

Híddaruk darupályatartóinak terhei az Eurocode 1 szerint

– dr. Hegedűs László, Horváth László, Varga Géza és dr. Verőci Béla –

A darupályatartó több szempontból speciális szerkezet. A rajta mozgó híddaru elemei több irányban mozognak, és ezáltal függőleges és kétirányú vízszintes (hossz- és keresztirányú) hatásokat adnak át a darupályatartóra. Jellegzetességei miatt az EC-n belül külön rész foglalkozik a darupályatartót terhelő daruteherrel (EC1 Part 5 – ENV 1991-5), illetve az acél darupályatartók méretezésével (EC3 Part 6 – ENV 1993-6). A következő összeállításban a fentiek alapján megkíséreljük a házi feladatban szereplő esetre összefoglalni a híddarukra vonatkozó terheket.

1. Teherfélések

- Daru önsúlya: Nem a teljes önsúly tartozik ide, lásd a következő pontot, valamint az 5.1. szakaszt
- Emelt súly: Ide tartozik a daru hasznos terhén kívül a darukötelek önsúlyának egy része, továbbá a „lifting attachment” (pl. horog) önsúlya is (lásd az 5.1. szakaszt).
- Daruhíd gyorsulásából-lassulásából származó erők (a továbbiakban: fékezőerő); nemcsak hosszirányú erőkben áll, ld. 5.2.;
- Darukocsi/macska gyorsulásából-lassulásából származó erők, amelyek a darupályatartóra merőleges mozgásból adódnak (a továbbiakban: oldalerő, 5.3. pont);
- Befeszülési erő (vagy ferdén futási erő) – 5.4. szakasz;
- Szélerő, ha szabadban álló darupályatartóról lenne szó, de a mi esetünkben zárt épületről van szó, tehát nincs szélteher;
- Tesztteher: lehetőség van a használhatósági határállapotot kísérlettel igazolni; ekkor ezt az erőt kell a használhatósági határállapot ellenőrzésekor figyelembe venni – 5.5. szakasz;
- Végütközési erő: ha a darusín végén van végütköző, akkor az erről átadódó erő, ha nekimegy a daru;
- Elakadási erő: az az erő, amely akkor lép fel, ha a daru, a kötelek, a horog vagy az emelt teher valamiben elakad.

Ez utóbbi kettő a rendkívüli terhek közé tartozik, ezekkel most nem foglalkozunk. A tesztteher értelemszerűen a használhatósági határállapot ellenőrzésekor kerül szóba.

2. A daruteher kombinálása más terhekkel teherbírási határállapotban

A fent felsorolt sokféle teherre külön-külön el kell végezni az igénybevétel-számítást. Utána képezni kell a 3. pont szerinti tehercsoportokat. Egy adott vizsgálat (pl. egy keresztmetszet ellenőrzése) esetén ki kell választani az adott szempontból legkedvezőtlenebb tehercsoportot, és az adott vizsgálat szempontjából a továbbiakban ez lesz a „daruteher”.

Ha ez megvan, a teherkombináció-képzés általános szabályai szerint kell eljárni. A daruteher szorzótényezői:

- biztonsági tényező:
 ha kedvezőtlen: 1,35 (!);
 ha kedvező: ott van - 1,0
 nincs ott - 0
- ψ tényezők:
 $\psi_0 = 1,00$
 $\psi_1 = 0,90$
 $\psi_2 =$ a daruteher állandó része és a teljes daruteher hányadosa

Ha egy (a fenti értelmezés szerinti) daruteher egyik alkotóeleme (pl. az önsúly) kedvező, a másik pedig (pl. egy vízszintes erő) kedvezőtlen, akkor az előbbit meg kell szorozni a ψ_{vec} tényezővel (ennek az értéke 0,8). A csarnok tervezése során ettől tekintünk el.

3. Tehercsoportok (egy hatásként kezelendő terhek, azaz a továbbiakban ezek közül egy lesz az általános teherkombinációkban **a daruteher**).

A tehercsoportokat az 1. táblázat határozza meg, a teherbírési határállapothoz 7, a használhatósági határállapothoz 1, a rendkívüli helyzetekhez 2 csoport tartozik (ez utóbbiakkal nem foglalkozunk). A táblázat *hivatkozás* oszlopa egyébiránt az EC1 megfelelő szakaszára utal.

1. táblázat – Tehercsoportok és dinamikus tényezők. A „daruteher” alkotó összetevők

Teher	ENV 1991-5		Határállapot/tervezési állapot és tehercsoport*									
	Jelölés	Hivatkozás	T							H	R	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Daru önsúlya	Q_C	2.7.	ϕ_1	ϕ_1	1	ϕ_4	ϕ_4	ϕ_1	1	ϕ_1	1	1
Emelt teher	Q_H	2.7.	ϕ_2	ϕ_3		ϕ_4	ϕ_4	ϕ_4	η		1	1
Daruhíd gyorsulása vagy fékezése	H_L, H_T	2.8.	ϕ_5	ϕ_5	ϕ_5	ϕ_5				ϕ_5		
Daruhíd ferdén futása	H_S	2.8.					1					
Darukocsi gyorsulása vagy fékezése	$H_{T,3}$	2.8.						1				
Szélerő	F_w^*	A mell.	1	1	1	1	1			1		
Tesztteher	Q_T	2.11.								ϕ_6		
Végütközési erő	H_B	2.12.									ϕ_7	
Elakadási erő	H_{TA}	2.12.										1

*T – teherbírési határállapot; H – használhatósági határállapot;
 R – rendkívüli tervezési állapot

2. táblázat – Dinamikus tényezők

Dinamikus tényező	A dinamikus tényező által leírt hatás	Mit kell szorozni a dinamikus tényezővel
ϕ_1	A daruszerkezet gerjesztett rezgése a tehernek a földről való felemelésekor	Daru önsúlya
ϕ_2	Az emelt tehernek a földről a daruszerkezetre való átadódása következtében fellépő dinamikus hatás	Emelt teher
ϕ_3	Az emelt teher hirtelen elengedéséből/elejtéséből származó dinamikus hatás (például mágneses emelésű daruknál)	Emelt teher
ϕ_4	A darupályatartón történő haladás közben fellépő dinamikus hatások	A daru önsúlya és az emelt teher
ϕ_5	A daru (daruhíd és darukocsi) irányváltatásaiból származó dinamikus hatások	Oldalerő és fékezőerő
ϕ_6	A tesztteher felemelése és mozgatása közben fellépő dinamikus hatások	Tesztteher
ϕ_7	Rugalmas hatások végütközéskor	Végütközési erő
Megjegyzés: Van még egy ϕ_8 dinamikus tényező is, amely a szél dinamikus hatásai miatt szükséges.		

4. Dinamikus tényezők

Az 1. táblázat megadja azt is, hogy melyik teherre mikor milyen dinamikus tényezőt kell alkalmazni. Az egyes dinamikus tényezők fizikai tartalmát a 2. táblázat magyarázza meg, a továbbiakban csak e tényezők számszerű értékét tekintjük át.

$$\phi_1 = 1,1$$

$$\phi_2 = \phi_{2,\min} + \beta_2 v_h$$

ahol v_h a daru rendes emelési sebessége; (m/sec-ben), a másik két mennyiséget vegyük fel az EC1/5 2.5. táblázatából (HC2 feltételezésével):

$$\beta_2 = 0,34 \text{ és } \phi_{2,\min} = 1,10$$

A daru emelési sebességét más adat hiányában vegyük fel 4–10 m/perc körüli értékre.

ϕ_3 -ra a szabvány a következő képletet adja:

$$\phi_3 = 1 - \frac{\Delta_m}{m} \cdot (1 + \beta_3); \beta_3 = 0,5$$

ahol $\frac{\Delta_m}{m}$ az elengedett teherrész és az összes emelt teher hányadosa. Itt arról van szó, hogy a daru hirtelen elengedi/elejti a terhet. Ekkor az eddig lefele

mutató hatás hirtelen lecsökken, szélső esetben ellenkező előjelűvé is válhat („felhúzott íj analógiája”), ezért lehet akár negatív is a dinamikus tényező. Mivel a táblázatban nem várható adat az „el nem ejtett” teherrészre (kötél, horog stb), éljünk becsléssel (az arány lehet kb. $\frac{\Delta_m}{m} \approx 0,9$).

$$\varphi_4 = 1,0.$$

$$\varphi_5 = 1,5.$$

$$\varphi_6 = 1,0 \text{ statikus vizsgálatnál; } \varphi_6 = \frac{1 + \varphi_2}{2} \text{ dinamikus vizsgálatnál.}$$

5. Az egyes terhek nagysága

A továbbiakban az egyes terhek nagyságát dinamikus tényező nélkül fogom megadni. Felhasználáskor értelemszerűen be kell szorozni őket a 3. pont szerinti dinamikus tényezőkkel.

5.1. Daru önsúlya (G) és emelt súly (Q)

E terhek nagyságát a gyártó adatai alapján kell felvenni. A daru önsúlya és az emelt súly igazából csak mint keréknyomások érdekesek. Kissé szerencsétlen módon a szabvány a keréknyomást Q_r -rel jelöli (ebben már benne van mind a daru önsúlya, mind pedig az emelt teher).

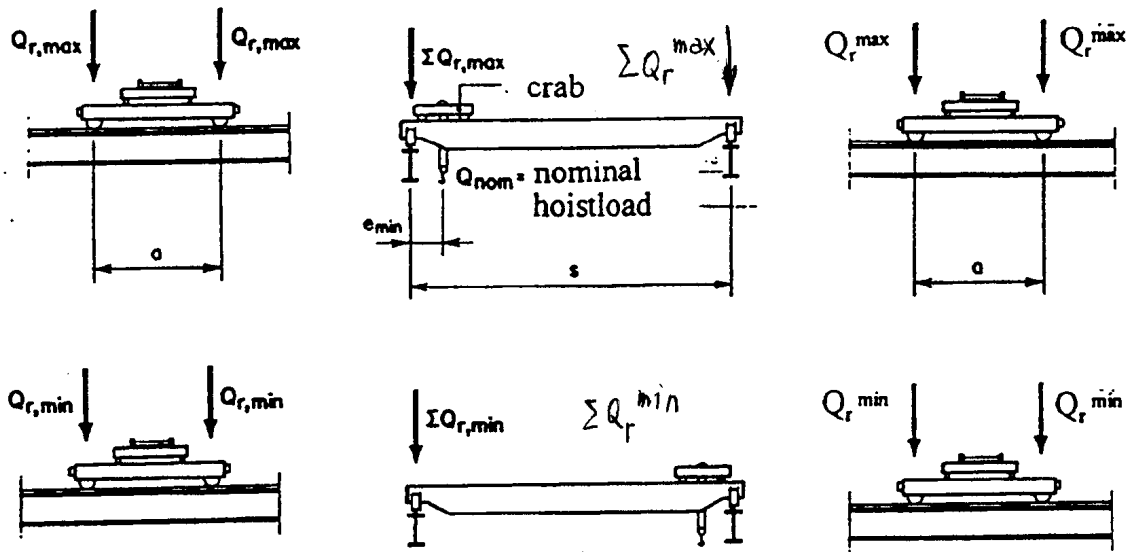
A következő jelöléseket fogjuk használni (ld. még az *1. ábrát*):

$Q_{r,max}$	egy kerékről átadódó legnagyobb erő (megjegyzendő, hogy a szabvány általában úgy tekinti, hogy a keréknyomás csak az emelt teher nagyságától és a horog vízszintes értelemben vett helyzetétől függ, amiből következik, hogy az egyazon darupályatartóról feletti két kerékről ugyanakkora erő adódik át) – az emelt teher a legnagyobb névleges értékével szerepel, és a vizsgált darupályatartóhoz a lehető legközelebb helyezkedik el,
Q_r^{max}	az előző teherrel egyidejűen egy kerékről a másik darupályatartóra átadódó erő
$\Sigma Q_{r,max}$	az egy darupályatartóra eső $Q_{r,max}$ erők összege
ΣQ_r^{max}	az egy darupályatartóra eső Q_r^{max} erők összege

A következő adatok nincsenek megadva a táblázatban, arányosítással számíthatók:

$Q_{r,min}$	egy kerékről átadódó legkisebb erő – üres a daru, és a darukocsi a vizsgált darupályatartótól a lehető legtávolabb helyezkedik el.
Q_r^{min}	az előző teherrel egyidejűen egy kerékről a másik darupályatartóra átadódó erő
$\Sigma Q_{r,min}$	az egy darupályatartóra eső $Q_{r,min}$ erők összege
ΣQ_r^{min}	az egy darupályatartóra eső Q_r^{min} erők összege

Megemlítendő, hogy a függőleges terhek felrakásánál a későbbiekben külpontos elhelyezéssel kell majd számolni.



1. ábra – A függőleges terhek jelölése

Esetünkben az a helyzet, hogy a táblázat utolsó két oszlopa (*Raddruck*) azokat a keréknyomásokat adja, amelyek az önsúly és az emelt teher együtteséből adódnak; a 9. oszlop az általunk $Q_{r,max}$ -nak, míg a 10. oszlop a Q_r^{max} -nak jelölt keréknyomás.

Hiányzik a daru önsúlya, valamint a $Q_{r,min}$ és Q_r^{min} adatok.

Feltételezhetjük, hogy az első és a hátsó darutengelyeken ugyanakkora erők adódnak át, ezért ha a $\Sigma\Sigma Q = 2 \times (Q_{r,max} + Q_r^{max})$ értékből levonjuk az emelt terhet, megkapjuk a daru önsúlyát. A daruönsúly és a $\Sigma\Sigma Q$ hányadosával beszorozva $Q_{r,max}$ és Q_r^{max} értékét, jó becslést kapunk rendre Q_r^{min} és $Q_{r,min}$ értékére (ne feledjük, hogy $Q_{r,max} > Q_r^{max}$ és $Q_r^{min} > Q_{r,min}$).

5.2. Fékezőerő

A daru gyorsulásából és lassulásából elvileg nemcsak a darupálya irányába eső (hosszirányú), hanem arra merőleges (oldalirányú) erők is keletkeznek, mivel a legkedvezőtlenebb esetben a darukocsi általában nem középen van (lásd az 1. ábrát).

A fékezőerőt az is befolyásolja, hogy mely kerekek vannak meghajtva (és a feltevések szerint ugyanezek a kerekek a fékezett kerekek is). A korszerű darukban a kerekek egyedi meghajtást kapnak.

A fékezőerő kiszámításához először meg kell határozni a K meghajtóerőt. Az egyedi (kerekenkénti) meghajtás feltételezésével:

$$K = \mu m_w Q_{r,min}$$

ahol $\mu = 0,2$ (súrlódási tényező), m_w pedig az meghajtott kerekek száma összesen (esetünkben 2).

Ezek után a *hosszirányú* „fékezőerő”:

$$H_L = K / n_r \quad (\text{mindkét darupályatartóra ugyanakkora})$$

ahol n_r a darupályatartók száma. (esetünkben 2)

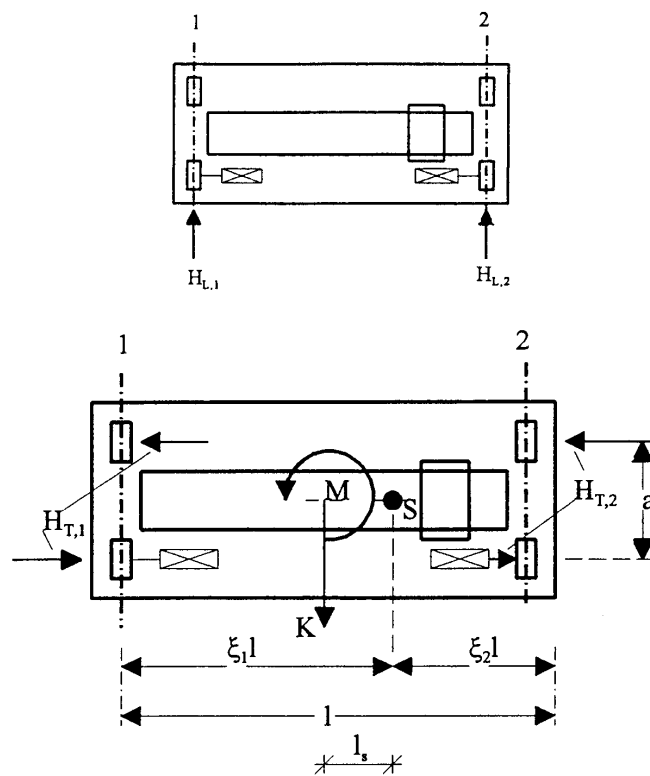
A *keresztirányú* fékezőerők (2. ábra):

$$H_{T,1} = \xi_1 K l (\xi_1 - 0,5) / a \quad \text{és} \quad H_{T,2} = \xi_2 K l (\xi_1 - 0,5) / a$$

(nem tévedés a második képletben szereplő ξ_1 !!)

ahol 1 és 2 a két darupályatartót jelöli, a a darukerekek távolsága, l a daru támaszköze, továbbá

$$\xi_1 = \Sigma Q_{r,\max} / (\Sigma Q_{r,\max} + \Sigma Q_r^{\max}) \quad \text{és} \quad \xi_2 = 1 - \xi_1$$



2. ábra – A daruhíd fékezéséből és gyorsulásából származó erők

5.3. Oldalerő

Ez az erő a darukocsi fékezéséből, illetve gyorsulásából származik, és elvileg ugyanúgy kell meghatározni, mint a fékezőerőt. Mivel a daru felülnézetben a hossz tengelyére (a darupályatartóra merőleges tengelyre) szimmetrikus, ebben az esetben csak oldalirányú erők keletkeznek:

$$H_{T,O} = \mu \eta_{wc} G_c / n_r \quad (\text{mindkét darupályatartóra ugyanakkora})$$

ahol $\mu = 0,2$ (súrlódási tényező), G_c a darukocsi súlya, n_r a darupályatartók száma (esetünkben 2), η_{wc} pedig a darukocsi meghajtott kerekei és összes kereke számának hányadosa.

Ha a szükséges adatok nem állnak rendelkezésre, éljünk valami feltételezéssel.
Javaslat:

daru teherbírása (t)	5	6,3	10	16
macska önsúlya (t)	0,9	1,0	1,4	2,0

5.4. Ferdén futásból származó erő (befeszülési erő)

A befeszülési erő számítása során feltételezzük, hogy a daru valahol egy megvezető eszköz segítségével a darusínhez oldalirányban hozzá van fogva. A darura szerelt megvezető eszköztől van szó, amely oldalirányban a sínen tartja a hosszirányban mozgó daruszerkezetet. Ez lehet a legelső kerék – ha mindkét oldalán karimával van ellátva – vagy külön e célra felszerelt csapok. Általában feltételezhető, hogy az elől futó kerekek karimásak, és egyéb csap nincs.

A befeszülésből keletkező erőkomponenseket a 3. ábra szemlélteti; ezek szerint tengelyenként négy erőt kell meghatározni, a megvezető eszközre pedig az összes keresztirányú vízszintes erő eredője hat.

A befeszülési erő nagysága többek között a következő tényezőktől függ:

- A daruhíd kerekeinek egymáshoz képesti mozgási lehetőségeitől. Ezek szerint a következő négy rendszer van: cFF, cFM, iFF, iFM, ahol

c = a kerekek össze vannak kötve

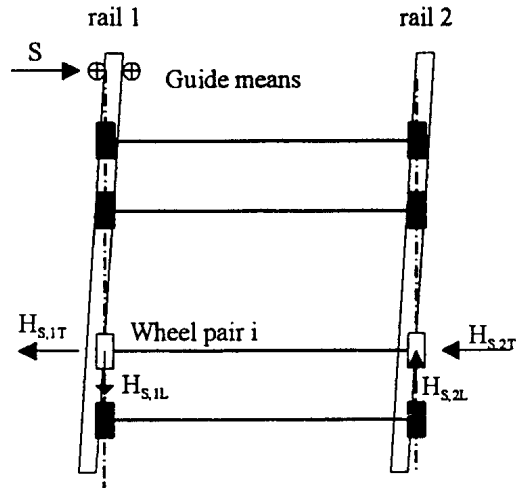
i = a kerekek nincsenek összekötve

FF = a kerekek mereven kapcsolódnak a tengelyhez

FM = csak az egyik kerék kapcsolódik mereven a tengelyhez, a másik szabadon mozog.

A mai daruk 99%-a (a német szakirodalom szerint) iFF rendszerű, itt is ezt javasoljuk feltételezni.

- az emelt tehernek a pillanatnyi tömegközépponthez viszonyított aktuális helyzetétől, a megvezető eszköz kialakításától és helyétől, valamint a daru geometriai kialakításától.



3. ábra – A ferdén futásból származó erők

A fent említett irodalom szerint a daruk nagy többségének nincs külön kiképzett megvezető eszköze, hanem ezt a funkciót a darukerekek mindkét oldalán (kívül és belül is) lelógó nyomkarimák biztosítják. Vegyük fel mi is így. A továbbiakban darupályatartónként 2–2 kereket feltételezve, a hátsó kerekeket egyenkénti meghajtással ellátva (iFF) és az első kerekeket nyomkarimásnak tekintve, az első és hátsó kerekek közötti távolságot a -val jelölve végeztük el a behelyettesítéseket, ami eléggé egyszerű végeredményekre vezetett.

Az egyes erőkomponensek (4. ábra) a

$$H = f \lambda \Sigma Q_{r,\max}, \text{ illetve a megvezetőre ható erőnél } S = f \lambda \Sigma Q_{r,\max}$$

típusú képletekből számíthatók, ahol λ attól függ (ld. lejjebb), melyik erőkomponensről van szó, továbbá

$$f = 0,3 (1 - \exp(-250\alpha)), \text{ de legfeljebb } 0,3$$

Ebben a képletben α a daru hossz tengelyének ferdesége a sínhez képest, amelynek legnagyobb megengedett értéke 0,015 radián; vegyük fel ezt mint legkedvezőtlenebb értéket; ekkor $f = 0,293$ adódik.

A λ tényezők szabvány szerinti képleteiből a javasolt darura vonatkozóan a következő értékek adódnak:

- először a h mennyiséget, azaz a pillanatnyi tömegközéppont távolságát a megvezetőtől (ami itt az első kerékpár) kell meghatározni a 24. oldal táblázatából ($e_1 = 0, e_2 = a, m = 0$)

$$h = \frac{\sum e_i^2}{e_i} = \frac{a^2}{a} = a$$

- m azoknak a tengelyeknek a száma, amelyeken a kerekek össze vannak kötve, azaz nálunk $m = 0$.

- ξ_1 és ξ_2 ugyanazt jelentik, mint a fékezőerőnél (5.2. szakasz)
- l a daru támaszköze
- e_i a kérdéses tengely távolsága a megvezető eszköztől
- n az összes tengely száma (esetünkben 2)

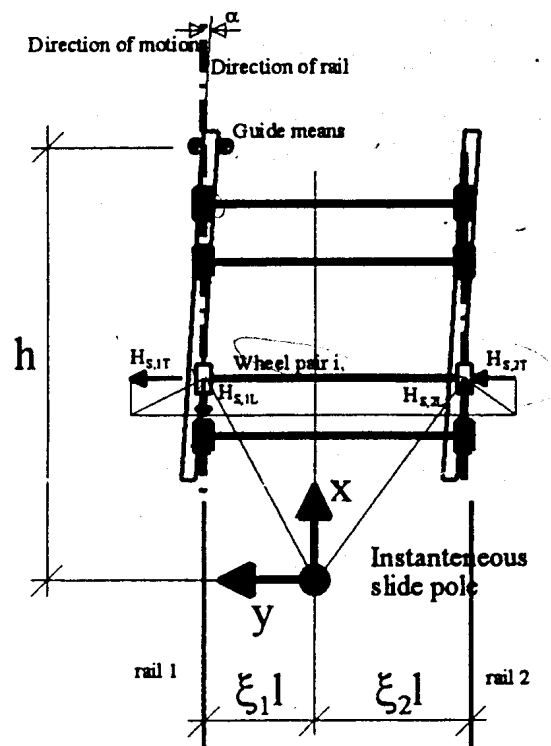
– a megvezetőre (bal első nyomkarima) ható S erő:

$$S = \lambda_S \cdot f \cdot \sum Q_{r,\max} = f \cdot \left(1 - \frac{\sum e_i}{n \cdot h}\right) \cdot \sum Q_{r,\max} = f \cdot \left(1 - \frac{a}{2 \cdot a}\right) \cdot \sum Q_{r,\max}$$

– az első kerekre ható oldalirányú erők hasonlóképpen levezetve:

$$H_{S,1T} = \frac{\xi_1}{n} \cdot f \cdot \sum Q_{r,\max} \qquad H_{S,2T} = \frac{\xi_2}{n} \cdot f \cdot \sum Q_{r,\max}$$

míg a többi kereszt- és hosszirányú erőre zérus adódik. A bal első nyomkarimánál ennek eredményeképpen az S és $H_{S,1T}$ erők differenciája hat.



4. ábra – A ferdén futásból származó erők és a kapcsolódó jelölések

5.5. Tesztteher

Tesztteherként figyelembe kell venni egy dinamikus terhet, amely a névleges emelt teher 1,1-szerese (szorozva még egy dinamikus tényezővel), továbbá egy statikus teszterőt, amely a névleges emelt teher 1,25-szöröse (de nincs dinamikus tényező).