

VI. Anyagmozgatási Konferencia

Miskolc-Egyetemváros, 1987. július 1–3.

VI. Konferenz über Fördertechnik

ELŐADÁSOK

VORTRAGE

I.



GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET

SZÁMITÓGÉPI PROGRAMCSOMAG MINIMÁLIS KÖLTSÉGŰ
ASZIMMETRIKUS SZEKRÉNSZELVÉNYŰ FUTÓDARUHIK TERVEZÉSÉRE

DR. JÁRMAI Károly
tanszéki mérnök
NEHÉZIPARI MŰSZAKI EGYETEM
Miskolc, Magyarország

Bevezetés

Napjainkban egyre inkább előtérbe kerül olyan szerkezetek méretezése és tervezése, melyek amellett hogy kielégítik a különböző méretezési feltételeket, melyek többnyire a terhelésből adódnak, minimális költségűek vagy tömegűek. Anyagmozgató gépek fémszerkezeténél ez különösen fontos szempont, mert az optimális méretezéssel kialakított szerkezetnél nemcsak a legyártásához szükséges költség, hanem a működés közbeni mozgatásához szükséges energia is csökkenthető [1, 2].

A kidolgozott számítógépi programcsomag elvégzi két főtartós futódaru hidfőtartójának és a hozzá kapcsolódó kerékszelvénynek az optimális méretezését az MSZ illetve a DIN szabványok szerint.

Az optimális méretezés menete az MSZ 9749 és 15024 szerint [3]

A számításnál célfüggvénynek az aszimmetrikus, gerincmerevítővel ellátott szekrénytartó /1. ábra/ anyagköltségét, a hozzá tartozó diafragmák, sín, kezelőjárda költségét, hegesztési költségét és festési költségét vettük fel.

A célfüggvény ez alapján

$$F = k_a G_d + k_h G_h + k_f A_d$$

ahol k_a , k_h , k_f a fajlagos anyag, hegesztési és festési költségek, G_d , G_h , A_d a daru hid tömege, a varratok tömege és a daru hid felülete.

$$G_d = \rho (A \cdot L + h_s \cdot 0,05 \cdot L + t_{w2} \cdot h \cdot b \cdot n_d + p_j \cdot L + A_b \cdot L) \quad /kg/$$

ahol $A = h(t_{w1} + t_{w2}) + 2 b_1 t_f$

h_s = a sinmagasság

n_d = a diafragmák száma

p_j = a kezelőjárda folyómétertömege

A_b = a gerincmerevítő borda keresztmetszete,

a fajlagos költségtényezők alapértékei

k_a = 17 Ft/kg anyagköltségtényező

k_h = 54 Ft/kg hegesztési költségtényező

k_f = 108 Ft/m² festési költségtényező

ezen tényezők a költségelemzésnél széles tartományban változnak, hogy kimutathatóvá válják hatásuk a szerkezet végső méreteire.

A létrejövő feszültségek meghatározása /1. ábra/

Hajlításból

$$\begin{aligned} \sigma_b &= \frac{M_x}{I_x} \frac{h}{2} ; & \sigma_{b1} &= \frac{M_y}{I_y} x_s \\ \sigma_{b2} &= \frac{M_y}{I_y} /b-x_s/; & \sigma_{b3} &= \frac{M_y}{I_y} /b-x_s+d/ \end{aligned}$$

ahol M_x, M_y a kéttengelyű hajlítás nyomatékai
 I_x, I_y a két tengelyre számított inercianyomaték

Nyirásból

$$\tau_Q = \frac{F_r S_x}{I_x /t_{w1} + t_{w2}} \quad \text{a macska középső állásánál}$$

ahol

$$S_x = b_1 t_f \frac{h}{2} \quad \text{statikai nyomaték}$$

$$F_r \quad \text{keréknyomás}$$

Csavarásból a Bredt képlettel [4]

$$\tau_t = \frac{M_t}{2 A_k t_{w2}}$$

ahol $A_k = h.b$ csavarási üreg

$M_t = /b-x_c/ F_r$
nyirási középpont

$$x_c = \frac{1}{I_x} \left[\sum_i r_{pi} A_i /S_x/ - \frac{2 A_k}{\sum_i \frac{b_i}{t_i}} \sum_i \frac{A_i /S_x/}{t_i} \right]$$

$A_i /S_x/$ a statikai nyomatéki ábra alatti terület t_i az aktuális falvastagság.

Méretezési feltételek

A méretezési feltételek száma 17.

Az ismeretlen szelvényméretek száma 5, a gerincmagasság /h/, gerincvastagságok / t_{w1}, t_{w2} /, övszélesség /b/ és az övvastagság / t_f /

Az MSZ feszülteztényező,

Méretkorlátozási feltételek az 5 változóra. A tervező megadhatja az alsó és felső határokat $/x_i^L, x_i^U/$; kivéve a lemeztvastagságokat, ahol az alsó határ 5 mm.

$$x_i^L \leq x_i \leq x_i^U \quad i = 1, \dots, 5$$

Feszültségkorlátozási feltételek

statikus feszültségellenőrzés főterhelésre

$$\frac{M_x}{I_x} / \frac{h}{2} + \frac{t_f}{2} + \frac{M_y}{I_y} / b - x_S + d / \leq \sigma_m \quad \left\{ \begin{array}{l} 160 \text{ MPa /37-es acél/} \\ 240 \text{ MPa /52-es acél/} \end{array} \right.$$

összterhelésnél

$$\frac{M_x}{I_x} / \frac{h}{2} + \frac{t_f}{2} + \frac{M_z}{I_y} / b - s_S + d / \leq \sigma_m \quad \left\{ \begin{array}{l} 180 \text{ MPa /37-es acél/} \\ 270 \text{ MPa /52-es acél/} \end{array} \right.$$

ahol d az övlemez tulnyulása a gerincen,

$$M_z = M_y + \frac{\rho_{sz} L^2}{8} + (m_S + f_S + 1,2 \cdot t_S) q \cdot L / 4$$

$$\rho_{sz} = 1,6 \cdot q \cdot h$$

$$q = 250 \text{ N/m}^2 \text{ torlónyomás}$$

m_S, f_S, t_S macska, fülke, teher szélfelülete $/\text{m}^2/$
 σ_m a megengedett feszültség.

Lemezhorpadási feltételek

Övlemezhorpadás vizsgálat az MSZ 15024 alapján

$$\text{átlagos nyomófeszültség} \quad \sigma_A = \sigma_b + \frac{\sigma_{b2} - \sigma_{b1}}{2}$$

$$\text{tisztá hajlítási feszültség} \quad \sigma_B = \frac{\sigma_{b1} + \sigma_{b2}}{2}$$

a lemezszáron keletkező maximális nyomófeszültség

$$\sigma_1 = \sigma_b + \sigma_{b2}$$

$$\sigma_1 = 1,1 \gamma_b \sigma_m$$

Az MSZ 15024-el szemben nem határfeszültséggel, hanem megengedett feszültséggel számolunk, mert az F_r teherben nincs biztonsági tényező,

ahol $\varphi_b = 1$, ha $\bar{\lambda}_0 \leq 0,85$
 $\varphi_b = 1 - 0,74 / \bar{\lambda}_0 - 0,85 /$, ha $0,85 < \bar{\lambda}_0 \leq 1,12$
 $\varphi_b = \frac{1}{\bar{\lambda}_0^2}$, ha $\bar{\lambda}_0 > 1,12$
 $\bar{\lambda}_0 = \frac{\lambda_0}{\lambda_E}$

$\lambda_E = \pi \sqrt{\frac{E}{R_y}}$; R_y folyáshatár, E rugalmassági modulus

37-es acélnál $R_y = 240$ MPa; $\lambda_E = 93,01$

52-es acélnál $R_y = 330$ MPa; $\lambda_E = 75,68$

$$\lambda_0 = \frac{3,3}{\sqrt{k_{red}}} \frac{b^*}{t_f}$$

redukált horpadási tényező

$$k_{red} = \frac{\sigma_1}{\frac{\sigma_A}{2 k_A} + \sqrt{\frac{\sigma_A}{2 k_A} / 2 + \frac{\sigma_B}{k_B} / 2 + \frac{\tau_Q + \tau_t}{k_\tau} / 2}}$$

az egyes igénybevételekhez tartozó horpadási tényezők k_A, k_B, k_τ

az $\alpha_1 = \frac{a_d}{b^*}$ arány ismeretében meghatározhatók, ahol a_d diafragma

távolság, b^* lemezmagasság.

Tulnyomóan nyomásra igénybevett övlemeznel a horpadási feltétel egyszerűsödik, mert a többi igénybevételt nem vesszük figyelembe.

$$\sigma_A \leq \varphi_b \sigma_m$$

ahol $\varphi'_b = 1$, ha $\bar{\lambda}_0 \leq 0,75$

$\varphi'_b = 1 - 0,54 / \bar{\lambda}_0 - 0,75 /$, ha $0,75 < \bar{\lambda}_0 \leq 1,12$

$\varphi'_b = \frac{1}{\bar{\lambda}_0^2}$, ha $\bar{\lambda}_0 > 1,12$.

További horpadási feltételek a sin alatti gerinc és a segédgerinc horpadása gerincmerevítővel, illetve anélkül. Itt először az MSZ 15024 és a TGL 13503/2 összefüggéseit használtuk, de a nagy tulmérétezés miatt áttértünk a DIN szabványokra, ezért a gerinchorpadás összefüggéseit ott ismertetjük.

Fáradásvizsgálat az MSZ 15024 szerint

tomp

és

ahol

a fá

ahol

γ_1 ,

γ_2

γ_3

Lehaj

A mére
korlát
1 leha
ha zár
részbő
/vagy
lés és
zését.
tartón

tompavarratnál

$$\sqrt{\frac{\sigma_{lf}^2}{\sigma_{fH}^2} + \frac{\tau_{lf}^2}{\tau_{fH}^2}} \leq 1$$

és $\sigma_{lf} \leq \sigma_{fH}$ $\sigma_L = \sigma_Y$

ahol
$$\sigma_Y = \frac{F_{fu}}{t_{w1} [50 \text{ mm} + 2/h_S + t_f]}$$

a fárasztó teher üzemi értéke

$$F_{fu} = \mathcal{L} \beta F_f$$

ahol

\mathcal{L}	N_M teherismétlődési szám
0,625	$> 2 \cdot 10^6$
0,5	$6 \cdot 10^5 < \leq 2 \cdot 10^6$
0,375	$10^5 < \leq 6 \cdot 10^5$
0,25	$10^4 < \leq 10^5$

$$\beta = \sqrt[4]{0,11 \gamma_1 + 0,04 \gamma_2 + 0,01 \gamma_3}$$

- γ_1 , a fárasztó teher hány százaléka esik a maximális érték közé
- γ_2 a 80-100 %-a közé
- γ_3 a 60- 80 %-a közé
- γ_3 a 40- 60 %-a közé

Lehajláskorlátozási feltétel

$$w_{max} \leq w_m = c_m \cdot L$$

$$c_m \sim \frac{1}{600} \div \frac{1}{1000}$$

$$w_{max} = F_r \frac{L-k}{48 EI_x} [3 L^2 - (L-k)^2]$$

A méretezési feltételek tehát: 5 méretkorlátozási, 2 feszültségkorlátozási, 3 övlemezhorpadási, 4 gerinchorpadási, 2 fáradási és 1 lehajláskorlátozási feltétel. A feltételek száma csökken 4-gyel, ha zárttéri a daru, mert nincs szélterhelés. A programcsomag 7 részből áll. Az optimáló résszel lehet a főtartó ellenőrzését és/vagy optimálását elvégezni. Külön program végzi az ismert terhelés és főtartó méretek esetén a kerékszekrény méreteinek ellenőrzését. Két másik program az eredmények dokumentálását végzi a főtartónál és a kerékszekrényénél. 3 adatfile jön létre a számítás

során a bemenő adatokra, a főtartó méreteire és a feltételekre valamint a kerékszekrény méreteire vonatkozóan. A programok BASIC nyelven, Commodore 64 típusú számítógépen készültek és lefordításuk BASIC 64 compilerrel történt.

Az optimális méretezés menete a DIN 15018, DASt 012 és a DIN 4114 szerint

A célfüggvény teljesen megegyezik a korábbival.

Méretezési feltételek

A méretezési feltételek száma 20.

Az ismeretlen szelvényméretek száma 5, a korábbiakkal megegyeznek. A méretkorlátozási feltételek megegyeznek az előző részben ismertetettel.

Feszültségkorlátozási feltételek

Statikus feszültségellenőrzés főterhelésre, illetve összterhelésre. A megengedett feszültség értékei mind 37-es mind 52-es acél esetén megegyeznek az MSZ szabványnál alkalmazottal.

Lemezhorpadási feltételek

A megkívánt biztonsági tényezők lemez részmezőkre

$$\gamma = \frac{\sigma_{vk}}{\sigma_v} \geq \gamma_B$$

ahol főerőkre $\gamma_B = 1,5 + 0,075 / \psi - 1 /$

összerőre $\gamma_B = 1,35 + 0,05 / \psi - 1 /$

keréknyomás nélküli esetben /segédgerinc/

$$\sigma_{vki} = \frac{\sqrt{\sigma_1^2 + 3 \tau^2}}{\frac{1+\gamma}{4} \cdot \frac{\sigma_1}{\sigma_{1ki}} + \sqrt{\frac{3+\gamma}{4} \cdot \frac{\sigma_1}{\sigma_{1ki}} + \frac{\tau}{\tau_{ki}}}}$$

ahol γ a feszültségváltozásra utal a szelvényben

keréknyomás esetén ha $\frac{\tau}{\sigma_{x1}} \frac{k\sigma_x}{k\tau} \leq 1$, akkor

$$\sigma_{vki} = \frac{\sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1 \sigma_Y + \sigma_Y^2 + 3 \tau^2}}{4 - \frac{\tau}{\sigma_{x1}} \frac{k\sigma_1}{k\tau} \cdot \frac{\sigma_Y}{\sigma_{Yki}} + \sqrt{\frac{\tau_k \sigma_1}{\sigma_{x1} k\tau} \cdot \frac{\sigma_{Y1}}{\sigma_{Y1ki}} + \frac{\sigma_x}{\sigma_{xki}}}}$$

a k_{G1} , k_{τ} horpadási tényezők a gerinclemez magassági és szélességi méretarányából adódnak.

A két gerinc és az övlemez horpadásvizsgálatát irtuk le főterhelésnél és összterhelésnél.

Varratfeszültségi feltétel főterhelésre és összterhelésre lett felírva sarokvarratot és K-varratot figyelembe véve húzás-nyomás és nyírás esetén főterhelésnél és összterhelésnél.

Fáradási feltételt a varratoknál húzás és nyomás esetén vettünk figyelembe, 37-es és 52-es anyagminőség esetén.

A méretezési feltételek tehát: 5 méretkorlátozási, 6 feszültségkorlátozási /alapanyag és varratfeszültség/, 2 övlemezhorpadási, 4 gerinchorpadási, 2 fáradási és 1 lehajláskorlátozási feltétel. A programcsomag felépítése az előző részben ismertetettel egyezik.

Futási eredmények

A futtatásokat 5-63 tonnáig terjedő névleges terhelés esetén 10.5-34 méterig terjedő fesztáv mellett végeztük a DIN és az MSZ alapján, 37-es és 52-es acélok esetén.

Példa: 63 tonna névleges terhelésű, 34 m-es fesztávú daru, csoporttényezője 3, macskatömeg 10 tonna, macska keréktáv 2,5 m, szabadtéri daru, macska és fülke szízfelülete 1 illetve 2 m². A főtartó diafragmatávolsága 2,8 m, a gerincmerevítés 120x80x8-as szögacél, a varratok K-varratok, a terhelés ismétlődési száma 100000 és 600000 között, a lehajlás a fesztáv 600-ad része lehet, a feltételek az MSZ-nek megfelelőek. Eredmények, ha az anyagköltség 17 Ft/kg, a hegesztési költség 54 Ft/kg, a festési felületelőkészítési költség 108 Ft/m²:

gerincmagasság	:	1950 mm
gerincvastagság	:	12 mm
segédgerincvastagság	:	8 mm
övszélesség	:	880 mm
övvastagság	:	18 mm

Következtetések: a keresztmetszetterületet a terhelés és a fesztáv függvényében 37-es 52-es acél esetén az MSZ és DIN szabványok esetén a 2. és 3. ábra mutatja.

A költségtényezők változtatása hatására a keresztmetszetterület 0-23 % között tér el. A nagyszámu feltétel miatt úgy tűnik kevés a hatása a költségtényezőknek, mivel a fáradási, gerinchorpadási és lehajlási feltételek közel aktívak.

Példánknál, ha megnöveljük a hegesztési költség értékét 108 Ft/kg-ra, a többi költségtényező változatlanul hagyása mellett, akkor a méretek a következők:

$$h = 2090 \text{ mm}, t_{w1} = 10 \text{ mm}, t_{w2} = 6 \text{ mm}, b = 770 \text{ mm}, t_f = 20 \text{ mm}$$

ezáltal a keresztmetszetterület 10 %-kal kisebb az előzőnél.

Az 52-es és 37-es acélok esetén adott szabványnál a keresztmetszetterület 0-33 % között tér el az 52-es acél javára. Adott terhelés és fesztáv esetén az MSZ és DIN szabvány alkalmazásakor a keresztmetszetterület eltérése 0-32 % között változik mindkét

acélminőségre, az MSZ javára. Kis fesztáv és teherbirás esetén kicsi az eltérés. Látható, hogy általában a szabványelőírásnak van nagy hatása a tartó méreteire. Sokszor aktív a méretkorlátozási feltétel alsó határa is.

Fontos megjegyezni, hogy nagyon jelentős a daru csoportbesorolása hatása, a magyar szabványnál is a fáradási feltétel a 3-as és 4-es csoportnál 25 %-kal szigorubb és általában ez az aktív feltétel /1. táblázat/.

Összefoglalás

A Hillclimb algoritmussal hatékony optimálás végezhető el VC 64-es számítógépen aszimmetrikus szekrényszelvényű futódaruhidak méretezésére az MSZ és DIN szabványok figyelembevételével. Bemutattuk a fesztáv, a teherbirás, a költségtényezők, az anyagminőség, a szabványelőírások valamint a csoportbesorolás hatását a szerkezet méreteire. A számítás során a kerekítést a program végzi el [5], így a kapott szerkezet legyártható és biztosított az optimum. Mivel a programcsomag mind a főtartó, mind a hozzá tartozó kerékszékény számítását és dokumentálását elvégzi, ezért gyors előtervezést és ajánlattételt tesz lehetővé, illetve nagy számú variáció vizsgálatát.

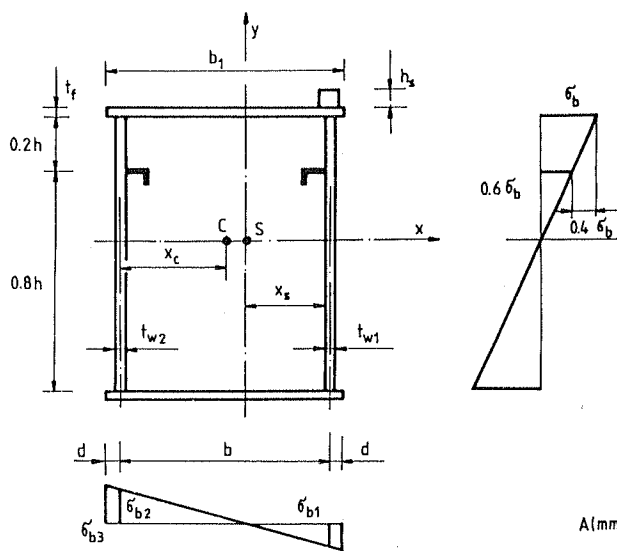
IRODALOM

1. Jármái K.: Egyfőtartós furódaru optimális méretezése személyi számítógéppel. GÉP, Vol. XXXVIII. 1986. No. 6. 234-237 old.
2. Bykovszkii S., Jármái K.: Cost optimization of welded steel beams. Publ. of the Techn. Univ. series C. Vol. 41. Fasc. 3-4. pp. 241-254.
3. MSZ 15024/1- 86. Építmények teherhordó szerkezeteinek erő-tani tervezése. Acélszerkezetek.
4. Farkas J.: Optimum design of metal structures. Akadémiai Kiadó, Budapest, Ellis Horwood Limited, Publisher, Chichester 1984.
5. Jármái K.: Optimal design of welded frames by complex programming method, Publ. of the Techn. Univ. 1982. Vol. 37. series C. pp. 79-97.

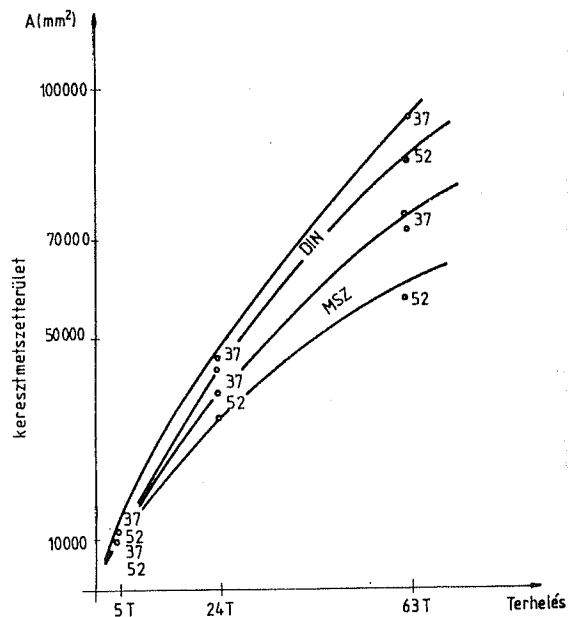
1. táblázat

Szabvány	Acél minőség	Csoport besorolás	h	t _{w1}	t _{w2}	b	t _f (mm)	A (mm ²)	Megtakarítás $\frac{A_0 - A_1}{A_0}$ %	A feltételek teljesülése		
										sin alatti gerinchorpadás		varrat-fáradás
										főterhelés	összterhelés	
MSZ	37	2	1290	5	5	620	14	30260	0	1,611 > 1,485	1,44 > 1,34	77,2 < 78 MPa
		3	1290	5	5	640	20	38500	27,2	1,561 > 1,485	1,43 > 1,34	76,01 < 78
	52	2	1310	6	5	610	14	31490	0 / 4,1	2,136 > 1,485	1,92 > 1,34	77,59 < 78
		3	1290	5	5	640	20	38500	22,3 / 0,0	2,14 > 1,485	1,96 > 1,34	76,01 < 78

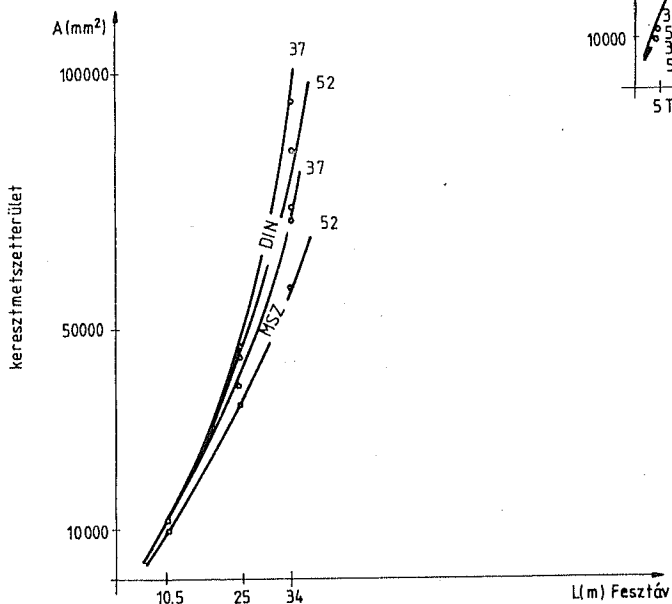
DIN	37	2	1440	8	6	550	20	42160	0	1,49 > 1,485	1,4 > 1,34	0,42 < 1,1
		4	1590	8	6	820	20	55060	30,6	1,85 > 1,485	1,43 > 1,34	1,09 < 1,1
			6	1670	12	8	890	20	69000	63,7	1,99 > 1,485	1,91 > 1,34
	52	5	1370	10	5	780	20	51750	22,7 / 0	1,97 > 1,485	1,44 > 1,34	1,09 < 1,1
		5	1460	8	5	550	18	38780	8,7 / 33,4	1,56 > 1,485	1,484 > 1,34	0,89 < 1,1



1. ábra



2. ábra



3. ábra

B
A
r
Eg
a
la
te
os
re
az
Mi
mu
ny
A

to
re
jól
A
kör
rar

A
t

A
r
goz
Any
rek
jav
goz
vány
alaf
egy
-mű
nőse

A
fo
tő
ké
emel