

Bevezetés

A Budapesti Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Kar Gépelemek Tanszékén igen régi hagyományai vannak a fogaskerekes hajtások oktatásának és tervezésének.

A fogaskerék-hajtás tervezése (előtervezés, geometriai számítás, szilárdsági ellenőrzés) alapos szakmai tudást igényel. Ennek elsajátítása csak tervezési feladatok önálló kidolgozása útján lehetséges.

A gyakorlott tervezők számára készített professzionális fogaskerék-tervező programok az ipari felhasználás során rendkívüli módon megkönnyítik a munkát, azonban az oktatást nem tudják maradéktalanul szolgálni. Ennek oka, hogy a számítási összefüggések, amelyek a tervezés műszaki-gazdaságossági törvényeit fejezik ki, a felhasználó számára rejtve maradnak.

A professzionális tervező programokból „tálcán kapott” eredmények alapján nagyon nehéz érzékelni az egyes paraméterek eredményekre gyakorolt hatását, megérteni a számítások tartalmi lényegét.

Jelen ismertető tárgyat képező számítógépes program kifejlesztésének célja éppen az volt, hogy a fogaskerék-hajtás tervezésénél jelentkező időrabló kézi számítás alól mentesítsük a hallgatókat, viszont ne dugjuk el a számítási összefüggéseket, a kapott eredmények mellett egyből lehessen látni, hogy azokat hogyan, miből kaptuk meg. Megtartottuk ezenfelül a kézi számításoknál elengedhetetlen táblázatból való adatkikeresés, diagramokból való adatleolvasás műveleteit éppen az oktatási célok elérése miatt.

A számítógépes program alapja, a Budapesti Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Kar Gépelemek Tanszékén elkészített oktatási segédanyag, amely a hengeres fogaskerék számításokat táblázatosan tartalmazza. Az ilyen típusú, algoritmizálható számítások végzését kiválóan támogatják a táblázatkezelő programok, amelyek az áttekinthetőségen túl még az eredmények dokumentálását is megkönnyítik.

A számítógépes program eredeti változatában a Microsoft EXCEL 4.0 verziójával készült (-a mellékelt floppylemezen EXHEFO.XLW megtalálható ez a változat is -), majd ezt konvertáltuk az 5.0 EXCEL verzióra. A mellékelt lemezen ez a változat EXHEFO5.XLW néven szerepel. Mindkét változat magyar nyelvű EXCEL-el futtatható. Angol nyelvű EXCEL esetén a program csak a makróprogramok átírása után használható. Az átírásnál a cellasorok hivatkozásánál használt S (sor) betű helyett R (row) betűt, a cellaoszlopoknál pedig az O (oszlop) betű helyett C (column) betűt kell beírni.

A programok telepítése egyszerű, az EXHEFO5.XLW munkafüzetet floppylemezről be kell másolni a számítógép merev lemezére egy tetszőleges könyvtárba. EXCEL v. 4.0 esetén az EXHEFO.XLW fájlt kell a merevlemezre másolni.

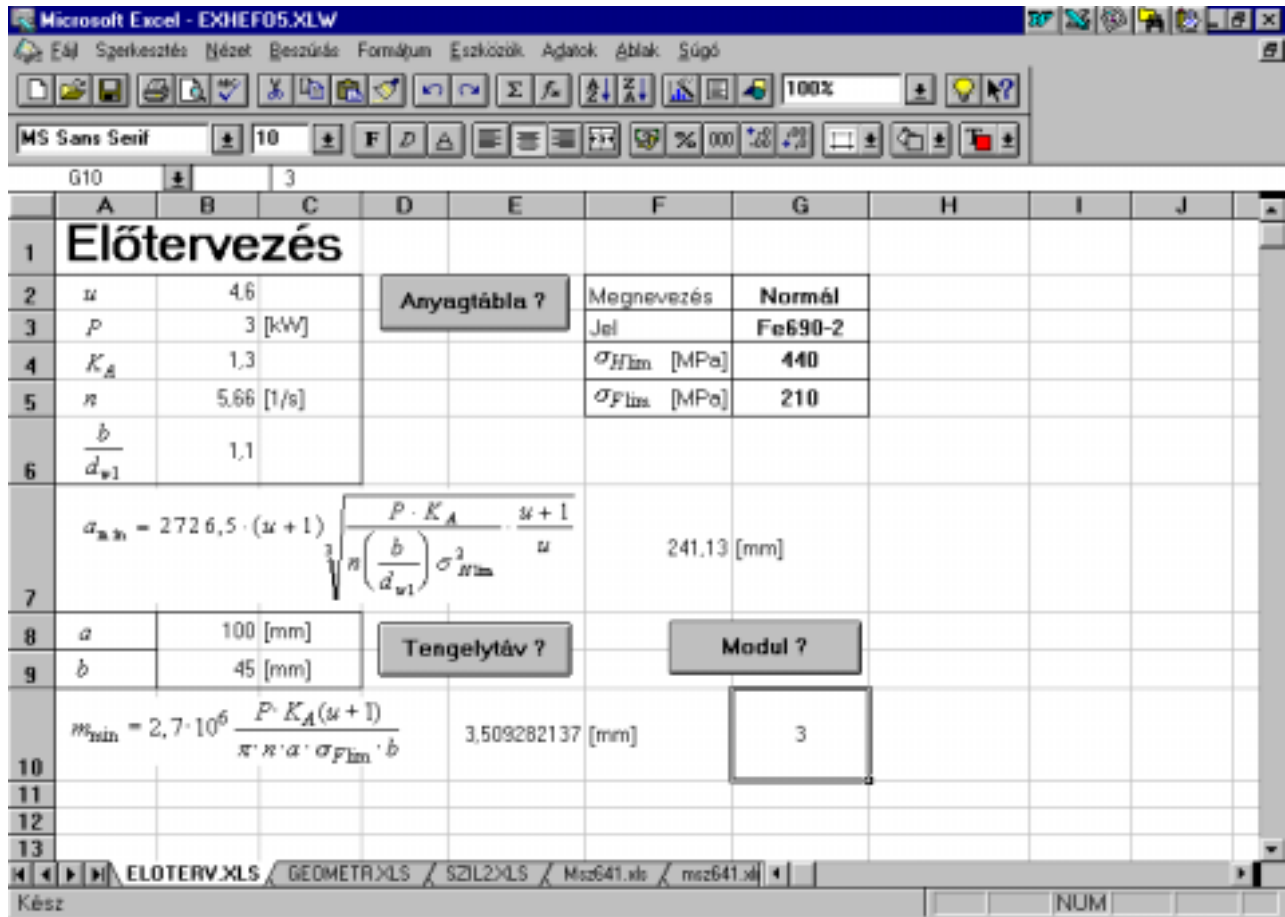
A program valójában egy EXCEL munkafüzet, amelynek lapjai az előtervezést, geometriai számításokat, szilárdsági ellenőrzést szolgáló lapokból állnak, illetve a számításokhoz szükséges anyagjellemzőket, szabványos adatokat (modulsor, szabványos tengelytávok, tűrések) tartalmazzák. A munkafüzetbe tartoznak még makróprogramok is, amelyek a táblázatok kikeresett adatainak gépi átmásolását és a táblázati lapot aktivizáló munkafüzet laphoz való visszatérést szolgálják.

A munka megkezdésekor el kell indítani az EXCEL programot, majd meg kell nyitni az EXHEFO5.XLW munkafüzetet. Az egyes tervezési lépések ezután az egyes munkafüzetlapok aktivizálásával kezdhetők el.

A munkafüzetben mindig a legutoljára kidolgozott feladat adatai szerepelnek, ezért az egyes felhasználók saját könyvtárba, vagy floppylemezre mentsek el a munkájukat.

Hengeres fogaskerek előtervezése

Az előtervezés az ELOTERV.XLS munkalap aktivizálásával kezdhető. Ekkor az 1. ábra szerinti képernyőt látjuk. A kiindulási adatok a fogsávviszony (u), a teljesítmény (P), dinamikus tényező (K_A), kis fogaskerék fordulatszáma (n) és a kiskerék szélesség-átmérő viszonyyszáma, amelyet be kell gépelni rendre a B2-B6 mezőkbe.



1. ábra
Előtervezés képernyője

A dinamikus tényező kiválasztása függ a hajtó- és hajtott géptől, a hajtásláncot terhelő dinamikus erőhatásoktól. Az 1.sz. melléklet (továbbiakban: M) 9. oldal 1. ábra nomogramja a leggyakrabban előforduló esetekre segítséget ad a K_A dinamikus tényező felvételéhez. Megjegyezzük, hogy a további munkafüzetek ábraszám hivatkozásai is a M-re vonatkoznak.

A fogaskerek anyagának kiválasztását megkönnyíti a munkafüzetbe felvett anyagválaszték, amelynek aktivizálására szolgál az **Anyagtábla ?** feliratú gomb, amelyre az egérrel ráklikkelve a 2. ábra szerinti táblázatot látjuk. A táblázat B oszlopának egy celláját kell kiválasztani, majd a **Vissza** gombra az egérrel ráklikkelni. A munkalap illetékes makroprogramja ennek hatására a G2-G5 celláiba másolja a kiválasztott anyag jelét, felszíni szilárdsági és fogtörési kifáradási adatait.

A szükséges minimális tengelytáv (a_{min}) számítására szolgáló tapasztalati képlet a felszíni szilárdságra, míg a minimális modulra (m_{min}) vonatkozó a fogtörési kifáradásra alapul. További elméleti ismeretek a fogaskerekkel kapcsolatos segédletekben szerepelnek.

Microsoft Excel - EXHEF05.XLW

Fájl Szerkesztés Nézet Beállítások Formátum Eszközök Adatok Állatok Súgó

2. ábra
Fogaskerék anyagok táblázata

A tengelytávot tetszés szerinti a_{min} -nál nagyobb értékre választhatjuk. Ipari áthajtóművek szabványos tengelytávjaiból is választhatunk a munkafüzet segítségével, ha a **Tengelytáv ?** feliratú gombra klikkelünk az egérrel. Ekkor a 3. ábra szerinti képernyőt látjuk és a kiválasztott számértékre kell a kurzorral ráállni, majd az egérrel a **Vissza** gombra klikkelni. A tengelytáv az előtervezés munkalap B8 mezőjébe másolódik át automatikusan.

A modul választás csak a szabványos modulsorból célszerű. Az 1. ábra szerinti munkalap **Modul ?** feliratú gombjára klikkelve az 4. ábra szerinti munkalap jelenik meg

Mind a tengelytávoknál, mind a modulnál az 1. sorozatot előnyben kell részesíteni a kiválasztásnál. A táblázatok a képernyőnél nagyobbak, a jobb oldalon lévő tolóka segítségével a Windows-nál szokásos módon görgethetők. A **Vissza** gombot lenyomva az egérrel a kiválasztott modul az 1. ábra szerinti munkalap G10 mezőjébe másolódik automatikusan. Ezután a munkalapot kinyomtathatjuk, az előtervezés végét ért.

Microsoft Excel - EXHEFD5.XLW

És! Szerkesztés Nézet Beszúrás Formátum Eszközök Adatok Ablak Súgó

MS Sans Serif 10

A9 100

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K |
|----|-------------------|-----------|---------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Tengelytáv | | Vissza | | | | | | | | |
| 2 | 1.sorozat | 2.sorozat | | | | | | | | | |
| 3 | 40 | | | | | | | | | | |
| 4 | 50 | | | | | | | | | | |
| 5 | 63 | | | | | | | | | | |
| 6 | | 71 | | | | | | | | | |
| 7 | 80 | | | | | | | | | | |
| 8 | | 90 | | | | | | | | | |
| 9 | 100 | | | | | | | | | | |
| 10 | | 112 | | | | | | | | | |
| 11 | 125 | | | | | | | | | | |
| 12 | | 140 | | | | | | | | | |
| 13 | 160 | | | | | | | | | | |
| 14 | | 180 | | | | | | | | | |
| 15 | 200 | | | | | | | | | | |
| 16 | | 224 | | | | | | | | | |
| 17 | 250 | | | | | | | | | | |
| 18 | | 280 | | | | | | | | | |
| 19 | 315 | | | | | | | | | | |
| 20 | | 355 | | | | | | | | | |
| 21 | 400 | | | | | | | | | | |
| 22 | | 450 | | | | | | | | | |

Kész NUM

3. ábra
Szabványos tengelytávok

Microsoft Excel - EXHEFD5.XLW

És! Szerkesztés Nézet Beszúrás Formátum Eszközök Adatok Ablak Súgó

MS Sans Serif 10

A21 0.4

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K |
|----|---------------------|-----------|---------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Modulsorozat | | Vissza | | | | | | | | |
| 2 | 1.sorozat | 2.sorozat | | | | | | | | | |
| 3 | 0.05 | | | | | | | | | | |
| 4 | | 0.055 | | | | | | | | | |
| 5 | 0.06 | | | | | | | | | | |
| 6 | | 0.07 | | | | | | | | | |
| 7 | 0.08 | | | | | | | | | | |
| 8 | | 0.09 | | | | | | | | | |
| 9 | 0.1 | | | | | | | | | | |
| 10 | | 0.11 | | | | | | | | | |
| 11 | 0.12 | | | | | | | | | | |
| 12 | | 0.14 | | | | | | | | | |
| 13 | 0.15 | | | | | | | | | | |
| 14 | | 0.18 | | | | | | | | | |
| 15 | 0.2 | | | | | | | | | | |
| 16 | | 0.22 | | | | | | | | | |
| 17 | 0.25 | | | | | | | | | | |
| 18 | | 0.28 | | | | | | | | | |
| 19 | 0.3 | | | | | | | | | | |
| 20 | | 0.35 | | | | | | | | | |
| 21 | 0.4 | | Vissza | | | | | | | | |
| 22 | | 0.45 | | | | | | | | | |

SZ12.XLS / Msz641.xls / msz641.xls / MODUL.XLS / FANYAG.XLS /

Kész

NUM

4 ábra
Szabványos modulsorozat

Hengeres fogaskerékpár geometriai méretezése

A fogaskerékpár geometriai méretezése $\alpha=20^\circ$ -os alapprofiliszögű, szabványos és szabványtól eltérő fejmagasságtényezőjű és lábhézag tényezőjű szerszámmal készített kerekre végezhető el. A fogazat elemi-, kompenzált- és általános fogazat lehet.

A számításnál használt adatok határértékei:

| | |
|--------------------|----------------------------------|
| Tengelytáv | $a = 10 \div 3500 \text{ mm}$ |
| Kiskerék fogszáma | $z_1 = 7 \div 200$ |
| Nagykerék fogszáma | $z_2 = 7 \div 300$ |
| Normálmodul | $m = 1 \div 20 \text{ mm}$ |
| Foghajlásszög | $\beta = 0 \div 50 \text{ fok}$ |
| Fogszélesség | $b = 0 \div 1000 \text{ mm}$ |
| Tengelytáv tényező | $y = 0 \div 2$ |
| Pontossági fokozat | IT5 \div IT8 (MSZ KGST 641-77) |
| Illesztési fok | A \div H (MSZ KGST 641-77) |

A geometriai számítás indításához az **EXHEFO5.XLW** munkafüzet **GEOMETR.XLS** lapját kell megnyitni. Ekkor az 5. ábrán látható táblázat jelenik meg, amelynek 3. sorában lévő adatokat be kell gépelni.

A táblázat görgethető. A táblázat automatikusan felveszi a kiindulási adatokból adódó számértékeket. Kivételt képez a 7.-sorban lévő profileltolási tényezők összegét felosztó 17. sorban lévő x_1 kiskerék profileltolási tényező. Ha a Ctrl X -et beütjük (Ctrl gomb lenyomott helyzetében X gombot leütjük), akkor a program kiegyenlített relatív csúszás feltétele alapján számítja az x_1 kiskerék profileltolási tényezőt. Természetesen lehet más elv alapján is a felosztást elvégezni, ekkor a 17. sorba az x_1 kiskerék profileltolási tényezőt be kell gépelni. Az x_2 nagykerék profileltolási tényező az x_1 kiskerék profileltolási tényezőből adódik.

A fogaskerék szélességet is be kell gépelni a 27. sorba, hogy az axiális fedést is számíthassa a program.

A geometriai számítás táblázata ezután kinyomtatható, vagy képernyőn tanulmányozható.

Microsoft Excel - EXHEF05.XLW

Fájl Szerkesztés Nézet Beállítások Formátum Eszközök Adatok Állatok Súgó

MS Sans Serif 10

J23 =de+2*m*(xe+haes-g)

| A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K |
|----|--|---------------------|--|---------|--------------|---------------|-------------|--------------|----------|---|
| 1 | Általános fogazatú, ferdefogú hengeres fogaskerek geometriai számítása | | | | | | | | | |
| 2 | Az előtér alapján rögzített értékek | | | | | | | | | |
| 3 | $z_1 = 21$ | $z_2 = 106$ | $\alpha_w = 140$ | $m = 2$ | $\beta = 23$ | $\alpha = 20$ | $h_a^* = 1$ | $c^* = 0.25$ | | |
| 4 | Sorszám | Pontosság (tizedes) | Összefüggések, jelölések | | | | Számértékek | | | |
| 5 | 1. | 5 | $m_t = \frac{m}{\cos \beta}$ | | | | 2,17272 | | | |
| 6 | 2. | 5 | $a = \frac{z_1 + z_2}{2} m_t$ | | | | 137,96777 | | | |
| 7 | 3. | 6 | $\alpha_t = \arctan \frac{\tan \alpha}{\cos \beta}$ | | | | 21,574 | | 0,376537 | |
| 8 | 4. | 6 | $\alpha_{wt} = \arccos \frac{a \cdot \cos \alpha_t}{a_w}$ | | | | 23,588 | | 0,411693 | |
| 9 | 5. | 6 | $\text{inv } \alpha_t = \tan \alpha_t - \alpha_t$ | | | | 0,018866 | | | |
| 10 | 6. | 6 | $\text{inv } \alpha_{wt} = \tan \alpha_{wt} - \alpha_{wt}$ | | | | 0,024953 | | | |
| 11 | 7. | 6 | $\Sigma x = \frac{z_1 + z_2}{2} \frac{\text{inv } \alpha_{wt} - \text{inv } \alpha_t}{\lg \alpha}$ | | | | 1,061925 | | | |

Kész

5. ábra

Geometriai számítás táblázata

Hengeres fogaskerékpár szilárdsági ellenőrzése

A számítás a DIN 3990 szabványra épül, és annak irodalmi ajánlása alapján határozza meg az egyes tényezők értékeit.

A munka meggyorsítása érdekében az M-ben összegyűjtöttük a szükséges diagramokat és táblázatokat. Ugyancsak itt található a jelölések jegyzéke is.

Az M 6. oldalán tartalmaz még egy kúpkerek kiválasztási táblázatot is, amely nem tartozik jelen programhoz. Hasznos lehet viszont a 4. oldalon lévő diagram, amely többlépcsős áthajtómű összeállításának felosztását segíti.

A szilárdsági ellenőrzés indításához az EXHEFO5.XLW munkafüzet SZIL2.XLS munkalapját kell megnyitni. Ekkor a 6. ábra szerinti képernyőt látjuk.

| Microsoft Excel - EXHEFO5.XLW | | | | | | | | | |
|--|--|--|------------|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------|--|----|--|
| Fájl Szerkesztés Nézet Beállítások Formátum Eszközök Adatok Állítások Súgó | | | | | | | | | |
| Arial CE 10 | | | | | | | | | |
| 024 | | | | | | | | | |
| 1 | Általános fogazató, ferdefogú hengeres kerek szilárdsági ellenőrzése | | | | | | | | |
| 2 | Az előtér és a geometriai számítás alapján rögzített értékek | | | | | | | | |
| 3 | $d_1 = 70,331 \text{ mm}$ | $d_{b1} = 65,63 \text{ mm}$ | $z_1 = 19$ | $d_{a1} = 80,139 \text{ mm}$ | $h [\text{mm}]$ | | | | |
| 4 | $d_2 = 244,3100 \text{ mm}$ | $d_{b2} = 228,001 \text{ mm}$ | $z_2 = 66$ | $d_{a2} = 253,569 \text{ mm}$ | 7,729 | | | | |
| 5 | $b = 36 \text{ mm}$ | $\beta = 19,00 \text{ fok}$ | $u = 3,47$ | $P = 3 \text{ kW}$ | $n_1 = 7,862 \text{ s}^{-1}$ | | | | |
| 6 | Kiskerék anyaga: | bc2 | 1 táblázat | $\sigma_{Flim 1} = 410 \text{ MPa}$ | $\sigma_{Hlim 1} = 1470 \text{ MPa}$ | σ_{wt} | | | |
| 7 | Nagykerék anyaga: | c15 | | $\sigma_{Flim 2} = 190 \text{ MPa}$ | $\sigma_{Hlim 2} = 1300 \text{ MPa}$ | 23,419 | | | |
| 8 | Tényleges fajlagos terhelés meghatározása | | | | | | | | |
| 9 | Sor-szám | Összefüggések, jelölések | | Számérték | | Megjegyzés | | | |
| 10 | 1. | $T = \frac{1000 \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot n_1}$ | | 60,730708 Nm | | | | | |
| 11 | 2. | $F_t = \frac{2000 \cdot T}{d_1}$ | | 1726,9969 N | | | | | |
| 12 | 3. | K_A | | 1,35 | | 1. ábrából | | | |
| 13 | 4. | $v_1 = \frac{d_1 \cdot n_1 \cdot \pi}{1000}$ | | 1,7371195 m/s | | | | | |
| 14 | 5. | f_{pb1} | | 0,010 mm | | MSZKOST 641-77 | | 10 | |
| 15 | 6. | f_{pb2} | | 0,012 mm | | MSZKOST 641-77 | | 12 | |
| Kész | | | | | | | | | |

6. ábra

Szilárdsági ellenőrzés táblázata

A felhasználónak az A3 - L7 mezőkbe be kell gépelni a kiindulási adatokat, majd a táblázatot görgetve rendre a

Fogtörés ellenőrzéséhez: K_A üzemtényező

f_{pb1} kiskerék alaposztáshiba tűrése

f_{pb2} nagykerék alaposztáshiba tűrése

E rugalmassági modulus

q_L segédtegyező terheléseloszláshoz

ϵ_α homlokkapcsolószám

F_β fogirányhiba tűrése

Y_{Fa1} kiskerék fogalaktényező

Y_{Fa2} nagykerék fogalaktényező

bevitele szükséges.

A táblázat megjegyzés rovata útmutatást ad, hogy az M melyik ábrájából vehető fel az érték, vagy az irányérték mekkora, sőt a ? jelű nyomógombbal felnyitható a tűrések táblázata. Ekkor a 7. ábrának megfelelő képernyőt látjuk:

| Osztókörátmérő, d | | mm feletti | | | | | | mm-ig | |
|-------------------|-------------------|------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|--|
| | | 125 | 400 | 800 | 1600 | 2500 | 4000 | 6300 | |
| Tűrések [mikron] | | | | | | | | | |
| 5 | 1-3.5 | ± 5,6 | ± 6,7 | ± 7,5 | ± 8,5 | ± 9,5 | - | - | |
| | 3.5 felett 6.3-ig | ± 7,5 | ± 8,5 | ± 8,5 | ± 9,5 | ± 10 | ± 12 | - | |
| | 6.3 felett 10-ig | ± 8,5 | ± 9,5 | ± 10 | ± 10 | ± 12 | ± 13 | ± 14 | |
| | 10 felett 16-ig | - | ± 10 | ± 12 | ± 12 | ± 13 | ± 15 | ± 16 | |
| 6 | 1-3.5 | ± 9,5 | ± 10 | ± 12 | ± 13 | ± 15 | - | - | |
| | 3.5 felett 6.3-ig | ± 12 | ± 13 | ± 13 | ± 15 | ± 17 | ± 19 | - | |
| | 6.3 felett 10-ig | ± 13 | ± 15 | ± 17 | ± 17 | ± 19 | ± 21 | ± 24 | |
| | 10 felett 16-ig | - | ± 17 | ± 19 | ± 19 | ± 21 | ± 24 | ± 26 | |
| 7 | 1-3.5 | ± 13 | ± 15 | ± 17 | ± 19 | ± 21 | - | - | |
| | 3.5 felett 6.3-ig | ± 17 | ± 19 | ± 19 | ± 21 | ± 24 | ± 26 | - | |
| | 6.3 felett 10-ig | ± 19 | ± 21 | ± 24 | ± 24 | ± 26 | ± 30 | ± 34 | |
| | 10 felett 16-ig | - | ± 24 | ± 26 | ± 26 | ± 30 | ± 34 | ± 38 | |
| 8 | 1-3.5 | ± 19 | ± 21 | ± 24 | ± 26 | ± 30 | - | - | |
| | 3.5 felett 6.3-ig | ± 24 | ± 26 | ± 26 | ± 30 | ± 34 | ± 38 | - | |
| | 6.3 felett 10-ig | ± 26 | ± 30 | ± 34 | ± 34 | ± 38 | ± 42 | ± 48 | |
| | 10 felett 16-ig | - | ± 34 | ± 38 | ± 38 | ± 42 | ± 48 | ± 53 | |

7. ábra
Alaposztáshiba tűrések táblázata

Az alaposztáshiba tűrés táblázatot a kiválasztott mezőre ráállítás után az f_{pb1} gombbal kezelve a SZIL2.XLS táblázat G15 mezőjébe (a helyére) másolja a program a kiválasztott mező tartalmát. Hasonlóan adjuk meg az f_{pb2} mezőt is, csak itt az f_{pb2} gombot kell az egérrel ráklikkelve a SZIL2.XLS munkafüzetbe átmásolni. A görgethető táblázatból a Vissza gombbal juthatunk a szilárdsági méretezés munkalapjához vissza.

Az F_{β} fogirányhiba tűrések 8. ábrán látható táblázatának kezelése jóval egyszerűbb.

8. ábra

F_{β} fogirányhiba tűrések táblázata

Itt a kiválasztott mezőre állás után az **OK** gombbal átmásolja a program az F_{β} -t a **SZIL2.XLS** táblázatba és vissza is tér oda, a **Mégsem** gomb esetén másolás nélkül térünk vissza a szilárdsági méretezés táblázatába.

A fogaskerek fogtörésre megfelelnek, ha az S_{F1} és S_{F2} biztonsági tényezők a megjegyzés rovatban adott irányértéknél nagyobbak.

Felszíni szilárdság ellenőrzéséhez:

Z_E rugalmassági tényező

Z_R érdességi tényező

Z_V sebességtényező

v_{50} kinematikai viszkozitás 50 C^0 -on

Z_L kenőanyag tényező

megadása szükséges.

A felszíni szilárdság megfelelő, ha az S_{H1} és S_{H2} biztonsági tényezők a megjegyzés rovatban adott irányértéknél nagyobbak.

Berágódás ellenőrzéséhez:

T_T berágódási határnyomaték

k_T palástnyomás berágódási határa

e_{\max} kapcsolószám részérték

bevitele szükséges.

A berágódási veszély nem áll fenn, ha a kerekek kerületi sebessége 4 m/s -nál nem nagyobb, illetve a számított S_B berágódás biztonsága 3-nál nagyobb.