

# PROIECTAREA INTEGRATĂ: UN MOFT SAU O NECESITATE?

*Drd.eng. Ciprian Pop*

*Mechanics of Structure, Tehnical University of Civil Engineering*

## ABSTRACT

The following article present the current problems a structural engineering office is facing, which are the short delivery time for the project and the required reduction of required material. The current practice is analysed, the modern approach is described and în the end the risks and costs of this change are analysed.

**Key words:** *BIM, Interoperability, CAD/CAE, Parameters, Optimization.*

## 1. Introducere

Piața curentă de proiectare solicită proiectanților structuriști construcții eficiente din punct de vedere al consumurilor într-un timp cât mai scurt.

Metoda tradițională de proiectare presupune în faza de studiu de fezabilitate un calcul simplificat și acoperitor, împreună cu interpolarea costurilor între structuri similar proiectate.

Această abordare poate conduce la pierderea contractului de proiectare pentru următoarele faze (D.T.A.C., P.T. +D.E.).

Graba aceasta din partea investitorilor provine, pe de o parte din dorința de a returna cât mai repede băncii creditul, iar pe de altă parte din cauza faptului că există birouri de inginerie care sunt capabile sa furnizeze o ofertă precisă în aceste condiții.

O altă problemă a proiectării tradiționale este abordarea separată de către fiecare specialitate (Arhitectura, Rezistenta, Instalații) a proiectului, această metodă presupunând corelări ale planurilor, ceea ce poate deveni dificil de gestionat în cazul modificărilor inerente din cadrul proiectului.

Lipsa de corelare a planurilor, poate conduce la modificări în faza de execuție a lucrării ce se traduce în pierderi de material.

Statistic până la 50% din materialele noi achiziționate în cadrul unui proiect se vor pierde din cauza aproximărilor și a modificărilor.

Aceste pierderi nu afectează doar investitorul și beneficiarul, ci și planeta noastră.

Industria construcțiilor are o contribuție de aproximativ 40% din totalul de dioxid de carbon (CO<sub>2</sub>) rezultat din activitățile planetei.

## 2. BIM, mai mult decât un concept?

Charles Eastman a folosit pentru prima data termenul **Building Product Model**, în lucrarea sa publicată la sfârșitul anilor '70. [1]

Termenul de BIM (de la **B**uilding **I**nformation **M**odel), ce semnifică Model informatic al clădirii, a fost conceput de către Jerry Laiserin, analist al industriei construcțiilor și editorul revistei Laiserin Letter.



Fig. 1. Eastman C., *Building Product Models: Computer Environments Supporting Design and Construction*, CRC Press, Boca Raton FL, (1999).

El definește BIM ca centralizarea tuturor informațiilor la nivel de model 3D unic de unde se pot extrage planuri și rapoarte necesare livrării spre execuție de către fiecare specializare.[2]

Obiectivele BIM sunt următoarele:

- Comunicare
- Colaborare
- Simulare
- Optimizare

Pentru a putea transforma acest concept teoretic într-o aplicație tehnică, în anul

1995 se înființează o alianță privată ce avea ca scop implementarea unui standard pentru programele de desen (CAD) și cele de calcul (CAE), pentru ca acestea să permită interoperabilitatea. Astfel a apărut open BIM împreună cu formatul IFC.

Producătorii software ce au intenționat să devină membri ai acestei asociații au fost supuși unui proces de audit în vederea obținerii certificării pentru interfața de schimb de date (import și export).

### **3. Nemetschek Allplan, o aplicație BIM înaintea apariției conceptului**

*“Viitorul proiectării clădirilor constă în interacțiunea tuturor celor implicați în proces.”*

**Prof. Georg Nemetschek**

Nemetschek Allplan a utilizat o metodă integrată de proiectare înaintea definirii conceptului BIM la nivel de industrie a construcțiilor.

De la bun început a fost un program ce lucra pe un model 3D unic, la care aveau acces toate specialitățile cu funcții comune și funcții specifice disciplinelor.

Arhitecții utilizau elemente de arhitectura, inginerii structuriști aveau 3D, inginerii instalatori introduceau instalațiile de încălzire, răcire, ventilație, electrice.

După ce modelul 3D era complet se realizau verificări de coliziuni între toate elementele introduse de fiecare disciplină. La finalul procesului de corectură se puteau extrage cantitățile precise pentru structură, arhitectură, instalații.

Planurile de execuție se obțineau tot din modelul 3D, acestea fiind asociative, orice modificare în plan sau în model fiind biunivocă și actualizată în timp real în tot proiectul.

Toate corelările între discipline se realizau în 3D fără a fi nevoie suprapunerea planurilor și realizarea unei modificări de către fiecare participant la proiectare.


Când întregul model este validat de către verificatorii interni, externi și de către investitor/beneficiar el se poate da către execuție, având toate cantitățile

#### **3.1 Conversia unui model structural într-un model de analiză**

O mare provocarea pentru inginerul structurist este calcul modelului 3D realizat de către arhitect, actualizarea acestuia cu noile informații și a modificărilor ce pot apărea.

Problema pe care o întâmpină nivelul de dezvoltare tehnică actual este faptul că programele de desen (CAD) lucrează cu volume, în timp ce programele de calcul (CAE) lucrează cu axe de calcul.

Acest proces se numește “RoundTrip Engineering” și se poate realiza între un program CAD (Allplan) și un program CAE (Scia Engineer) prin intermediul unui

set de funcții denumite funcții BIM.  **Funcții BIM**

## The Open BIM Platform

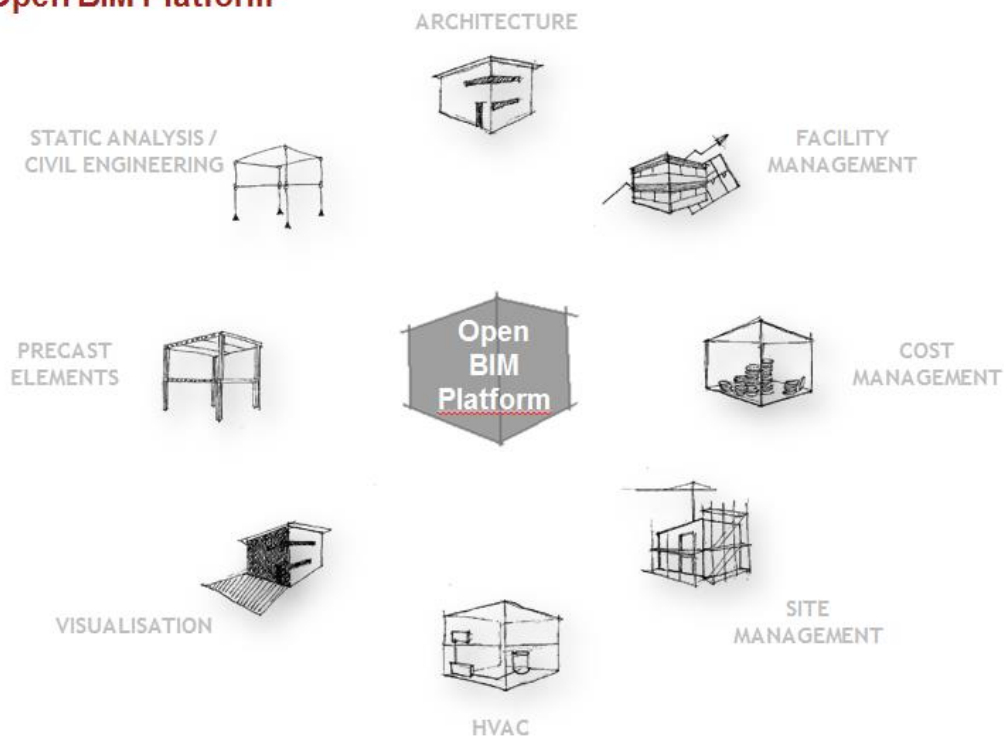


Fig. 2. Accesul la informații în diferite stadii, „BIM Made by Allplan”

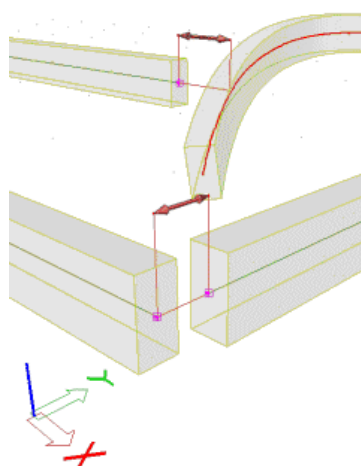
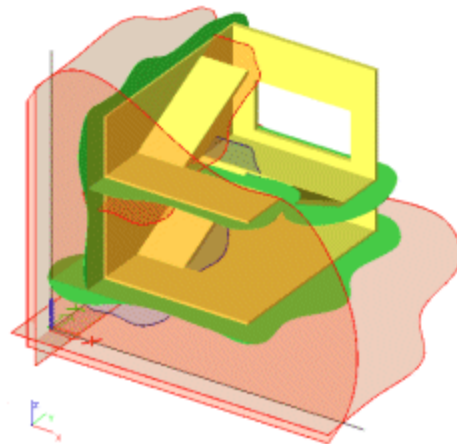
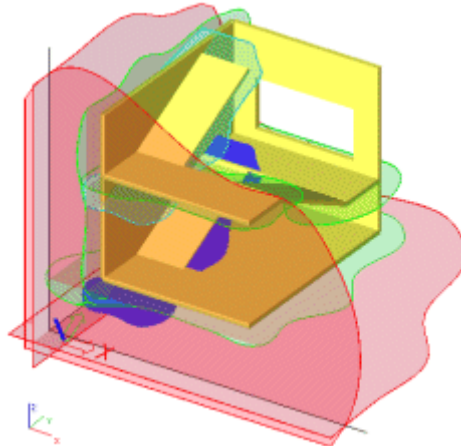


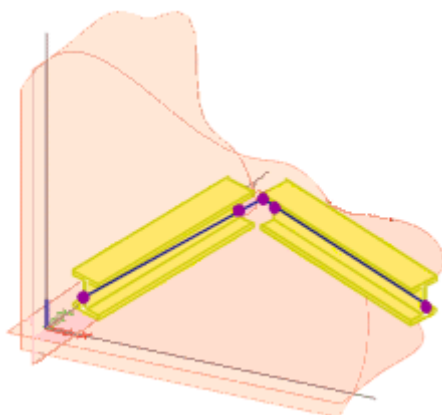
Fig.3.Unirea axelor în noduri



*Fig.4. Alinierea elementelor la planul de calcul al elementelor MEF 2D*



*Fig.5. Alinierea elementelor la sistemul de coordonate al utilizatorului (SCU)*



*Fig.6. Alinierea elementelor conform axelor locale.*

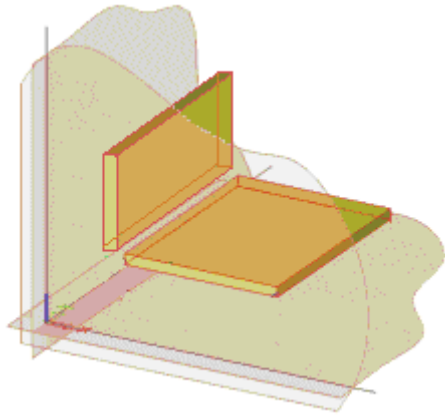


Fig.7. Alinierea globală a axelor plăcilor, pereților

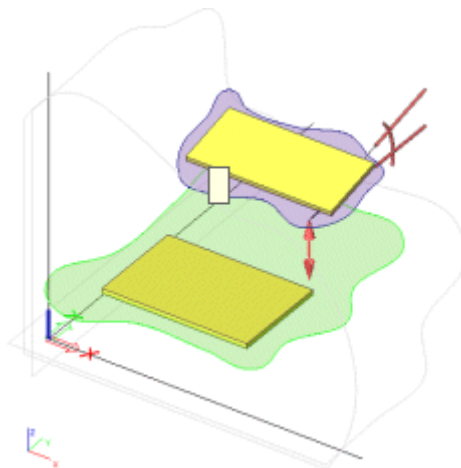


Fig.8. Introducerea unghiului maxim dintre elemente 2D

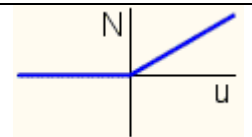
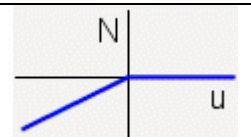
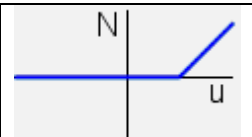
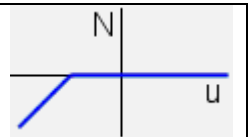
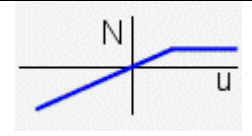
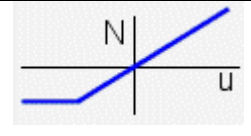

### 3.2 Metode de calcul MEF necesare

**Calcul linear** – Calcul este realizat pe geometria inițială a modelului, iar eforturile și deformațiile au distribuție elastică.

**Calcul neliniar** – Există 3 tipuri de neliniarități:

- **Neliniaritate geometrică** – calcul este realizat pe geometria deformată, deformațiile nu variază linear cu deplasările și sunt luate în calcul efectele de ordinul II;
- **Neliniaritatea de material** – eforturile și deformațiile au o distribuție plastică, se poate identifica apariția articulațiilor plastice;

•**Neliniaritate locală** – este cazul elementelor ce conțin o matrice de rigiditate specială ce se actualizează în urma fiecărui calcul. În această categorie se regăsesc tiranții, ce sunt proiectați să preia doar compresiune, relaxarea cablurilor ce se pot modela cu o rigiditate ce se dezvoltă după apariția unei anumite deplasări. Cablurile sunt un caz special ce necesită elemente finite ce țin cont de modificare geometriei în funcție de încărcări până la stabilizarea formei în vederea preluării doar a eforturilor de întindere pură.

|  |  |   |   |
|--|--|---|---|
|   |   |   |  |
| Doar întindere   | Doar compresiune   | Deplasare minimă pentru rigiditate la întindere                                     | Deplasare minima pentru mobilizarea compresiunii                                    |
|  |  |  |   |
| Forță limită de curgere  | Limitare la forța critică de flambaj   | Deplasări minime pentru intrare elementului în lucru la întindere și compresiune    |   |

Tablel 1 - Tipuri de neliniarități

### 3.3. Interpretarea rezultatelor

În urma efectuării uneia din analizele descrise anterior se obțin rezultate exprimate în eforturi și deformații. Astea pot fi reacțiuni, deplasări nodale, tensiuni, deformații și eforturi la nivel de elemente 1D și 2D.

Utilizând aceste rezultate inginerul structurist trebuie să identifice combinațiile cele mai defavorabile, elementele cele mai solicitate pe fiecare tip de secțiune transversală precum și determinarea secțiunilor relevante pentru calcul de-a-lungul fiecărui element.

Următoarea etapă este determinarea capacității secțiunilor respective conform normelor de proiectare în vigoare, ceea ce se realizează în mod tradițional cu foi de calcul programate personal de către inginer în Excel/Mathcad/Matlab.

Un avantaj al acestei metode îl constituie faptul că proiectantul a studiat normativul de dimensionare și de asemenea cunoaște foarte bine ce date de intrare

trebuie să introducă pentru a obține rezultate corecte.

Problema majoră a acestei metode o reprezintă timpul necesar și faptul că trebuie realizate grupuri de elemente.

Proiectantul trebuie să grupeze elementele mediind eforturile, el putând verifica un număr limitat de combinații într-un număr limitat de secțiuni critice.

Alternativa este utilizarea la maxim a capacității programului de calcul. Acest lucru presupune utilizarea verificărilor implementate în program conform codurilor de proiectare pentru toate elementele și luarea deciziilor pe baza diagramelor de verificare unitară în locul diagramelor de eforturi.

Un exemplu al acestei abordări poate fi optimizarea unei grinzi de hală, profil laminat cu vute pe reazem și la coamă.

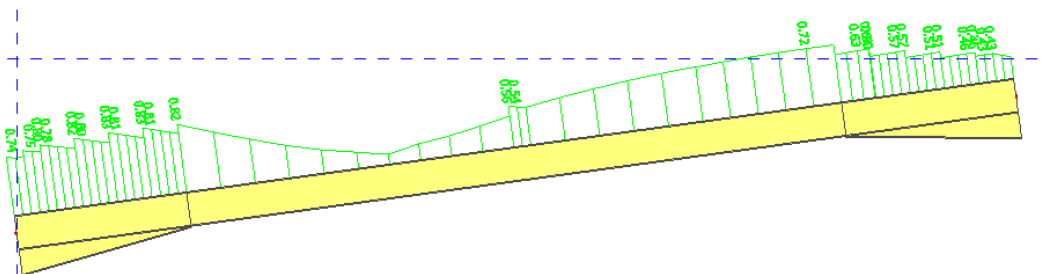


Fig.8. Verificare unitară pentru grinda cu vute conform SR EN 1993-1

În această situație se va alege un profil ce se verifică în secțiunea de câmp, iar pentru dimensionarea în secțiunea de reazem se va stabili înălțimea și lungimea vutei pe baza solicitării.

Se poate realiza o optimizare prin variația parametrilor geometrici astfel încât să rezulte o verificare unitară cât mai aproape de 1. De asemenea se poate vizualiza grafic verificarea secțională și de stabilitate în fiecare secțiune din fiecare combinație posibilă de încărcare.

Dezavantajul acestei metode îl reprezintă faptul că proiectantul trebuie să aibă o profundă cunoaștere a codurilor de proiectare și experiență, împreună cu training autorizat în utilizarea softului; altminteri rezultatele sunt la fel de valide precum datele de intrare.

Un alt aspect este dat de prioritizarea implementării de coduri de proiectare ale dezvoltatorului. Dezvoltatorul soft-ului poate să se concentreze pe implementarea unor standarde în țări unde sunt mai mulți potențiali clienți. Pentru a preîntâmpina această problemă, Scia Engineer a adoptat o strategie intitulată Open Design. Practic s-a dezvoltat un program numit Scia Design Software ce permite programarea propriilor algoritmi de calcul, conform oricărui standard sau studiu științific, de către orice utilizator fără ca acesta să dispună de cunoștințe avansate de programare.

De asemenea programul este dotat cu baze de date de materiale conforme cu



numeroase normative, dezvoltarea de interfață grafică și integrare directă în programul de calcul.

Astfel inginerul își poate implementa o verificare ce o găsește într-un studiu științific, dar nu este încă aprobată în cadrul unui normativ și să obțină o reprezentare grafică a verificărilor unitare (solicitare raportată la capacitate) direct în programul de calcul.

Aceasta verificare personalizată se va regăsi în breviarul de calcul final cu toate relațiile și substituțiile reprezentate transparent.

### 3.4. Optimizarea structurii

Exista 3 niveluri de optimizare: [3]

- I) Optimizarea la nivel de secțiune transversală;
- II) Optimizarea globală;
- III) **EOT**: Optimizare parametrică avansată.

Cea mai simplă formă de optimizare este cea de secțiune transversală ce este dependentă de material și permite optimizările descrise în figura 9.

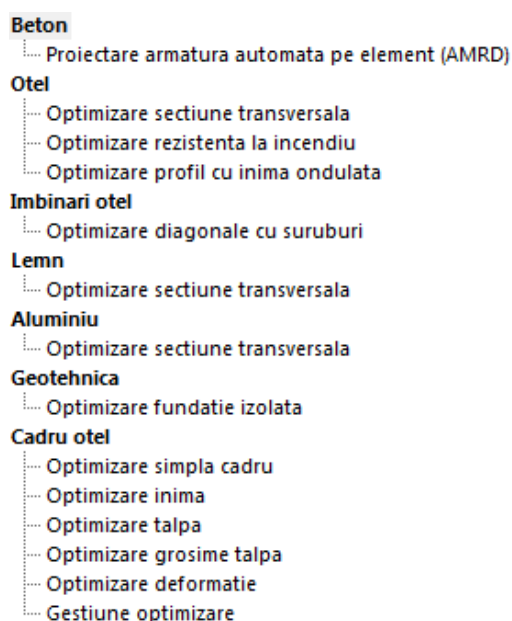


Fig.9. Optimizarea secțiunii transversale conform tipului de material

Al doilea nivel de optimizare se poate aplica asupra unui grup de elemente (stâlpi, grinzi, contravântuiri) și devine esențială când structura este static nedeterminată, în care modificarea unui element influențează distribuția momentelor.

Optimizarea de nivel II permite utilizarea tuturor funcțiilor disponibile în optimizarea de ordin 1.

Optimizarea de nivel III presupune utilizarea parametrilor ce pot defini numeroase atribute: de la geometria nodurilor, valoarea forțelor, a rigidității, poziția încărcării și alte informații ce pot înlocui introducerea manuală de valori. Parametrii pot fi independenți sau să depindă de definirea de către utilizator a unei formule/ecuații.

Utilizatorul poate defini domeniul de variație și pasul de incrementare, iar soft-ul va genera, prin intermediul algoritmilor genetici, valori aleatoare în vederea atingerii convergenței soluției.

Rezultatul va consta în modificarea formei structurii în vederea atingerii unui consum minim de material, dar respectând toate exigențele privind verificările secționale și de stabilitate.

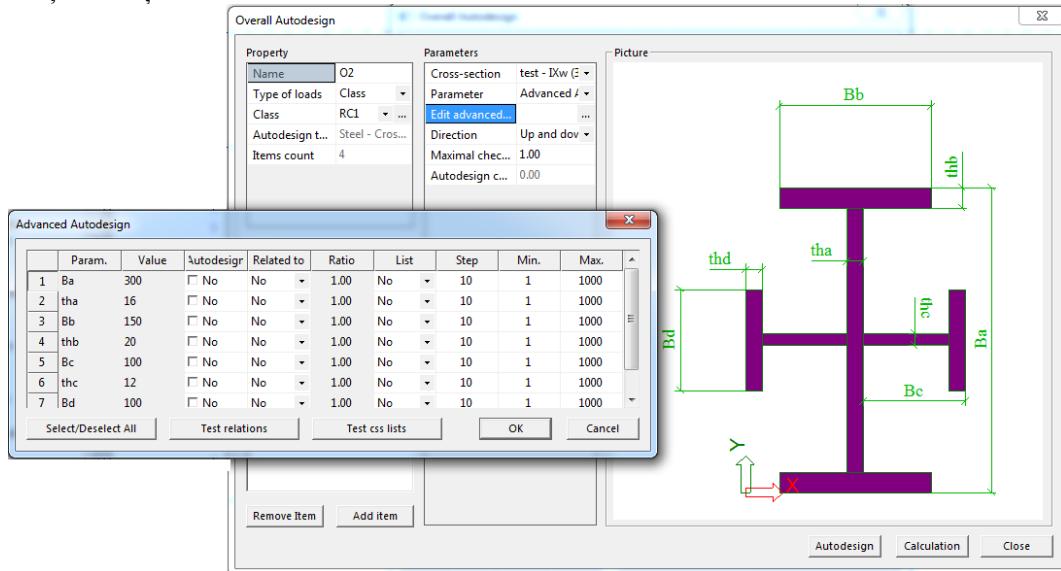


Fig. 10 Optimizarea avansată – Modificarea parametrilor geometrici impunând suplețea admisibilă pentru inimă și tălpi

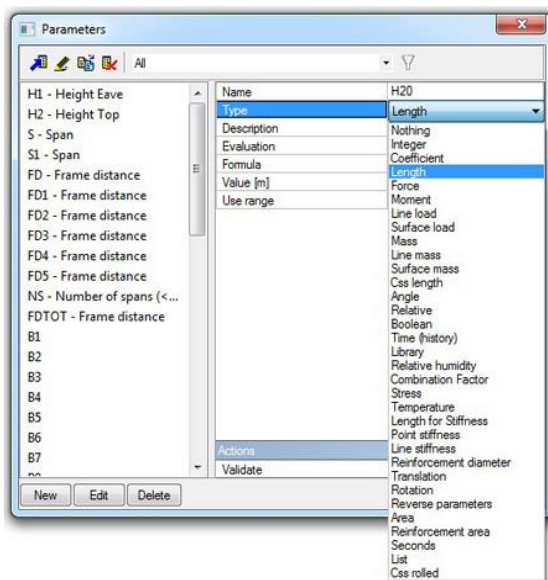


Fig. 12. Definirea parametrilor unui model

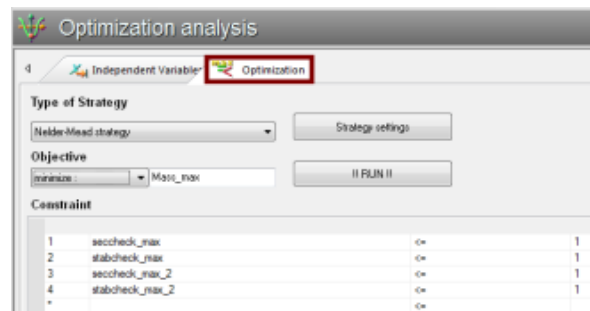


Fig. 13. Definirea unei strategii numerice, a unui obiectiv și a exigențelor adiționale.

## **Concluzii**

În concluzie, dezvoltarea tehnologiei trebuie să fie privită cu mare atenție. Un program de calcul nu va înlocui niciodată un inginer. Acesta trebuie să privească soft-ul ca pe o unealtă ce îl ajută să economisească timp, realizând rapid operațiile repetitive.

Validitatea rezultatelor este strict dependentă de calitatea datelor de intrare, iar utilizatorul este singurul ce poate fi tras la răspundere pentru proiectul predat. Însă dacă există suficientă responsabilitate, experiență și instruire profesională aceste tehnici modern se pot aplica cu succes.

## **5. Recunoaștere drepturi**

Imaginile din capitolul 2 sunt preluate din manualul intitulat "BIM made by Allplan" Nemetschek Allplan.

Toate imaginile din capitolul 3 sunt capturi de ecran din programul de calcul Scia Engineer.

## **6. Bibliografie**

1. C., E. (1999). Eastman C. Building Product Models: Computer Environments Supporting Design and Construction. Boca Raton: CRC Press. p1-2.
2. Manualul Nemetschek: "BIM made by Allplan"
3. Popa C., "Optimizare parametrică avansată", revista AICPS Review, Romania, Mai 2014, p.150-158.