

## SISTEME RUTIERE RIGIDE.

### Element Finit versus Formule WESTERGARD – calculul dalelor din beton de ciment

Analiza pe încărcarea din gradient de temperatură.

Eforturi din deplasări la centru, la margine și la colț.

#### Cuprins:

I.	Formulele de calcul Bradbury (calculul eforturilor din gradient de temperatură).....	2
II.	Metodologie de lucru .....	3
III.	ETAPA I .....	4
1)	<i>Deplasări pe verticală și Vectorul deplasării totale - Dală .....</i>	4
2)	<i>Deplasări pe verticală și Vectorul deplasării totale – Strat de Balast .....</i>	5
3)	<i>Eforturi de întindere – Strat de Balast, partea superioară .....</i>	6
4)	<i>Eforturi de compresiune – Strat de Balast, partea superioară .....</i>	6
IV.	ETAPA II.....	6
1)	<i>Ipoteza cu luarea în considerare a greutateii proprii a dalei .....</i>	8
2)	<i>Ipoteza - fără luarea în considerare a greutateii proprii a dalei .....</i>	11
3)	<i>Eforturi de întindere la centru, margine și colț – cu luarea în considerare a greutateii dalei</i>	12
V.	STUDIUL DE CAZ – GOL SUB AMPRENTA ROȚII .....	15
VI.	CONCLUZII .....	17

I. **Formulele de calcul Bradbury** (calculul eforturilor din gradient de temperatură)

$$\sigma_t = \frac{CxEx\alpha\Delta t}{2}$$

$$\sigma_x = \frac{CxEx\alpha\Delta t}{2} \times \frac{(Cx + \mu C_y)}{(1 - \mu^2)}$$

$$\sigma_y = \frac{CxEx\alpha\Delta t}{2} \times \frac{(C_y + \mu C_x)}{(1 - \mu^2)}$$

$\sigma_t$  = efort marginal

$\sigma_x$  = efort interior din încărcarea cu gradient de temperatură

$\sigma_y$  = efort interior din încărcarea cu gradient de temperatură

C = coeficienții Bradbury ( $C_x, C_y$ )

E = modulul de elasticitate dinamic al betonului

$\alpha$  = coeficientul de dilatare termică al betonului

$\Delta t$  = gradientul de temperatură ( $0.67 \cdot h_{dala}$ )

$\mu$  = coeficientul lui Poisson

$$C = 1 - \frac{2 \cos \lambda \cosh \lambda}{\sin 2\lambda + \sinh 2\lambda} x (\tan \lambda + \tanh \lambda)$$

$$\lambda = \frac{\text{Lungime dala}}{l\sqrt{8}} \text{ - calculul eforturilor marginale}$$

$$\lambda = \frac{\text{Latime dala}}{l\sqrt{8}} \text{ - calculul eforturilor interioare}$$

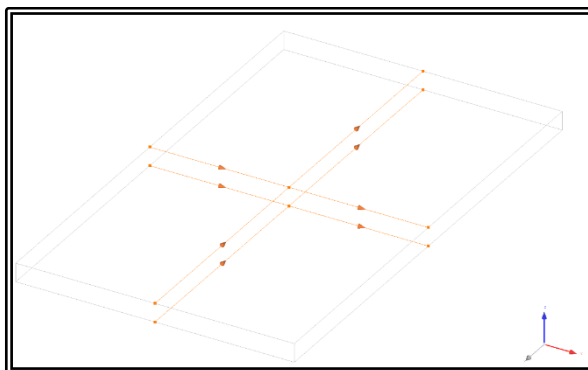
Calcul efort din gradient de temperatură:	Eforturi maxime din diferență de temperatură Bradbury's (MN/mm <sup>2</sup> )
- La margine l=3,75 M	<b>1.26</b>
- La margine L=6,00 M	<b>2.45</b>
- In interior	<b>2.95</b>
- La colț	<b>0,95</b>

## II. Metodologie de lucru

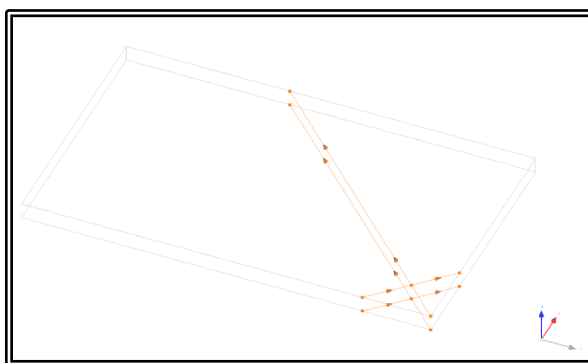
### Încărcări din trafic.

Pe baza modelării în element finit a structurii rutiere rigide, deja prezentate în ultimele articole/postări, cu ajutorul softului Cesar am realizat următoarele:

- a) Pentru încărcarea la centru a dalei am extras din Cesar eforturile în secțiunile longitudinale și transversale ale dalei, secțiuni care trec prin centrul dalei și sunt paralele cu laturile. Secțiunile au fost realizate cu extragerea eforturilor din lungul secțiunii la nivel de fibră superioară și fibră inferioară.



- b) Pentru încărcarea la centru a dalei am extras din Cesar eforturile în secțiunile longitudinale și transversale ale dalei, secțiuni care trec prin centrul dalei și sunt paralele cu laturile. Secțiunile au fost realizate cu extragerea eforturilor din lungul secțiunii la nivel de fibră superioară și fibră inferioară.



### Încărcări din gradient de temperatură.

Încărcările cu gradient de temperatură.

Încărcarea cu gradient de temperatură s-a realizat pe două discretizări diferite ale structurii rutiere rigide și 2 ipoteze de calcul.

- 1) Încărcarea cu gradient de temperatură, s-a aplicat inițial direct pe structura rutieră rigidă discretizată pentru încărcările cu semiosia standard 115 kN ) la centru și la colț;

S-a observat faptul că, din gradientul de temperatură pozitiv aplicat, apar eforturi de întindere în stratul de balast și deplasări ale acestuia (din întindere), eforturi și deformări care nu pot apărea în realitate.

Din studiul vectorilor de deplasare totală (de la fata superioara a stratului de balast) s-a constatat faptul că: prin incovoiere/ deformare dala „trage” de stratul de balast (într-un mod care nu este compatibil cu realitatea). Pentru eliminarea acestui fenomen, incompatibil cu realitatea, s-a analizat posibilitatea introducerii unor suprafețe/ corpuri de contact care să reducă spre nesemnificativ acest fenomen și/sau posibilitatea unei noi discretizări la nivelul stratului de balast. S-a decis adoptarea variantei cele mai simple si cu rezultatele cele mai clare, respectiv rediscrretizarea stratului din balast.

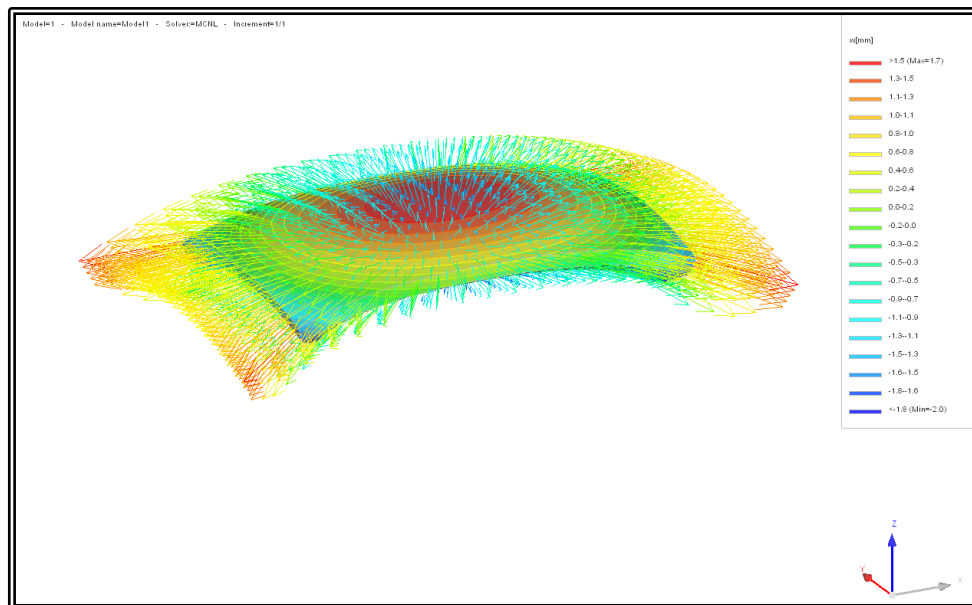
Noua discretizare a stratului de balast a avut la baza analiza vectorilor deplasarii totale si a utilizat principiul: Dacă prin incovoiere dala de beton se deformează, și se „dezlipsește” de stratul de balast, atunci nu mai există contact cu stratul de balast, iar pe aceste zone de „dezlipire” balastul nu mai contează/ balastul nu preia eforturi din întindere, deci poate fi eliminat din modelarea/discretizarea aferentă acestor zone. Consideram că varianta adoptată este cea mai bună, aceasta conformându-se cu realitatea.

- 2) Incărcarea cu gradient de temperatură, ulterior, s-a aplicat și pe structura rutieră rigidă rediscrretizată la nivelul stratului de balast. Incărcarea cu gradient de temperatură s-a aplicat in doua ipoteze: Ipoteza cu luarea in considerare a greutateii proprii a dalei si Ipoteza fără luarea in considerare a greutateii proprii a dalei.

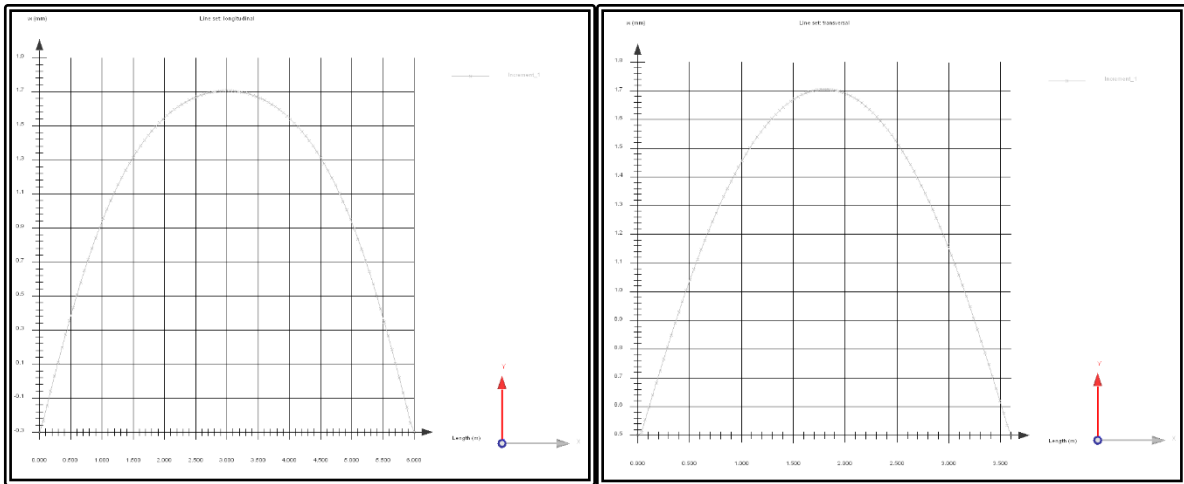
### III. ETAPA I

Incărcarea cu gradient de temperatură, s-a aplicat intial direct pe structura rutieră rigidă utilizată in calculul stării de eforturi si deformații aferente încărcărilor cu osia standard. Încarcarile cu semiosia standard 115 kN s-au aplicat la centru si la colț.

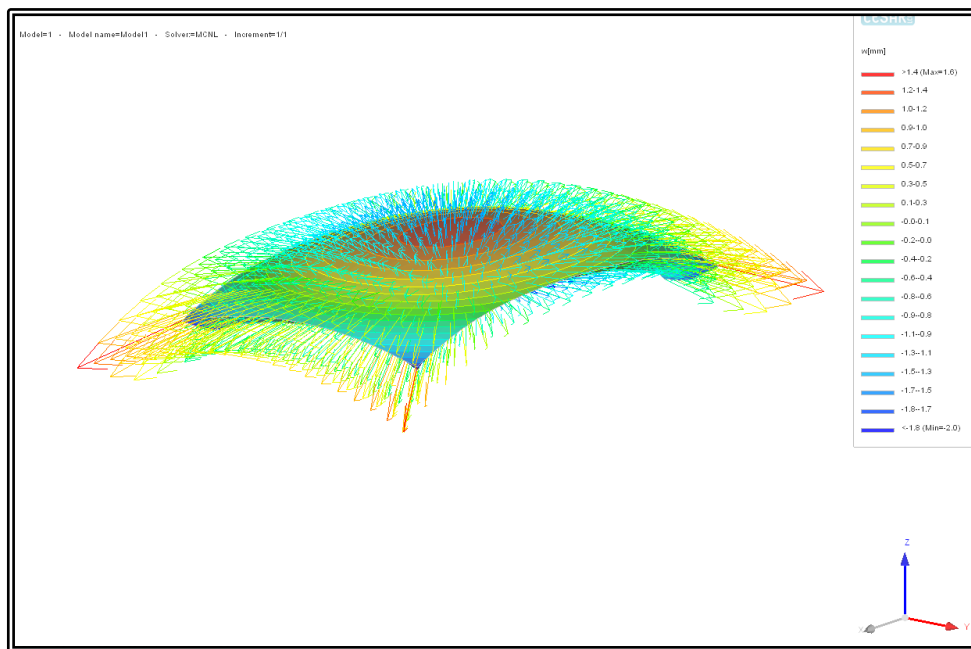
#### 1) *Deplasări pe verticală și Vectorul deplasării totale - Dală*



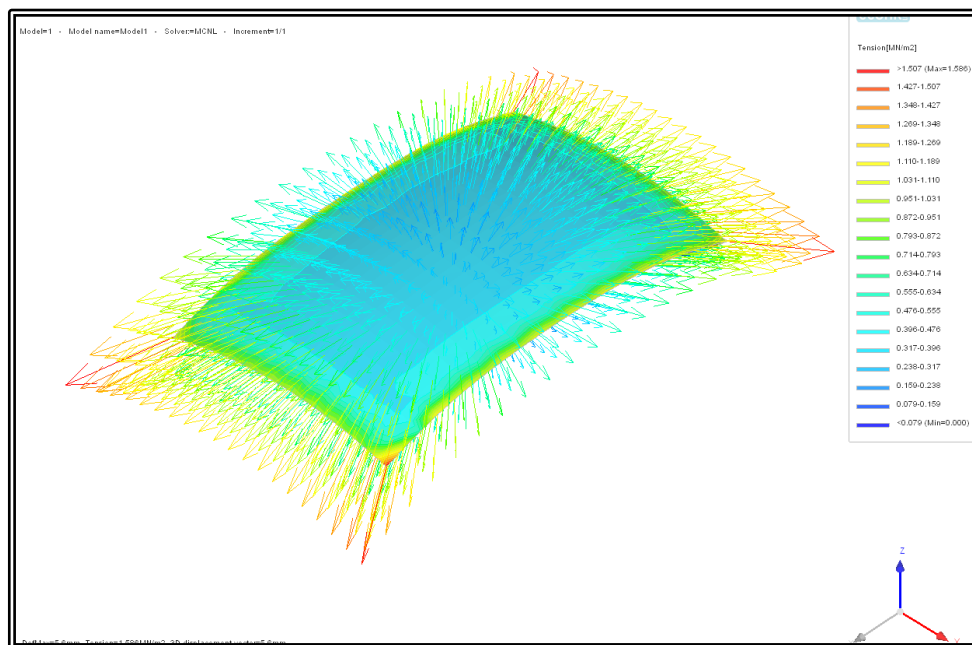
Deplasare in secțiune longitudinală si transversală



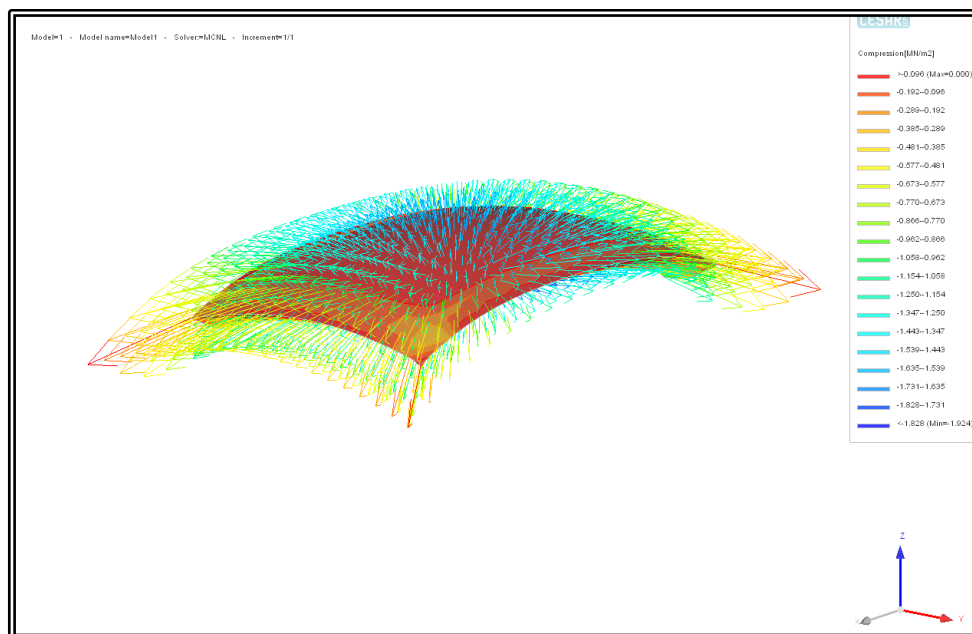
**2) Deplasări pe verticală și Vectorul deplasării totale – Strat de Balast**



### 3) Eforturi de întindere – Strat de Balast, partea superioară



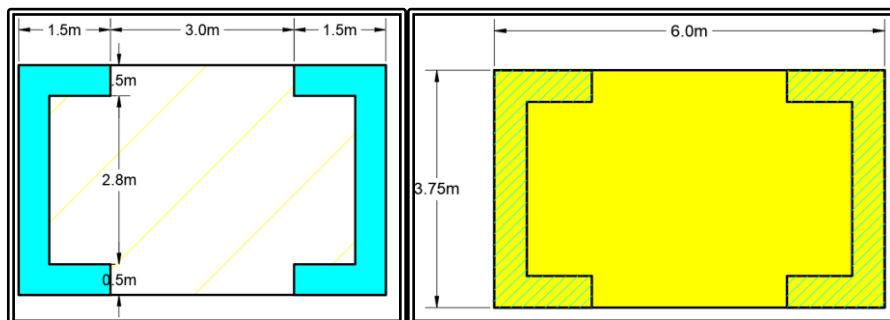
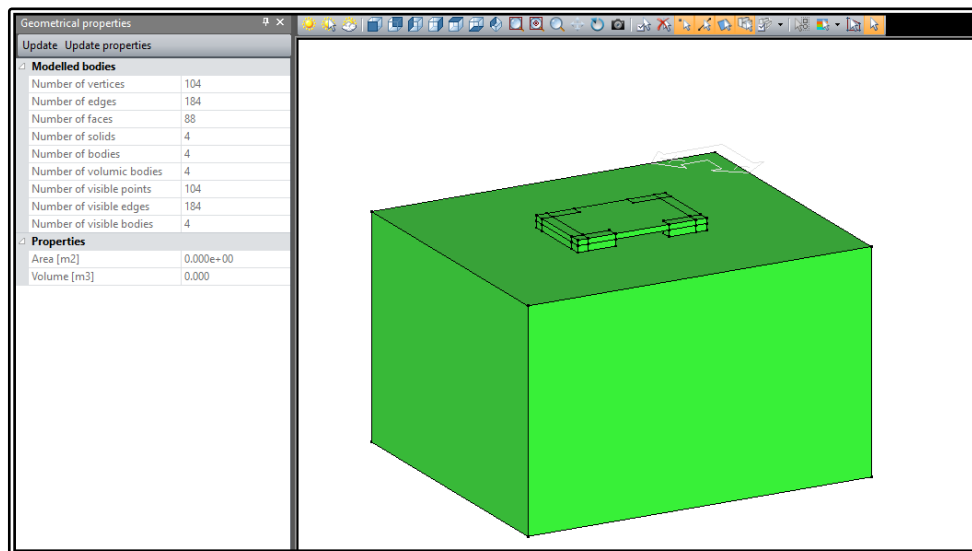
### 4) Eforturi de compresiune – Strat de Balast, partea superioară



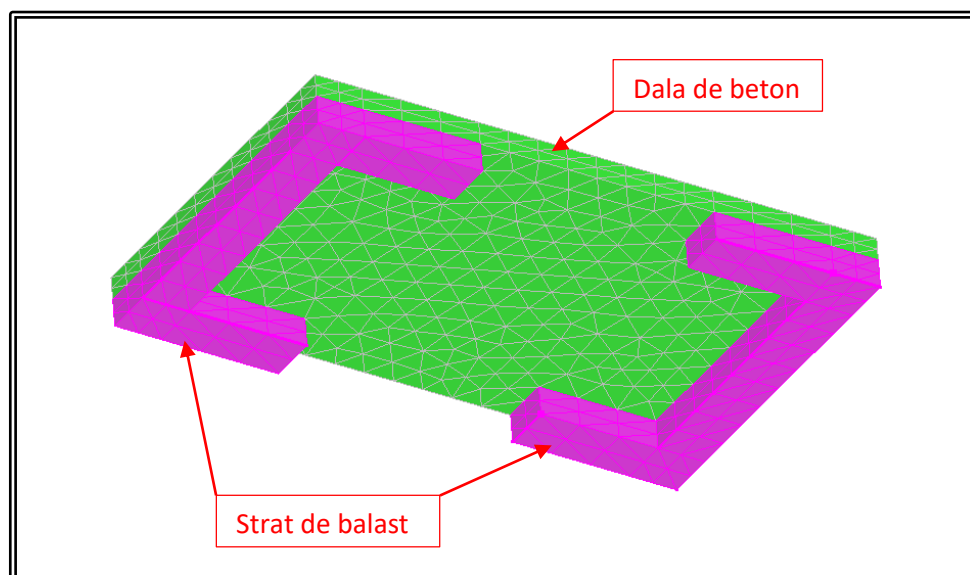
## IV. ETAPA II

Încărcarea cu gradient de temperatură, s-a aplicat în această etapă pe o structură rutieră rigidă, rediscretizată la nivelul stratului de balast.

Încarcarea cu gradient de temperatură s-a aplicat în doua ipoteze: Ipoteza cu luarea în considerare a greutateii proprii a dalei si Ipoteza fără luarea în considerare a greutateii proprii a dalei.

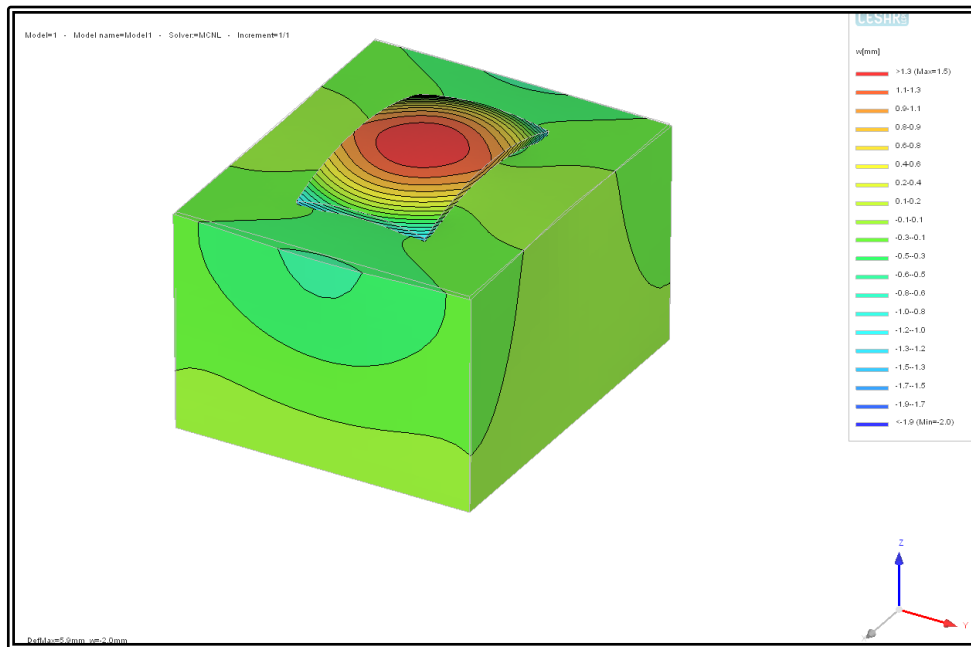


*Structura rutieră adoptată pentru calcul încărcărilor cu gradient de temperatură  $0.67 \times H_{dala}$ .*

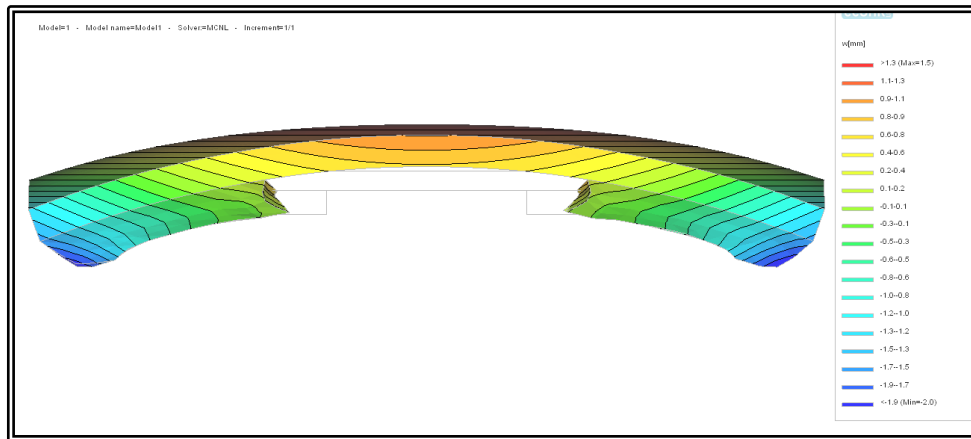


*Structură rutieră - Izolare Strat de balast si dală.*

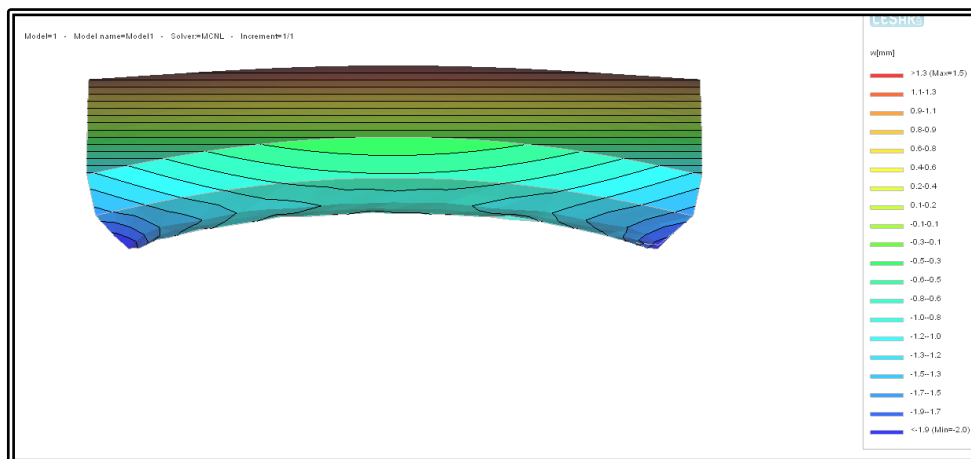
1) *Ipoteza cu luarea în considerare a greutății proprii a dalei*



*Deplasări verticale – În stratul de pământ nu există deplasări pozitive (conform axa Z)*

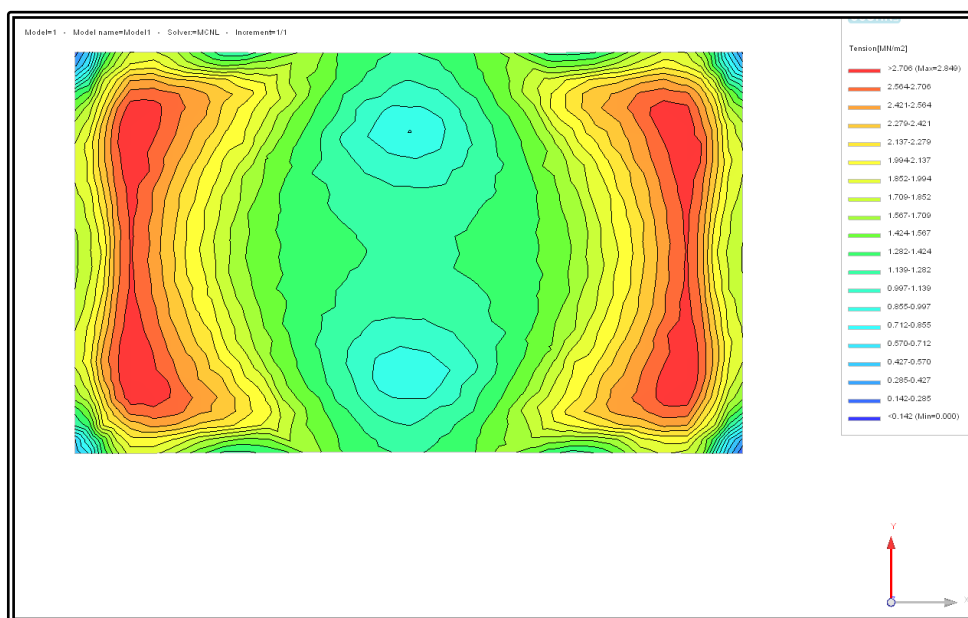


*Deplasări verticale ale stratului de balast și ale dalei de beton – vedere laterală în lungul dalei (cu gri forma nedeformată)*

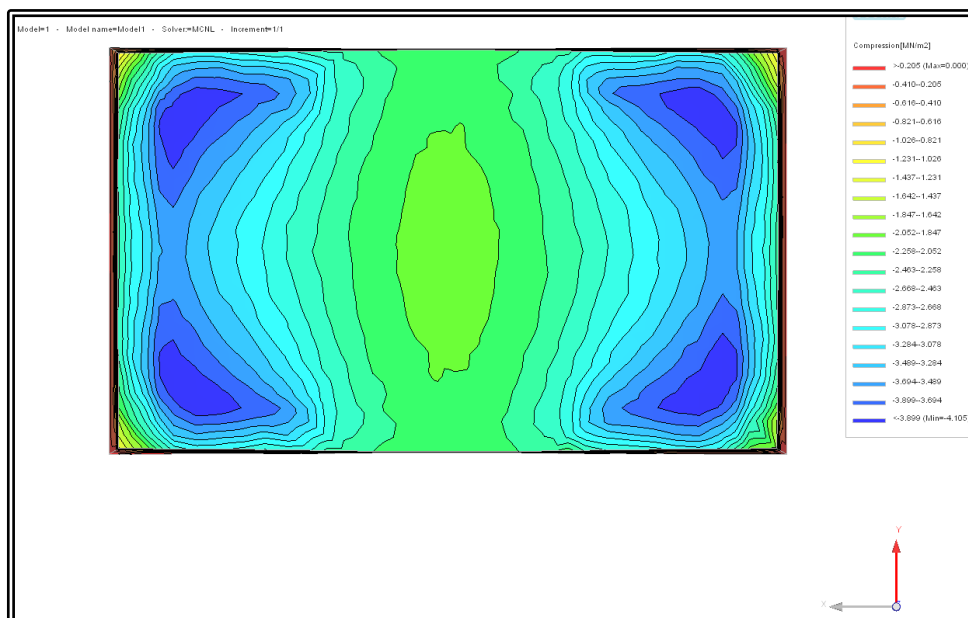




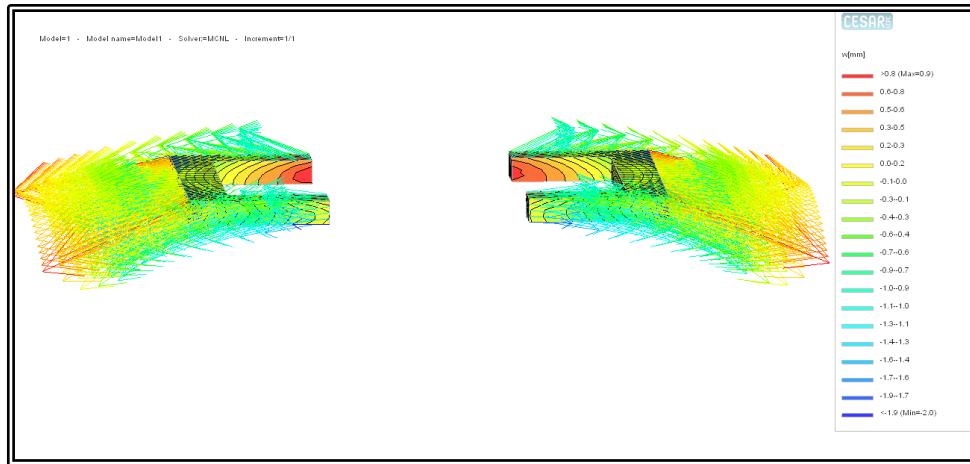
*Deplasări verticale ale stratului de balast și ale dalei din beton – vedere laterală (pe  
lațimea dalei)*



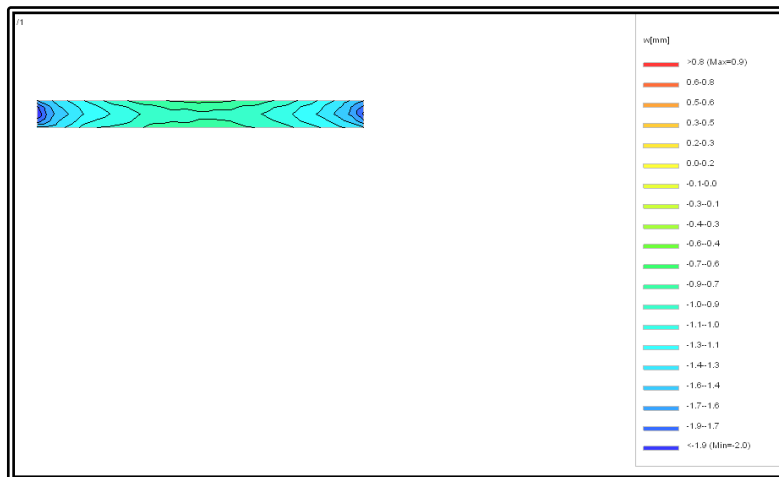
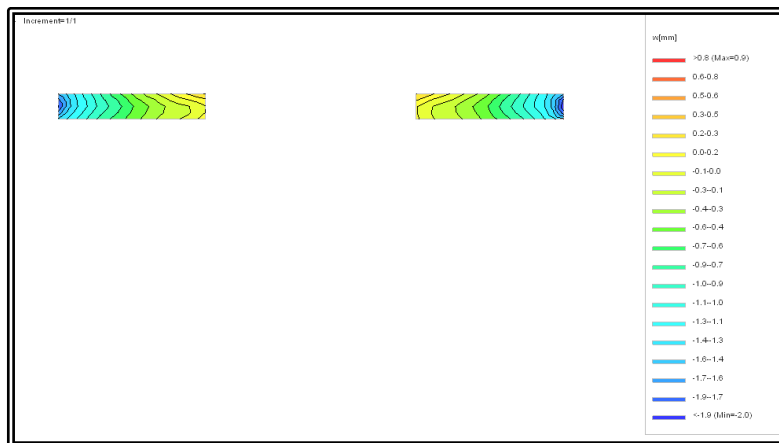
*Eforturi de întindere în dală – fața superioară – eforturi de întindere pe toată suprafața.*



*Eforturi compresiune în dală – fața superioară – eforturi de compresiune pe toată  
suprafața.*



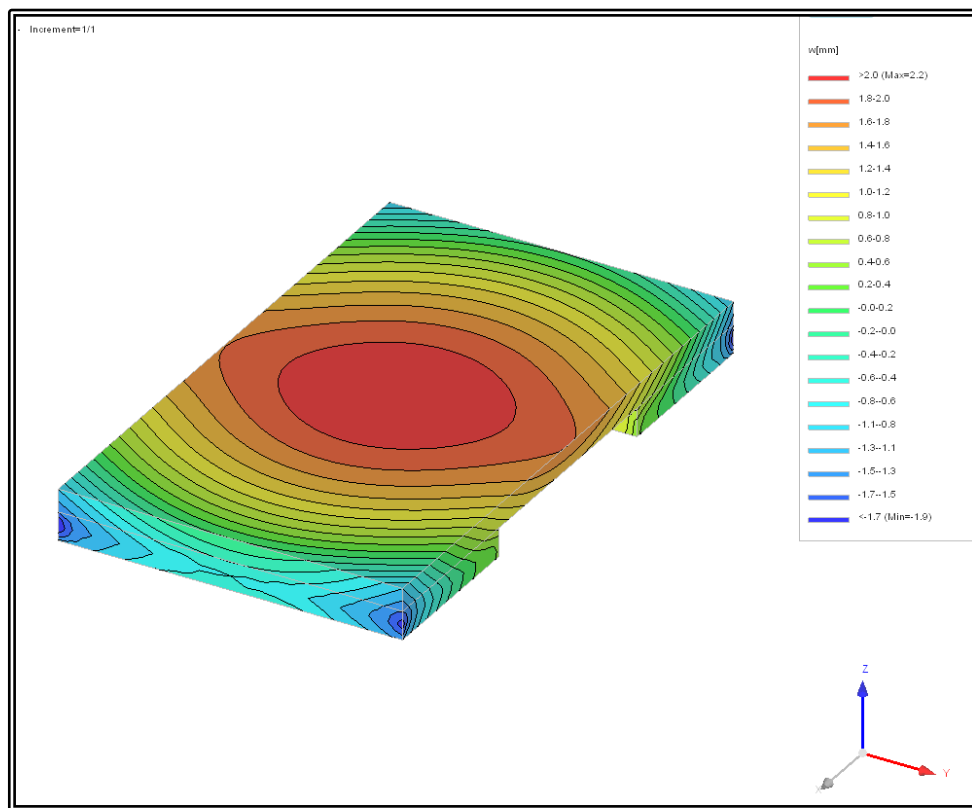
*Deplasări pe verticală și vectorul deplasărilor totale la partea superioară a stratului de balast.*



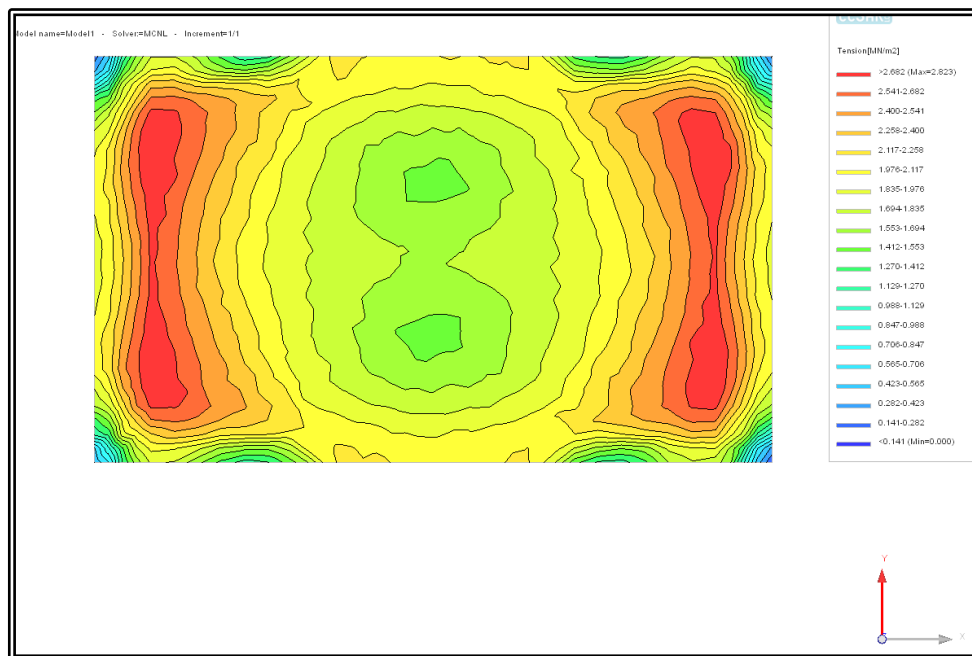
*Deplasări pe verticală - strat de balast – Vedere longitudinală și transversală.*

*Observăm: suprafețele pe care apar eforturi de întindere în stratul de balast sunt suficient de mici pentru ca influența acestor eforturi (raportate și la o rigiditate redusă a stratului de balast) să nu intervină semnificativ în starea de eforturi și deformații de la nivelul dalei din beton de ciment.*

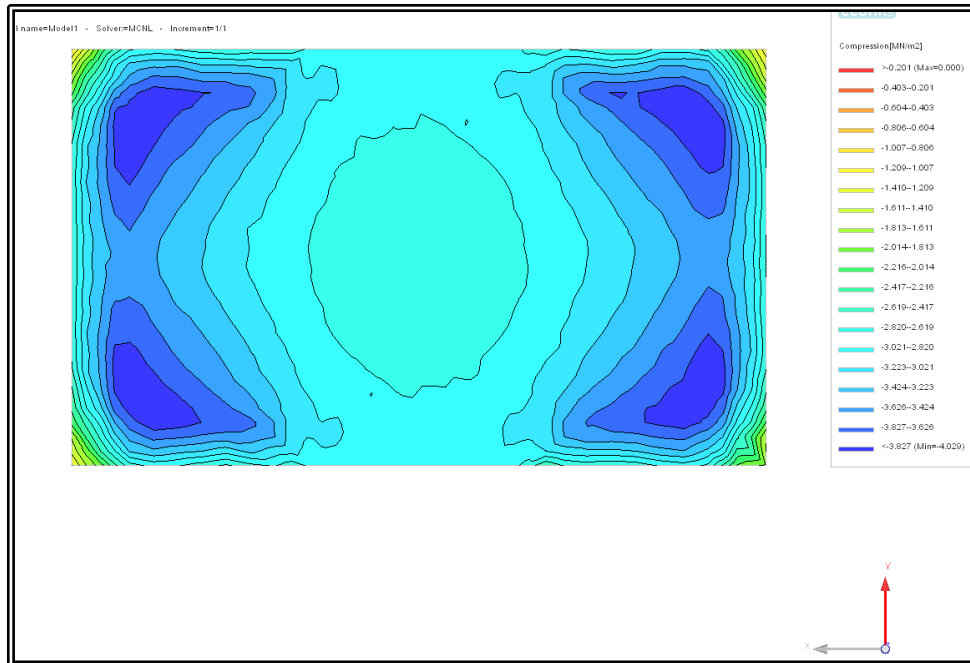
2) *Ipoteza - fără luarea în considerare a greutății proprii a dalei*



*Deplasări pe verticală – Perspectivă, strat de balast si dală de beton.*

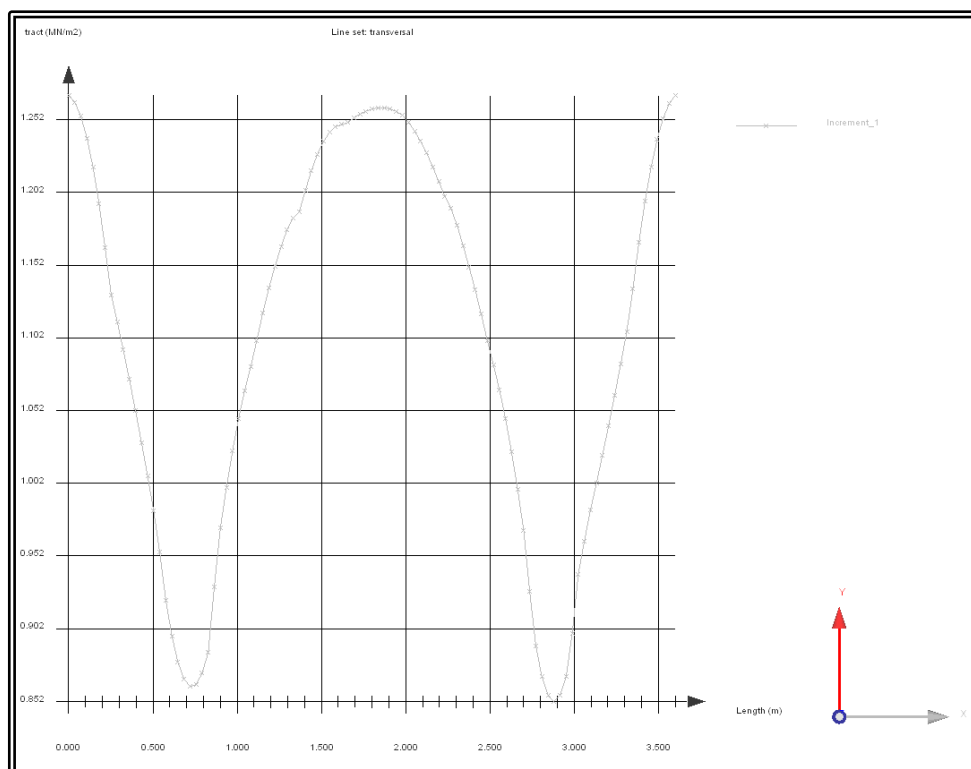


*Eforturi de întindere în dală – fața superioară – eforturi de întindere pe toata suprafața.*

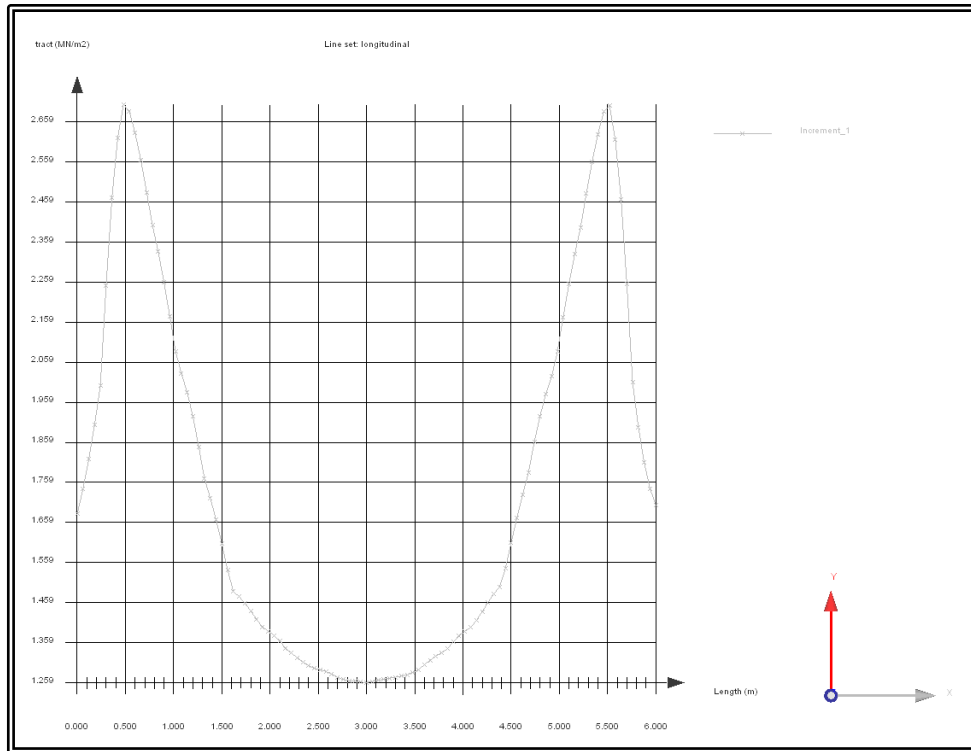


*Eforturi compresiune in dală – fața superioară – eforturi de compresiune pe toată suprafața (micile si nesemnificativele asimetrii se datoreaza doar modului in care a fost generat mesh ul).*

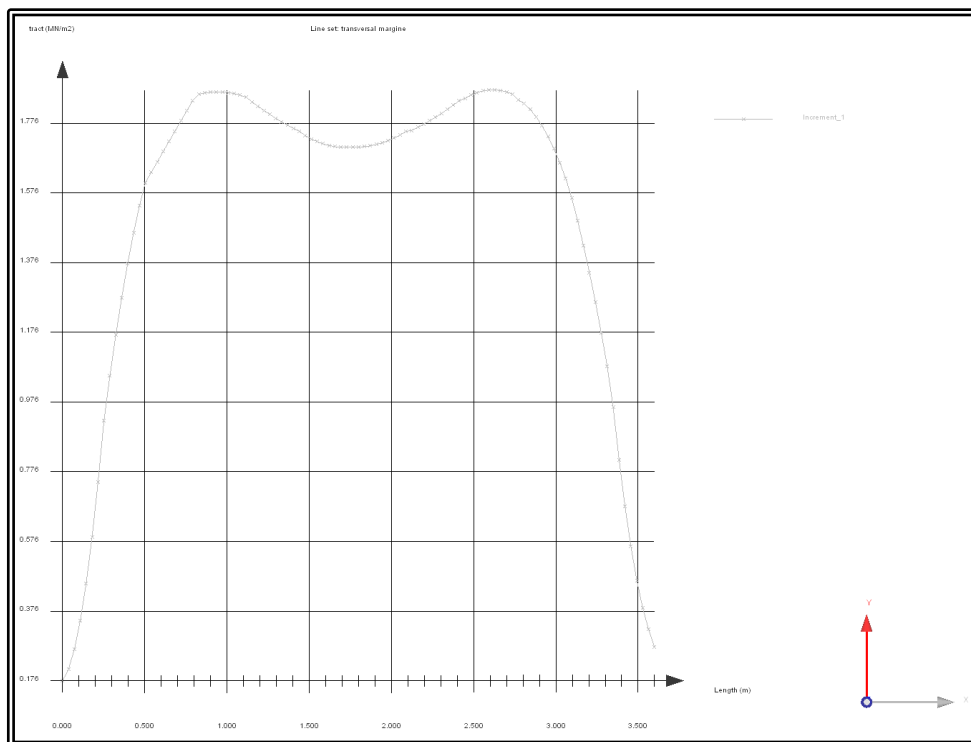
**3) Eforturi de intindere la centru, margine si colț – cu luarea în considerare a greutateii dalei**



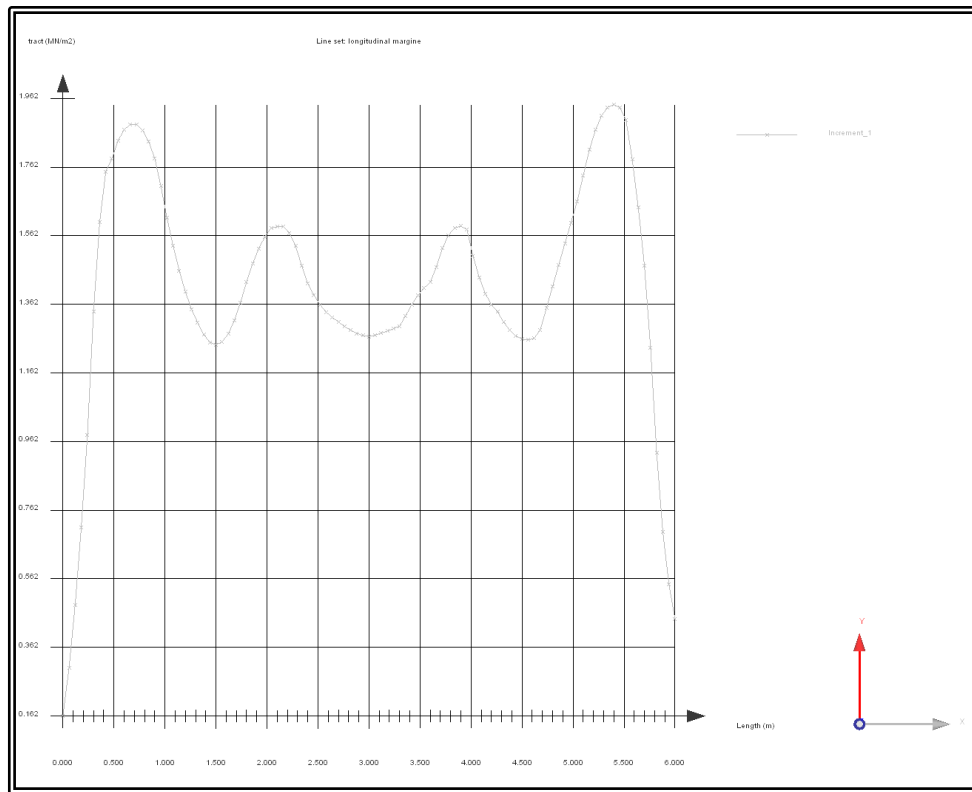
*Eforturi de întindere în secțiune transversală prin centrul dalei.*



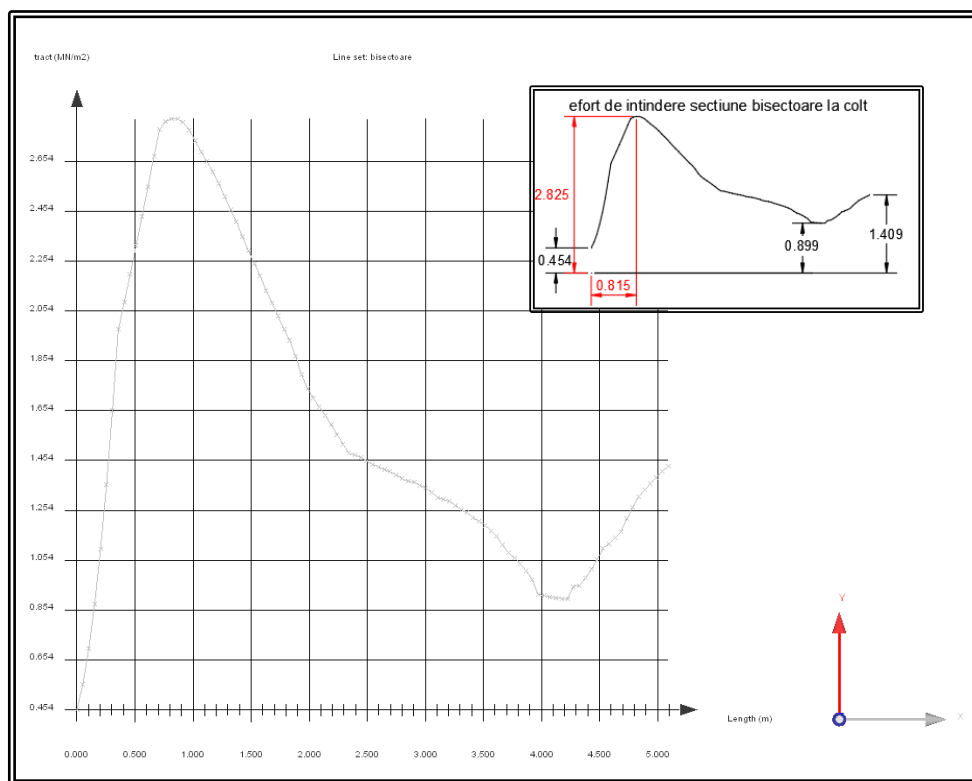
*Eforturi de întindere în secțiune longitudinală prin centrul dalei*



*Efort de întindere marginal – latura de 3.75 m*

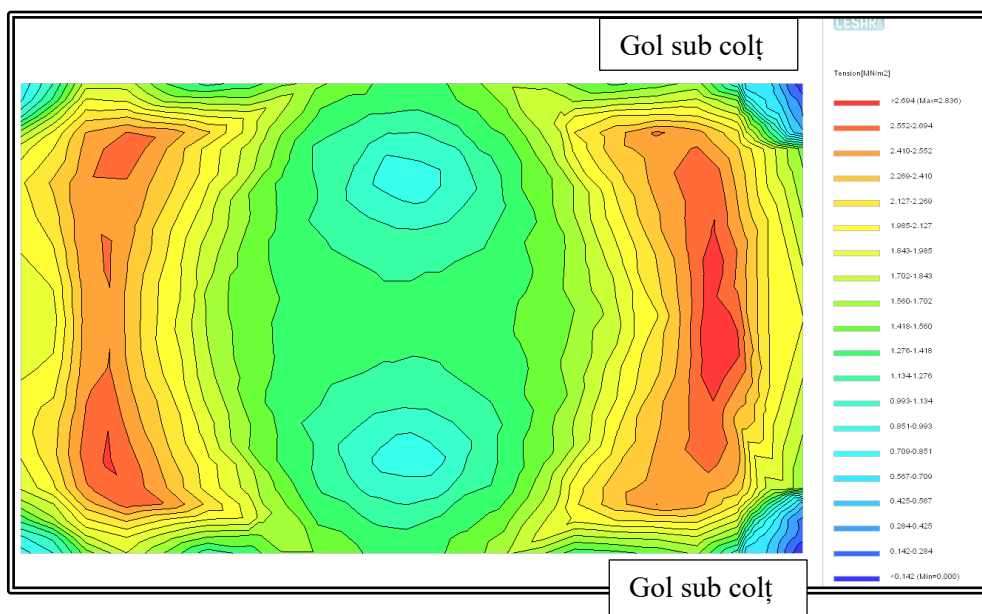


*Efort marginal – latura de 6.0 m (lipsa simetriei perfecte se datoreea unui mesh care nu este perfect simetric)*

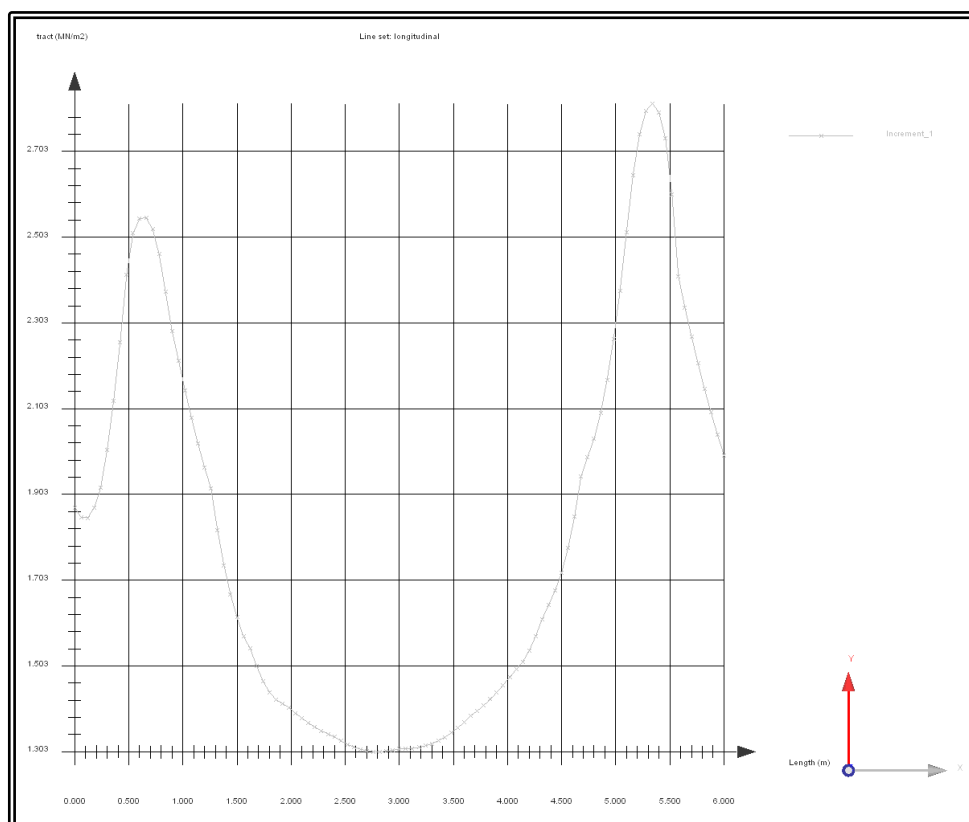


*Eforturi pe bisectoare la colț. Efort Maxim 2.825 MN/m<sup>2</sup> la 0.815m de la colțul dalei*

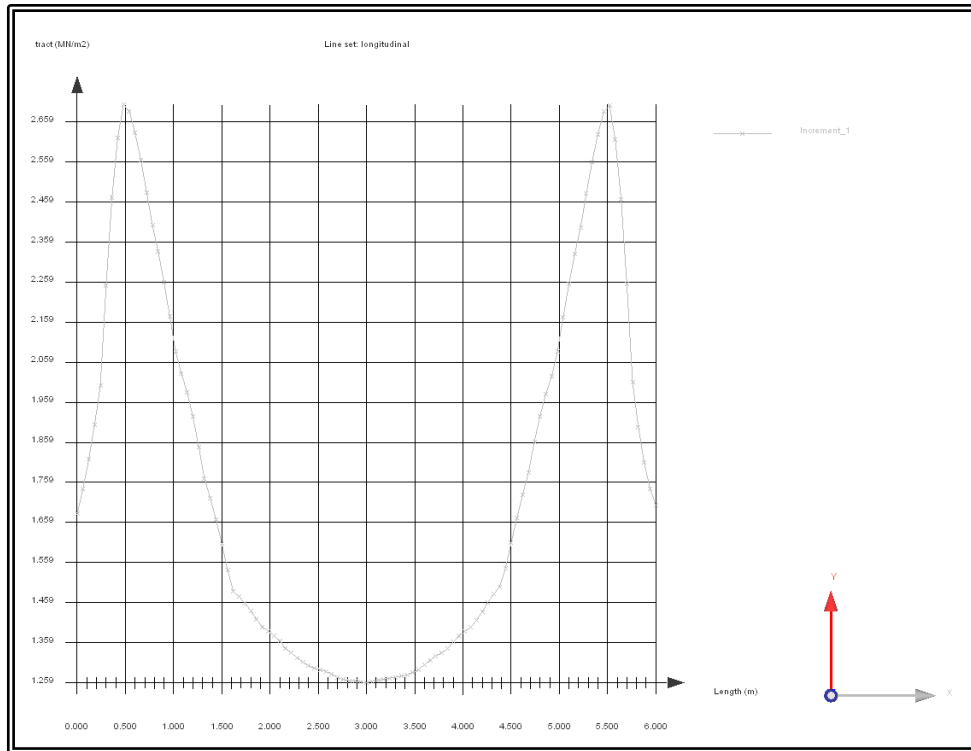
## V. STUDIU DE CAZ – GOL SUB AMPRENTA ROȚII



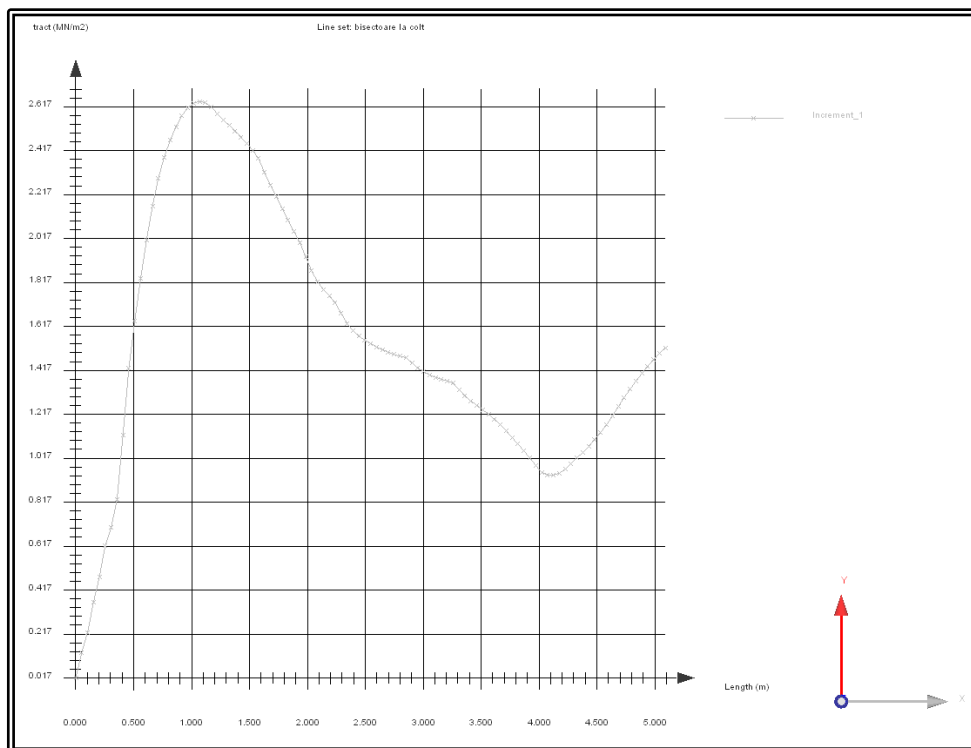
*Eforturi întindere în dală – fața superioară – eforturi de întindere pe toată suprafața.*



*Eforturi de întindere în secțiune longitudinală prin dală – cu goluri și colțul dalei (gol pe toată grosimea stratului de balast și dimensiune 0,25 m x 0,37 m)*



*Eforturi de întindere în secțiune longitudinală prin dală – fără goluri sub colțul dalei*



*Eforturi de întindere în lungul bisectoarei – cu goluri su colțul dalei (gol pe toată grosimea stratului de balast și dimensiune 0,25 m x 0,37 m)*



## VI. CONCLUZII

*Luarea în considerare a greutateii dalei are ca efect reducerea deplasării pozitive maxime (după axa Z) cu 32%.*

Eforturile de compresiune din gradientul de temperatură pot ajunge la valori foarte mari (2,849 MN/m<sup>2</sup>), aspect care nu poate face neglijabilă luarea în considerare a acestor eforturi în calculul de dimensionare! Trebuie să avem în vedere totuși, și ipotezele de calcul adoptate în metodologia de calcul, sunt ultra conservatoare, mai exact: NU există transfer de sarcină la rost (rosturile pe întreaga secțiune a dalei se realizează la fiecare 80-100 de m dar sunt prevăzute cu armături), NU există alte dale adiacente, stratul de balast este exact de dimensiunile dalei, încărcarea din trafic poate apărea fix pe colțul dalei, încărcarea cu gradient de temperatură este aferentă unui gradient egal cu 0.67 x grosimea dalei (care în realitate poate fi mai mic sau mai mare cert este că această valoare este avută în vedere de câteva zeci de ani, zeci de ani în care condițiile climatice s-au mai schimbat). În conformitate cu prevederile NP 081, valoarea efortului din încărcarea cu gradient de temperatură determinat prin metoda elementului finit devine:

- Drum de clasa tehnica I: **2,28** MN/m<sup>2</sup>;
- Drum de clasa tehnica II: **1,48** MN/m<sup>2</sup>;
- Drum de clasa tehnica III - V: **0** MN/m<sup>2</sup>.

Acoperirea dalelor din beton existente cu un strat de mixtură asfaltică **care să îi reducă gradientul de temperatură** (diferența de temperatură dintre fața superioară și cea inferioară a dalei) va conduce cu siguranță la o durabilitate considerabil crescută în timp a structurilor rutiere rigide.

La dimensionarea sistemelor rutiere rigide în care se prevede și un strat de mixtură, **care să îi reducă gradientul de temperatură**, poate conduce la micșorarea grosimii dalelor din beton de ciment, și astfel economii la construcția drumurilor cu astfel de sisteme rutiere.

### **Concluzie eforturi și deflexiuni**

**Concluzie privind distanța de la colțul dalei pe bisectoare la care apare secțiunea cu efort maxim:**

Dacă pentru încărcările din trafic secțiunea cu efort maxim apare pe bisectoare la o distanță de 0,7 m, în cazul încărcării cu gradient de temperatură această distanță devine 0,81 m pentru ipoteza cu greutate proprie a dalei și 0.86 m pentru ipoteza fără greutatea proprie a dalei.

### **Concluzie – Gol sub colțul dalei:**

Observăm o redistribuire a eforturilor în secțiune longitudinală. Eforturile cresc pe capătul dalei de beton unde există goluri sub colțul dalei. Eforturile maxime sunt semnificativ mai mari decât în cazul în care sub colțuri nu avem goluri. Secțiunea cu eforturi maxime se mută din zona bisectoarei (zona de colț) în zona de mijloc a dalei, la aproximativ 0,7 m de latura mai mică a dalei.

**Concluzie - Eforturi totale din încărcarea cu osia standard 115 kN și gradient de temperatură:**

În conformitate cu prevederile NP 081, valoarea efortului total este:

- Drum de clasă tehnică I: **3,86** MN/m<sup>2</sup>;
- Drum de clasă tehnică II: **3,07** MN/m<sup>2</sup>;
- Drum de clasă tehnică III - V: **1.6** MN/m<sup>2</sup>.