilustrează schema logică generală a procesului de optimizare a unei structuri.

În ceea ce privește restricțiile constructive, utilizatorul trebuie să aleagă mai întâi tipul de restricție (alunecare, flambaj, deflecție, ...) apoi pentru fiecare tip de restricție, va selecta metoda, normativul sau regulamentul ce vor fi utilizate și în final punctele/ariile/panourile unde vor fi aplicate aceste restricții.

Figure 1 shows the general organisation flow chart of a structure optimization process.

With regard to structural constraints, the user must first choose the types of constraints (yielding, buckling, deflection, etc.) then, for each type of constraint, select the method, the code or the rules to use and finally the points/areas/panels where these constraints will be applied.

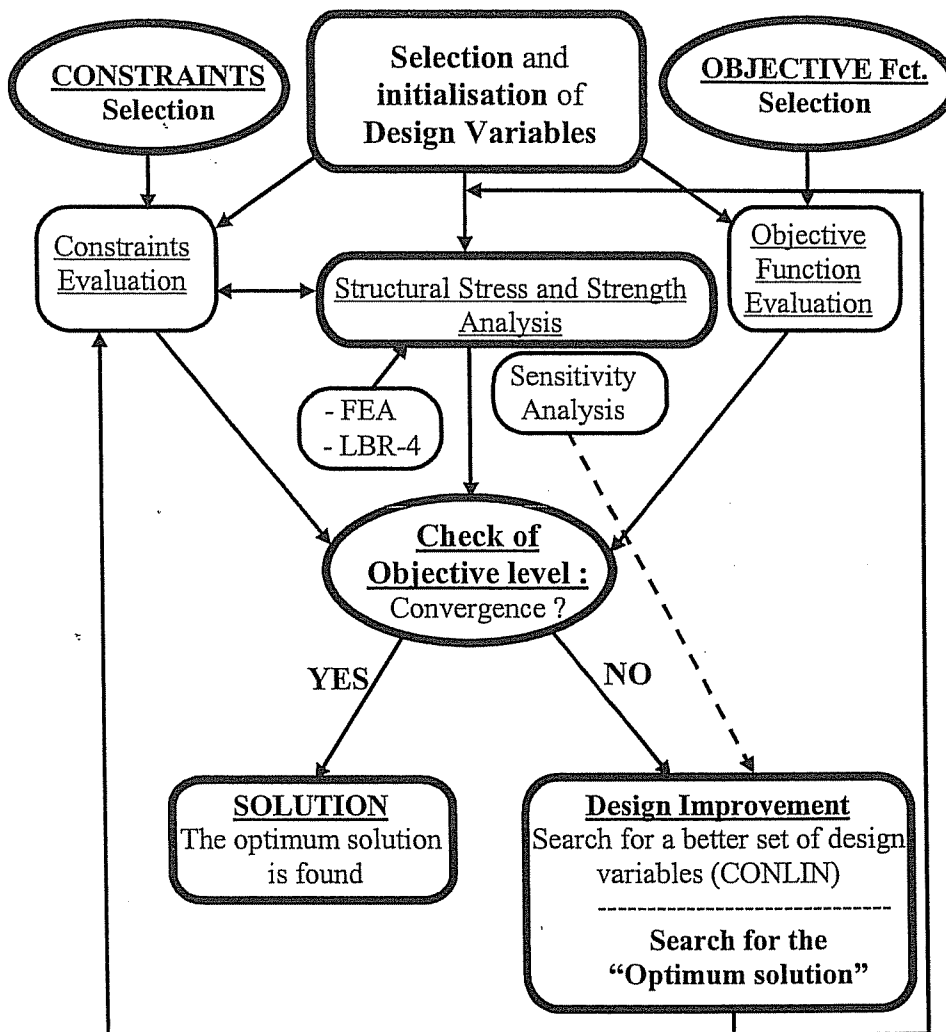


Fig. 1 Schema logică generală a procesului de optimizare a unei structuri
General organisation flow chart of a structure optimization process

3. Scurtă descriere a celor 3 module de bază: OPTI, CONSTRAINT și COST

Problema ce trebuie rezolvată poate fi rezumată astfel:

- X_i : $i = 1, N$, cele N variabile de calcul
- $F(X_i)$: funcția obiectiv de minimizat,

3. Short description of the 3 basic modules: OPTI, CONSTRAINT and COST

The problems to be solved can be summarised as follows:

- X_i : $i = 1, N$, the N design variables,
- $F(X_i)$: the objective function to minimize,

▪ C
st
▪ X
in
li
li
rigidi
fiecar
de ca
▪ G
▪ P
co
▪
▪
▪
▪ P
ri
▪
▪
optir
prob
nelir
nece
chiar
(X_i),
(incl
se b
nelir
abor
de
celo
COI
func
COI
min
le p
CM
proğ
con
apli
func
(X_i)
al 1
pen
ora
che

- $C_j(X_i) \leq CM_j$; $j = 1, M$ cele M restricții structurale și geometrice,
- $X_{i \min} \leq X_i \leq X_{i \max}$: limitele superioară și inferioară ale variabilelor de calcul X_i : limite tehnologice (numite de asemenea și limite laterale).

Structura este modelată cu panouri rigidizate (plăci plane și cilindrice). Pentru fiecare panou pot fi asociate până la 9 variabile de calcul. Aceste 9 variabile sunt (fig. 2):

- Grosimea tăbliei
- Pentru elemente longitudinale (rigidizări, contravântuiri, grinzi longitudinale, etc.)
 - înălțimea și grosimea inimii profilelor,
 - lățimea guseelor,
 - distanța între elementele longitudinale.
- Pentru elemente transversale (cadre, rigidizări transversale, etc.):
 - înălțimea și grosimea inimii profilelor
 - lățimea guseelor
 - intervalul între elementele transversale (cadre)

Modulul OPTI conține algoritmul de optimizare CONLIN, care permite rezolvarea problemelor de optimizare cu restricții neliniare. Este deosebit de eficient deoarece necesită un număr redus de iterații. În general, chiar în prezența a sute de variabile de calcul (X_i), sunt necesare mai puțin de 15 variabile (incluzând o reanalizare a structurii). CONLIN se bazează pe liniarizarea convexă a funcțiilor neliniare (restricții și funcții obiectiv) și pe o abordare duală. Acest model utilizează ca date de intrare rezultatele/datele de ieșire ale celorlalte două module de baza și anume CONSTRAINT pentru $C(X_i)$ și COST pentru funcția obiectiv $F(X_i)$.

Prin alegerea algoritmului dual CONLIN, prelucrarea restricțiilor laterale ($X_{i \min}$ și $X_{i \max}$) este foarte ușoară. În consecință le putem separa din alte restricții ($C_j(X_i) \leq CM_j$), ceea ce este deosebit de atractiv.

Modulul COST: funcția obiectiv a programului LBR-5 poate fi costurile de construcție (modulul COST) sau greutatea (ca în aplicația prezentată în continuare). Pentru a lega funcția obiectiv (Euro) de variabilele de calcul (X_i) utilizatorul trebuie să specifice costul unitar al materiei prime (Euro/Kg), rata productivității pentru sudură, decupaj, asamblare, etc. (om-ora/unitatea de muncă = o-h/unitate) și cheltuielile de manoperă (Euro/o-h).

- $C_j(X_i) \leq CM_j$; $j = 1, M$ the M structural and geometrical constraints,
- $X_{i \min} \leq X_i \leq X_{i \max}$: upper and lower bounds of the X_i design variables: technological bounds (also called *side constraints*).

The structure is modelled with stiffened panels (plates and cylindrical shells). For each panel one can associate up to 9 design variables (XI). These 9 design variables are respectively (Figure 2):

- Plate thickness.
- For longitudinal members (stiffeners, crossbars, longitudinals, girders, etc.):
 - web height and thickness,
 - flange width,
 - spacing between longitudinal members.
- For transverse members (frames, transverse stiffeners, etc.):
 - web height and thickness,
 - flange width,
 - spacing between transverse members (frames).

The OPTI module contains the mathematical optimization algorithm (CONLIN) that allows solving non-linear constrained optimization problems. It is especially effective because it only requires a reduced number of iterations. In general, fewer than 15 iterations (including a structure re-analysis) are necessary, even in the presence of several hundred-design variables (X_i). CONLIN is based on a convex linearization of the non-linear functions (constraints and objective functions) and on a dual approach. This module uses as inputs the results/outputs of the two other basic modules, i.e. CONSTRAINT for the $C(X_i)$ constraints and COST for the $F(X_i)$ objective function.

Due to the choice of a dual algorithm (CONLIN), the treatment of side constraints ($X_{i \min}$ and $X_{i \max}$) is particularly easy. Thus we can dissociate them from other constraints ($C_j(X_i) \leq CM_j$), which is particularly attractive.

The COST module: the objective function of the LBR-5 software can be the construction costs (COST module) or the weight (as in the application presented further on). In order to link the objective function (Euro) to the design variables (X_i), the unit costs of raw materials (Euro/Kg), the productivity rates for welding, cutting, assembling, etc. (man-hours/unit of work = m-h/unit) and labour costs (Euro/m-h) must be specified by the user.

Modulul **CONSTRAINT** îl ajută pe utilizator să selecteze restricțiile relevante dintr-un grup de restricții aflat într-o bancă de date pusă la dispoziția sa. În fapt utilizatorul rămâne responsabil pentru alegerea sa. Totuși pentru a ușura această selecție utilizatorului îi sunt propuse mai multe seturi coerente de restricții. Aceste seturi se bazează pe regulamente/normative naționale și internaționale (Eurocoduri, Recomandări ECCS, Societăți de clasificare, etc.).

The **CONSTRAINT** module helps the user to select relevant constraints within constraint groups at his disposal in a databank. In fact, the user remains responsible for his choice. However, in order to facilitate this selection, several coherent constraint sets are proposed to the user. These sets are based on national and international rules/codes (Eurocodes, ECCS Recommendations, Classification Societies, etc.).

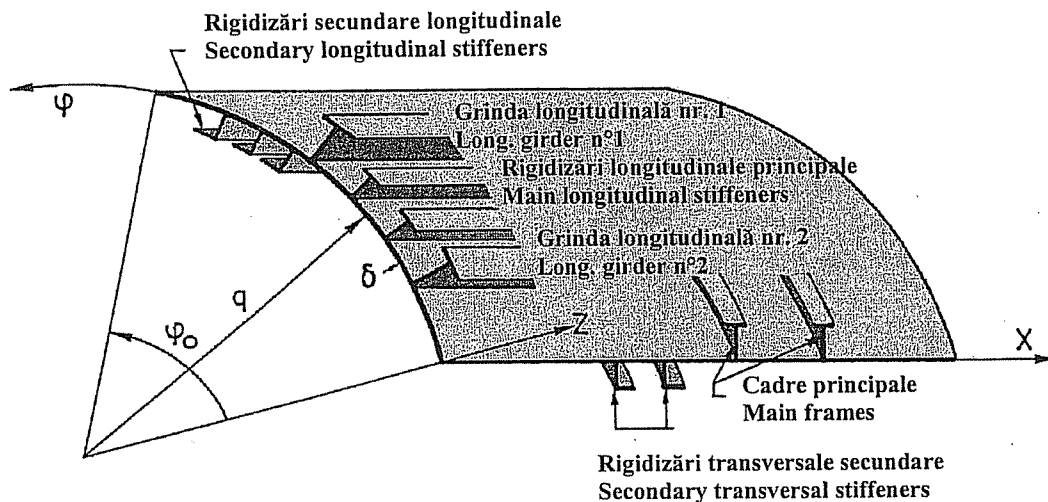


Fig. 2 Panoul de bază rigidizat (sau elementul de bază), folosit pentru modelarea structurii
Basic stiffened panel (or basic element) used to model the structures

4. Descrierea proiectului Porții de gardă Blanc Pain

Exemplul de optimizare pe baza greutății minime se referă la Poarta de gardă Blanc Pain (Belgia, Regiunea Valonă, MET) (fig. 3).

Această poartă este o stavilă plană de siguranță, de tip ridicător, concepută pentru protecția ascensorului de nave de 73 de m înălțime de la Strepny și a împrejurimilor acestuia, în cazul unei goliri a canalului amonte al ascensorului (Canalul Central între Charleroi, Bruxelles și Mons). Canalul se întinde pe o lungime de 40 km și conține un volum de apă de 6 milioane m³. Datorită topografiei, în amonte de ascensor pe o lungime de 5 km canalul este construit deasupra nivelului mediu al terenului.

Acești 5 km de canal cuprind mai multe structuri vulnerabile și anume: 2 tunele rutiere ce subtraversează canalul, un pod canal de 500 m lungime ce supratraversează o importantă autostradă și bineînțeles ascensorul de nave.

4. Blanc Pain flood control gate project description

The least weight optimization example concerns the optimization of Blanc Pain flood control gate (Belgium, Région Wallonne, MET) (fig 3).

This gate is a lifting emergency gate designed to protect the 73m high shiplift (Strépy) and its environment from an emptying of the shiplift upstream canal (Canal du Centre-between Charleroi, Brussels and Mons). The canal is about 40 km long and contains six millions m³. Due to its location, 5 km of the canal (just upstream of the shiplift) are built above the average soil level.

These 5 km of canal contain several vulnerable structures, i.e. 2 road tunnels passing under the canal, a 500m long canal-bridge passing over important highways and of course the 73m high shiplift.

struct
Dacă
gardă
inunc
vecin
impa
canti
aval)
baza

între
poart
de s
verif



Des

—

—

—

—

—

—

tip
per
per

înc
pre
pre

În cazul cedării unui mal sau a unei structuri se poate produce o inundație majoră. Dacă s-ar rupe un mal și nu ar exista poarta de gardă, apa conținută de cei 40 de km de canal ar inunda toate orașele și satele aflate în vecinătatea acestuia. Prezența porții reduce impactul inundațiilor prin micșorarea de 6 ori a cantității de apă ce se poate scurge din canal (în aval). Necesitatea porții a fost demonstrată pe baza unui studiu de inundabilitate.

Datorită faptului că navigația este întreruptă în timpul nopții pe Canal du Centre, poarta este închisă pe acest interval din motive de siguranță. Deschiderea zilnică permite o verificare continuă a eficienței sistemului.

This means that a major flood may occur if a riverbank or a structure collapses. If a bank breaks, without the Blanc Pain gate, the water included in the 40km will flood the cities and villages close to the canal. To reduce the flood impact, the gate divides by 6 the amount of water that may flow out of the canal (downstream). A flood impact assessment was performed to demonstrate the need of the gate.

For safety, the gate is closed each night, as there is no navigation during the night on the Canal du Centre. This daily closure allows checking continuously the effectiveness of the system.

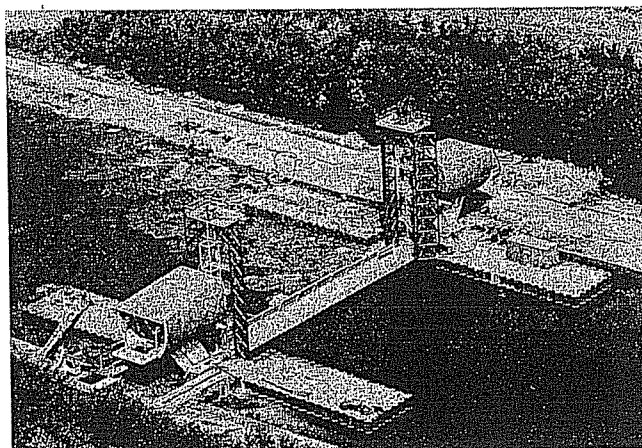
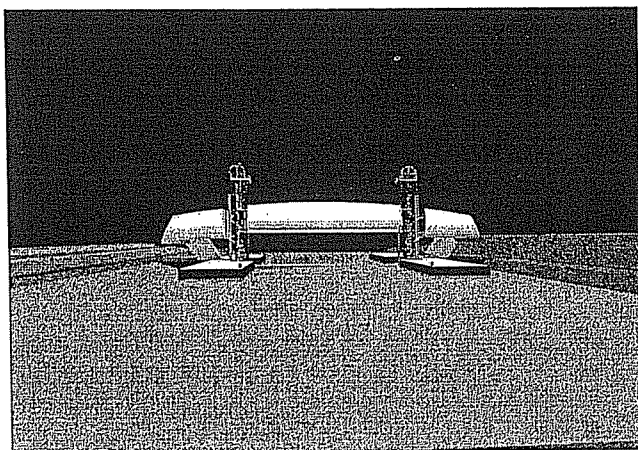


Fig. 3 Vederi generale ale Porții Blanc Pain
General views of Blanc Pain gate

Descrierea stavilei:

- tip de stavilă: stavilă de tip ridicător (fig. 4),
- structură: panouri rigidizate (structură din oțel),
- lățimea navigabilă a canalului în dreptul porții: 32.4 m,
- înălțimea liberă sub stavila deschisă: 7.0 m,
- adâncimea canalului în dreptul porții: 4.05 m
- greutatea estimată a stavilei incluzând echipamente diverse și roțile de ghidaj: 115 t din care 90 t structură din oțel.

Etanșările laterale și inferioară sunt de tip oțel pe oțel ne fiind impusă o etanșare perfectă. Piesele metalice fixe din radier și pereții laterali au fost înglobate în beton.

Piesele înglobate au fost concepute astfel încât în poziția închisă a stavilei, partea mobilă presează partea fixă sub acțiunea greutății proprii sau a presiunii hidrostatice.

Gate description:

- type of gate: vertical lift gate (fig. 4),
- structure: stiffened shells/panels (steel structure),
- width of the navigable canal at the gate location: 32.4 m
- air clearance under the raised gate: 7.0 m
- canal water depth at the gate location: 4.05 m
- estimated weight of the gate, including various equipment and guide rollers: 115 t including 90 t for the steel structure.

The side and lower seals (contact) are built steel on steel, as a perfect watertight sealing is not required.

The steel parts fixed on the floor and on the sidewalls are cast within the concrete. The design of these parts is such that in closed position, the weight of the gate and/or the water pressure tends to press the mobile parts against the fixed parts.

La partea de jos stavila se termină cu o prelungire a tăbliei din amonte astfel încât în caz de necesitate aceasta să poată penetra depunerile de aluviuni.

The lower edge of the gate ends with the downstream side plate to ease, if necessary, the gate penetration in the sediment (soil).

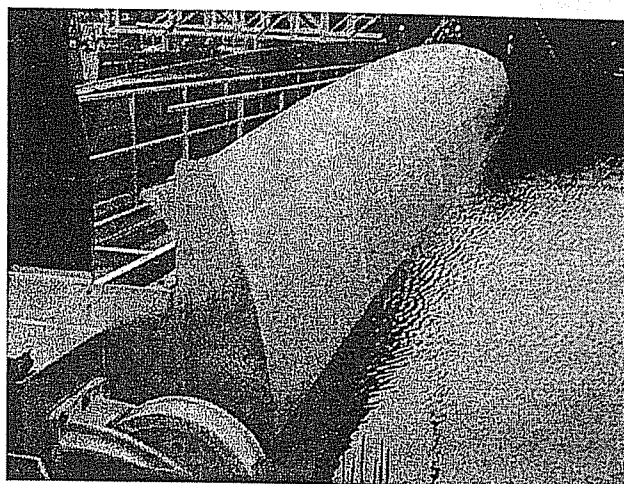
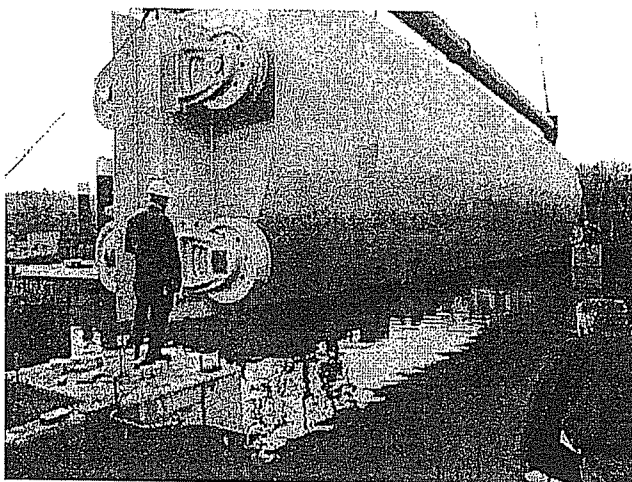


Fig. 4 Stavila de tip urcător
The Blanc Pain lifting gate

5. Aspecte de calcul

Pentru simularea curgerii hidraulice în canal și în dreptul porții în cazul unui accident au fost realizate modele numerice și fizice. A fost construit un model fizic al stavilei la scara 1/10. Prin simulări numerice a fost determinată o viteză maximă de curgere în dreptul porții de 2 m/s. Astfel de viteze apar în cazul unei goliri rapide a canalului cauzată de exemplu de ruperea unui mal.

Încărcări de calcul:

- Încărcări normate;
 - greutatea proprie;
 - vânt;
 - zăpadă;
 - presiunea hidrostatică;
 - Cutremur cu accelerația maximă orizontală de 0.2 g;
- Închiderea de urgență a stavilei într-un curent cu viteza de 2 m/s, corespunzătoare unei goliri a canalului cauzată de cedarea podului canal situat la 2 km în aval (la Sart);
- Efectul temperaturii: s-a considerat o diferență de temperatură de 30° C între cele două fețe ale stavilei (căldură solară). Suplimentar s-a considerat o dilatare termică uniformă între sezonul rece și cel cald.

5. Design aspects

Numerical and physical models (scale model) have been carried out to simulate the hydraulic flow in the canal and at the gate location when an accident occurs in the downstream part of the canal. A 1/10 scale model of the gate was built. Using numerical simulations, a maximum water flow velocity of 2 m/s was determined at the gate location. Such a speed occurs in case of a quick emptying of the canal caused, for instance, by a breaking bank.

Design loads:

- Standard loads;
 - deadweight;
 - wind;
 - snow;
 - water pressure;
- Earthquake with an 0.2g ground horizontal accelerations;
- Emergency closing of the gate in a 2 m/s water current corresponding to a canal emptying caused by the collapse of the canal-bridge located 2 km downstream (at Sart);
- Temperature effects: a difference of 30°C was considered between the two sides of the gates (due to the sun). In addition a uniform dilation was considered between cold season and hot season (thermal dilation of 40°C).

Un punct important al calcului de dimensionare a stavilei privește toleranțele admisibile între roți și căile de rulare. De exemplu, săgeata maximă orizontală de la partea de jos a stavilei este de 43 mm. Stavila nu este foarte rigidă iar presiunea hidrostatică poate induce o săgeată relativ mare. O astfel de săgeată are efecte semnificative la nivel mecanic datorită toleranței admisibile între roți și șina de rulare.

Calculul a fost efectuat folosind normativele de calcul europene, Eurocod (II pentru beton și III pentru oțel). Presiunea hidrostatică a fost considerată ca încărcare permanentă (și nu ca sarcină mobilă). În aceste condiții factorul de siguranță parțial aplicat pentru presiunea hidrostatică a fost 1.35 (în loc de 1.50 corespunzător unei sarcini mobile). La încărcarea din vânt, factorul de siguranță parțial a fost de 1.50. Pentru cazurile de încărcare excepțională, toți factorii considerați au fost 1,0.

Oțelul AE355 folosit pentru stavilă are un efort de curgere de 35 N/mm^2 . Acest aliaj AE35 permite reducerea greutateii porții și a costului, dar așa cum s-a menționat mai sus, deformabilitatea stavilei devine o restricție activă ce trebuie luată în considerare în etapa de dimensionare.

Analiza structurală a fost efectuată utilizând două abordări:

Mai întâi în stadiul preliminar, structura a fost modelată utilizând programul de calcul LBR-5, care asigură o dimensionare a stavilei pe baza greutateii minime sau a costului minim de construcție. Pentru Poarta Blanc Pain autoritatea publică a regiunii Valone, (MET, Ministère de l'Équipement et du Transport) a decis să minimizeze greutatea.

Apoi în faza de detaliu, o companie de consultanță a efectuat pentru constructor o analiză cu elemente finite utilizând un program comercial de calcul. Fețele laterale au fost modelate cu elemente de tip placă iar grinzile cu elemente tip bară. S-au efectuat analize pseudo-stactice, modale și de flambaj.

6. Optimizarea structurală a stavilei

Structura stavilei a fost modelată cu LBR-5 astfel: 22 de panouri și 153 variabile de calcul, 594 de restricții constructive (3 cazuri de încărcare 8~11 restricții pe panou), și 187 restricții geometrice (figurile 5 și 6).

A key point concerning the gate design concerns the admissible tolerances between the wheels and the rails. The gate is not so stiff and the water pressure may induce relatively high deflection. For instance, the maximum horizontal deflection at the bottom of the gate is 43 mm. Such a deflection has significant effects at the mechanical level due to the allowable tolerance between the wheels and the rails.

The design was performed using European Eurocodes (II for Concrete and III for Steel). The hydrostatic pressure was considered as a permanent load (and not as a moving load). Therefore, the partial safety factor used for the hydrostatic pressure was 1.35 (instead of 1.50 for a moving load). For wind, the considered partial safety factor was 1.50. For exceptional loading cases, all the considered factors were taken as 1,00.

The AE355 steel used for the gate has a yield stress of 355 N/mm^2 . This AE355 alloy has allowed reducing the gate weight and its cost but as mentioned above, the deformability of the gate has become an active constraint to be considered at the design stage.

The structural analysis was performed using two approaches.

First at the preliminary design stage, the structure was modeled using the LBR5 software that provides automatically the gate scantlings corresponding to the least weight or the least construction cost. For the Blanc Pain gate, the public authority of the Walloon Region (MET, Ministère de l'Équipement et du Transport) decided to minimize the weight.

Then, at the detailed stage, an engineering consulting company performed for the builder a finite element analysis using a commercial FE package. The side plates were modelled using shell elements and the girders using beam elements. Pseudo static analysis, eigen value analysis and buckling analysis were performed.

6. Structural optimization of the gate

The structure was modeled, using LBR-5 software, with 22 panels and 153 design variables, 594 structural constraints (3 load cases; 8~11 constraints per panel) and 187 geometrical constraints (fig. 5 and 6).

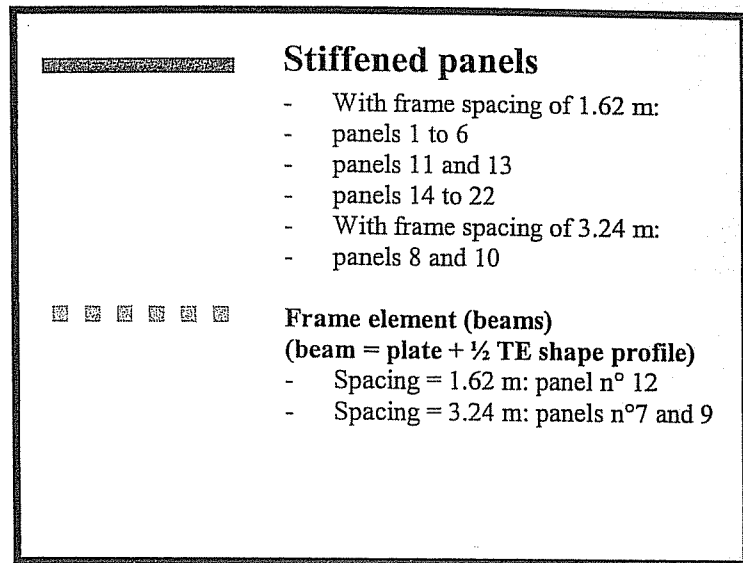
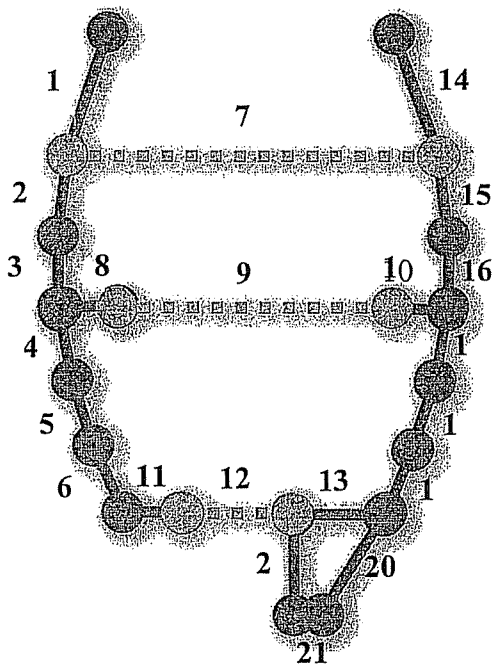


Fig. 5 Modelarea structurii (3D) cu programul LBR-5
Structure modeling (3D) using the LBR-5 software

Criteria de verificare impuse:

- La curgere: $\sigma(\text{von Mises}) < 1.0 \sigma$ de curgere
- La flambajul panourilor $\sigma(\text{efectiv}) < 1.0 \sigma(\text{flambaj})$
- Pentru panourile rigidizate (comprimate axial): $\sigma(\text{efectiv}) < 0.8 \sigma$ (rezistența ultimă)

Evaluarea greutății:

- Pasul 1: 45.00 t – greutatea structurii fără normarea grosimii tăbliei și dimensionarea rigidizărilor, fără luarea în considerare a consolidării marginii de jos a stavilei
- Pasul 2: 45.50 t cu grosimi standard ale tăbliei (6, 8, 10, ... mm) și rigidizări montate
- Pasul 3: 51.80 t cu rigidizări cu profile tipizate T precum ½ IPE 160, 200, 270 și 450.
- Pasul 4: 55.00 t. Calcul final incluzând și consolidarea de la partea de jos a stavilei (încărcări accidentale sub stavilă induse de un obstacol).

Această greutate de 55.00 t, corespunde unei deschideri de 32.40 m dar nu include:

- cei doi suporturi de capăt (cadre rigide),
- partea mecanică: roți, cabluri, șine,
- greutatea sudurii și a vopselei de protecție;
- elemente adiționale, de acces în interiorul structurii (pasarele, etc.)

Constraint acceptance criteria:

- Against yielding the criteria is: $\sigma(\text{von Mises}) < 1.0 \text{ Yield Stress}$.
- For plate buckling: $\sigma(\text{effective}) < 1.0 \sigma(\text{buckling})$.
- For stiffened panel (axially compressed): $\sigma(\text{effective}) < 0.8 \sigma(\text{ultimate strength})$.

Weight assessment:

- Step 1: 45.00 t: weight of the structure without standardization of the plate thickness and stiffener sizes, and without considering strengthening at the bottom edge of the gate.
- Step 2: 47.50 t: with standard plate thickness (6, 8, 10, ... mm) and built up stiffeners
- Step 3: 51.80 t: with prefabricated stiffeners, using "T" profiles like ½ IPE 160, 200, 270 et 450.
- Step 4: 55.00 t: final design including the bottom edge strengthening (accidental load under the gate induced by an obstacle)

This weight of 55.00 t corresponds to a span of 32.4 m but does not include:

- the two end-supports (stiff frames),
- the mechanical parts: wheels, cables, rails,
- weight of the welds and the painting,
- additional pieces to access inside the structure (walkway, etc.).

În figura 7 sunt prezentate diagrame de deformații și eforturi. Soluția optimă este prezentată în următoarele trei figuri (fig. 8, 9 și 10).

Some deflection and stress diagrams are presented in Figure 7. The optimum solution is presented in the next three figures (fig. 8, 9 and 10).

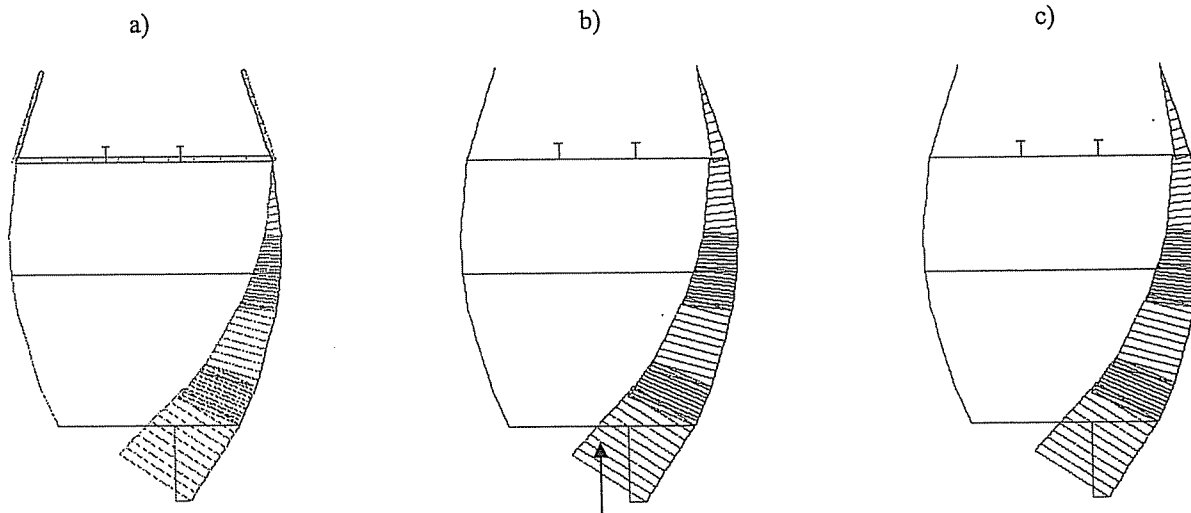


Fig. 6 Cazuri de încărcare: a - cazul 1 de încărcare (presiune normală, 4.3 m); b - cazul 2 de încărcare (excepțională, încărcări concentrate); c - cazul 3 de încărcare (presiune excepțională, 5.7 m)
 Load cases: a - Load case 1 (normal pressure, 4.3 m); b - Load case 2 (exceptional; concentrate load); c - Load case 3 (exceptional pressure, 5.7 m)

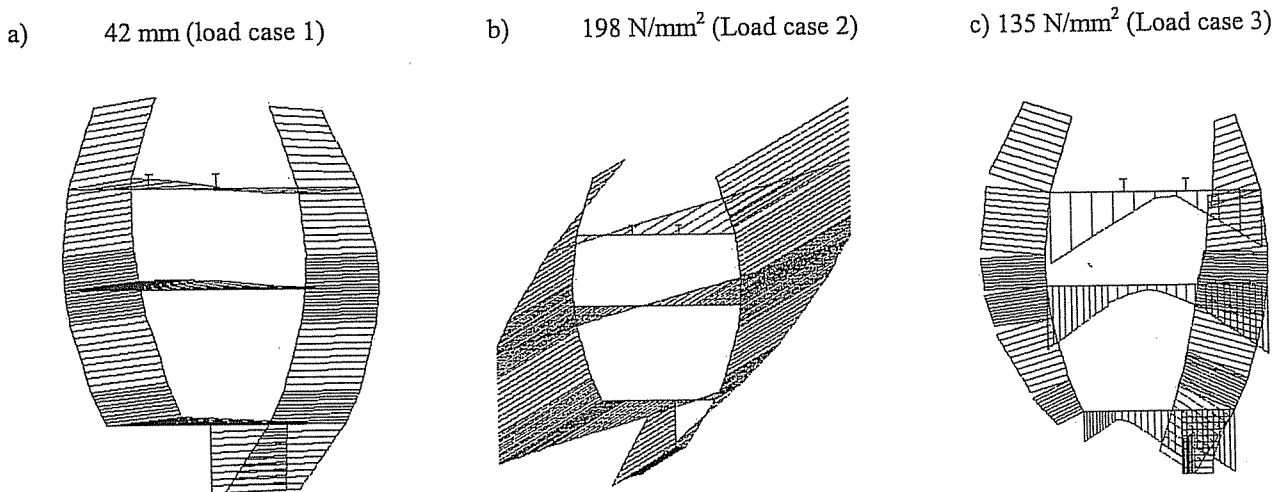


Fig. 7 Diagrame de eforturi și deformații: a - deplasări transversale; b - eforturi longitudinale; c - eforturi combinate (von Mises)
 Stress and deflection diagrams: a - transverse displacements; b - longitudinal stresses; c - combined stresses (von Mises)

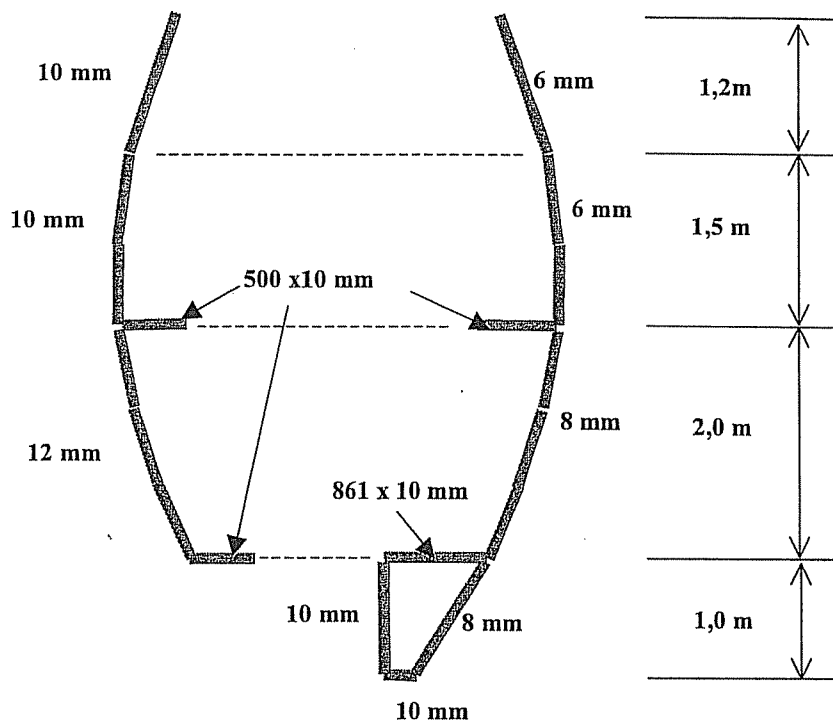


Fig. 8 Grosimea tăbliei
Plate Thickness

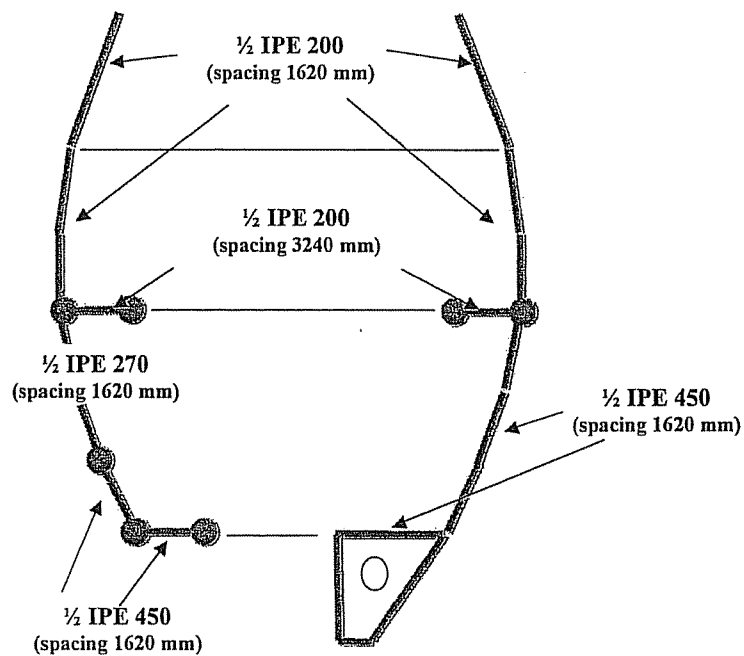


Fig. 9 Dimensionarea cadrelor (IPE este un profil T tipizat)
Frame sizing (IPE is a standard Te profile)

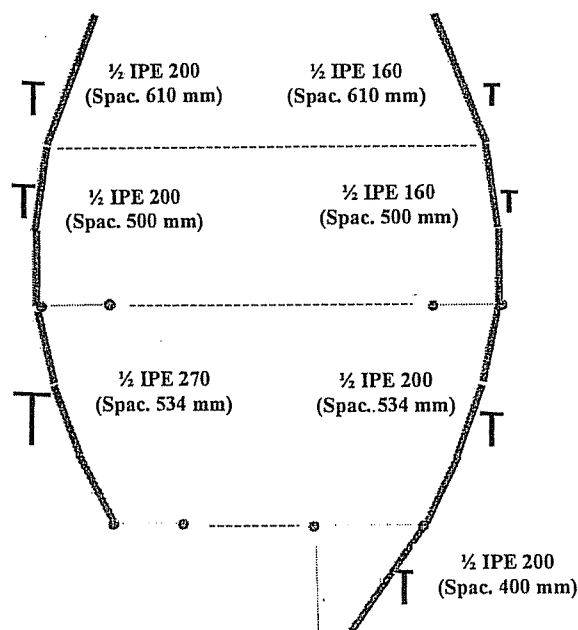


Fig. 10 Rigidizări longitudinale (IPE este un profil T tipizat)
Longitudinal stiffeners (IPE is a standard Te profile)

7. Remarci finale

În această lucrare este prezentat modelul de optimizare multi-scop LBR-5. Cele trei module de bază sunt COST, CONSTRAINT și OPTI. Este prezentat procesul de optimizare generală cu accent pe modulul OPTI. Ca o aplicație a modelului de optimizare pe baza greutatei minime, este prezentată analiza de optimizare a unei structuri hidrotehnice (poartă de gardă).

Pe baza experienței câștigate în urma acestui studiu se pot desprinde următoarele concluzii:

Optimizarea trebuie aplicată încă din primele faze ale procesului de concepție. Modificările din această etapă pot fi făcute fără a avea un impact negativ asupra altor părți din proiect (fundații, mecanisme, pile...). Beneficiarul poate efectua optimizări chiar și în etapa de predimensionare pentru o mai bună definire a specificațiilor din caietul de sarcini.

Utilizarea unor instrumente precum LBR-5 ar putea permite reducerea cu 5 până la 10% a greutatei (costului) în comparație cu un calcul obișnuit de optimizare pe baza greutatei minime sau a costului minim.

Obiectivul optimizării trebuie definit cu claritate încă de la începutul studiului.

7. Concluding remarks

The multi purpose LBR-5 optimization model is presented in this paper. The COST, CONSTRAINT and OPTI modules are the 3 basic modules. The global optimization process is presented including an emphasis on the OPTI module.

The optimum analysis of a hydraulic engineering structure (flood control gate) is presented as an application of the LBR-5 least weight optimization model.

The experiences gained from the Blanc Pain project are:

Optimisation must be used at the earliest stages of the design procedure. It is at these stages that changes can be done without having negative impact on the other aspects (foundation, mechanical elements, piers, ...). The project owner can even perform optimisation at the concept stage (draft) in order to better define the tender specifications/requirements.

Using tools like LBR-5 may usually save 5 to 10% of the weight (cost) compared to a standard design performed with least weight (cost) optimisation.

Objective of the optimisation must be clearly defined at the beginning of the study.

– Greutatea minimă sau prețul minim conduc în mod decisiv la concepții foarte diferite. Greutatea minimă conduce la creșterea numărului de rigidizări, încărcarea manoperei și de aici costuri mai mari pentru confecții metalice.

– În schimb costul minim de construcție conduce la reducerea numărului de suduri, asamblări, etc. și de aceea la grosimi mai mari ale tăbliei și o greutate mai mare.

Deoarece contractul între beneficiar (organizație locală sau federală, regiune, oraș...) și contractor (constructor, companie privată...) este stabilit în mod obișnuit în termeni de cost unitar (€/kg pentru structuri din oțel, €/m³ pentru beton, ...), interesele celor două părți vor fi opuse:

– Pentru beneficiari soluția optimă se bazează adesea pe minimizarea greutății atât timp cât el plătește pe kg de material și apoi pe minimizarea costurilor de exploatare.

– Dimpotrivă pentru constructor soluția optimă este cea cu prețuri de producție minime (pentru a reduce propriile cheltuieli) simultan cu creșterea greutății (pentru sporirea beneficiului propriu).

Pentru a evita un astfel de conflict este necesară includerea în caietul de sarcini al beneficiarul a unor prevederi care să specifice clar (suplimentar față de cele obișnuite) ca:

– soluția adoptată și dimensionarea ei să fie optimizate pentru a reduce costul global suportat de beneficiar;

– soluția să prevadă reducerea costurilor de exploatare;

În concluzie soluția propusă de contractor trebuie să fie cea mai ieftină cu luarea în considerare a costurilor de producție suportate de proprietar și a costurilor de exploatare.

Costul minim al structurii conduce adesea la o creștere a intervalului de dispunere a cadrelor și rigidizărilor. Limita superioară a acestor intervale este restricționată de criteriile de rezistență dar și din considerații estetice.

Spațierea excesivă poate conduce la voalări ale tăbliei inacceptabile din punct de vedere estetic.

– Least weight and least cost drive definitively to very different designs. Least weight usually increases the number of stiffeners, induces higher labour load and therefore higher manufacturing costs.

– On the contrary least construction cost leads to a reduced number of welds, connections, etc. and therefore to thicker plates and bigger weight.

As the contract between the project owner (federal or local public organization, region, cities,..) and the contractor (builder, private company,...) are usually defined in terms of unitary cost (€/kg for steel structures, €/m³ for concrete, ...), clients and contractors have opposite interest.

– For the owners the optimum design is often a least weight design as they pay per kg of material and latter on it will be a least operational cost.

– On the contrary the optimum design for the builder is in fact the one with the least production cost (to reduce his own cost) simultaneously with the weight increase (to increase his revenue).

To avoid such conflict, it is necessary to include in the owner's "work content", clear statements that specify (in addition to what is usually done):

– the design and associated scantling (sizing) should be optimised to reduce the global cost supported by the owner,

– the design has also to minimize the operational cost (to reduce them),

In conclusion, the solution proposed by the contractor has to be the cheapest one taking into consideration the construction cost supported by the owner and the operational cost.

The least cost structure often leads to an increase of the frame and stiffener spacing. Spacing upper bounds come from the strength considerations but also from aesthetical constraints.

Excessive spacing can lead to plate deflections that could be unacceptable for esthetic considerations.

Mult

l'Equ
Valo:
preze
respc

come
autor
Mini
Affa
pent

Opti

Résu

L
Cet c
lors é
L
qui e:
L
mod
restri
L'ex
de la
optin

Bibli
Refe

[1]
[2]
[3]
[4]
[5]
[6]

Mulțumiri

Autorii mulțumesc MET (Ministère de l'Équipement et du Transport) al regiunii Valone, Belgia pentru datele utilizate în această prezentare. Autorii își asumă întreaga responsabilitate pentru conținutul lucrării.

Ministerul nu este responsabil pentru comentariile și punctele de vedere formulate de autori. Autorii mulțumesc de asemenea Ministerului Regiunii Valone (International Affairs, DRI, Subvention 02.14358, Art. 39) pentru sprijinul acordat.

Acknowledgments

The authors thank the MET (Ministère de l'Équipement et du Transport) of the Walloon Region of Belgium for the data used in this presentation. The authors are fully responsible of the content. The MET ministry is not responsible of the authors' comments and point of view.

The authors also thank the "Ministère de la Région Wallonne" (International Affairs, DRI, Subvention 02.14358, Art. 39) for their support.

Optimisation du dimensionnement de la Porte de garde du Blanc Pain

Résumé

Le modèle LBR-5 est un outil intégré d'analyse et d'optimisation des structures orthotropes hydrauliques et navales. Cet outil a la particularité de permettre dès le stade de l'avant-projet l'optimisation du dimensionnement, c'est-à-dire lors de la phase initiale de la conception.

Le dimensionnement optimum obtenu correspond soit au minimum du coût de construction, soit au poids minimum, qui est défini comme étant la fonction objectif $F(XI)$.

LBR-5 est conçu selon le concept de l'Optimisation Orientée Modules. Ainsi le modèle LBR-5 est basé sur les 3 modules de base suivants: OPTI – module contenant l'algorithme mathématique d'optimisation; RESTRI – module des restrictions et COUT – module de la fonction objectif coût de construction.

L'exemple présenté est consacré à l'optimisation d'une porte de garde située sur le Canal du Centre, Belgique. Il s'agit de la porte levante du Blanc-Pain. Pour cette porte, la conception et le dimensionnement de la structure ont été optimisés de façon à atteindre le poids minimum.

Bibliografie

References

- [1] RIGO PH., "A Software for the Computation and Design of the Stiffened Hydraulic Structures", P.I.A.N.C. Bulletin, n°65, June 1989, 16p.
- [2] RIGO PH., "The Stiffened Sheathings of Orthotropic Cylindrical Shells", Journal of Structural Engineering of the ASCE, USA, vol. 118 n°4, April 1992, pp926-943.
- [3] RIGO PH., "Least Cost Optimum Design of Stiffened Hydraulic and Floating Structures", P.I.A.N.C. Bulletin, n°101, April 1999, pp33-45
- [4] RIGO PH., "A Module-Oriented Tool for Optimum Design of Stiffened Structures", Marine Structures, Elsevier Science Ltd., vol 14/6, Nov. 2001, pp611-629
- [5] RIGO PH., "Least-Cost Structural Optimization Oriented Preliminary Design", Journal of Ship Production, USA, vol.17/4, Nov. 2001, pp.202-215
- [6] RIGO PH., C. FLEURY, "Scantling Optimization Based on Convex Linearizations and a Dual Approach", Marine Structures, Elsevier Science Ltd., vol 14/6, Nov. 2001, pp631-649