

ANALIZA CU ELEMENTE FINITE A PLACILOR CU FISURI CE CONTIN PARTICULE DISPERSATE

1. Introducere

În matricea unui material ce conține microfisuri, pot fi dispersate particule cu proprietăți diferite de ale materialului de bază. În acest capitol se prezintă modul în care variază tensiunile în imediata vecinătate a unei microfisuri, în raport cu prezența în apropierea acesteia a unor particule de incluziune cu diferite proprietăți.

Scopul acestei analize îl constituie găsirea unei metode de a împiedica propagarea unei fisuri în materialul supus solicitărilor nefavorabile în raport cu direcția fisurii respective. Introducerea prin dispersie, în astfel de materiale, a unor particule cu proprietăți diferite de ale materialului de bază, poate conduce la creșterea rezistenței la fisurare a acestora, capacitatea de a se opune fisurării fiind măsurată pe baza parametrilor dezvoltați de Mecanica ruperii.

Modelarea cu elemente finite

Se utilizează analiza cu elemente finite (programul ALGOR) pentru modelarea unei fisuri centrale străpunse într-o placă solicitată monoaxial, cu dimensiunile mult mai mari decât ale fisurii. Datorită simetriei este suficient să analizăm $\frac{1}{4}$ din placă aplicându-se condiții de contur corespunzătoare, fisura fiind modelată în această zonă prin lipsa respectivelor condiții, *figura 1*.

Astfel, nodurile centrale de pe axa y sunt împiedicate să se deplaseze după direcția axei z , în afară de nodurile care simulează fisura, iar nodurile de pe axa z sunt împiedicate să se deplaseze după direcția axei y . Rețeaua de discretizare în zona fisurii a fost mai deasă ținând seama și de faptul că aici va fi inclusă particula de incluziune. Tensiunea monoaxială la care a fost supusă placa are valoarea de 100 MPa.

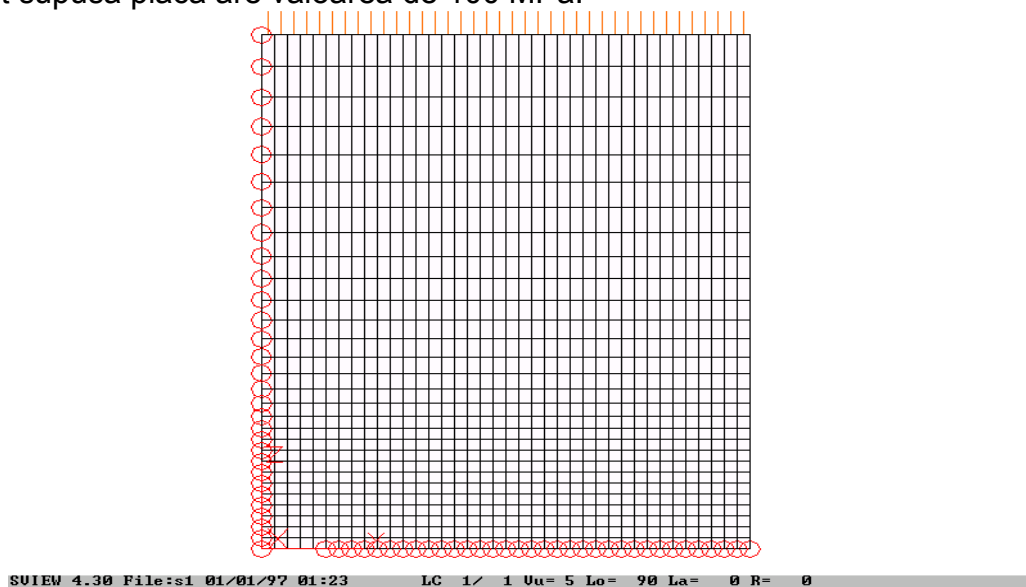


Fig. 1. Rețeaua de discretizare

Harta tensiunilor pe *direcția z* precum și deplasările nodurilor din imediata apropiere a fisurii, pentru placa fără incluziune, sunt prezentate în *figurile 2 a și b*. Se constată faptul că tensiunea cea mai mare se înregistrează la vârful fisurii și este de 315,24 MPa.

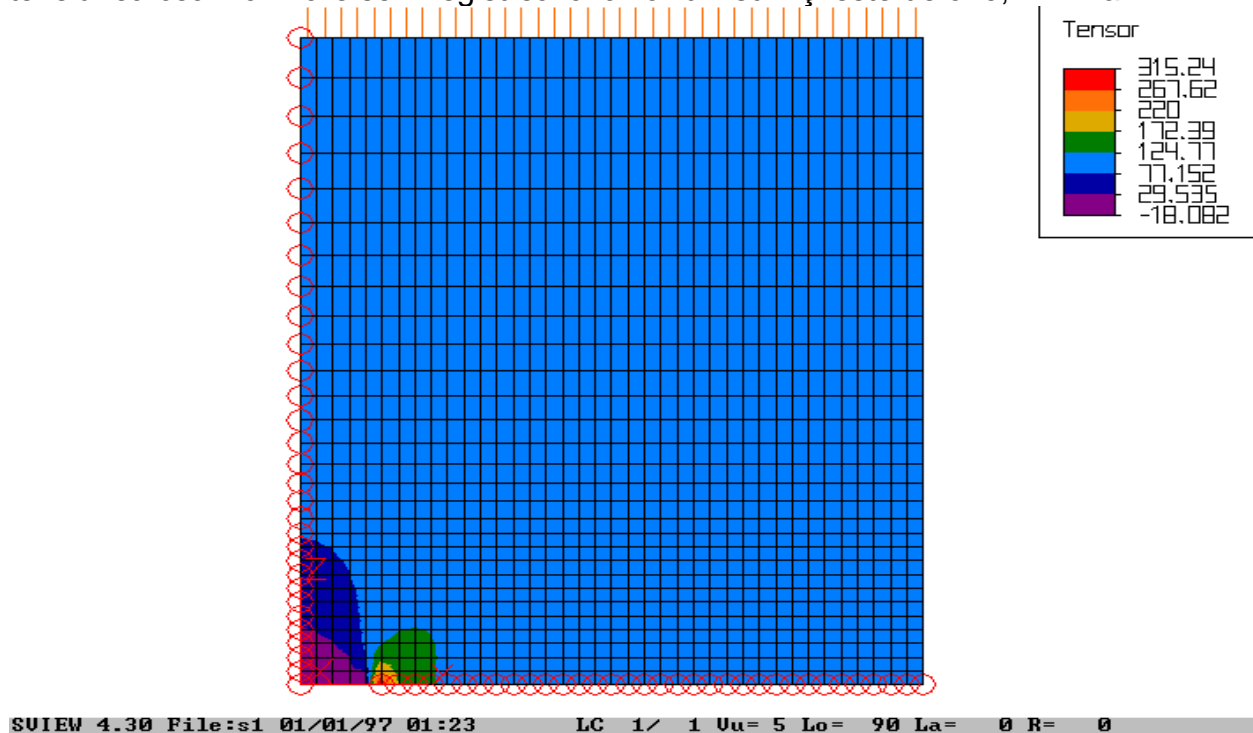


Fig. 2, a. Harta tensiunilor – vedere de ansamblu

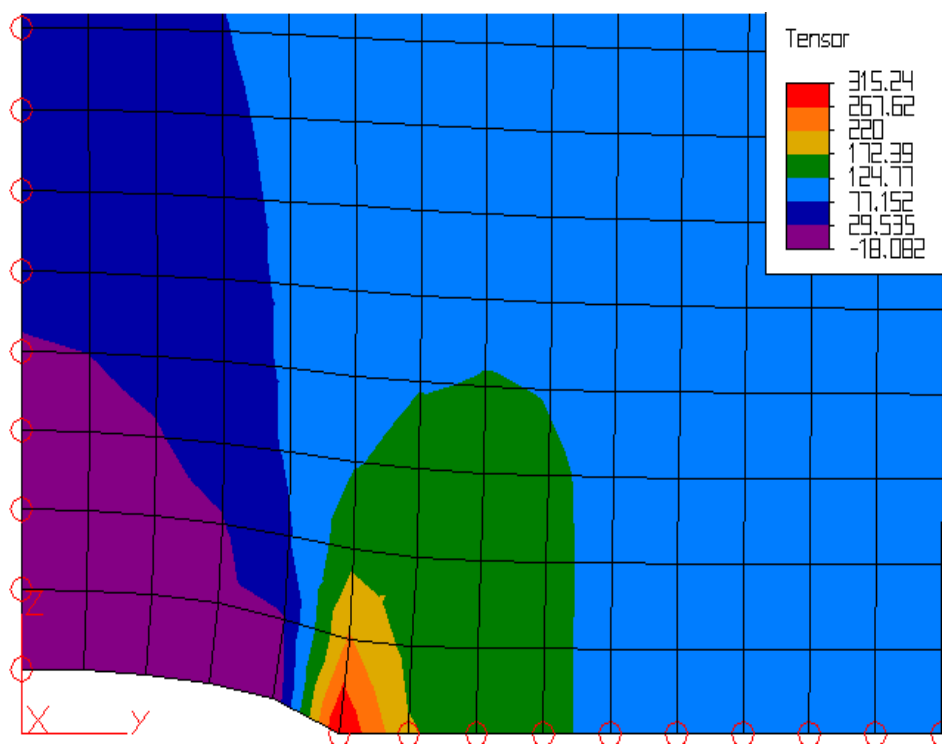


Fig. 2, b. Harta tensiunilor în apropierea fisurii

Se constată faptul că, pe baza lipsei condițiilor de contur în zona centrală respectivele noduri se deplasează modelându-se în acest fel o fisură, *figura 2, b*.

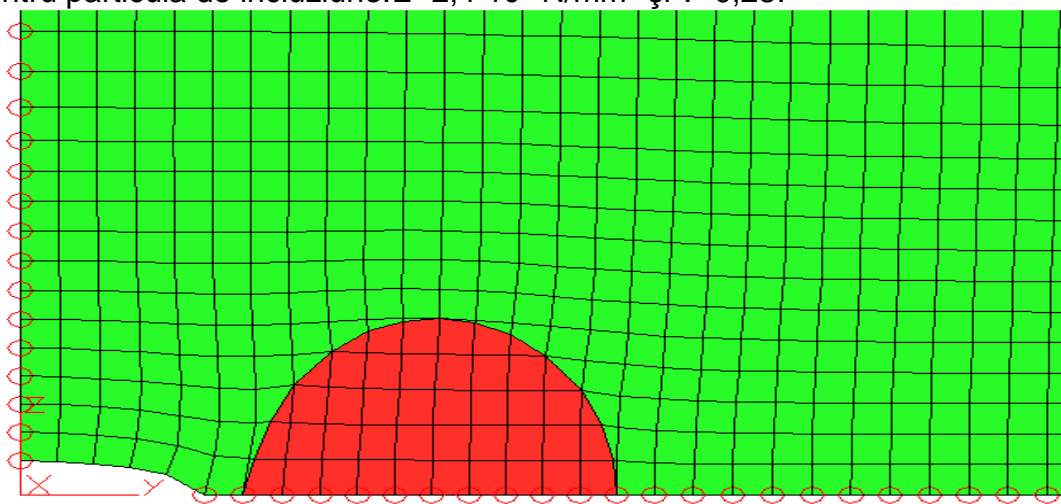
Se observă că tensiunea maximă se obține la vârful fisurii, aceasta fiind de tracțiune. Pe celelalte noduri care simulează fisura se obțin tensiuni de comprimare. Acest lucru conduce la ideea că, dacă solicitarea depășește o anumită valoare fisura poate trece ușor în stadiul propagării instabile.

3. Modelarea prin introducerea unei particule de incluziune din material moale

În acest capitol se face modelarea cu elemente finite prin introducerea în imediata apropiere a fisurii a unei particule de incluziune cu proprietăți diferite de a materialului de bază, respectiv un material mai moale. În acest fel se poate observa influența unei astfel de particule asupra stării de tensiuni din imediata vecinătate a fisurii.

Având în vedere simetria geometrică și de încărcare descrisă anterior, se introduce în imediata apropiere a fisurii o particulă semicirculară, *figura 3*. Pentru a simula prezența unei particule de incluziune, confecționată din material cu proprietăți diferite de cele ale materialului de bază, în imediata vecinătate a fisurii s-a introdus o particulă de incluziune cu următoarele proprietăți de material:

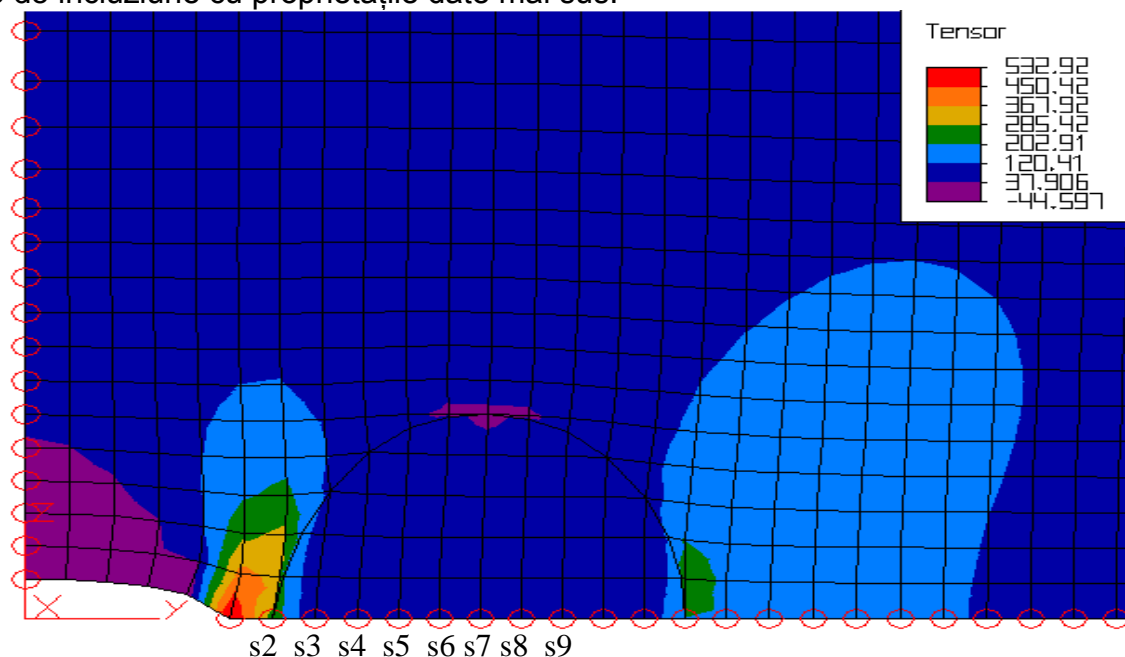
- pentru materialul de bază: $E=2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ și $\nu=0,3$;
- pentru particula de incluziune: $E=2,4 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ și $\nu=0,25$.



SUIEW 4.30 File:s2 01/01/97 08:25 LC 1/ 1 Uu= 5 Lo= 90 La= 0 R= 0

Fig. 3. Particula de incluziune

În *figura 4* se constată faptul că are loc o creștere semnificativă a tensiunii la vârful în fisurii, 532 MPa față de 315 MPa, în condițiile existenței în imediata vecinătate a acesteia a unei particule de incluziune cu proprietățile date mai sus.



SUIEW 4.30 File:s2 01/01/97 08:25 LC 1/ 1 Uu= 5 Lo= 90 La= 0 R= 0

Fig. 4. Particulă de incluziune dură în apropierea vârfului fisurii

Aceeași particulă se modelează (deplasează) în poziții diferite de-a lungul axei y, în pozițiile notate cu s2, s3 ÷ s9. În figura 5 este reprezentată harta tensiunilor atunci când particula de incluziune este plasată cu partea frontală în poziția ultimă s9. Se constată faptul că tensiunea la vârful fisurii rămâne în continuare mai mare decât atunci când nu exista particulă de incluziune în materialul de bază, 351 MPa față de 315 MPa.

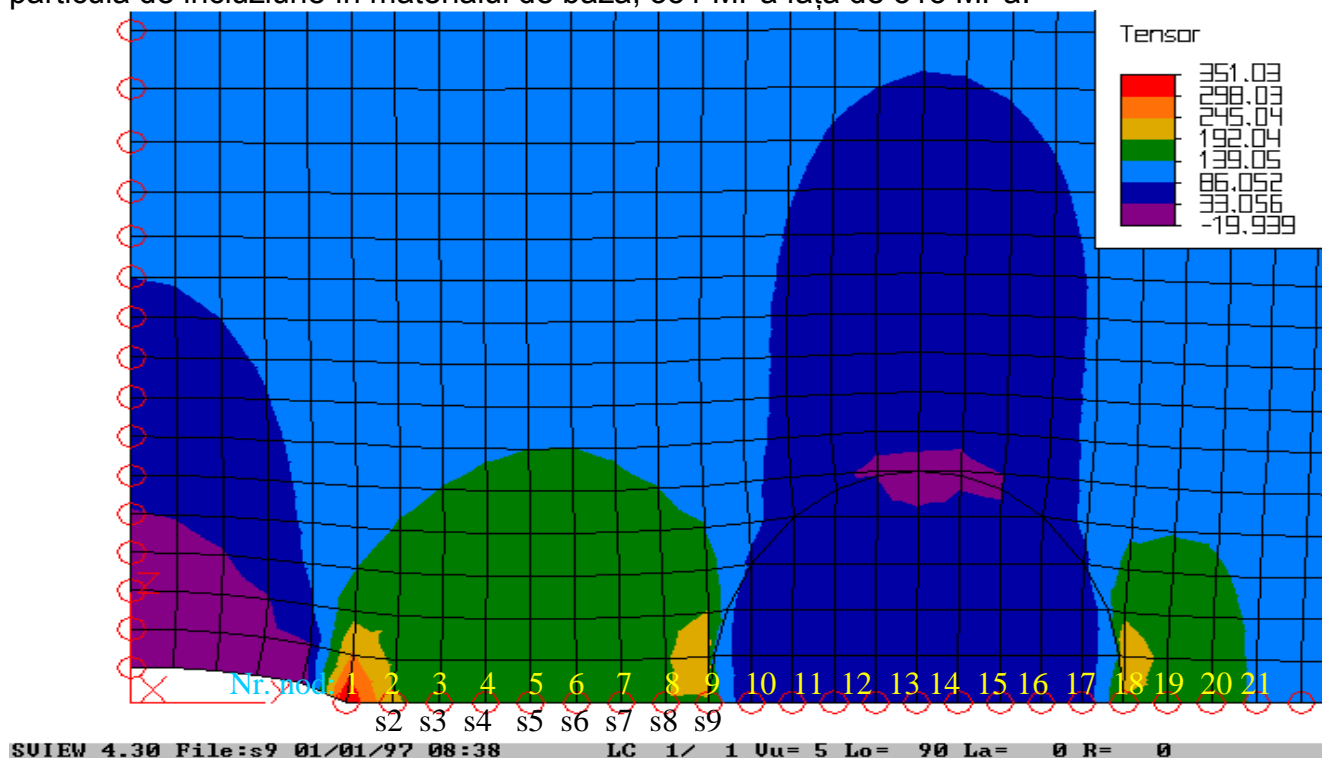


Fig. 5. Particulă de incluziune dură deplasată de vârful fisurii

Tensiunile maxime la vârful fisurii pe direcția z, σ_z , în fiecare din nodurile de la 1 la 21, figura 5, atunci când particula de incluziune se deplasează, trecând succesiv prin pozițiile s2 ÷ s9, sunt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1

| Nr. Nod | s1 | s2 | s3 | s4 | s5 | s6 | s7 | s8 | s9 |
|---------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 315.2 | 53.90 | 454.00 | 413.90 | 390.00 | 374.60 | 364.10 | 356.60 | 351.00 |
| 2 | 177.9 | 267.10 | 294.20 | 255.00 | 233.20 | 219.80 | 211.00 | 205.10 | 200.80 |
| 3 | 145 | 5.82 | 223.90 | 240.80 | 208.70 | 190.50 | 179.20 | 171.90 | 167.00 |
| 4 | 128.5 | 46.87 | 44.20 | 205.40 | 215.70 | 186.30 | 169.50 | 159.10 | 15.50 |
| 5 | 120.6 | 44.48 | 41.66 | 40.52 | 197.30 | 203.70 | 175.50 | 159.30 | 149.40 |
| 6 | 115.8 | 43.08 | 40.60 | 39.09 | 38.43 | 19.70 | 196.60 | 169.00 | 153.30 |
| 7 | 111.7 | 4.21 | 39.90 | 38.50 | 37.51 | 37.10 | 189.80 | 19.00 | 164.80 |
| 8 | 110.6 | 41.56 | 39.40 | 38.08 | 37.15 | 36.43 | 36.17 | 187.80 | 188.80 |
| 9 | 109 | 41.04 | 38.98 | 37.75 | 36.88 | 36.20 | 35.65 | 35.48 | 186.40 |
| 10 | 107.7 | 40.61 | 38.63 | 37.46 | 36.65 | 36.02 | 35.50 | 35.05 | 34.96 |
| 11 | 106.8 | 40.53 | 38.31 | 37.20 | 36.43 | 35.86 | 35.38 | 34.96 | 34.59 |
| 12 | 106 | 20.50 | 38.31 | 36.94 | 36.22 | 35.69 | 35.26 | 34.88 | 34.53 |
| 13 | 105.3 | 195.50 | 196.10 | 36.98 | 36.00 | 35.51 | 35.11 | 34.78 | 34.48 |
| 14 | 104.8 | 164.40 | 189.80 | 19.40 | 36.07 | 35.32 | 34.96 | 34.67 | 34.41 |
| 15 | 104.3 | 146.40 | 160.00 | 186.50 | 189.90 | 35.41 | 34.79 | 34.53 | 34.31 |
| 16 | 104 | 135.20 | 14.80 | 157.40 | 184.30 | 188.30 | 34.90 | 34.38 | 34.19 |
| 17 | 103.6 | 127.80 | 13.20 | 140.70 | 155.70 | 18.80 | 187.10 | 34.50 | 34.05 |
| 18 | 103.3 | 12.70 | 125.30 | 130.50 | 139.30 | 154.40 | 181.60 | 186.30 | 34.18 |
| 19 | 103 | 119.00 | 120.50 | 123.80 | 129.20 | 138.30 | 153.50 | 180.80 | 185.80 |
| 20 | 10.8 | 116.10 | 117.00 | 119.20 | 12.70 | 128.30 | 137.50 | 15.80 | 180.30 |
| 21 | 10.5 | 113.80 | 114.30 | 115.80 | 118.20 | 121.90 | 127.70 | 136.90 | 15.30 |

În coloana s1 a *tabelului 1* sunt prezentate tensiunile maxime pe *direcția z* atunci când *nu avem dispersată* particulă de incluziune în material.

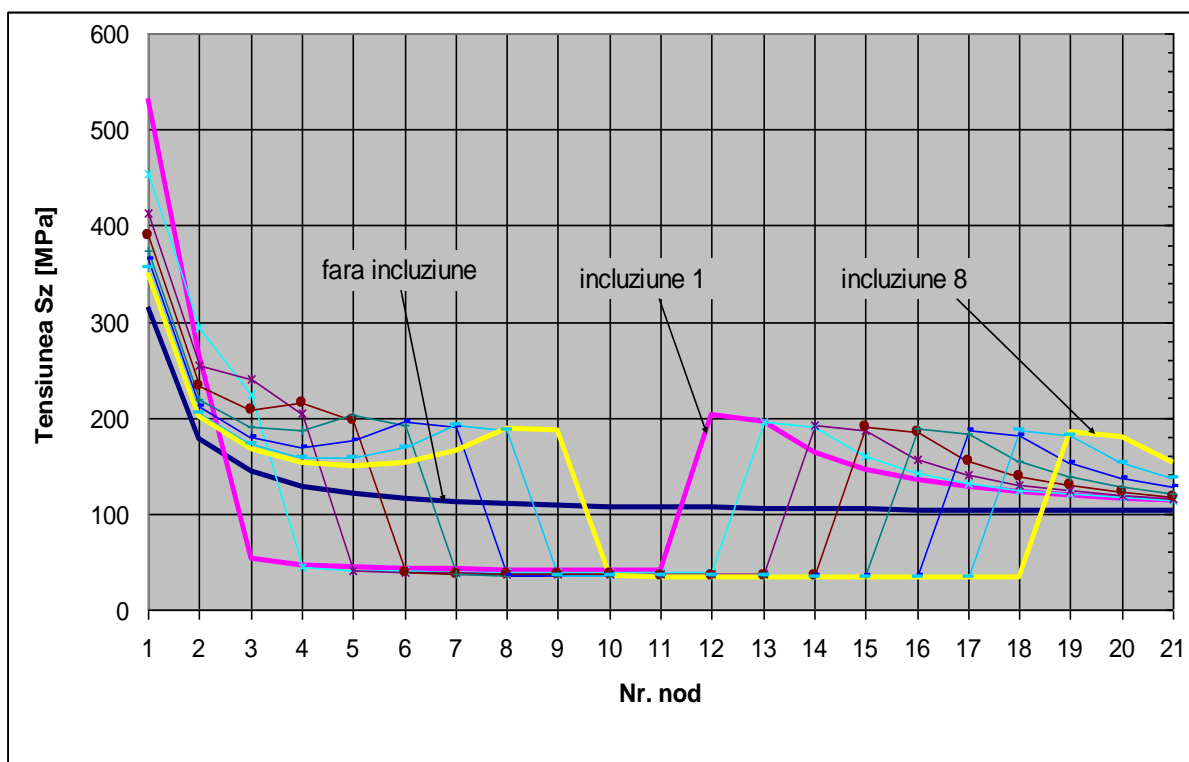


Fig. 6. Variația tensiunii σ_z la deplasarea incluziunii moi în pozițiile s2÷s9

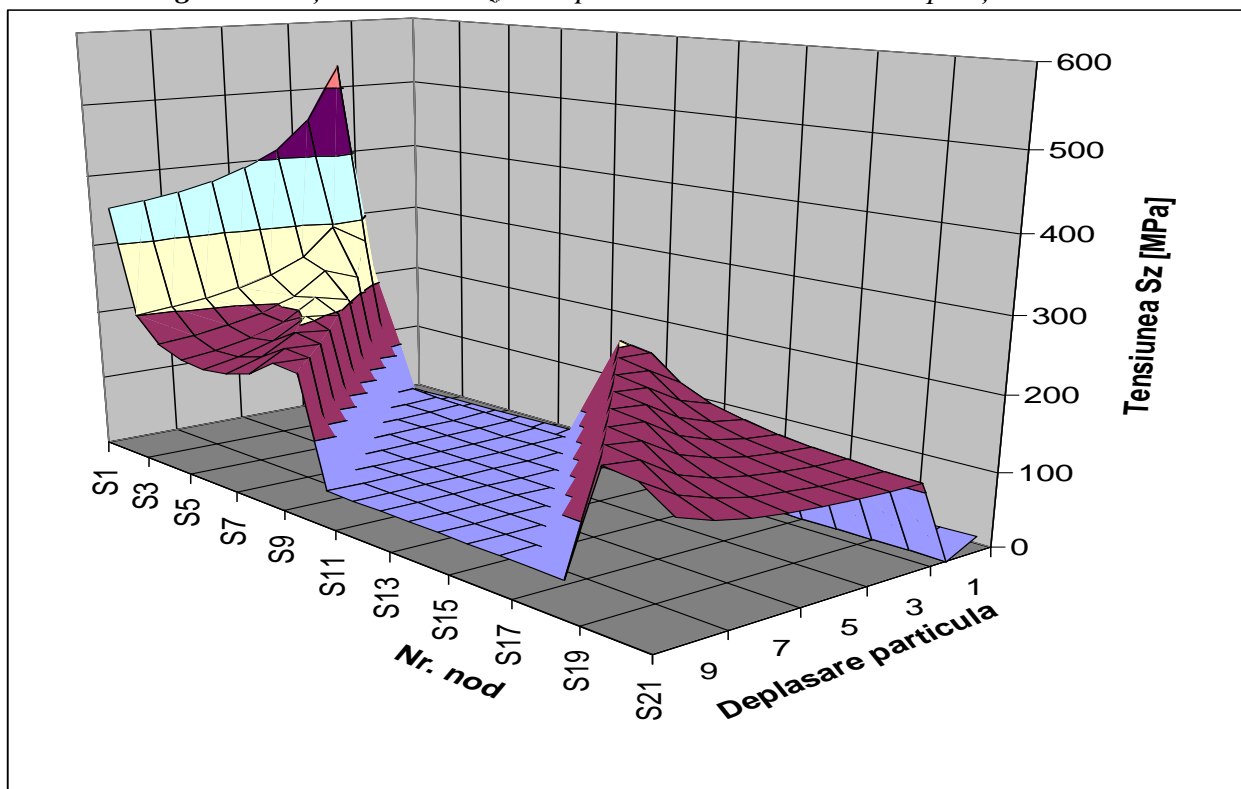


Fig. 7. Variația tensiunii σ_z în nodurile 1÷21, la deplasarea incluziunii moi în pozițiile s2÷s9
- vedere spațială

În *figurile 6*, respectiv *7*, este prezentată grafic variația tensiunilor σ_z la vârful fisurii atunci când are loc deplasarea incluziunii moi în pozițiile s2÷s9.

Se constată următoarele, *figura 8*:

- în raport cu cazul fără incluziune, tensiunea la vârful fisurii crește puternic în cazul în care se introduce o particulă de incluziune mai moale decât materialul de bază și în condițiile în care această particulă se află în imediata vecinătate a fisurii;
- chiar dacă particula de incluziune se deplasează în raport cu vârful fisurii, tensiunea rămâne mai mare în nodurile dinspre vârful fisurii față de cazul absenței incluziunii;
- în nodurile corespunzătoare prezenței particulei de incluziune tensiunea are valori mai mici decât în cazul absenței respectivei particule;
- tensiunea devine din nou mai mare în nodurile corespunzătoare zonei de material de după particula de incluziune în raport cu vârful fisurii.

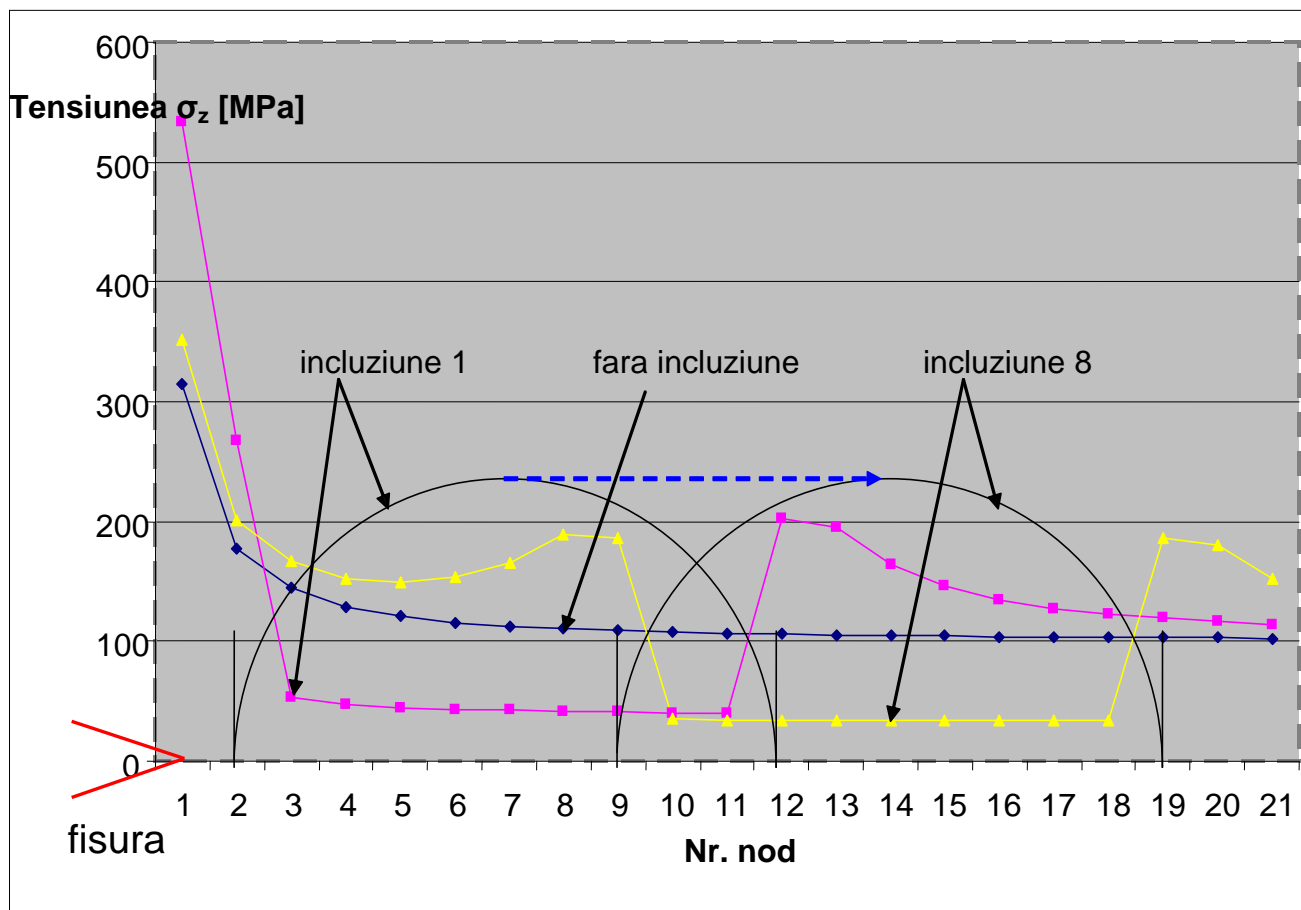


Fig. 8. Variația tensiunilor σ_z la deplasarea particulei de incluziune - incluziunea în pozițiile s2 și s9

4. Modelarea prin introducerea particulelor de incluziune dure

Modelarea cu elemente finite se face prin introducerea în imediata apropiere a fisurii a unei particule de incluziune cu proprietățile de mai jos, diferite de a materialului de bază, care face ca particula de incluziune să fie constituită dintr-un material mai dur decât materialul de bază. Pentru a simula prezența unei particule de incluziune, confecționată din material mai dur decât materialul de bază, în imediata vecinătate a fisurii s-au introdus o particulă de incluziune cu următoarele proprietăți de material:

- pentru materialul de bază: $E=2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ și $\nu=0,3$;
- pentru particula de incluziune: $E=2,4 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ și $\nu=0,25$.

Din *figura 9* se constată faptul că, tensiunea la vârful fisurii este *mai mică* în prezența particulei de incluziune, respectiv 308,5 MPa față de 315,2 MPa, atunci când particula este apropiată de vârful fisurii, pasul s2. În momentul când aceasta se depărtează, *figura 10*, diferența devine mai mică, respectiv, la pasul s99 tensiunea la vârful fisurii este de 314,4 MPa. Acest lucru se poate constata și din *tabelul 2* care prezintă tensiunile σ_z din nodurile de pe direcția axei y, nodul 1 fiind chiar vârful fisurii, atunci când particula de incluziune moale se deplasează în pozițiile succesive s22÷s29.

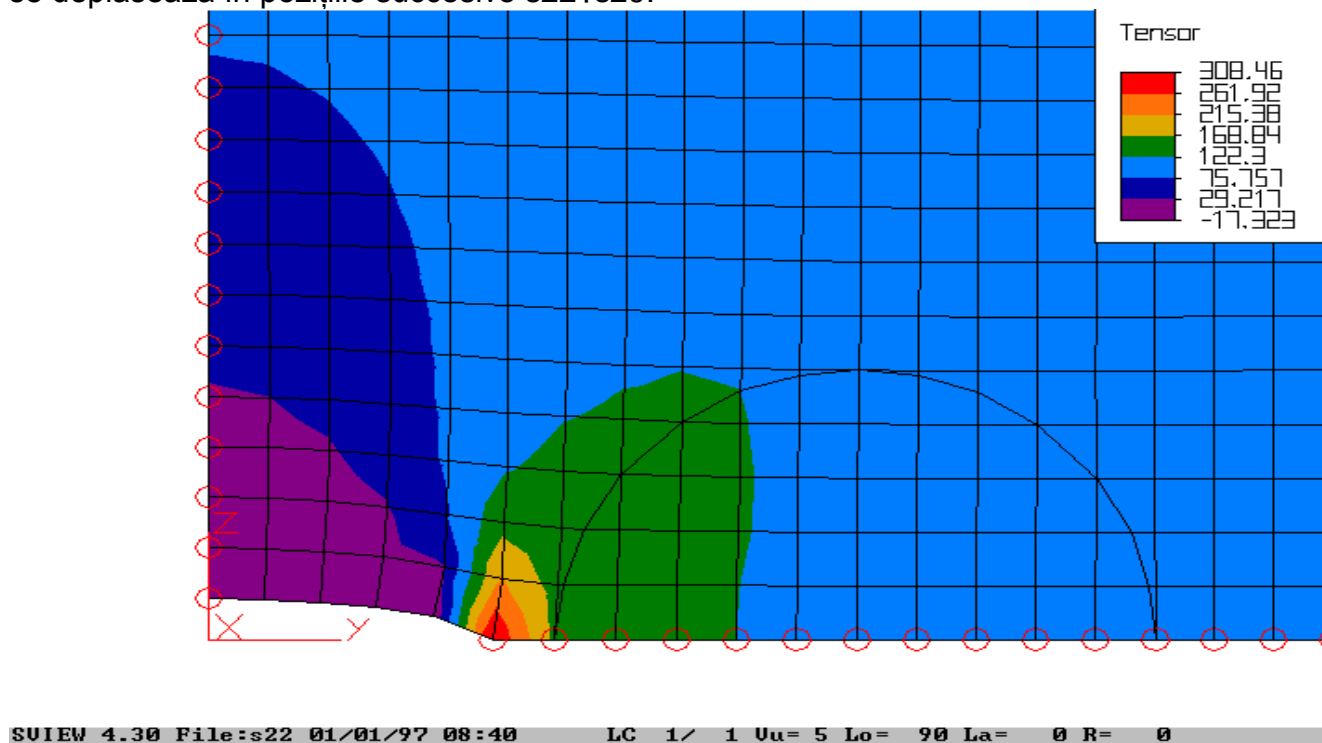


Fig. 9. Modelare cu incluziune dură în apropierea varfului fisurii

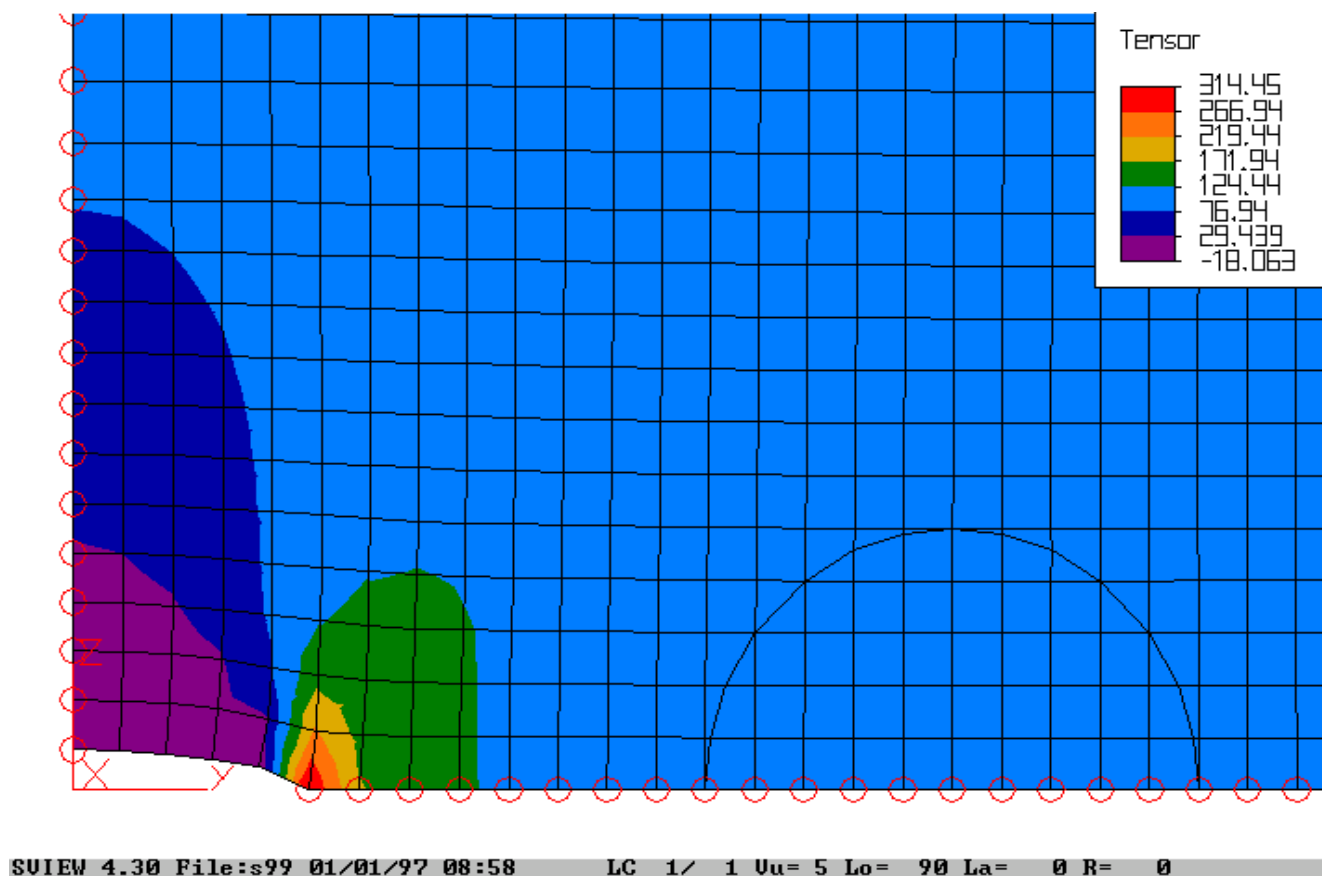


Fig. 10. Modelare cu incluziune dură deplasată de vârful fisurii

Tabelul 2

| Nr. Nod | s1 | s22 | s33 | s44 | s55 | s66 | s77 | s88 | s99 |
|---------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 315.2 | 308.50 | 310.90 | 31 40 | 313.30 | 313.80 | 314.10 | 314.30 | 314.40 |
| 2 | 177.9 | 164.40 | 173.70 | 175.30 | 176.20 | 176.80 | 177.10 | 177.30 | 177.40 |
| 3 | 145 | 145.80 | 137.40 | 141.20 | 14 70 | 143.50 | 144.00 | 144.30 | 144.50 |
| 4 | 128.5 | 130.30 | 130.60 | 123.00 | 124.90 | 126.30 | 127.10 | 127.60 | 127.80 |
| 5 | 120.6 | 12 40 | 12 60 | 12 80 | 115.70 | 117.10 | 118.50 | 119.30 | 119.70 |
| 6 | 115.8 | 117.70 | 117.90 | 118.00 | 118.10 | 111.20 | 11 40 | 113.80 | 114.60 |
| 7 | 11 7 | 114.60 | 114.70 | 114.80 | 114.90 | 115.00 | 108.20 | 109.30 | 110.70 |
| 8 | 110.6 | 11 40 | 11 50 | 11 60 | 11 70 | 11 80 | 11 80 | 106.00 | 107.10 |
| 9 | 109 | 110.80 | 110.90 | 111.00 | 111.10 | 111.10 | 111.20 | 111.20 | 104.40 |
| 10 | 107.7 | 109.60 | 109.70 | 109.80 | 109.80 | 109.90 | 109.90 | 110.00 | 110.00 |
| 11 | 106.8 | 108.60 | 108.70 | 108.80 | 108.80 | 108.90 | 108.90 | 108.90 | 109.00 |
| 12 | 106 | 101.00 | 108.00 | 108.00 | 108.10 | 108.10 | 108.10 | 108.10 | 108.20 |
| 13 | 105.3 | 101.70 | 100.50 | 107.40 | 107.40 | 107.50 | 107.50 | 107.50 | 107.50 |
| 14 | 104.8 | 10 70 | 101.30 | 100.10 | 106.90 | 106.90 | 106.90 | 106.90 | 107.00 |
| 15 | 104.3 | 103.10 | 10 30 | 100.90 | 99.68 | 106.50 | 106.50 | 106.50 | 106.50 |
| 16 | 104 | 103.20 | 10 80 | 10 00 | 100.50 | 99.33 | 106.10 | 106.10 | 106.10 |
| 17 | 103.6 | 103.10 | 10 90 | 10 40 | 101.70 | 100.20 | 99.02 | 105.80 | 105.80 |
| 18 | 103.3 | 103.00 | 10 90 | 10 60 | 10 20 | 101.40 | 99.92 | 98.74 | 105.50 |
| 19 | 103 | 10 80 | 10 80 | 10 60 | 10 30 | 101.90 | 101.10 | 99.66 | 98.49 |
| 20 | 10 8 | 10 70 | 10 60 | 10 50 | 10 40 | 10 10 | 101.70 | 100.90 | 99.42 |
| 21 | 10 5 | 10 50 | 10 50 | 10 40 | 10 30 | 10 20 | 101.90 | 101.40 | 100.70 |

În tabelul 2, coloana s1 reprezintă cazul fără incluziune iar coloanele s22÷s99 reprezintă cazul deplasării particulei de incluziune pe direcția axei y în raport cu vârful fisurii.

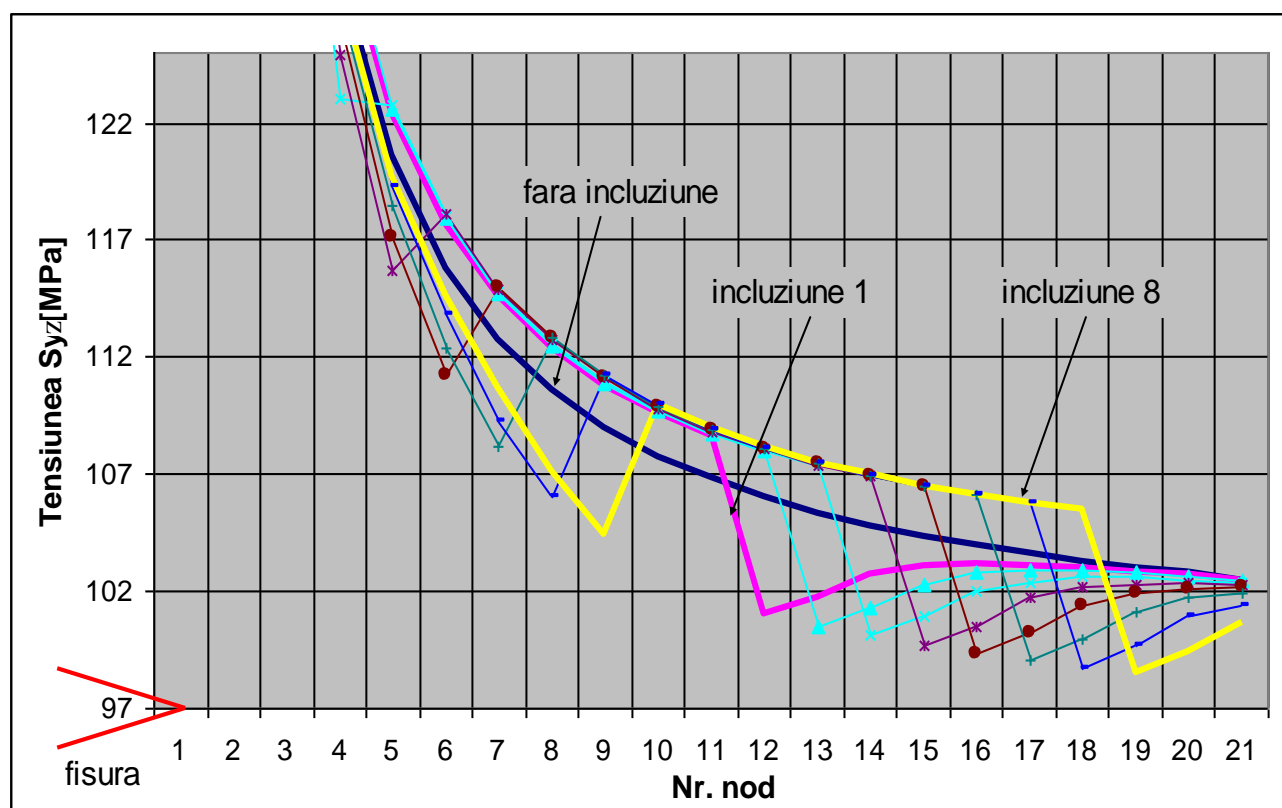


Fig. 11. Variația tensiunii σ_z la deplasarea incluziunii dure în pozițiile s22÷s99

În figurile 11, respectiv 12, este prezentată grafic variația tensiunilor σ_z la vârful fisurii atunci când are loc deplasarea incluziunii dure în pozițiile s22÷s99. Pentru o mai bună

vizualizare, ambele figuri *nu prezintă* și tensiunile de la vârful fisurii, respectiv tensiunile din nodul 1.

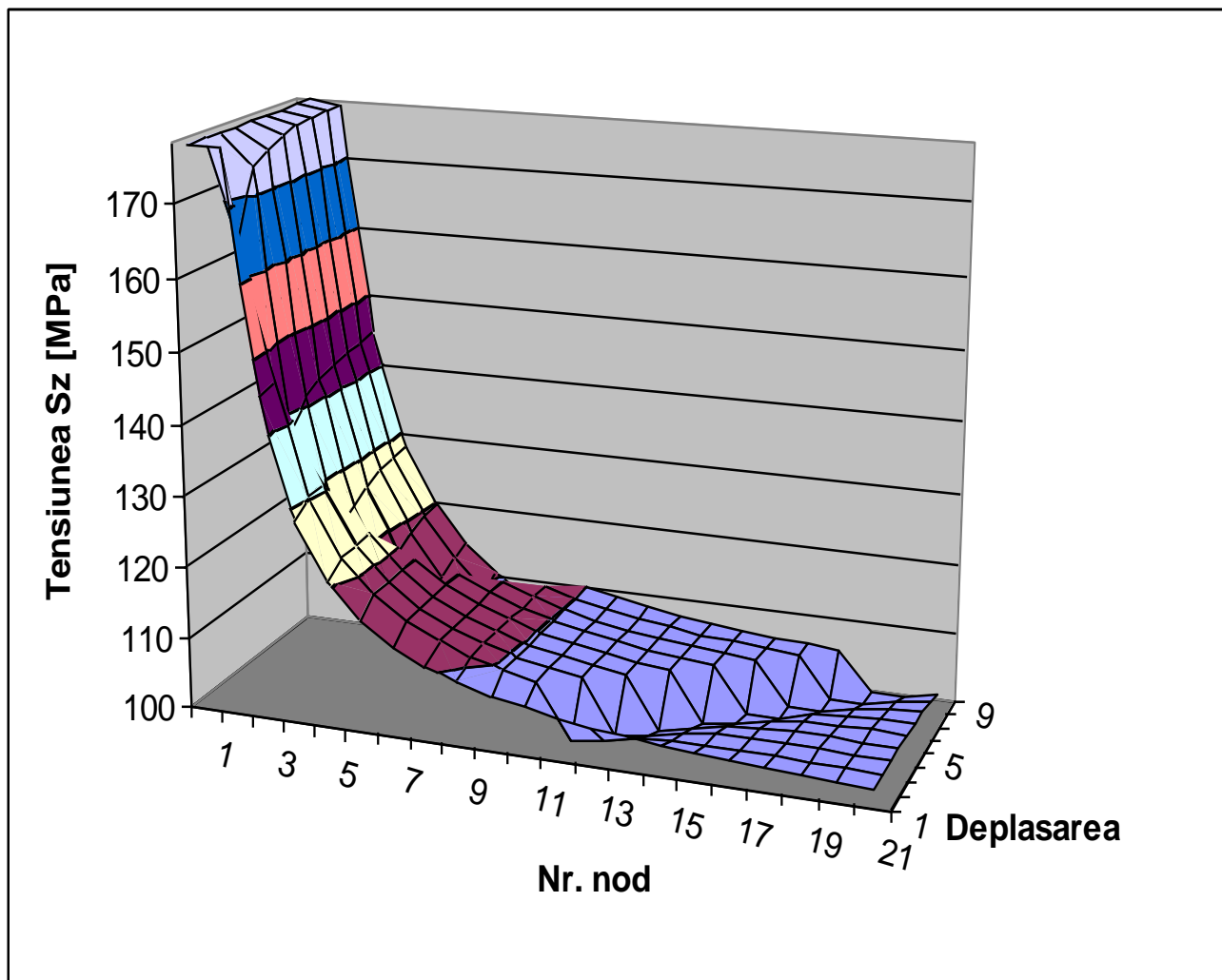


Fig. 12. Variația tensiunii σ_z în nodurile 1÷21, la deplasarea incluziunii dure în pozițiile s22÷s99
- vedere spațială

Se constată următoarele, figura 12:

- în raport cu cazul fără incluziune, tensiunea la vârful fisurii este mai mică în cazul în care se introduce o particulă de incluziune mai dură decât materialul de bază și în condițiile în care această particulă se află în imediata vecinătate a fisurii;
- chiar dacă particula de incluziune se deplasează în raport cu vârful fisurii, tensiunea rămâne mai mică în nodurile dinspre vârful fisurii față de cazul absenței incluziunii;
- în nodurile corespunzătoare prezenței particulei de incluziune tensiunea are valori mai mari decât în cazul absenței respectivei particule;
- tensiunea devine din nou mai mică în nodurile corespunzătoare zonei de material de după particula de incluziune în raport cu vârful fisurii.

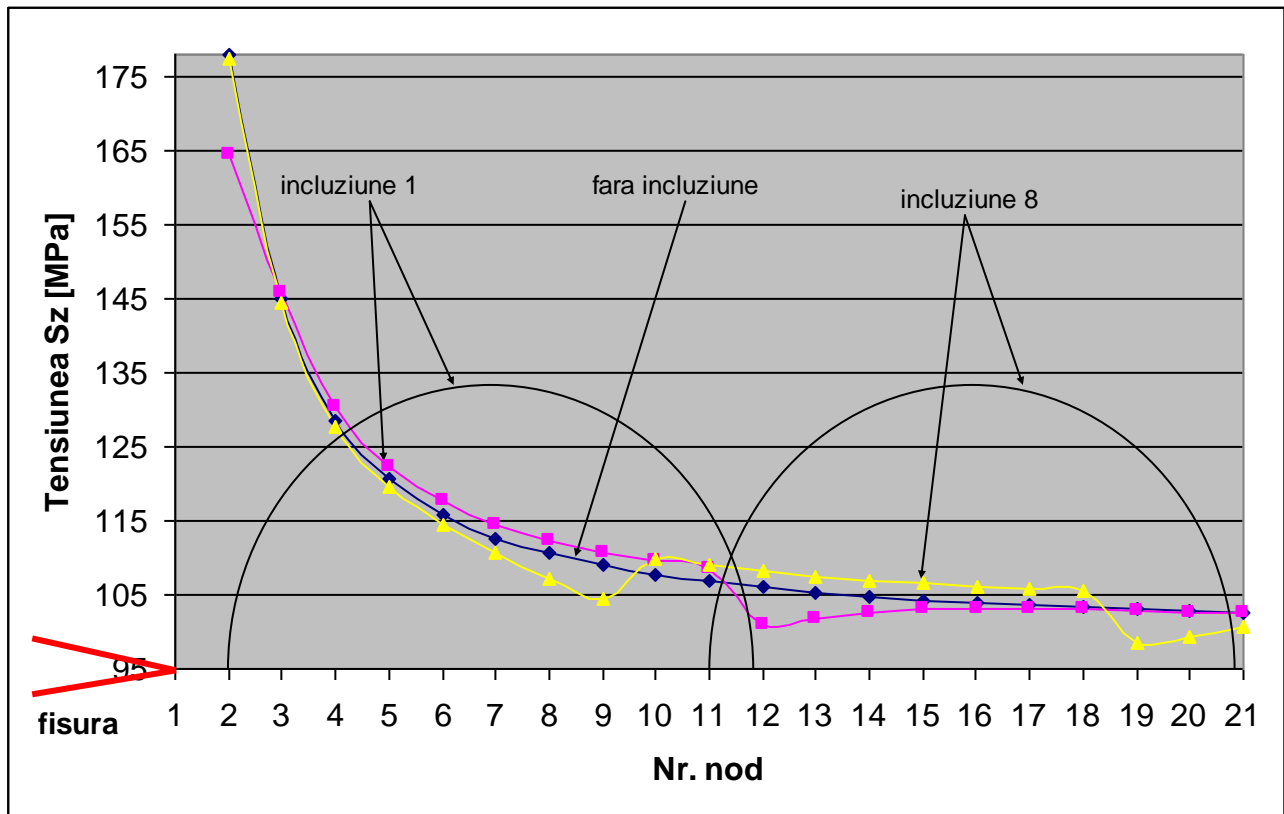


Fig. 13 Variația tensiunilor σ_z la deplasarea particulei de incluziune dure - incluziunea în pozițiile s22 și s29

5. Concluzii

În prezenta lucrare s-a efectuat un studiu privind variația tensiunilor în materialele cu fisuri ce conțin particule dispersate având caracteristici diferite de ale materialului de bază.

S-a constatat faptul că, prin dispersia unor particule din material cu proprietăți diferite în raport cu materialul de bază, în imediata vecinătate a unei fisuri, distribuția tensiunilor se schimbă.

Prin introducerea unor particule mai moi, tensiunea de la vârful fisurii crește semnificativ, în schimb scade tensiunea în zona particulei de incluziune. În aceste condiții, se poate face un studiu experimental dintr-o astfel de perspectivă, având în vedere faptul că, deși se întrunesc condițiile pentru propagarea unei macrofisuri începând de la vârful fisurii existente, este posibil ca această propagare să se oprească în zona incluziunii.

Prin introducerea unei particule de incluziune mai dură decât materialul de bază, tensiunea la vârful fisurii scade. În aceste condiții, deși tensiunea din zona corespunzătoare particulei crește în raport cu cazul fără particulă, este posibil ca fisura să nu înceapă să se propage.