

Capitolul 7

CONSIDERAȚII DE PROIECTARE PENTRU ACOPERIȘURI SUSPENDATE (Elemente)

1 CONSIDERAȚII GENERALE

1.1 Proportții

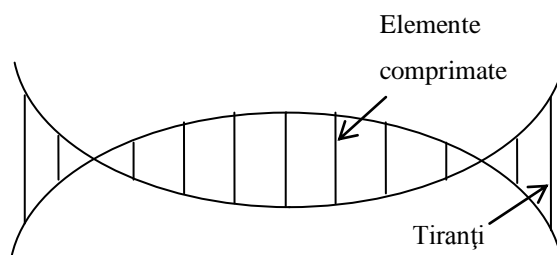
Raportul săgeată-deschidere la acoperișuri suspendate:

$$\frac{1}{15} \cdots \frac{1}{20}$$

(Compară cu poduri suspendate: $\frac{1}{8} \cdots \frac{1}{12}$.)

În alegerea raportului se va ține seama de:

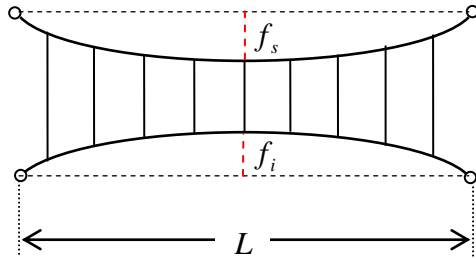
- La aceleași cerințe de spațiu liber, odată cu creșterea săgeții rezultă creșterea înălțimii structurii de margine – și implicit creșterea costului construcției.
La structuri cu încărcări mici se recomandă rapoarte săgeată-deschidere cât mai mici.
- Creșterea săgeții duce la creșterea rigidității cablului. O soluție de compromis pentru ferme-cablu o constituie sistemul de mai jos.



- La ferme-cablu, raportul săgeată-deschidere f/L este mai mare la cablul superior – care este elementul principal de rezistență.

Exemplu: La o săgeată totală de $f_s + f_i = 8\%L$, se poate lua $f_s / L \approx 5\%$ și

$$f_i / L \approx 3\% .$$



La acoperișuri cu dubla curbură, rapoartele f/L sunt aproximativ aceleași pentru cablurile concave și cele convexe. Capacitatea de încărcare este aici funcție – între alți parametri – de curbura suprafeței și nu de curbura cablurilor individuale (ca la ferme-cablu).

1.2 Alegerea structurii

Aceasta depinde de forma în plan, deschidere și încărcarea structurii, și constă în alegerea unuia din tipurile:

- Sistem simplu suspendat
- Sistem de ferme-cablu (dispuse paralele sau radial)
- Acoperiș cu dublă curbură
- Tipul de acoperiș simplu suspendat: numai la deschideri mici, sau în cazul unei încărcări de greutate mare.
- Pentru deschideri mari sau la încărcări mari: se va adopta sistemul de ferme-cablu sau rețele cu dublă curbură. Fermele-cablu sunt mai ușor de montat. La rețele se cere o precizie mare la lungimea cablurilor.
- La alegerea structurii importă și structura de margine: dacă există spațiu în jurul construcției se utilizează ancoraje exterioare; dacă nu, se utilizează ferme-cablu sau rețele, cu inele sau arce ca structuri de margine.
- Costul construcției este un element esențial la alegerea tipului de structură.

1.3 Pretensionarea

Acoperișurile suspendate trebuie pretensionate. Aceasta se realizează prin:

- Sisteme simplu suspendate: pre-încărcarea structurii
- Sisteme cu dublă curbură (rețele sau ferme-cablu): prese sau manșoane.

Gradul de pretensionare este determinat de:

- tipul de structură

- raportul încărcări temporare / permanente
- limitarea deplasărilor.

În general, se cere ca:

- sub încărcarea temporară maximă cablurile să nu slăbească;
- să se evite rezonanța sub încărcările dinamice.

Pretensionarea se introduce în trepte și de o manieră ”uniformă” astfel ca să se evite apariția de momente mari în structura de margine.

1.4 Drenaj și hidroizolație

Aceasta depinde de forma acoperișului și de deplasările nodurilor sub încărcările temporare.

Sistemele pretensionate se comportă mai bine, având deplasări mai mici.

2 ÎNCĂRCĂRI

2.1 Încărcări permanente

Greutatea proprie a cablurilor, nodurilor (piese de conectare), și învelitorii.

Valori orientative:

0.24 ... 0.72 kN/m² – învelitori ușoare (pânză, foi de plastic, tablă)

0.72 ... 1.44 kN/m² – învelitori grele (beton sau lemn)

Notă: Valorile pot fi mai mari pentru sisteme simplu suspendate.

2.2 Încărcări temporare

- Încărcări de întreținere: Se iau de obicei uniform distribuite. Acoperișul nu este circulabil – se iau numai încărcările pentru întreținere.
- Încărcări din zăpadă: conform zonei geografice. Se iau și aglomerări în porțiunile plate ale acoperișului. Pot fi și încărcări din apă provenită din topirea zăpezii sau din ploaie.
- **Încărcări din vânt:** depind de forma acoperișului și, în general, trebuie determinate din încercări pe model în tunel aerodinamic. Presiunea de bază se ia din coduri (standarde).

Obs.: Deseori vântul este încărcarea hotărâtoare.

2.3 Încărcări dinamice

- Vânt în rafale
- Explozie în zona construcției
- Seismice: Sub forma unei accelerograme \mathbf{a} (măsurată sau generată artificial).

Ecuția este: $\mathbf{M}\ddot{\mathbf{U}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{U}} + \mathbf{f}(\mathbf{U}) = \mathbf{P}(t) - \text{diag}[m_K^{ech}] \mathbf{a}$, unde m_K^{ech} este masa echivalentă în nodul K .

Acoperișurile au, în general, perioade mari de vibrație (Ex.: $T > 0.25$ s, echivalent cu pulsații < 25 Hz). Structura de reazem este mult mai rigidă. Astfel, din conținutul de frecvențe ale mișcării solului (uzual, acesta este: 3 ... 10 Hz): frecvențele înalte vor fi amplificate de structura de reazem, iar componentele de frecvență joasă vor fi mult atenuate – până ajung la sistemul de cabluri, și nu vor afecta prea mult acoperișul. Dacă însă accelerația solului are un conținut dominant de frecvențe joase, structura de reazem le va transmite cu o atenuare mică. Este necesar calculul răspunsului neliniar. Forțele seismice vor fi mici datorită flexibilității cablurilor – dar deplasările dinamice pot fi mari și pot cauza avarii învelitorii.

2.4 Pretensionarea

Se tratează ca o încărcare permanentă.

2.5 Încărcări din montaj

Sunt încărcări temporare – dar, pot fi încărcări severe, atât în acoperiș cât și în structura de margine.

2.6 Încărcări din variația de temperatură și încărcări de relaxare

Încărcările de relaxare sunt mai mici dacă se utilizează oțeluri superioare pentru cabluri, și se pot diminua prin pretensionare suplimentară.

2.7 Amortizarea

Amortizarea este un parametru important de luat în calcul.

Disiparea energiei se face prin mai multe mecanisme și depinde de:

- îmbinări și noduri: amortizare structurală
- pretensionare și tip de învelitoare: amortizare materială

- aerul înconjurător: amortizare aerodinamică. Trebuie considerată pentru structuri ușoare (unde masa aerului care vibrează se adaugă la masa structurii). Se poate neglija la restul acoperişurilor.

O măsura a amortizării este decrementul logaritmic

$$\delta = \ln \frac{a_n}{a_{n+1}}$$

unde a_n și a_{n+1} sunt amplitudinile în ciclurile de vibrație n și $n+1$, respectiv.

Sau, în practică, luând media pe n cicluri:

$$\delta = \frac{1}{n} \ln \frac{a_1}{a_{n+1}}$$

Fracțiunea din amortizarea critică este:

$$\zeta = \frac{\delta}{2\pi}.$$

Sunt puține cunoștințe despre δ .

Câteva valori δ experimentale:

- Palasport Milano (structură + învelitoare, 1979): 0.073 ... 0.118
- Jensen (rețea paraboloid hiperbolic cu cabluri marginale + învelitoare, 1972): 0.115 ... 0.112
- Buchholdt (fermă-cablu + cu învelitoare vată minerală și placi aluminiu, 1976): 0.046 ... 0.060

Prezența învelitorii crește valoarea amortizării.

Exemplu: Pentru acoperișul stadionului olimpic de la Munchen, în proiectare s-a considerat 10%, incluzând și amortizarea aerodinamică.

3 COMBINAȚII DE ÎNCĂRCĂRI

Nu există norme unice. Dăm mai jos prevederile din “Manual for Structural Application of Steel Cables to Buildings” (American Iron and Steel Institute, 1973)

(Standard: ASCE Standard 19/1996 "Structural Applications of Steel Cables for Buildings".

Standardul este actualmente în revizuire.

Propuneri 2009:

- Forța de pretensionare se va multiplica cu 1.1 – pt. a lua in considerare o eventuală “supra-pretensionare”;
- Factorul de siguranță pentru combinații de încărcări care includ efecte seismice se va reduce de la 2.0 la 1.5).

Ca o regulă generală, tensiunea maximă în cablu nu va depăși 45% - 50% din forța de rupere a cablului.

Forța de rupere a cablului să fie mai mică sau egală cu:

(a) $2 T_1$

(b) $1.6 T_1 + 2.7 T_2$

(c) $2.2 T_3$

(d) $\underline{2.0} T_4$

(e) $2.0 T_5$

(f) $2.0 T_6$

unde:

T_1 = forța axială din încărcări permanente + pretensionare

T_2 = suplimentul de forță axială din încărcarea temporară (fără vânt)

T_3 = forța axială din încărcări permanente + pretensionare + temporară (fără vânt)

T_4 = forța axială din încărcări permanente + pretensionare + temporară + una dintre: vânt sau seism.

T_5 = forța axială din încărcări de montaj

T_6 = forța axială din încărcări permanente + pretensionare + vânt

În plus, se va considera și descreșterea temperaturii (care produce o creștere în tensiunea cablurilor), care se adaugă la T_1 .

Pentru ca structura să corespundă funcțional, se cere ca:

- 1) Limitarea deplasărilor: Nu există norme. Se vor lua ceva mai mari decât pentru acoperișuri convenționale.
 - 2) Cablurile să nu slăbească: Este preferabil ca sub încărcarea cea mai defavorabilă cablul să aibă o rezervă de tensiune (care se poate alege dinainte).
 - 3) La încărcări dinamice (vânt, explozie, seism): Să nu apară rezonanță sau cvasi-rezonanță – care să ducă la deplasări mari.
- Încărcarea din vânt:

Dacă nu se cunoaște distribuția reală, se vor lua următoarele cazuri) în combinație cu celelalte încărcări):

1. Presiune pe toată deschiderea

2. Presiune pe $\frac{1}{2}$ din deschidere și sucțiune pe cealaltă jumătate.

- Pentru verificarea condițiilor de limitare a deplasărilor:

Se va lua combinația cea mai dezavantajoasă de încărcări permanente, pretensionare, întreținere/zăpadă, și vânt/explozie/seism (acesta din urmă prin încărcări statice echivalente). Dacă este cazul, se vor adăuga încărcări concentrate sau parțiale.

- Alte încărcări:

Relaxare, alunecarea cablurilor în ancoraje, variație de temperatură (acestea pot conduce la slăbirea elementelor și la reducerea rigidității, rezultând deplasări mari).

4 ACOPERIȘUL

O structură de acoperiș suspendat poate fi împărțită în:

- Structura de rezemare: beton armat sau precomprimat, metal sau ambele
- Structura acoperișului:
 1. Cabluri și piese de conectare
 2. Elemente auxiliare pentru rezemarea învelitorii; acestea sunt așezate peste cabluri.
 3. Învelitoarea – care constituie stratul extern de protecție.
 4. Stratul de izolație.

1) Cabluri:

Din fire paralele sau torsadate, protejate cu acoperire zincată.

Tensiunea de rupere: $\sim 130 \text{ kN/cm}^2$.

Modul de elasticitate: $14000 \dots 18000 \text{ kN/cm}^2$.

2) Elemente auxiliare:

Dacă învelitoarea nu poate acoperi ochiurile de cablu, se utilizează:

- tablă cutată sau ondulată – de oțel sau aluminiu
- chesoane de beton
- plăci de lemn; scânduri
- plăci de izolație rigidă
- foi de sticlă sau plastic.

3) Învelitoarea:

Materiale: metal, plastic, sticlă, lemn, asfalt, azbest.

- Plăcile de metal: tablă zincată, aluminiu, cupru, oțel inoxidabil – depinzând de considerente economice și estetice.
- Plăci ondulate de azbociment
- Plăci ondulate de beton armat cu fibră de sticlă
- Strat de vinil aplicat pe un suport rigid (grosime: ~ 1/1000 mm)

4) Izolația (termoizolație):

Tipuri variate: vată minerală, pânză asfaltată, spumă de rășini, etc.

Se adaugă: izolație care reflectă radiația și care poate acționa și ca barieră de vapori. ■