

FORGÓOSZLOPOS TORONYDARUK ALVÁZSZERKEZETÉNEK TERVEZÉSI KÉRDÉSEI

KEISZ István

Budapesti Műszaki Egyetem, Közlekedésmérnöki Kar
Építő- és Anyagmozgató Gépek Tanszék

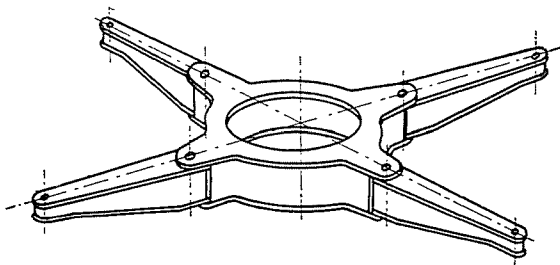
A vizsgálat tárgya és célja

Az építési toronydaruk sínpályán mozgó változatai közül az ún. forgóoszlopos toronydaruknál a forgó főmozgást biztosító forgótámszerkezet (golyós- v. görgőskoszorú) közvetlenül az alvázon helyezkedik el. A forgótámszerkezet és az alváz egybeépítése sajátos terheléseket okoz az alváza nézve.

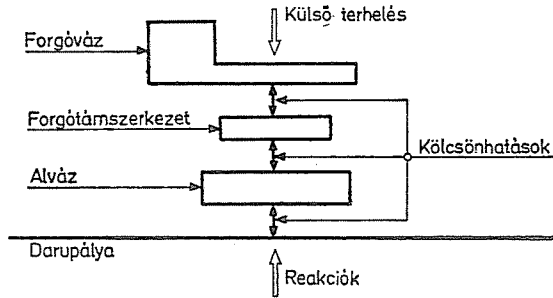
Tekintve, hogy ezek a daruk szinte kivétel nélkül négy ponton támaszkodnak a pályára, feltámaszkodási módjuk többféle lehet és e módzatok kialakulása attól függ, hogy a darupálya és az alváz geometriai és merevségi jellemzői, valamint a daruról az alvára átadódó külső terhelések hogyan viszonyulnak egymáshoz. E tényezőktől együttesen függ az alváz igénybevétele is.

A forgóoszlopos daruk alvázainak szerkezeti kialakítása szintén sajátos (1. ábra). Általában egy zárt szelvényű, körgyűrű alakú tartóra szerelik a forgótámszerkezetet és ebből konzoliszan nyúlnak ki az ún. póklábak. Elsőrendű cél, hogy e statikailag külsőleg és belsőleg egyaránt határozatlan szerkezet fő méreteit a legkedvezőbbre válasszuk. Az optimalizálás célját egyrészt a minimális saját tömeg, másrészt az igénybevételeket legkevésbé növelő alvázmerevségi értékek elérése jelentheti. Az alváz tervezés elképzelhetetlen a darupálya jellemzőinek ismerete nélkül. A forgóvázról a forgótámszerkezeten keresztül átadódó terhelések eloszlása is sokféleképpen modellezhető, és nem hanyagolható el magának a forgóváznak a hatása sem.

Az alváz tehát csak egy eleme annak a hatásláncnak, amelyben szinte



1. ábra



2. ábra

azonos szerepet játszik a forgóváz, a forgótámszerkezet, az alváz és a darupálya (2. ábra). A kölcsönhatások bonyolultsága miatt bármelyik elem vizsgálata a többi elem hatásának idealizálását teszi szükségessé.

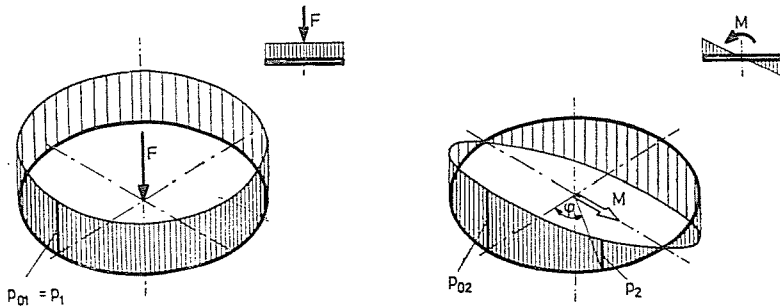
A feltámaszkodási esetek és az igénybevétel eloszlások

Az alvázat érő külső terhelésekre és az igénybevételek eloszlására kihatnak mind a külső geometriai (azaz a tartószerkezet alakja, tengelyvonalainak rendszere), mind pedig a belső geometriai (vagyis a keresztmetszeti jellemzőket meghatározó) méretek.

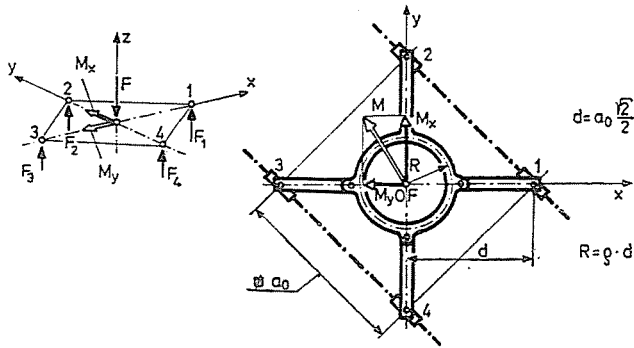
Az optimalizálendő terhelési esetet a feltámaszkodási módozatok előfordulási lehetőségei és a fellépő igénybevételek előzetes mérlegelése alapján választjuk ki.

A forgódarukra ható irányfüggő terhelések hatásainak vizsgálatát a terhelések alkalmasan megválasztott módon történő felbontása alapján végezhetjük el.

A külső terheléseket a 3. ábra szerint egyetlen F függőleges erővel és egy-egy, a koordináta tengelyekre emelt függőleges síkokban ható nyomaté-



3. ábra



4. ábra

kokkal helyettesítjük. A redukció során az alváz síkjára áthelyezett vízszintes erők hatását elhanyagoljuk.

A tényleges támaszerő eloszlás egy ideálisan szimmetrikus és egy ún. antimetrikus támaszerő rendszer szuperpozíciójaként állítható elő. A vizsgálatok megkönnyítése érdekében — négyzet alakú feltámaszkodás esetén — célszerű a 4. ábra szerint felvenni a koordinátarendszert és bevezetni az alábbi fogalmakat és helyettesítő jelöléseket:

— μ : nyomatéki terhelési viszonyszám:

$$\mu = \frac{2M}{Fd};$$

— α : antimetrikus terhelési viszonyszám:

$$\alpha = \frac{4F_0}{F}$$

ahol F_0 az antimetrikus támaszerő komponens.

A többi helyettesítés:

$$M_0 = \frac{Fd}{8}; \quad \varrho = \frac{R}{d};$$

Az egyes támaszerő komponensek tehát:

$$F_1 = \frac{F}{4} + \frac{M_y}{2d} + F_0; \quad F_2 = \frac{F}{4} + \frac{M_x}{2d} - F_0;$$

$$F_3 = \frac{F}{4} - \frac{M_y}{2d} + F_0; \quad F_4 = \frac{F}{4} - \frac{M_x}{2d} - F_0;$$

A képletekben látható F_0 komponensek erőrendszere önmagában is egyensúlyban van. Fellépése két okból is bekövetkezhet: egyrészt a darupálya és az alváz feltámaszkodási pontjainak a síktól való eltérése miatt, ekkor:

$$F_0 = \frac{h}{c}; \quad \alpha = \frac{4h}{Fc};$$

ahol: h a síktól való eltérés mértéke,

c a darupálya és az alváz együttes rugalmassági tényezője;

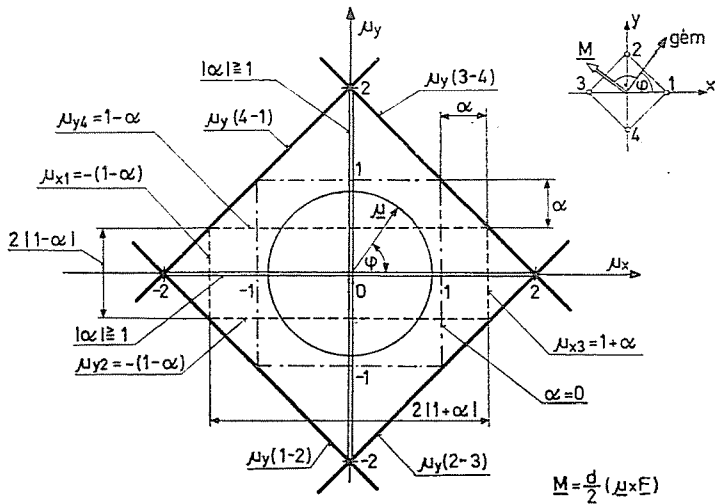
másrészt azért, mert akár a túl nagy geometriai hibák, akár a nyomatéki terhelés nagysága miatt a szimmetrikus támaszerőrendszer valamely támaszon már negatív támaszerőt eredményezne, azaz hárompontos feltámaszkodás áll fenn.

Tekintve, hogy a támaszerő nullánál kisebb nem lehet, a szimmetrikus erőrendszerhez olyan antiszimmetrikus erőrendszert kell hozzáadnunk, amely az adott támaszon éppen zérus értékű támaszerőt eredményez.

Ekkor:

$$F_0 = \frac{F}{4} - \frac{M}{2d} = \frac{F}{4} (1 - \mu); \quad \alpha = 1 - \mu;$$

Az 5. ábra a különböző feltámaszkodási esetek fellépésének feltételeit szemlélteti. Az ábrán látható külső határnégyszög az állékonyság, a szaggatott vonallal jelölt belső téglalap a hárompontos feltámaszkodás fellépésének feltételét jelenti az „ α ” tényező függvényében. A „ φ ” irányszög szerint állandó nyomatéki terhelési viszonzyszám (μ) esetén az ábrába egy kör rajzolható, amelynek a belső határnégyszög belsejébe eső szögtartományain négypontos, kívüleső részén hárompontos feltámaszkodás lép fel. Ha az „ α ” tényező egyenlő nagyobb-

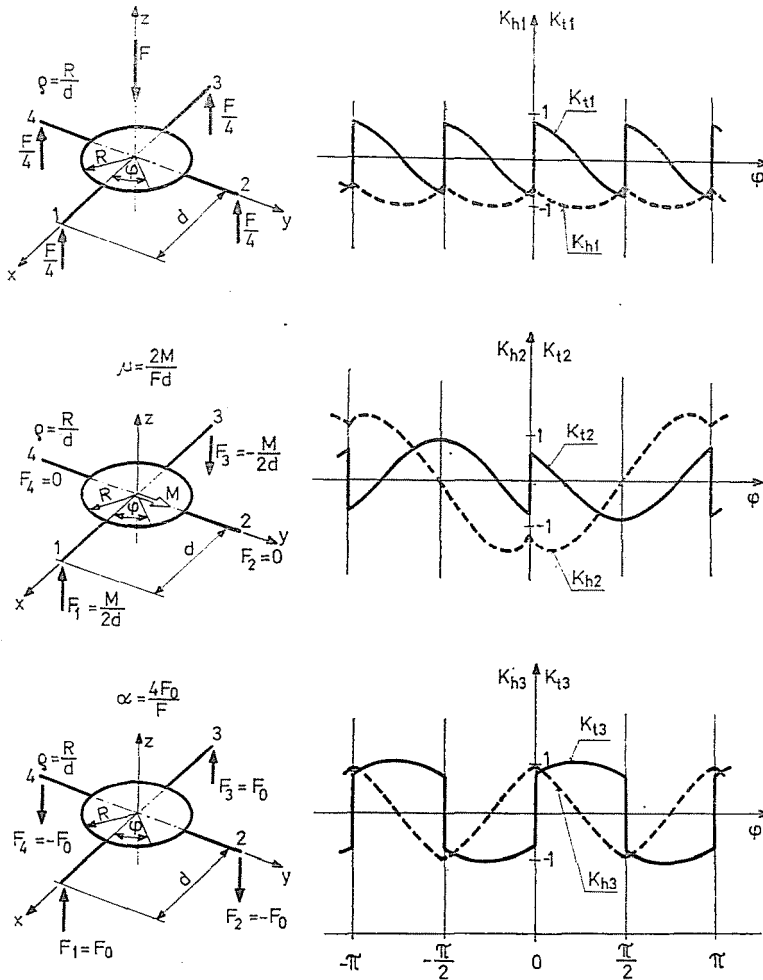


5. ábra

ra adódik, a belső határnégyszög vonalszakasszá fajul, s ha „ μ ” iránya ezzel egybeesik, labilis, ún. kétpontos feltámaszkodás jöhet létre.

Az alváz igénybevételeinek eloszlásfüggvényeit az elemi szilárdságtan módszereivel (pl. Castigliano tétele, alakváltozási munka minimumának elve, stb.) vezethetjük le. Az alvázat olyan tartóval helyettesíthetjük, amelyet a tényleges szerkezet tengelyvonalai határoznak meg.

Három alapesetre, azaz az F erő, valamely koordinátatengely függőleges síkjában ható M nyomaték, valamint egy F_0 antimetrikus erőrendszer által létrehozott hajlító- és csavarónyomatékok eloszlásfüggvényeit mutatja be a 6. ábra. Az egyes igénybevételek függvényei a $0 \rightarrow \frac{\pi}{2}$ tartományon a



6. ábra

következők:

$$M_{h1} = M_0 \left(-\sin \varphi - \cos \varphi + \frac{4\varrho}{\pi} \right)$$

$$M_{t1} = M_0 \left[-\sin \varphi + \cos \varphi + \varrho \left(\frac{4\varphi}{\pi} - 1 \right) \right]$$

$$M_{h2} = M_0 \mu \left[\left(\frac{2\varphi}{\pi} - 1 \right) \sin \varphi - A_h \cos \varphi \right]$$

$$M_{t2} = M_0 \mu \left[-A_t \sin \varphi - \left(\frac{2\varphi}{\pi} - 1 \right) \cos \varphi - \varrho \right]$$

$$M_{h3} = M_0 \alpha (-\sin \varphi + \cos \varphi)$$

$$M_{t3} = M_0 \alpha (\sin \varphi + \cos \varphi - \varrho)$$

ahol:

$$A_h = 2(1 - \varrho) \frac{1 - K_1}{1 + K_1} - \frac{2\varrho - 1}{\pi}; \quad A_t = 2(1 - \varrho) \frac{1 - K_1}{1 + K_1} - \frac{2\varrho + 1}{\pi};$$

$$K_1 = \frac{I_t G}{I_s E};$$

Itt I_s és I_t a gyűrű keresztmetszetének hajlítási és csavarási másodrendű nyomatéka.

Az igénybevételi függvények tehát

$$M_1 = M_0 K_1(\varphi)$$

$$M_2 = M_0 \mu K_2(\varphi)$$

$$M_3 = M_0 \alpha K_3(\varphi)$$

alakúak, ahol a $K_i(\varphi)$ kifejezések ún. normalizált igénybevételi függvényeknek tekinthetők. Ezekből lineáris kombinációval rekonstruálhatók bármely tényleges eset igénybevételi függvényei. A teljes $(0 \rightarrow 2\pi)$ szögtartományra érvényes összefüggések a $0 \rightarrow \pi/2$ tartományra levezetett képletek megfelelő transzformációjával állíthatók elő.

Az alváz és a darupálya rugalmassága

Az alváz „ c_a ” rugalmassági tényezője az egységnyi antimetrikus támaszerő rendszer által okozott alakváltozással definiálható, pontosabban: azzal az elmozdulással, amelyet az egyik póklábra ható függőleges erő a saját hatásvonalában hoz létre, miközben a másik három támasz helyben marad.

A keresett rugalmassági jellemző és a geometriai méretek közötti összefüggés a következő:

$$c_a = \frac{d_3}{2IE} \left[\left(\frac{\pi}{K_1} - \frac{8}{3K_2} \right) \varrho^3 + 8 \left(\frac{1}{K_2} - \frac{1}{K_1} \right) \varrho^2 + \left(\frac{K_1(\pi - 2) + \pi + 2}{2} - \frac{8}{K_2} \right) \varrho + \frac{8}{3K_2} \right]$$

A képlet levezetése az igénybevételi függvények meghatározásánál már említett módszerek és elvek szerint történt. A fenti képletben

$$K_2 = \frac{I_l}{I_s}$$

azaz a póklábak átlagos hajlítási és az alvázgyűrű hajlítási másodrendű nyomatékának hányadosa.

A darupályák rugalmasságát közvetett úton, a daru által okozott támaszerő és pályalehajlás egyidejű mérésének eredményeiből számíthatjuk. Ezek az értékek azonban erősen függhetnek a pálya korától, állapotától, de például a pályán belül felvett vizsgálati helytől is. Folyamatos mérésének lehetősége erősen korlátozott, ezért statisztikailag értékelhető eredmények az irodalomban egyáltalán nem állnak rendelkezésre. A BME Építő- és Anyagmozgató Gépek Tanszéke által, egy adott pályán végzett statikus mérések eredményei szerint a rugalmasság $c_p = 0,08 - 0,12$ mm/kN értékűre adódott.

Az alváz és a darupálya geometriai hibái

Mind a pálya, mind pedig az alváz geometriai hibáját azzal az eltéréssel definiáljuk, amely terheletlen állapotban a feltámaszkodási négyszög három pontja által meghatározott síkhoz viszonyítva a negyedik pont függőlegesében mérhető. Azonos típusú, előregyártott elemekből építhető darupálya szerkezeten végzett színtezési mérések eredményeit statisztikailag értékelve elmondható, hogy a pályahibák normális eloszlás szerint alakulnak, tapasztalati szóráruk értéke kb. ± 12 mm, a maximális hibák ± 40 mm értékűek. Ezeknél a pályáknál egyébként a hossz- és keresztirányú maximális lejtésre az ÉGV háziszabványa 3⁰/₁₀₀ értéket enged meg.

Az alváznak a támaszerők alakulása szempontjából lényeges geometriai hibái az alvázgyűrű és a pókláb gyártási méretpontatlanságaiból adódnak össze. Ezek közül legjelentősebb a pókláb bekötő tengely furatának merőlegesége. Az alváz maximális hibáját az alábbi képlettel számíthatjuk:

$$h_{\text{amax}} = 4 \left[\sum_{i=1}^4 \delta_i + \frac{1}{h} (\delta_5 + \delta_6) \right] \cong 40 \div 60 \text{ mm}$$

ahol — $\delta_i (1 \leq i \leq 4)$:

- a kerék tengelyeknek és a trucksap bekötő furatainak függőleges távolság-tűrési;
- δ_5 és δ_6 : a pókláb bekötő tengely merőlegességi tűrése a pókláb bázissíkjához viszonyítva;
- h : a pókláb bekötés bázismagassága.

Az alváz méreteinek optimalizálási lehetőségei

Numerikus vizsgálattal kimutatható, hogy a saját tömegnek a külső geometria szempontjából nincs optimuma, viszont arra is fény derül, hogy a gyűrű átmérőjének növelésével — azonos feszültségmaximum mellett — kisebb saját tömeg érhető el. A megválasztható legnagyobb átmérőt a megfelelő terhelhetőségű forgótámszerkezetek méretválasztéka, beszerzési lehetőségei és költségei korlátozzák.

A belső geometriai méreteket ezek után általános elvek alapján választjuk meg. A feszültségi, horpadási és a keresztmetszet fő méretarányaira előzetesen felvett korlátozások alapján a saját tömegre nézve optimális magassági, szélességi és lemezvastagsági értékek számíthatók ki.

Keisz István egy. adjunktus