

Toronymerevítők mechanikai szempontból

Mint a neve is mutatja a toronymerevítők használatának célja az, hogy merevebbé tegye az autó karosszériáját és ezáltal a futóműveket is. Ha csak ez az egy szempont lenne, akkor a lehető legnagyobb (legvastagabb, legszélesebb, legmagasabb...) rudat kellene használni. Természetesen ez nem lehetséges, hiszen a rendelkezésre álló hely korlátozott, illetve a nagyobb méret mindig nagyobb tömeget is eredményez. Ezért általában az a cél, hogy toronymerevítő merevség és tömeg szempontjából optimális legyen.

Néhány kép felszerelt toronymerevítőkről:

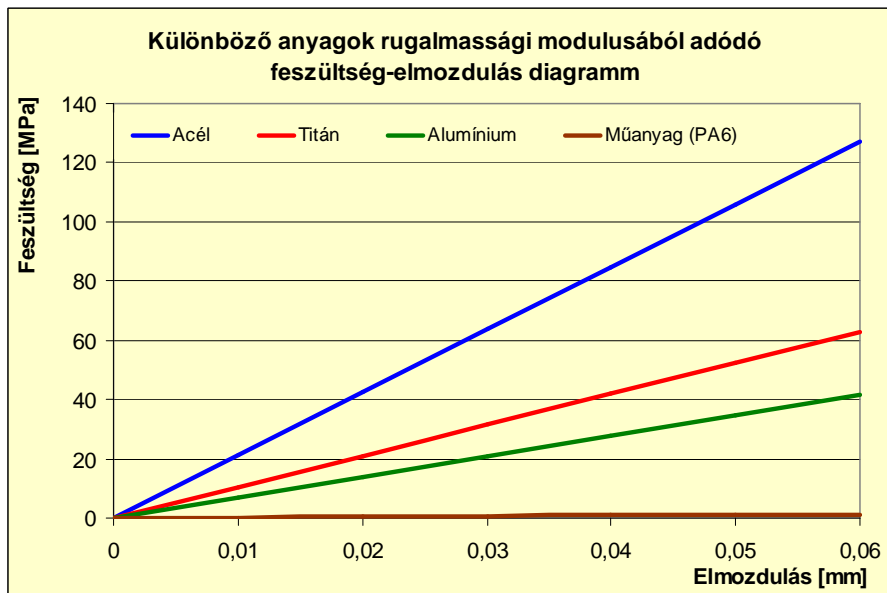


1. ábra. Beépített toronymerevítők.

A továbbiakban a jobb alsó képen látható Gépész Tuning Kft. által gyártott toronymerevítő méretezéséről lesz szó (zölddel jelölve).

1. Merevség elméleti háttere

Egy anyagnak sok mechanikai jellemzője van. A mérnöki gyakorlatban előfordul a szakítószilárdság (R_m , az a feszültség, melyet az anyag nem tud elviselni és eltörik), folyáshatár (R_{eH} , $R_{p0,2}$, az a feszültség, mely nem okoz maradandó alakváltozást), szakadási nyúlás (A , A_5 , megmutatja, hogy az anyag eredeti hosszának hány %-át képes megnyúlni, amíg el nem törik). Ezeket az értékeket sokan ismerik, azonban a mi esetünkben a rugalmassági modulus (E) nagysága mérvadó a merevségi szempontokból. Ez az érték megmutatja azt, hogy milyen nagyságú feszültség (erő) kell ahhoz, hogy egy kicsit megnyújtsuk, vagy összenyomjuk az anyagot (a rugalmassági modulus tulajdonképpen a szakítódiagram kezdő meredeksége). A következő diagrammon látható négy anyag rugalmassági modulusából számolt feszültség-elmozdulás diagramm (1. ábra).

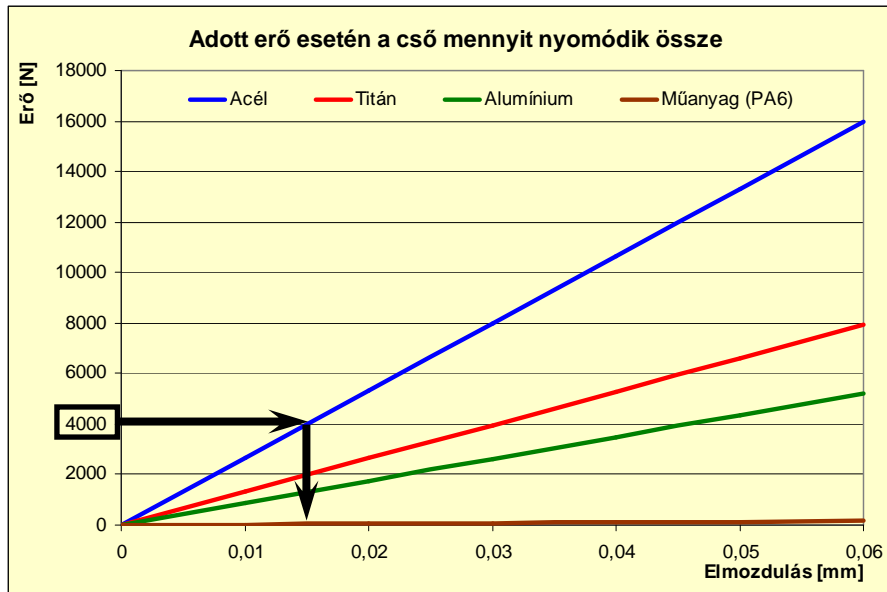


2. ábra. Rugalmassági modulusból számolt feszültség-elmozdulás diagramm.

Az ábrán látható, hogy adott elmozdulás során (pl. 0,01 mm) mekkora feszültség ébred az adott anyagban. Tételezzük fel, hogy ezekből az anyagokból Ø22 mm külső átmérőjű 2 mm falvastagságú csöveket gyártunk. Nézzük meg, hogy mekkora erővel lehet ezeket a rudakat hossz tengely mentén összenyomni. A geometriai adatokból, és az előbbi feszültség – elmozdulási adatokból a következő diagramm szerkeszthető (2. ábra). Felhasznált összefüggések:

$$A = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} - \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{22^2 \cdot \pi}{4} - \frac{18^2 \cdot \pi}{4} = 125,66 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \rightarrow F = \sigma \cdot A, \text{ ahol } \sigma \text{ a feszültséget, } F \text{ az erőt, } A \text{ a felületet jelenti.}$$



3. ábra. Származtatott erő-elmozdulás diagramm.

A 2. ábrán látható, hogyha a csövet 4000 N-os erővel nyomjuk össze, akkor az acélső 0,015 mm, a titáncső 0,03 mm, az alumínium cső pedig 0,046 mm nyomódik össze. Ilyen geometriájú műanyag cső ekkora erőt pedig nem képes felvenni.

Visszatérve a toronymerevítőhöz, ha a toronymerevítőt a futóművön keresztül 4000 N nagyságú erő éri (nagyságrendileg annyi erő, ami 400 kg felemeléséhez szükséges), akkor az acélső 0,015 mm fog összenyomódni, vagyis annyit fog a két torony közeledni egymáshoz. Ha ilyen merevségű toronymerevítőt szeretnénk készíteni alumíniumból, akkor Ø30 mm külső átmérőjű 8,5 mm falvastagságú csövet kellene hozzá választani.

A rugalmassági modulusból adódó merevség közvetlenül érzékelhető a rudak összenyomásánál, de nagy a jelentősége a kihajlás mértékénél is. A toronymerevítők terhelés hatására kihajolhatnak, de ez a kihajlás korlátozott, ugyanis a kaszni eredeti merevségéből adódik, hogy a két torony mennyit tud elmozdulni egymás felé – vagyis az összenyomás ereje és nagysága korlátozott.

2. Kihajlásra méretezés

Nézzük meg, hogy a korábban kiválasztott Ø22 mm külső átmérőjű 2 mm falvastagságú cső esetén mekkora az az erő, amivel még úgy lehet terhelni, hogy a kihajlás nem okoz maradandó alakváltozást (a cső nem görbül meg), továbbá mekkora a cső tömege, ha a hossza 1,2 m.

| Cső anyaga | Kritikus erő (N) | Cső tömege (kg) | Rugalmassági modulus (MPa) | Sűrűség (kg/dm ³) |
|------------------|------------------|-----------------|----------------------------|-------------------------------|
| Acél (St37.0) | 9221 | 1,18 | 212.000 | 7,85 |
| Titán (3.7055) | 4570 | 0,68 | 105.000 | 4,51 |
| Alumínium (6082) | 3001 | 0,41 | 69.000 | 2,7 |
| Műanyag (PA6) | 87 | 0,16 | 2.000 | 1,11 |

1. táblázat. Adott csőt kihajlás szempontjából terhelhető maximális erő és a cső tömege.

Felhasznált mechanikai összefüggés (Euler-alapján, rugalmas tartományban, csuklóval kapcsolódó rúd esetén):

$$F_{kritikus} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_2}{l_0^2}, \text{ ahol } E \text{ a rugalmassági modulus, } l_0 \text{ a cső eredeti hosszát, az } I_2 \text{ pedig a rúd}$$

kisebb másodrendű nyomatékát jelenti. Mivel csövet vettünk alapul, ezért a másodrendű nyomatéka minden tengelyre azonos, és a következőképpen számolható:

$$I_2 = \frac{D^4 \cdot \pi}{64} - \frac{d^4 \cdot \pi}{64} = \frac{22^4 \cdot \pi}{64} - \frac{18^4 \cdot \pi}{64} = 6346 \text{ mm}^4.$$

Vagyis, ha ha acél rugalmassági modulusa 212.000 MPa, akkor:

$$F_{kritikus} = \frac{\pi^2 \cdot 210.000 \cdot 6346}{1.200^2} = 9221 \text{ N}.$$

Cső tömegének számítása a következő:

$$m = A \cdot l_0 \cdot \rho, \text{ ahol } A \text{ a körgyűrű területe, } l_0 \text{ a cső hossza és } \rho \text{ a cső sűrűsége.}$$

Acél sűrűsége $7,85 \text{ kg/dm}^3 \rightarrow 7,85 \cdot 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$ vagyis a cső tömege:

$$m = 125,66 \cdot 1200 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 1,18 \text{ kg}.$$

Nézzük meg, hogy milyen falvastagságú Ø22 mm külső átmérőjű, 1200 mm hosszú csövet kell választani ahhoz, hogy 5000 N-os terhelés esetén se legyen maradó alakváltozás (ne görbüljön meg). Rendezve a korábbi egyenleteket (és acélra kiszámítva):

$$I_2 = \frac{F_{kritikus} \cdot l_0^2}{\pi^2 \cdot E} = \frac{5.000 \cdot 1.200^2}{\pi^2 \cdot 212.000} = 3.441,1 \text{ mm}^4, \text{ ebből}$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{64}{\pi} \cdot \left(\frac{D^4 \cdot \pi}{64} - I_2 \right)} = \sqrt[4]{\frac{64}{\pi} \cdot \left(\frac{22^4 \cdot \pi}{64} - 3.441,1 \right)} = 20,13 \text{ mm}.$$

| Cső anyaga | Falvastagság (mm) | Cső tömege (kg) |
|------------------|--|-----------------|
| Acél (St37.0) | 0,94 | 0,58 |
| Titán (3.7055) | 2,27 | 0,76 |
| Alumínium (6082) | 5,14 | 0,88 |
| Műanyag (PA6) | Ø22 mm külső átmérőjű rúd nem terhelhető 5000 N-nal! | |

2. táblázat. Max. 5000 N terhelésű Ø22 mm külső átmérőjű csövek szükséges falvastagsága.

A 2. táblázatból látszik, hogy hasonlóan terhelhető toronymerevítők közül az acélból készült tömege a legkisebb. A szemléletesség kedvéért a következő táblázat tartalmazza a Ø22 mm külső átmérőjű 0,5 kg csövek falvastagságát és terhelhetőségi határát.

| Cső anyaga | Falvastagság (mm) | Kritikus erő (N) |
|------------------|-------------------|------------------|
| Acél (St37.0) | 0,8 | 4339 |
| Titán (3.7055) | 1,4 | 3532 |
| Alumínium (6082) | 2,5 | 3516 |
| Műanyag (PA6) | 9,8 | 157 |

3. táblázat. 0,5 kg tömegű csövek falvastagsága és a kritikus erő nagysága.

3. Adott tömegű toronymerevítők összenyomódása

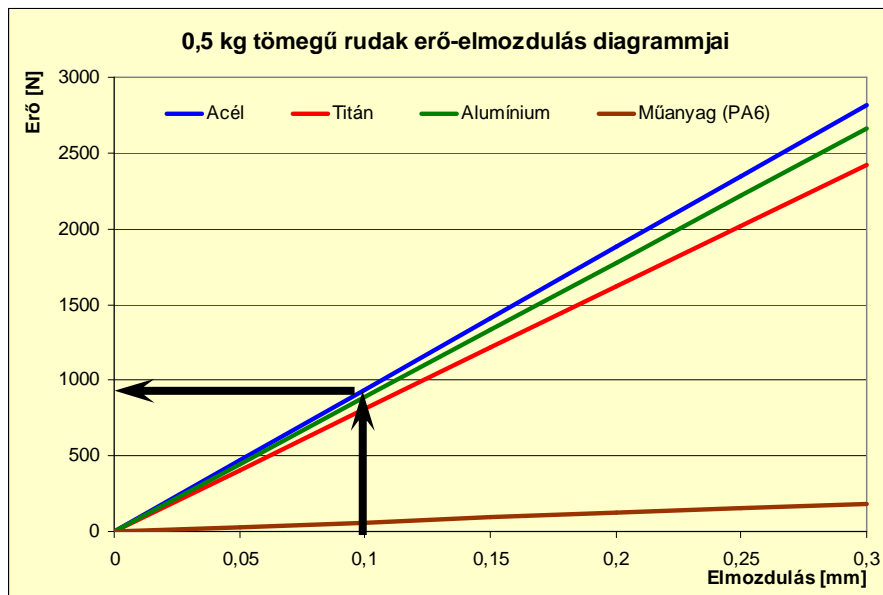
Tegyük fel, hogy toronymerevítő (összekötő rúd) tömege nem haladhatja meg a 0,5 kg-ot. Nézzük meg ekkor, hogy milyen erő kell ahhoz, hogy 0,1 mm összenyomódjon.

Számítás menete acélra:

$$A = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} - \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{22^2 \cdot \pi}{4} - \frac{20,4^2 \cdot \pi}{4} = 53,28 \text{ mm}^2$$

Kis elmozdulási tartományoknál igaz:

$$F = E \cdot \frac{0,1}{l_0} \cdot A = 212.000 \cdot \frac{0,1}{1.200} \cdot 53,28 = 941 \text{ N, alumínium esetén: } 886 \text{ N, titán esetén: } 808 \text{ N.}$$



4. ábra. Erő-elmozdulás diagramm különböző anyagú és falvastagságú csövek esetén.

A 4. ábrából látszik, hogy **méretezési szempontok alapján a Ø22 mm külső átmérőjű 0,5 kg tömegű 0,8 mm falvastagságú acélcső biztosítja a legnagyobb merevséget.** A következő a Ø22 mm külső átmérőjű 0,5 kg tömegű 2,5 mm falvastagságú alumíniumcső, a harmadik a Ø22 mm külső átmérőjű 0,5 kg tömegű 1,4 mm falvastagságú titán cső. A műanyagrudat alkalmatlan a feladat ellátására.

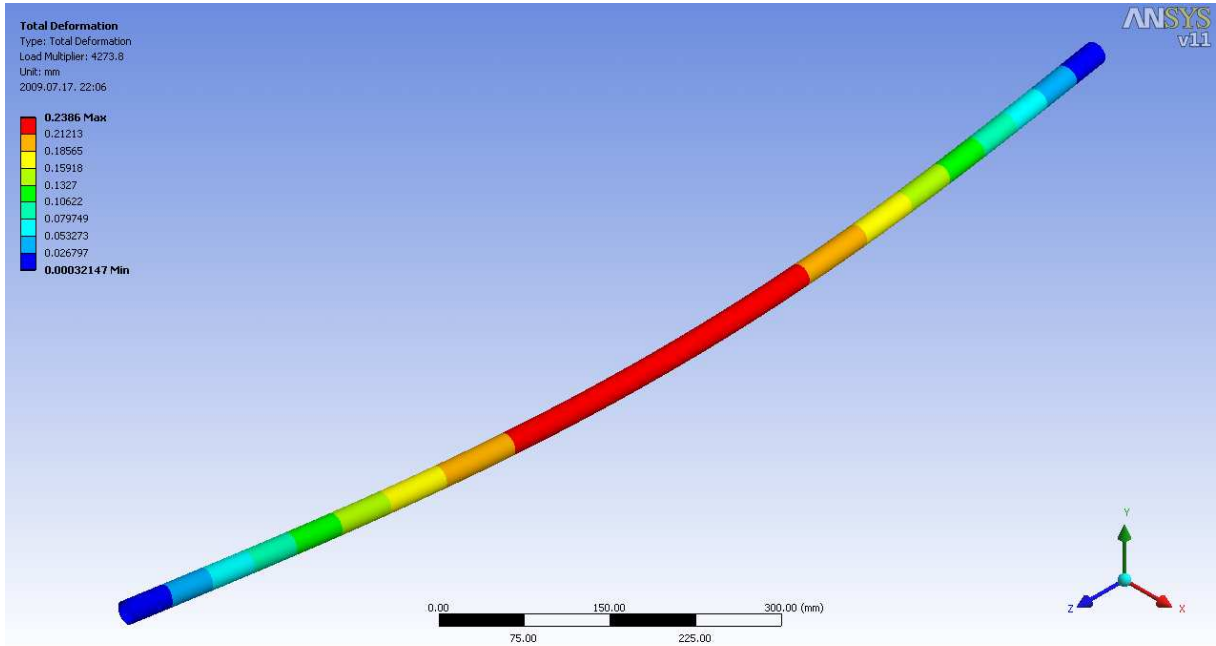
5. Végeelemes analízis

Az eddigi elméleten alapuló eredményeket vessük össze az Ansys szoftver eredményeivel. Az Ansys rendelkezik külön kihajlásokkal foglalkozó megoldáskeresővel, ennek használatával megállapíthatjuk, hogy mekkora erő kell ahhoz, hogy az adott geometriájú cső a stabilitását elveszítse. Az eredmények összhangban vannak az eddigi eredményekkel (4. táblázat.)

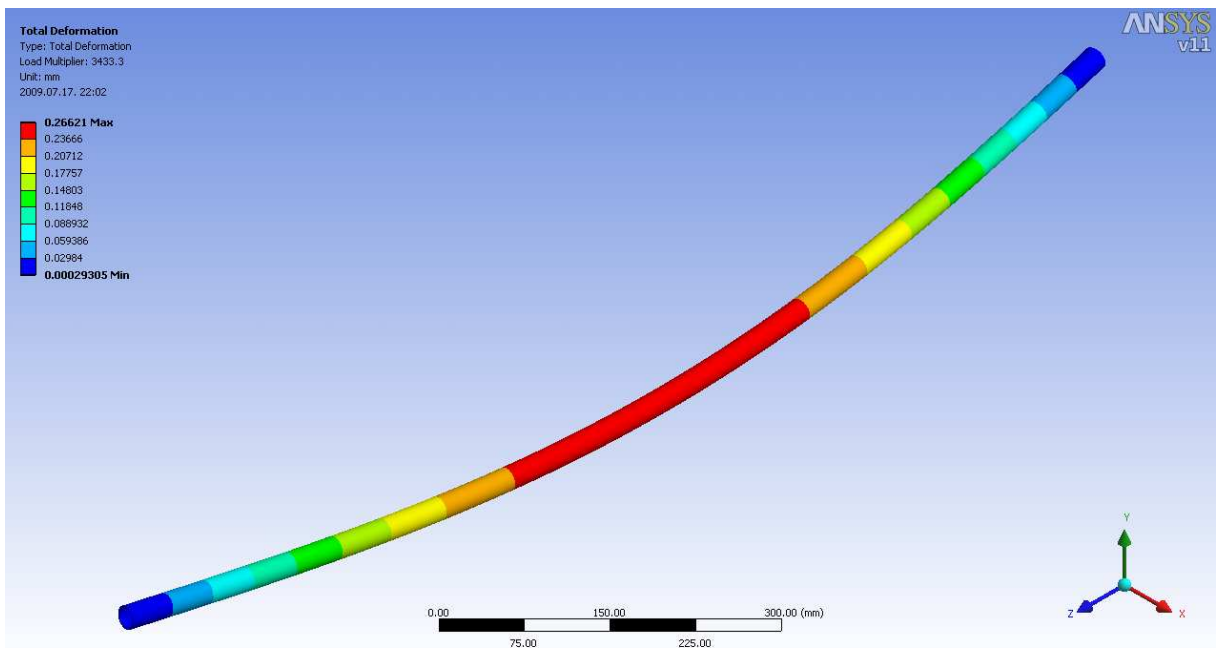
| Anyag | F _{Amax} * |
|------------------|---------------------|
| Acél (St37.0) | 4274 N |
| Titán (3.70.35) | 3434 N |
| Alumínium (6082) | 3428 N |

4. táblázat. Maximális erő az Ansys szimuláció alapján.

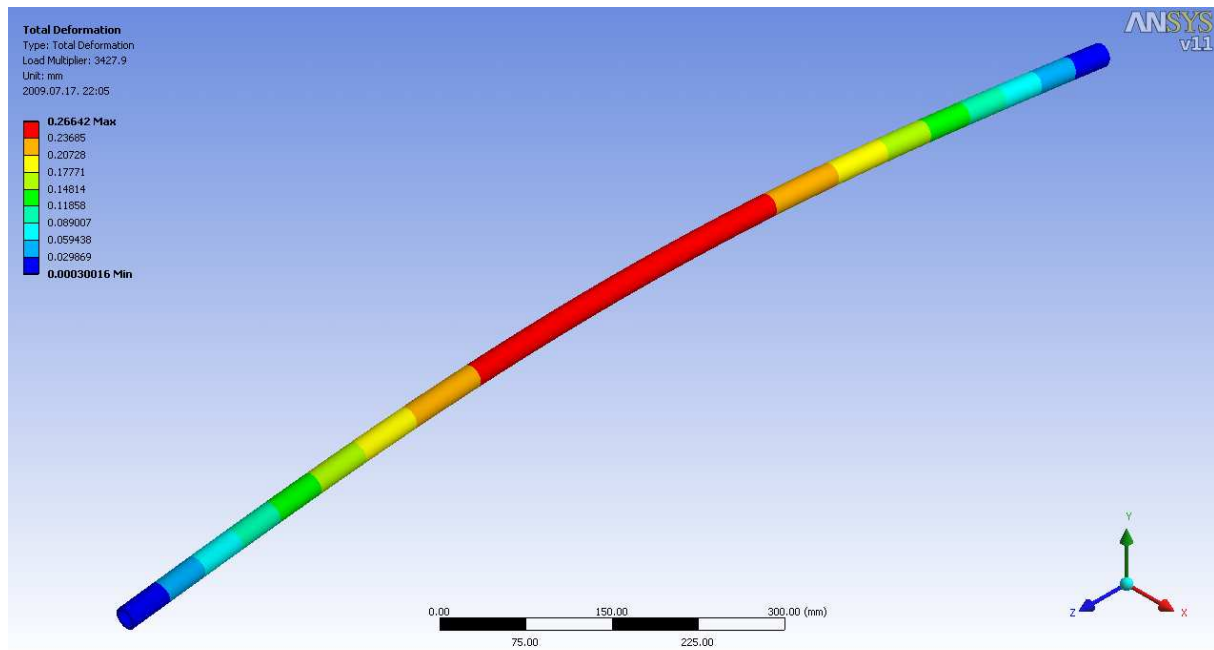
Az Ansys numerikus számítása alapján az acélbók készült toronymerevítő képes a legnagyobb erőt elviselni, mielőtt a kihajlás már kritikus lenne. Az eltérő geometria ellenére az alumínium és a titán ugyanakkora terhelést képes elviselni (eltérő geometria, de a tömeg azonos volt – 0,5 kg). A végelem számítások eredményei a következő ábrákon látható.



5. ábra. Acél cső (Ø22-Ø20,4/1200 mm) kihajlása.



6. ábra. Titán cső (Ø22-Ø19,2/1200 mm) kihajlása.



7. ábra. Alumínium cső (Ø22-Ø17/1200 mm) kihajlása.

Köszönöm Kajtár Péter Ansys-ban nyújtott segítségét.

4. További szempontok

Toronymerevítő választásánál, tervezésénél, gyártásánál még a következő szempontokat érdemes figyelembe venni:

- nyersanyag ára (acél<alumínium<titán)
- megmunkálhatóság (acél>alumínium>titán)
- kereskedelmi forgalomba beszerezhető csövek geometriája (külső átmérő, és hozzátartozó falvastagság)
- keresztmetszetű rúd alkalmazása (nem cső)*
- mekkora hely áll rendelkezésre a motortérben
- hajlított vonalvezetés esetén jelentősen csökkenhet az erő-elmozdulás egyenesek meredeksége, vagyis azonos erő esetén az elmozdulás nagyobb lesz.

* Rögzítéstől függően téglalap keresztmetszetű rudakat állítva érdemes beépíteni, mert így kihajlás szempontjából kevésbé veszélyes. Ugyanis lefelé vagy felfelé történő kihajlás esetén csuklós rendszerként modellezhető a szerkezet – nagyobb másodrendű nyomaték szükséges. Előrefelé vagy hátrafelé történő kihajlás esetén befogott rúdként modellezhető a szerkezet, amikor is az l_0 hossz felével kell számolni, azaz jelentősen kisebb a kihajlás veszélye.

Budapest, 2010.01.03.

Készítette: Andó Mátyás