

Capitolul 5. Calculul la oboseală

5.1. Coeficientul de siguranță la oboseală

Calcululele la oboseală ale organelor de mașini sau ale structurilor se fac pe baza diagramelor ciclurilor limită. Acestea, respectiv schematizările lor se obțin pe baza diagramelor ciclurilor limită și a schematizările acestora trasate pentru epruvete, corectate cu ajutorul unor factori de influență asupra limitei la oboseală. În general, acești factori se cunosc abia după dimensionare și stabilirea formei constructive a piesei. Pe de altă parte, acești factori intervin în relațiile de calcul la oboseală. Ca urmare, în cazul dimensionării pieselor solicitate la oboseală cu ajutorul metodelor rezistenței clasice, se adoptă rezistențe admisibile mai mici.

Calculul la oboseală este, în primul rând, unul de verificare. El se poate efectua după alegerea tuturor dimensiunilor piesei și a tehnologiei de fabricație. Verificarea la solicitarea de oboseală constă în primul rând din calculul coeficientului de siguranță al solicitării produse în secțiunile periculoase ale piesei. Pentru ca piesa calculată să reziste la oboseală trebuie ca în fiecare secțiune periculoasă să se obțină un coeficient de siguranță mai mare decât cel prescris în memoratoarele ingineresti. În tabelul 5.1 sunt prezentate câteva exemple informative privind valorile coeficientului de siguranță, pentru diferite piese.

Tabelul. 5.1. Valori ale coeficienților de siguranță [Deutch]

Nr. crt.	Felul pieselor și materiale	Valoarea coeficientului de siguranță
1	Piese de mașini, din oțel	1,5 ÷ 1,7
2	Piese de mașini ușoare, din oțel	1,3 ÷ 1,4
3	Piese importante, din oțel, cu încercarea la oboseală pe piesă	1,35
4	Piese din oțel turnat	1,4 ÷ 2,0
5	Piese din fontă	2,0 ÷ 3,0
6	Piese din aliaje de cupru	2,0 ÷ 2,7
7	Piese din aliaje ușoare	2,0 ÷ 2,5

Se definește drept coeficient de siguranță la solicitarea de oboseală, raportul dintre rezistența la oboseală a piesei și tensiunea maximă (sau amplitudinea) produsă în piesă:

$$c_{\sigma} = \frac{S_{\max L}}{S_{\max}}; \quad c_{\sigma} = \frac{S_{\max L}}{S_{\text{am}}} \quad (5.1)$$

în care:

- $S_{\max L}$ reprezintă rezistența la oboseală a piesei;
- $S_{\max (\text{am})}$ reprezintă tensiunea maximă (amplitudinea) calculată pentru piesă.

Limita la oboseală se determină pe epruvete normalizate, fără concentratori de tensiune, cu diametrul $d_0=10$ mm și cu suprafața șlefuită. Rezistența la oboseală a piesei diferă de limita la oboseală a epruvetei deoarece piesa poate avea concentratori, alte dimensiuni și altă calitate a suprafeței. Ca urmare, rezistența la oboseală a piesei se poate exprima în funcție de limita la

oboseală a epruvetei prin intermediul coeficientului efectiv de concentrare a tensiunilor K_f , a factorului dimensional ε și a coeficientului de calitate a suprafeței γ :

$$S_{\max L} = \frac{\varepsilon \cdot \gamma}{K_f} \sigma_R \quad (5.2)$$

în care σ_R reprezintă limita la oboseală a epruvetei.

În aceste condiții, expresia pentru coeficientul de siguranță la oboseală se poate scrie sub forma;

$$c_\sigma = \frac{\varepsilon \cdot \gamma}{K_f} \frac{\sigma_R}{S_{\max(am)}} \quad (5.3)$$

În cazul, cel mai simplu, al unei solicitări alternant-simetrice, coeficientul de siguranță la oboseală poate fi calculat cu relația:

$$c_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{K_f}{\varepsilon \cdot \gamma} S_{\max}} \quad (5.4)$$

în care σ_{-1} este limita la oboseală a epruvetei în cazul solicitării alternant simetrice.

5.2. Calculul coeficientului de siguranță pe baza schematizării diagramei ciclurilor limită

În cazul solicitării variabile oarecare, caracterizată de un coeficient de asimetrie de valoare oarecare, expresia coeficientului de siguranță depinde de:

- modul de schematizare a diagramei ciclurilor limită;
- criteriul de alegere a rezistenței la oboseală utilizată în calcule.

În figura 5.1 se prezintă curba ciclurilor limită determinată pe epruvete, în coordonate σ_m - σ_a , precum și o solicitare variabilă oarecare reprezentată printr-un punct M.

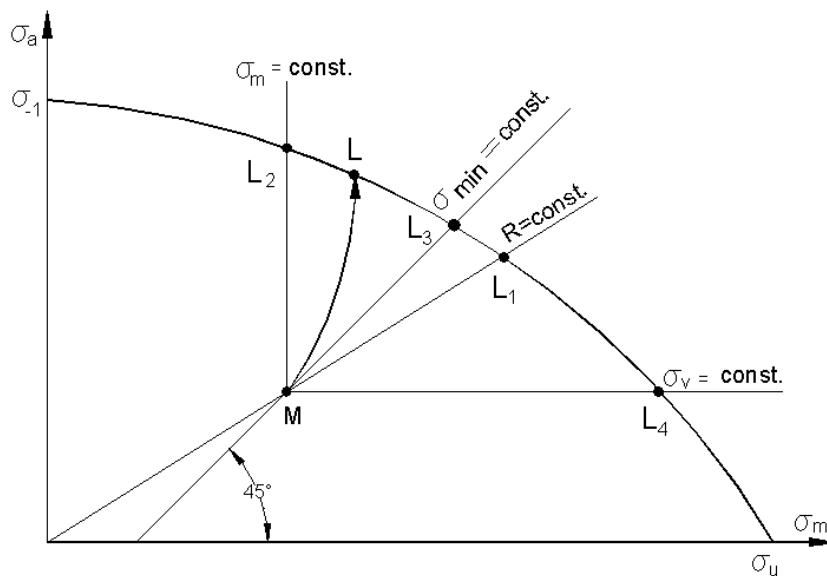


Fig. 5.1. Curba ciclurilor limită

Calculul coeficientului de siguranță se face pe baza unei raportări a solicitării piesei, reprezentate prin punctul M, la o solicitare limită a epruvetelor reprezentate prin punctul L.

Pentru determinarea rezistenței la oboseală este recomandabil să se stabilească, dacă este posibil, modul cum ar putea să evolueze solicitarea variabilă dată. Prin reprezentarea legii de evoluție a solicitării variabile se intersectează curba ciclurilor limită și se obține punctul L, care se referă la rezistența la oboseală căutată pentru piesă. Acest mod de determinare a rezistenței la oboseală constituie criteriul lui D.N. Kimmelman. El poate avea o serie de cazuri particulare, printre calculul pe baza aceluiași coeficient de asimetrie, respectiv aceeași tensiune medie, tensiune minimă, etc. Pentru un anumit criteriu și pentru o anumită schematizare a curbei ciclurilor limită rezultă o anumită valoare a coeficientului de siguranță la un ciclu dat.

În cazul în care determinarea rezistenței la oboseală nu este posibilă prin încercări în laborator a pieselor, aceasta se poate determina pe baza limitei la oboseală a epruvetelor confecționate din același material ca piesa reală, cu luarea în considerare a factorilor care influențează rezistența la oboseală. De exemplu, rezistența la oboseală a unei piese solicitată după un ciclu alternant simetric este dată de relația:

$$S_{-1} = \frac{\sigma_{-1}}{K_f \cdot \varepsilon \cdot \gamma} \quad (5.5)$$

în care:

- S_{-1} reprezintă rezistența la oboseală a unei piese solicitată după un ciclu alternant simetric;
- σ_{-1} reprezintă limita la oboseală a unei epruvete solicitată după un ciclu alternant simetric;
- K_f este coeficientul efectiv de concentrare a tensiunilor la oboseală;
- ε este factorul dimensional;
- γ este factorul ce ține cont de calitatea suprafețelor.

La numitorul relației (5.5) se pot atașa și alți factori de influență asupra rezistenței la oboseală a pieselor, care țin de: tratamentele termice aplicate, mediul de lucru, influența temperaturii, influența modului de solicitare, etc. În consecință, relația (5.5) poate fi scrisă și sub forma:

$$S_{-1} = \frac{\sigma_{-1}}{K_f \cdot k_g} \quad (5.6)$$

în care k_g reprezintă un coeficient global ce cuprinde influența tuturor factorilor asupra rezistenței la oboseală a unei piese, mai puțin influența concentratorului de tensiune specificat prin K_f .

În continuare se vor prezenta o serie de calcule ale coeficientului de siguranță la oboseală pe baza unor schematizări ale diagramei ciclurilor limită.

5.3. Calculul coeficientului de siguranță pe baza schematizării Soderberg

În figura 5.2 se prezintă schematizarea Soderberg pe baza căreia se poate determina coeficientul de siguranță al piesei ce lucrează la oboseală după un ciclu de solicitare având un coeficient de simetrie oarecare.

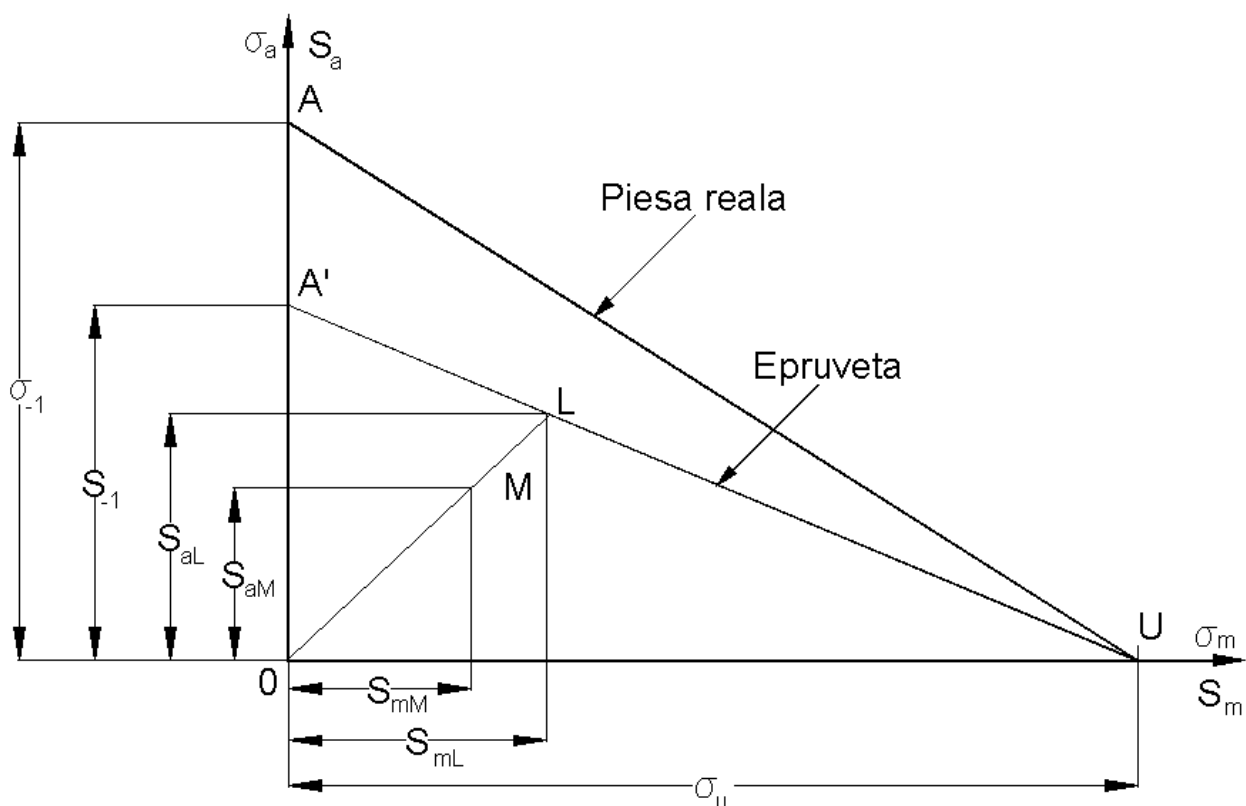


Fig. 5.2. Calculul coeficientului de siguranță la schematizarea Soderberg

Dreapta OL reprezintă ciclurile de oboseală cu același coeficient de asimetrie, R. Punctul L reprezintă valoarea limită a rezistenței la oboseală determinată pe o piesă solicitată după un ciclu cu coeficientul de asimetrie R. Punctul M reprezintă solicitarea unei piese identice cu cea de mai înainte, solicitată la valori mai mici ale tensiunii dar după un ciclu cu același coeficient de asimetrie. Având valori mai mici ale solicitării în raport cu punctul limită L, vom avea și un anumit coeficient de siguranță pentru piesa solicitată în punctul M. Calculul acestui coeficient de siguranță se prezintă în cele ce urmează.

Coeficientul de siguranță este definit de relația:

$$c = \frac{S_{\max L}}{S_{\max M}} \quad (5.7)$$

în care $S_{\max L}$ reprezintă valoarea maximă a tensiunii pentru piesa solicitată până la rupere, punctul L, iar $S_{\max M}$ reprezintă valoarea maximă a tensiunii pentru piesa solicitată la valori mai mici ale tensiunii, dar după un ciclu având același coeficient de asimetrie. Prima relație din sistemul (3.2) poate fi scrisă astfel:

$$\begin{cases} S_{\max L} = S_{mL} + S_{aL} \\ S_{\max M} = S_{mM} + S_{aM} \end{cases} \quad (5.8)$$

Punctul L se regăsește la intersecția dreptelor A'U și OL de ecuații:

$$\begin{cases} \frac{S_{aL}}{S_{-1}} + \frac{S_{mL}}{\sigma_u} = 1 \\ \frac{S_{mL}}{S_{mM}} = \frac{S_{aL}}{S_{aM}} \end{cases} \quad (5.9)$$

Prin rezolvarea sistemului va rezulta:

$$\begin{cases} S_{mL} = \frac{1}{\frac{S_{aM}}{S_{mM}S_{-1}} + \frac{1}{\sigma_u}} \\ S_{aL} = \frac{1}{\frac{S_{aM}}{S_{mM}S_{-1}} + \frac{1}{\sigma_u}} \cdot \frac{S_{aM}}{S_{mM}} \end{cases} \quad (5.10)$$

Dacă adunăm cele două ecuații din sistemul (5.10), și ținând cont de prima relație a sistemului (5.8), vom avea:

$$S_{maxL} = S_{mL} + S_{aL} = \left(\frac{1}{\frac{S_{aM}}{S_{mM}S_{-1}} + \frac{1}{\sigma_u}} \right) \cdot \left(1 + \frac{S_{aM}}{S_{mM}} \right) = \left(\frac{S_{maxM}}{\frac{S_{aM}}{S_{-1}} + \frac{S_{mM}}{\sigma_u}} \right) \quad (5.11)$$

În consecință, din relația (5.7) coeficientul de siguranță va fi:

$$c = \frac{S_{maxL}}{S_{maxM}} = \left(\frac{1}{\frac{S_{aM}}{S_{-1}} + \frac{S_{mM}}{\sigma_u}} \right) \quad (5.12)$$

Dacă ținem cont și de relația (5.5), coeficientul de siguranță în raport cu limita la oboseală determinată pe epruvete confecționate din același material cu al pieselor și solicitate după un ciclu cu același coeficient de asimetrie, va fi dat de relația:

$$c = \left(\frac{1}{\frac{K_f}{\epsilon\gamma} \frac{S_{aM}}{\sigma_{-1}} + \frac{S_{mM}}{\sigma_u}} \right) \quad (5.13)$$

în care σ_{-1} și σ_u sunt tensiuni determinate pe epruvete iar S_{aM} și S_{mM} reprezintă valorile solicitării pentru piesă. Așa cum s-a menționat, pe lângă factorii de influență ϵ și γ pot fi adăugați și alți factori, care dacă sunt prinși într-un coeficient global k_g , relația (5.13) devine:

$$c = \left(\frac{1}{\frac{K_f}{k_g} \frac{S_{aM}}{\sigma_{-1}} + \frac{S_{mM}}{\sigma_u}} \right) \quad (5.14)$$

Așa după cum se știe, coeficientul efectiv de concentrare a tensiunilor, K_f , este supraunitar iar coeficientul global de influență, k_g , rezultă ca un produs a unor factori de influență subunitari. Ca urmare, atât K_f cât și k_g conduc la micșorarea coeficientului de siguranță la solicitarea de oboseală.

5.4. Calculul coeficientului de siguranță pe baza schematizării Goodman

În figura 5.3 se prezintă schematizarea Goodman pe baza căreia se poate determina coeficientul de siguranță al unei piese solicitată după un ciclu având amplitudinea S_{aM} și valoarea tensiunii medii S_{mM} , egală cu cea a ciclului limită pentru respectiva piesă: $S_{mM} = S_{mL}$.

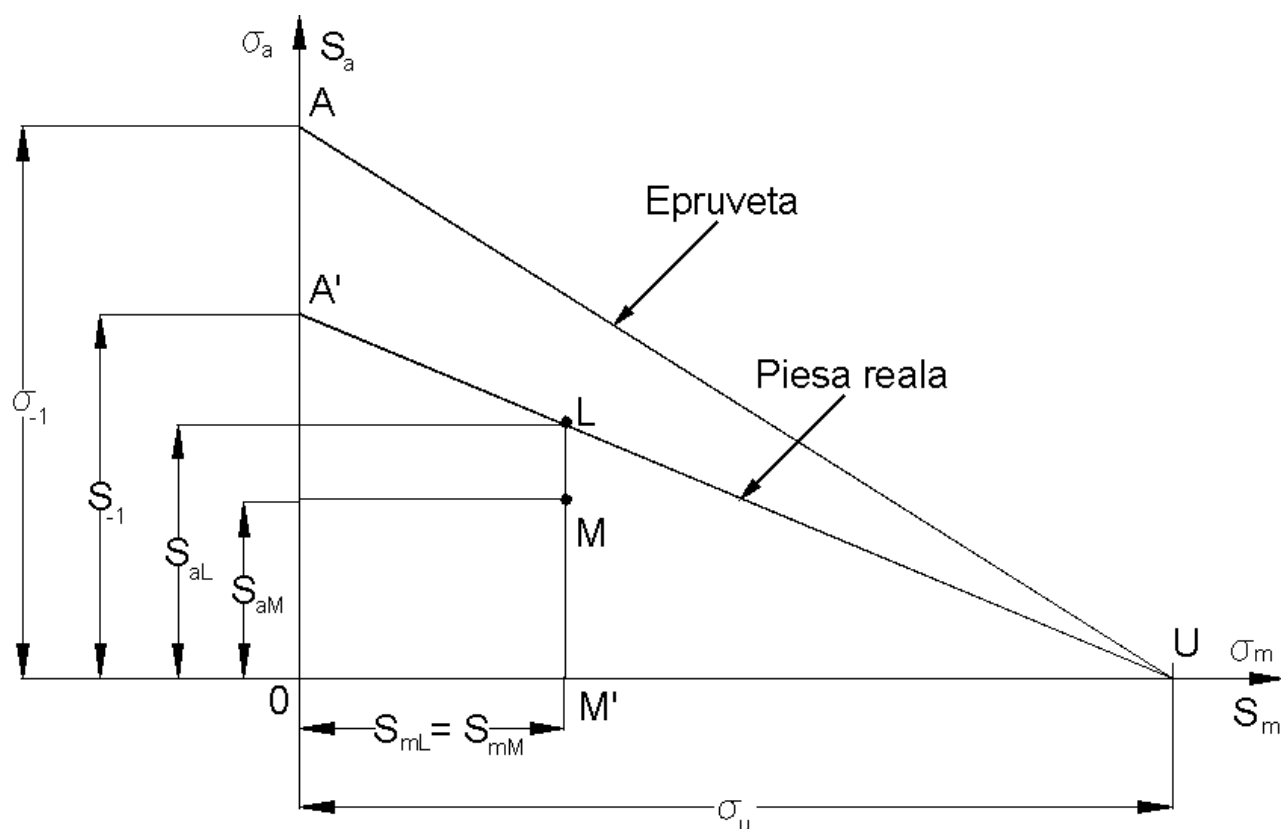


Fig. 5.3. Calculul coeficientului de siguranță la schematizarea Goodman

Relațiile (5.7) și (5.8) sunt valabile și în acest caz. Coordonatele punctului L se găsesc prin intersecția dreptelor A'U și M'L, care sunt date de ecuațiile:

$$\begin{cases} \frac{S_{aL}}{S_{-1}} + \frac{S_{mL}}{\sigma_u} = 1 \\ S_{mL} = S_{mM} \end{cases} \quad (5.15)$$

De aici va rezulta:

$$\begin{cases} S_{mL} = S_{mM} \\ S_{aL} = \left(1 - \frac{S_{mM}}{\sigma_u}\right) \cdot S_{-1} \end{cases} \quad (5.16)$$

Conform relației (5.11) și ținând seama de prima ecuație a sistemului (5.15), tensiunea maximă a piesei solicitată până la rupere, punctul L, va fi dată de relația:

$$S_{\max L} = S_{mL} + S_{aL} = S_{mM} + \left(1 - \frac{S_{mM}}{\sigma_u}\right) \cdot S_{-1} \quad (5.17)$$

și, ca urmare, coeficientul de siguranță va rezulta:

$$c = \frac{S_{\max L}}{S_{\max M}} = \frac{S_{mM} + \left(1 - \frac{S_{mM}}{\sigma_u}\right) \cdot S_{-1}}{S_{mM} + S_{aM}} \quad (5.19)$$

Dacă ținem cont și de relația (5.5), coeficientul de siguranță în raport cu limita la oboseală determinată pe epruvete confecționate din același material cu al pieselor și solicitate după un ciclu având aceeași tensiune medie, va fi dat de relația:

$$c = \frac{S_{mM} + \left(1 - \frac{S_{mM}}{\sigma_u}\right) \cdot \sigma_{-1} \frac{\varepsilon \cdot \gamma}{K_f}}{S_{mM} + S_{aM}} \quad (5.19)$$

în care σ_{-1} și σ_u sunt tensiuni determinate pe epruvete iar S_{aM} și S_{mM} reprezintă valorile solicitării pentru piesă. Dacă se dorește a se introduce mai mulți factori de influență asupra rezistenței la oboseală, cuantificați prin intermediul coeficientului global de influență, k_g , relația (5.19) devine:

$$c = \frac{S_{mM} + \left(1 - \frac{S_{mM}}{\sigma_u}\right) \cdot \sigma_{-1} \cdot \frac{K_g}{K_f}}{S_{mM} + S_{aM}} \quad (5.19)$$

5.5. Calculul coeficientului de siguranță pe baza schematizării Serensen

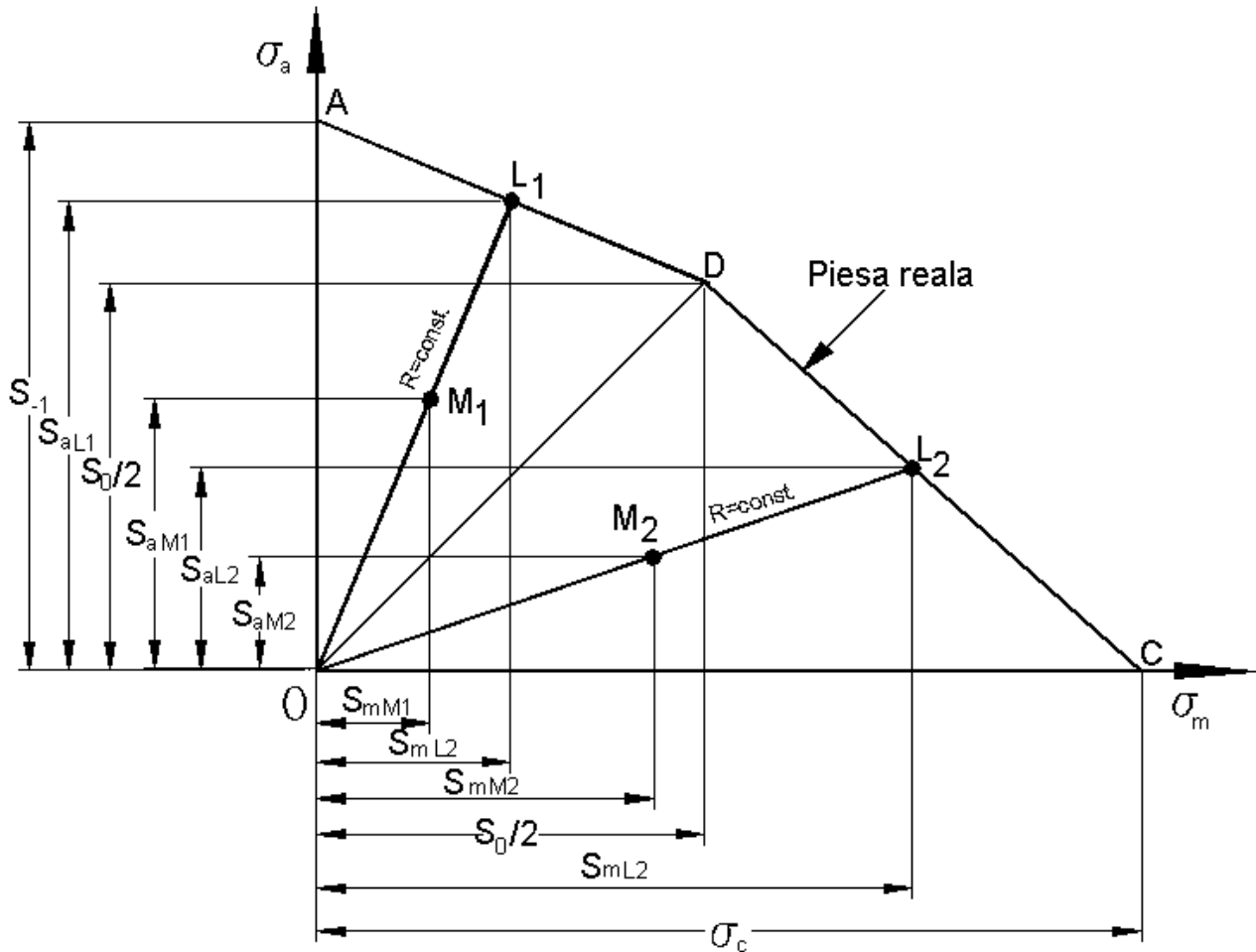


Fig. 5.3. Calculul coeficientului de siguranță la schematizarea Serensen

5.6. Calculul coeficientului de siguranță în cazul menținerii constante a tensiunii minime