

# Vulnerabilitatea structurilor rutiere rigide la schimbările climatice

## Soluții privind adaptarea la schimbările climatice

Schimbările climatice aduc la nivelul structurilor rutiere rigide următoarele vulnerabilități:

- Creșterea gradientului de temperatură zilnic (a diferenței de temperatură dintre partea superioară a dalei din beton de ciment și temperatura părții inferioare a dalei de ciment) dincolo de limita stabilită printr-un normativ NP 081, care are o vechime apreciabilă;
- Necesitatea, cel puțin pentru toate drumurile naționale de clasă tehnică I, II și III, ca eforturile din încărcările cu variație de temperatură să fie considerate la 100% din valoarea lor în calcul și nu la 80% sau 52% din valoarea lor;

7.3.2. Ipotezele de dimensionare pentru clasele tehnice ale drumurilor sunt următoarele:

Drumuri de clasă tehnică I și II  
Ipoteza 1:  $\sigma_t = \sigma_t + 0.8 \cdot \sigma_{t,v} \leq \sigma_{adm}$

Drumuri de clasă tehnică III și IV  
Ipoteza 2:  $\sigma_t = \sigma_t + 0.8 \cdot 0.65 \cdot \sigma_{t,v} \leq \sigma_{adm}$

Drumuri de clasă tehnică V  
Ipoteza 3:  $\sigma_t = \sigma_t \leq \sigma_{adm}$

unde:

$\sigma_t$  – este tensiunea la întindere din încovoiere datorată încărcării de calcul din trafic;

$\sigma_{t,v}$  – tensiunea la întindere din încovoiere datorată gradientului de temperatură zilnic.

- Creșterea timpului de expunere al dalelor din beton de ciment la acțiunea directă a razelor soarelui.

Complementar acestei situații de vulnerabilitate, ca urmare a schimbărilor climatice, trebuie avut în vedere și faptul că:

- Există o creștere a gradului de încărcare la nivelul autovehiculelor de transport marfă;
- Coeficientul de echivalare a capacității de transmitere a căldurii specifice a betonului de ciment este de 0.45 în raport cu pământul de fundare și de 0.5-0.6 în raport cu stratul de fundație al dalei din beton de ciment.

### **Relativ la Normativul NP 81, observăm că:**

- Acesta se oprește, la nivel de calcul de dimensionare, asupra zonei de colț a dalei din beton de ciment la momentul anotimpului vara, în timpul zilei, când se înregistrează cele mai mari valori ale gradientului de temperatură și când, sub aspect de încărcare aplicată dalei la colț, încărcarea este alcătuită din încărcarea din trafic plus încărcarea din diferența de temperatură zilnică.  
*Așadar, suntem în situația în care avem o creștere a eforturilor ca urmare a creșterii gradului de încărcare al autovehiculelor, tradus printr-un coeficient mai mare de echivalare în osii standard 115 kN (deci cu afectare îndeosebi pe legea de oboseală a betonului și nu de rezistențe admisibile în betonul de ciment) și eforturilor din încărcarea cu variații zilnice de temperatură (acestea afectează direct partea de rezistențe maxim admisibile în betonul de ciment).*

- Normativul NP 81 NU se oprește la nivel de analiză, strict sub aspect de încărcare din gradient de temperatură, și la nivel de:

- Margine dală;
- Interior dală.

*Este adevărat că vara, pe aceste zone, eforturile care apar la baza dalei din beton de ciment sunt contrare celor care apar din încărcarea din trafic. Încărcarea finală se obține scăzând practic din încărcarea din trafic încărcarea din variația temperaturii.*

*Totuși, creșterea valorilor gradientului de temperatură, pentru betoane rutiere BcR 3/3.5 și valori mai reduse ale dalei din beton de ciment, pot conduce la fisurări/crăpături/cedări ale dalelor din beton de ciment și la interiorul și la marginea dalei.*

- Încărcările din variații zilnice de temperatură nu sunt eforturi care să apară cu o ciclicitate/frecvență suficient de mare astfel încât să fie luate în considerare ca încărcări care conduc la apariția fenomenului de oboseală în beton.

### **În normativul NP 81.**

Caracteristicile betonului sunt conform NP 81:

În calculele care au folosit la stabilirea diagramelor de dimensionare, prezentate în Anexa 3, s-au considerat valori unice ce caracterizează betonul:

- modulul de elasticitate la solicitări de scurtă durată (din trafic):  $E = 30\ 000\ \text{MPa}$ ;
- coeficientul lui Poisson:  $\nu = 0.15$ ;
- densitatea aparentă:  $\rho = 2\ 400\ \text{Kg/m}^3$ ;
- modulul de elasticitate la solicitări de lungă durată (din gradientul de temperatură zilnic):  $0.5 \times E = 0.5 \times 30\ 000\ \text{MPa} = 15\ 000\ \text{MPa}$ .

La baza calculului eforturilor de întindere din încărcările cu variație de temperatură au stat, pentru raza de rigiditate relativă, modulul de 30.000 de MPa, și pentru determinarea efortului s-a utilizat, în aceeași formulă în care intră și raza de rigiditate relativă, și modulul de elasticitate înjumătățit.

Trebuie spus faptul că NP 81 are la bază, de fapt, Cartea de Drumuri. Calcul și Proiectare, carte elaborată de domnul profesor doctor inginer Stelian Dorobanțu împreună cu un colectiv de colaboratori. În această carte trebuie să avem în vedere, printre altele, și faptul că:

- a) Se precizează că structurile rutiere de la acea vreme se proiectau la încărcarea pe osie de 91 kN (afereantă camionului A30) și nu la osia de 115 kN;
- b) Altă presiune de contact;

În țara noastră, pentru dimensionarea sistemelor rutiere se ia în considerare drept vehicul etalon un vehicul convențional A13 cu greutatea maximă pe osie de 91kN [90].  
Roata acestui vehicul de calcul are o urmă echivalentă cu un cerc cu diametrul de 34 cm și produce o presiune  $p = 5\ \text{daN/cm}^2$ .

- c) Betonele erau identificate la nivel de caracteristici fizico-mecanice cu marca și nu cu clasa;
- d) Gradientul de temperatură utilizat în anul 2006 – NP 81 este identic cu cel precizat în ediția anilor '80 a cărții Drumuri.

## Calcul și Proiectare

### Analize DIST – CESTRIN pe o dală din beton de ciment cu dimensiuni de 2.75 m x 6.00 m

- I. Vă prezentăm graficul cu creșterea procentuală a eforturilor din încărcarea cu variația de temperatură zilnică, pentru creșteri suplimentare ale gradientului de temperatură din NP 81 cu: 2,5% și 10%. Calcule conform NP 81.

	Gradient Temperatură (grade celsius)						
	h dala = 18 cm	h dala = 20 cm	h dala = 22 cm	h dala = 24 cm	h dala = 26 cm	h dala = 28 cm	h dala = 30 cm
<b>NP 81</b>	12.06	13.40	14.74	16.08	17.42	18.76	20.10
<b>NP81 + 2</b>	14.06	15.40	16.74	18.08	19.42	20.76	22.10
<b>NP 81 + 5</b>	17.06	18.40	19.74	21.08	22.42	23.76	25.10
<b>NP 81 + 10</b>	22.06	23.40	24.74	26.08	27.42	28.76	30.10

- II. Încărcarea pe colț a dalei - Creșterea și Scăderea în procente a eforturilor din variația de temperatură zilnică, pentru creșterea gradientului de temperatură cu 5 grade Celsius și scăderea cu 5 grade Celsius (creștere și scădere față de gradientul de temperatură considerat în NP 081). Calcule conform NP 81.
- III. Valoarea efortului de întindere în dală la interior și la marginea dalei. Studiu de caz  $k=15$  și  $k=150$  pentru:
- Un modul de elasticitate dinamic al betonului de ciment de 30 000 Mpa;
  - Gradient de temperatură de 10 și 20 de grade Celsius;
  - Coeficientul lui Poisson pentru beton  $\mu=0,25$  și nu 0,15 ca în NP 81.

***Mai este necesară, însă, înainte de a merge mai departe, clarificarea a două aspecte: Valoarea modului de elasticitate al betonului și Valoarea coeficientului lui Poisson.***

#### ***Valoarea modului de elasticitate al betonului:***

În normativ se recomandă utilizarea unui modul de elasticitate înjumătățit, respectiv de 15 000 Mpa pentru încărcările de lungă durată. Totuși, trebuie să avem în vedere că:

- În cartea de Drumuri. Calcul și proiectare, în exemplele de calcul, raza rigidității relative utilizate pentru determinarea eforturilor din încărcările cu temperatură avea la bază un modul de elasticitate întreg (neînjumătățit). Ulterior, în aceeași formulă de calcul a efortului se folosea alături de raza rigidității relative și modulul de elasticitate al betonului de această dată înjumătățit;
- Eventuala utilizare a acestui modul înjumătățit pentru calculul eforturilor din încărcările din trafic: datorită unei participări mai reduse ca și rigiditate la preluarea acțiunilor din trafic, valoarea eforturilor de întindere în dală este mai mică decât în cazul utilizării modului de elasticitate de 30 000 Mpa. Utilizarea modului de elasticitate de 15 000 Mpa conduce însă la o deflexiune mai mare și creșterea eforturilor în zona de fundație/substraturi ale dalei. Totuși, avem în vedere faptul că metoda de dimensionare propusă de NP 81 nu are în vedere dimensionarea straturilor de fundație pentru că metoda folosită Westergaard înlocuiește practic zona de fundație/substraturi cu niște resorturi elastice la nivelul cărora nu avem cum să determinăm eforturi/deformații de natură să introducem legi de oboseală și/sau să dimensionăm aceste straturi;
- Utilizarea modului de elasticitate de 15 000 Mpa în calculul de determinare al eforturilor din dală supusă încărcărilor din variația de temperatură conduce la apariția unor eforturi, posibil, chiar și de două ori mai mici decât cele reale (ex: încărcarea la colț). Ce se întâmplă, de exemplu, cu valoarea eforturilor la întindere din încărcarea cu variație de temperatură

imediat după darea în exploatare când încărcările aplicate nu pot fi definite ca fiind de lungă durată? Considerăm un modul de elasticitate al betonului întreg? Sau înjumătățit?

Se poate spune că înjumătățirea modului de elasticitate dinamic pentru încărcările de lungă durată nu reprezintă o ipoteză suficient de acoperitoare. Sunt necesare unele corelări și clarificări.

#### **Valoarea coeficientului lui Poisson:**

În alte studii și analize realizate, valoarea coeficientului lui Poisson utilizată are preponderent valorile de  $\mu$  de 0,15, 0,20 și 0,25 (această valoare apare și în Cartea Drumuri. Calcul și Proiectare pag. 345 Calculul plăcilor rezemate pe mediu elastic). A fost observat că valoarea de 0,25 este utilizată îndeosebi în calcul cu metoda elementului finit. Pentru a putea realiza comparații cu astfel de studii și pentru a obține niște eforturi maxime în graficul Valoarea efortului de întindere în dală la interior și la marginea dalei. Studiu de caz  $k=15$  și  $k=150$ , am utilizat un coeficient al lui Poisson  $\mu=0,25$ .

În NP 081, această valoare a coeficientului lui Poisson este de  $\mu = 0,15$ .

Conform sursei: <https://www.rombadconstruct.ro/coeficientul-lui-poisson-pentru-beton.html>, „Coeficientul lui Poisson static variază în cazul betonului în timpul solicitării, după cum urmează:

- o primă perioadă până la efortul de microfisurare (0,50-0,75 R) este constantă cu valorile:  $\mu_{st} = 0,14...0,18$ ;
- o a doua perioadă până la rupere (Rpr) în care coeficientul lui Poisson crește continuu mai încet în prima parte (până la 0,8 Rpr), când atinge valori de 0,20-0,25, și mai pronunțat pe ultima parte (0,8...1,0 Rpr) când ajunge la valori de 0,4-0,5 și poate chiar depăși această limită, în deosebi în cazul încercării pe epruvete scurte cu frecare pe fețele de încărcare.”

Valorile prezentate în studiul de mai sus sunt aferente unui coeficient al lui Poisson static. Valorile coeficientului lui Poisson sunt corelate cu valoarea eforturilor din beton, conform sursei citate mai sus. Așadar, pentru valori ale efortului de întindere în beton sub 0,75 din rezistența maximă a betonului se poate utiliza  $\mu_{st} = 0,15$ , iar pentru valori mai mari de 0,75 se poate utiliza  $\mu_{st} = 0,25$ .

Formula de calcul a efortului maxim admisibil, conform NP 081.

7.2.2. Tensiunea la întindere din încovoiere admisibilă a betonului de ciment rutier ( $\sigma_{adm}$ ) se determină cu relația:

$$\sigma_{adm} = R_{in}^I \cdot \alpha \cdot (0,70 - \gamma \cdot \log N_t) \text{ (MPa)} \quad (5)$$

unde:

$R_{in}^I$  – este rezistența caracteristică la încovoiere a betonului la 28 de zile, definită conform SR 183-1 : 1995;

$\alpha$  – coeficientul de creștere a rezistenței betonului în intervalul 28...90 zile, egal cu 1,1;

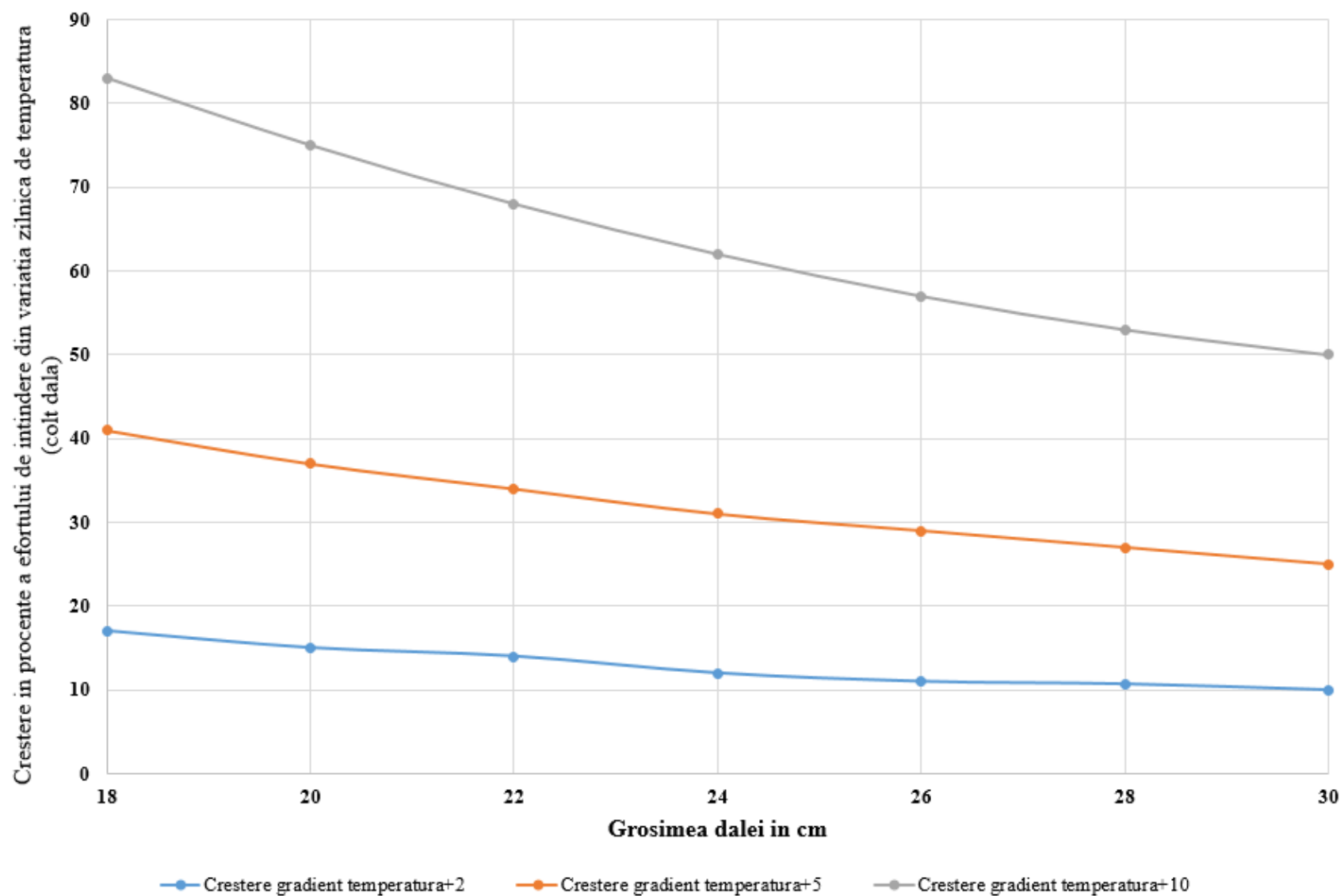
$N_t$  – traficul de calcul pe perioada de perspectivă, determinat conform relației (1), exprimat în m.o.s. (milioane osii standard).

$\gamma$  – coeficient, egal cu 0,05;

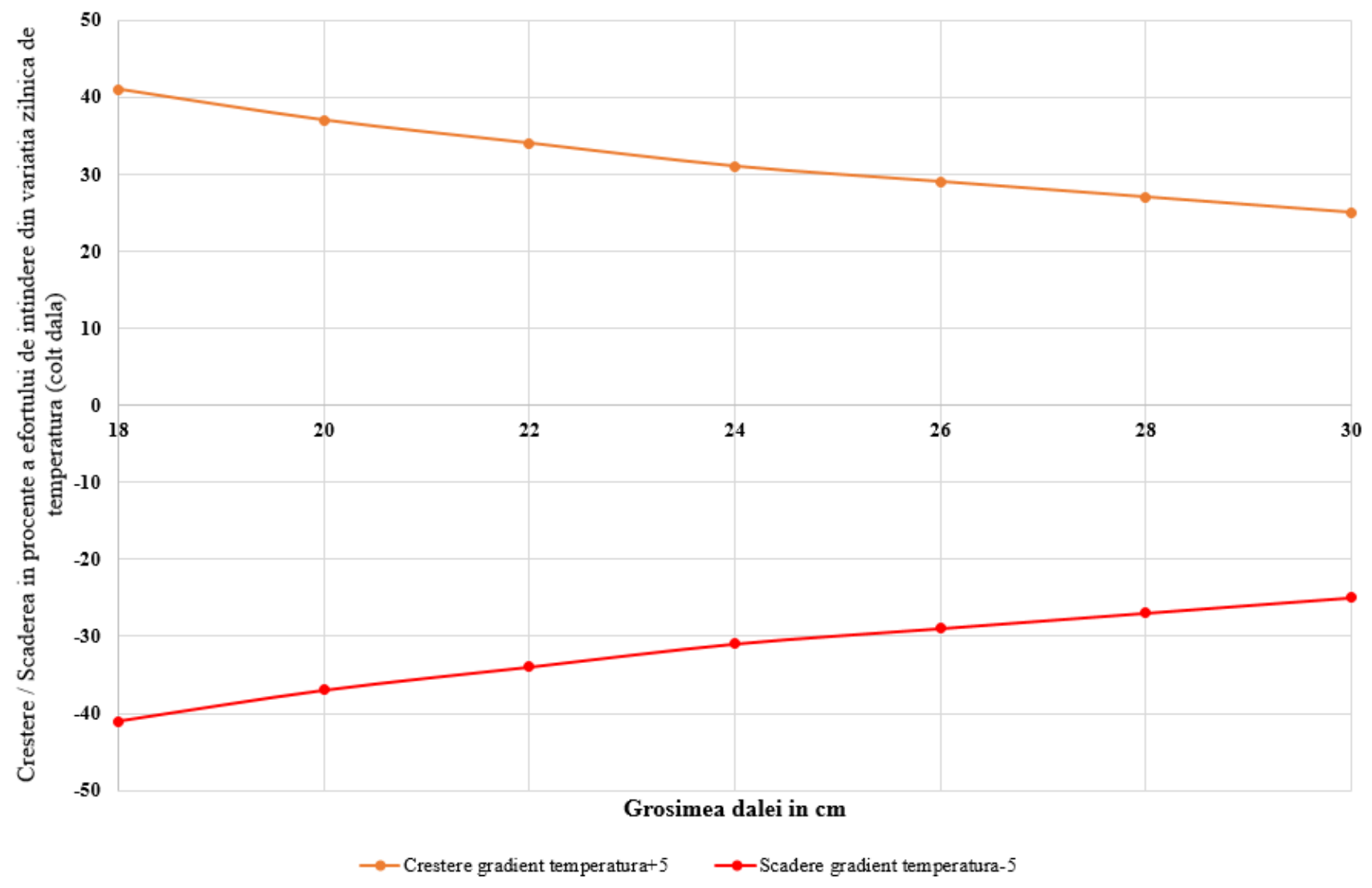
$0,70 - \gamma \cdot \log N_t$  – legea de obșeală.

Așadar, putem spune că, pentru formula de calcul din normativ, în cazul unui trafic de calcul de 1 milion de osii standard (foarte mic pentru acest tip de structură rutieră), efortul maxim admisibil nu poate fi mai mare decât rezistența la 28 de zile (la încovoiere)  $\times 1,1 \times 0,7 = R_{28 \text{ zile}} * 0,77$ , respectiv se poate spune că intervalul (0,5-0,75) aferent  $\mu_{st} = 0,14...0,18$  se respectă.

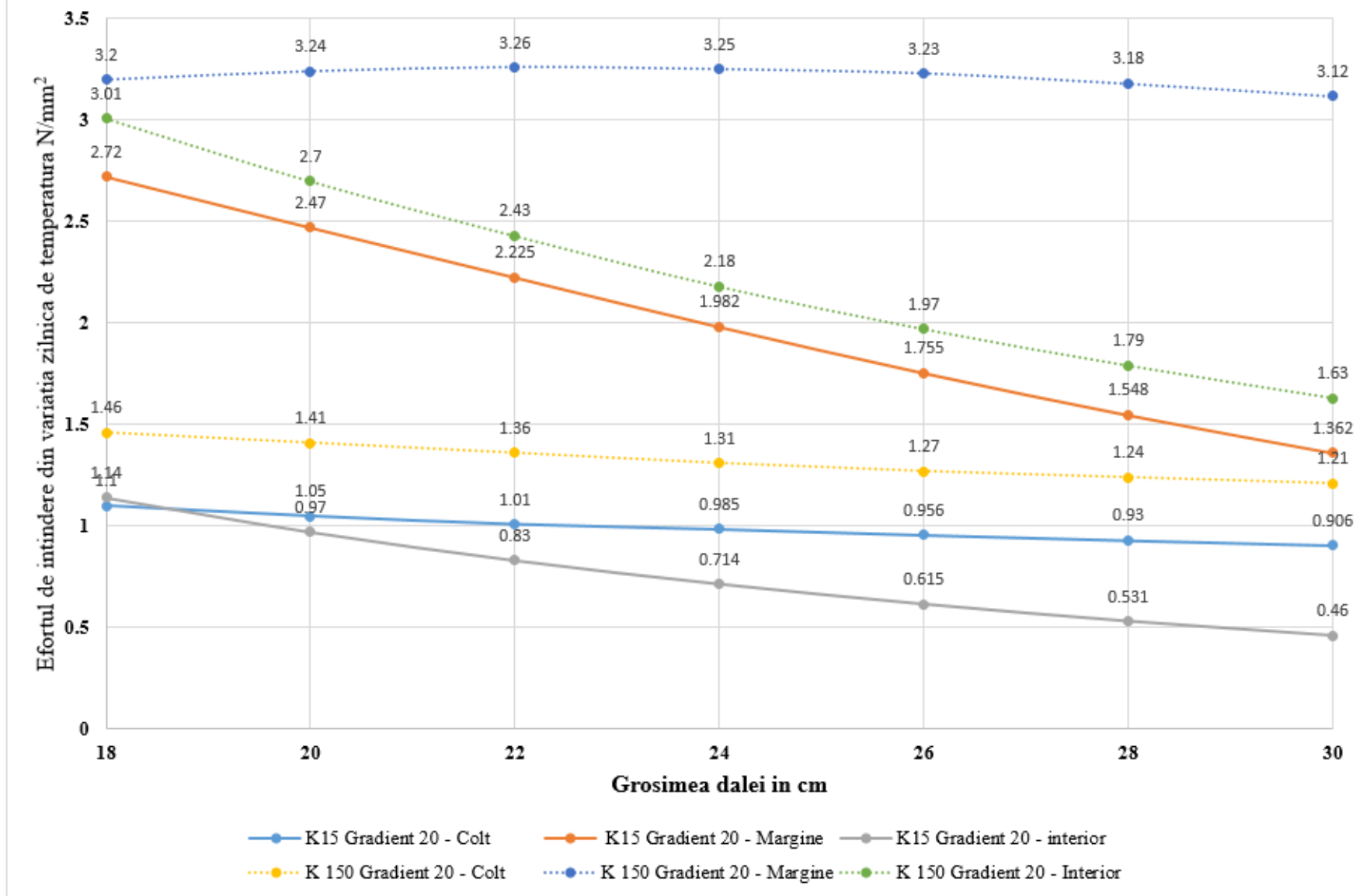
Incarcarea pe colt a dalei - Cresterea in procente a eforturilor din variatia de temperatura zilnica, pentru cresterea gradientului de temperatura cu 2,5 si 10 grade celsius



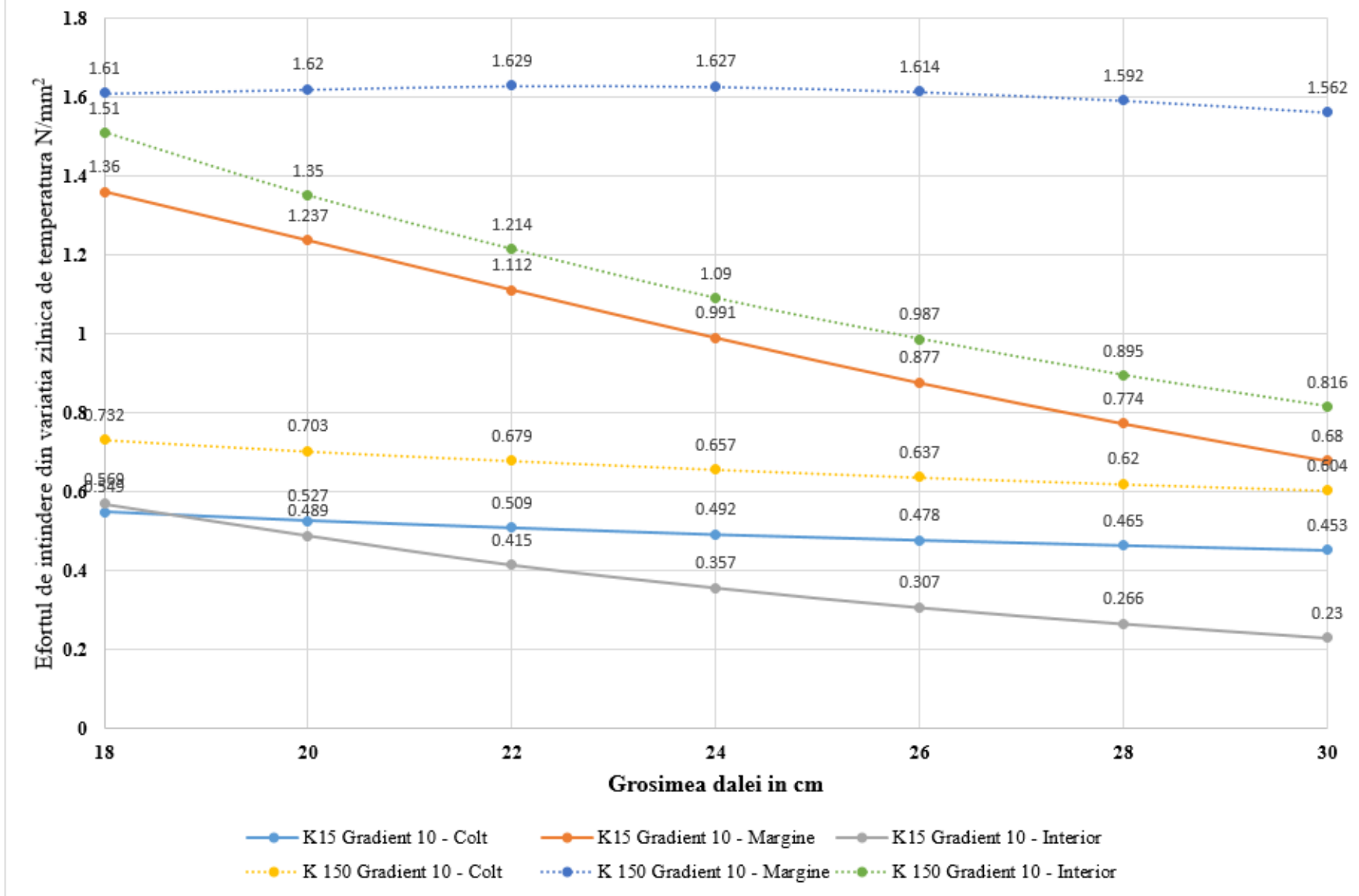
Incarcarea pe colt a dalei - Cresterea si Scaderea in procente a eforturilor din variatia de temperatura zilnica, pentru cresterea gradientului de temperatura cu 5 grade celsius si scaderea cu 5 grade celsius



Efort din incarcarea cu variatii de temperatura in dala de beton de ciment.  
 Dala 2.75 m x 6.00 m fara transfer de sarcina la rost. K=15&150 E=30 000 Mpa  $\mu=0.25$ .



Efort din incarcarea cu variatii de temperatura in dala de beton de ciment.  
 Dala 2.75 m x 6.00 m fara transfer de sarcina la rost. K=15&150 E=30 000 Mpa  $\mu=0.25$ .





Utilizarea metodologiei Westergaard de dimensionare a structurii rutiere presupune considerarea următoarelor ipoteze:

- Încărcarea din trafic se aplică pe o suprafață circulară. Încărcarea este uniform aplicată pe această suprafață circulară;
- Dale din beton de ciment este omogenă și nefisurată;
- Placa este suficient de mare pentru ca starea de încărcare interioară să nu fie afectată de rosturile transversale și longitudinale;
- Nu există transfer de sarcină la rost (nici la rostul transversal, nici la cel longitudinal).

### **Concluzii:**

#### ***Cele mai vulnerabile la schimbările climatice sunt:***

- Structurile rutiere rigide cu dale din beton de ciment care, la rosturi, nu au prevăzute gujoane. Lipsa gujoanelor (armăturilor) din zona rosturilor nu permite un transfer de sarcină la rost;
- Structurile rutiere rigide cu grosime de dală minimă conform normativelor și realizate din betoane rutiere cu rezistențe mici (BcR 3,0 / BcR 3,5);
- Dale din beton de ciment cu grosimea minimă de 18 cm;
- Dale din beton de ciment cu lungimea unei laturi mai mare de 6 m;
- Creșterea gradientului de temperatură poate genera eforturi de întindere în dala de beton de ciment, eforturi suficient de mari astfel încât să conducă la cedarea dalelor chiar și fără a fi supuse încărcărilor din trafic (efortul din încărcarea cu variație de temperatură poate depăși valoarea efortului maxim admisibil în dala de beton de ciment).

#### ***Soluții posibile pentru structurile rutiere rigide vulnerabile la schimbările climatice:***

- Este necesar ca efortul din variația de temperatură să fie redus prin reducerea gradientului de temperatură. Acest lucru poate însemna inclusiv acoperirea cu straturi din mixtură asfaltică de minim 5 cm;
- Reducerea încărcărilor din trafic, restricționarea tonajului pe perioadele în care gradientul de temperatură este maxim sau în vecinătatea valorii maxime;
- Îndesirea rosturilor de dilatație;
- Dacă nu de ieri, de mâine sunt posibile instituirea de restricții de tonaj și pe drumuri existente cu structură rutieră rigidă atunci când temperaturile depășesc anumite valori (și nu numai pe cele cu îmbrăcăminte din mixtură asfaltică).

#### ***Ce putem face?***

Este necesară deschiderea unor activități de cercetare la nivel de structuri rutiere rigide. În perioada următoare, ca urmare a schimbărilor climatice (dar și a volumului de trafic și al gradului de încărcare al autovehiculelor de marfă), devine necesară studierea unor soluții mixte de structuri rutiere.

Avantajele acestor structuri rutiere mixte vor avea în vedere utilizarea rezistențelor mari la eforturile generate de încărcările din trafic ale structurilor rutiere rigide, împreună cu soluții de reducere a gradientului de temperatură (gradient de temperatură care generează eforturi mari în structura rutieră rigidă) prin acoperirea suprafeței dalelor din beton de ciment cu un strat de materiale (exemplu: mixtură asfaltică), strat care, prin caracteristici și grosime, să conducă la scăderea gradientului de temperatură și implicit a eforturilor din variațiile zilnice de temperatură.

Aceste activități de cercetare trebuie să asigure, dacă nu cea mai bună soluție pentru viitor, atunci cele mai bune alternative de soluții posibile, astfel încât alegerea soluției finale de la un moment dat să fie temeinic argumentată ca fiind cea mai bună, și nu una aleasă, pur și simplu, din lipsa studierii de alte alternative.