

3. A motor villamos számításai

3.1 Kiindulási adatok

A motor névleges teljesítménye:	$P=10000 \text{ W}$
A pólusok száma:	$2p=4$
A névleges feszültség:	$U_N=400 \text{ V}$
A névleges frekvencia:	$f=50 \text{ Hz}$
Tervezett hatásfok:	$\eta=0,85$
Teljesítménytényező:	$\cos\varphi=0,86$

IP 44 zárt kivitel

S1 állandó üzem

IC 41 külső köpenyhűtés

3.2 A méretezéshez szükséges alap paraméterek megadása

A közepes légrés indukció előzetesen: $B_{\delta k}=0,53 \text{ Vs/m}^2$
(1 sz. táb. alapján)

A kerületi áram előzetesen $A_1=28 \text{ kA/m}$
(1 sz. táb. alapján)

Az ilyen nagyságrendű motoroknál a fázisonkénti és pólusonkénti horonyszámnak a jól bevált értéke:

$q_1=3$ jellemző.

Az állórész fázisszáma:

$m_1=3$.

Ezek alapján az állórész horonyszáma:

$$Z_1 = 2p \cdot m_1 \cdot q_1 = 4 \cdot 3 \cdot 3 = 36 \text{ horony}$$

Az

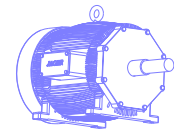
$$\frac{S}{\tau_p} = \frac{\nu - 1}{\nu}$$

egyenlet lehető legjobb megközelítését alapul véve:

$$\tau_p = m_1 \cdot q_1 = 3 \cdot 3 = 9$$

a pólusosztás, továbbá ha $\nu=7$ felharmonikus okozza az indítási nehézségeket akkor $S=8$ tekercselési lépésválasztásnál:

$$\frac{S}{\tau_p} = \frac{8}{9} \text{ (lépésrövidítés)}$$



$$\frac{\nu - 1}{\nu} = \frac{6}{7} \text{ értékek adódnak, ahol:}$$

A tekercselési lépés:

$$S=8$$

Indítási nehézséget okozó felharmonikus sorszáma:
(adat)

$$\nu=7 \quad (\text{gyártói tapasztalati adat})$$

Állórész tekercselési tényezője:

$$\zeta_1=0,945 \quad (3 \text{ sz. táb.})$$

Választott lemezcsomag külső átmérő:

$$D_k=245 \text{ mm} \quad (4 \text{ sz. táb.})$$

(a kiválasztáshoz a számítások a főbb méretek meghatározásánál)

Választott lemezcsomag belső furat:

$$D=152 \text{ mm} \quad (4 \text{ sz. táb.})$$

(a kiválasztáshoz a számítások a főbb méretek meghatározásánál)

vaskitöltési tényező:
(adat)

$$k_v=0,89 (\text{gyártói tapasztalati adat})$$

3.3 *A mágnes kör számításához szükséges kiinduló adatok, fizikai állandók*

Koszorú indukció (1,3-1,6 Vs/m² között)

$$B_{kl}^*=1,5 \text{ Vs/m}^2$$

(előzetes gyártási tapasztalati adatok alapján kiválasztva)

a belapulási tényező:

$$\alpha_i^*=0,72$$

(előzetesen választott érték a 2. sz. táblázatból, későbbiekben visszaellenőrzésre kerül)

telítési tényező:

$$k_t^*=0,6$$

(előzetesen választott érték a 2. sz. táblázatból, későbbiekben visszaellenőrzésre kerül)

Állórész fogindukció párhuzamos fogrészen (1,5-1,8 Vs/m² között):

$$B_{f1}^*=1,6 \text{ Vs/m}^2$$

(előzetes gyártási tapasztalati adatok alapján kiválasztva)

Az ehhez tartozó mágneses térerősség:

$$H_{f1}=5 \text{ kA/m} \quad (5. \text{ sz. táb.})$$

Forgórész fogindukció párhuzamos fogrészen (1,5-1,8 Vs/m² között):

$$B_{f2}^*=1,6 \text{ Vs/m}^2$$

(előzetes gyártási tapasztalati adatok alapján kiválasztva)

horony száj vastagság az álló részen:

$$h_{14}^*=0,5 \text{ mm}$$

(előzetes, későbbiekben pontosított érték, lásd: 4.1 fejezet 1. ábra)

horony száj vastagság forgó részen:

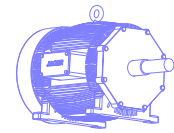
$$h_{24}^*=0,5 \text{ mm}$$

(előzetes, későbbiekben pontosított érték, lásd: 5.2 fejezet 2. ábra)

a szigetelés vastagsága:

$$v_{hsz}=0,3 \text{ mm}$$

(thermonid szigetelőanyag)



áramsűrűség az állórészen (4-6 A/mm ² között) (melegedési, hűlési tapasztalatok alapján)	$s_1^*=5 \text{ A/mm}^2$
áramsűrűség a forgórész rudakban (4-6 A/mm ² között) (melegedési, hűlési tapasztalatok alapján)	$s_{\text{rúd}}^*=4,1 \text{ A/mm}^2$
áramsűrűség a forgórészen a rövidre záró gyűrűben (4-6 A/mm ² között): (melegedési, hűlési tapasztalatok alapján)	$S_{\text{gyűrű}}^*=4,1 \text{ A/mm}^2$
a tekercselési anyag fajlagos ellenállása 20 C fokon:	$\rho_{\text{réz}20}=0,0175 \text{ } \Omega\text{mm}^2/\text{m}$
a tekercselési anyag fajlagos ellenállása 75 C fokon:	$\rho_{\text{réz}75}=0,0216 \text{ } \Omega\text{mm}^2/\text{m}$
Alumínium fajlagos ellenállása 20 C fokon:	$\rho_{\text{Al}20}=0,04 \text{ } \Omega\text{mm}^2/\text{m}$
a tekercselési anyag sűrűsége:	$\chi_{\text{réz}}=8,9 \text{ kg/dm}^3$
a vaslemez sűrűsége:	$\chi_{\text{vas}}=7,6 \text{ kg/dm}^3$
légrés (0,4-0,5 mm)	$\delta=0,5 \text{ mm}$
a forgórész horonyszáj nyílása:	$c_2=1 \text{ mm}$
az állórész horonyszáj nyílása:	$c_1=3 \text{ mm}$
a forgórészre öntött hűtőlapátok tengely irányú szorzója: $b=(1\dots2)h$ között: $b=1,2$	
a levegő mágneses permeabilitása:	$\mu_0=1,26 \cdot 10^{-6}$
a hajtásoldali csapágy belső átmérője (forgórész lemez belső furat):	$D_b=50\text{mm}$
alkalmazott lemezminőség:	$v_{1,0}=3 \text{ W/kg}$

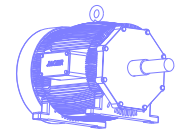
3.4 Alap adatok számításai, főbb méretek meghatározása

A motor látszólagos teljesítménye:

$$S_n = \frac{P_2}{\eta \cdot \cos \varphi} = \frac{10000}{0,85 \cdot 0,86} = 13679,89 \text{ VA}$$

A névleges áramfelvétel a kapcsokon:

$$I_{1n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_1} = \frac{13679,89}{\sqrt{3} \cdot 400} = 19,74 \text{ A}$$



A tekercsben folyó fázisáram:

$$I_{1nf} = \frac{I_{1n}}{\sqrt{3}} = \frac{19,74}{\sqrt{3}} = 11,39 \text{ A}$$

A gép szinkron fordulatszáma:

$$n_0 = \frac{f \cdot 60}{p} = \frac{50 \cdot 60}{2} = 1500 \frac{1}{\text{min}}$$

A motor furatköbtartalmát az alábbi összefüggéssel határozhatjuk meg:

$$D^2 \cdot l_i = \frac{5,47 \cdot S_n}{n_0 \cdot \xi_1 \cdot B_{\delta k} \cdot A_1} = \frac{5,47 \cdot 13679,89}{1500 \cdot 0,945 \cdot 0,53 \cdot 28} = 0,0035572 \text{ m}^3$$

245/152 lemezcsomagot választva a gép ideális lemezcsomag hossza:

$$l_i = \frac{D^2 \cdot l_i}{D^2} = \frac{0,0035572}{0,152^2} = 0,1539 \text{ m}$$

A tiszta vashossz:

$$l_v = k_v \cdot l_i = 0,89 \cdot 0,1539 = 0,137 \text{ m}$$

A választott lemezcsomaghoz tartozó pólusosztás:

$$\tau_p = \frac{D \cdot \pi}{2p} = \frac{152 \cdot 3,14}{4} = 119,42 \text{ mm}$$

A horonyosztás:

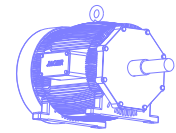
$$\tau_{h1} = \frac{D \cdot \pi}{Z_1} = \frac{152 \cdot 3,14}{36} = 13,26 \text{ mm}$$

A gép fluxusa:

$$\Phi = B_{\delta k} \cdot l_i \cdot \tau_p = 0,53 \cdot 0,1539 \cdot 119,42 = 0,009745 \text{ Vs}$$

Az állórész tekercselés egy fázisának előzetes menetszáma:

$$N_1^* = \frac{U_i}{4,44 \cdot f \cdot \xi_1 \cdot \Phi} = \frac{400}{4,44 \cdot 50 \cdot 0,945 \cdot 0,009745} = 196 \text{ menet}$$



Egy horonyban lévő előzetes vezetős szám:

$$z_1^* = \frac{2N_1^*}{\frac{Z_1}{m}} = \frac{2 \cdot 196}{12} = 33 \text{ vezető}$$

A kerületi áram ellenőrzése:

$$A_1 = \frac{z_1 \cdot I_{1f}}{\tau_{h1}} = \frac{33 \cdot 11,39}{13,2696} = 28,013 \text{ kA (megfelel)}$$

A közepes légrés indukció ellenőrzése:

$$B_{\delta k} = \frac{U_i}{4,44 \cdot f \cdot N_1 \cdot \xi_1 \cdot l_i \cdot \tau_p} = \frac{400}{4,44 \cdot 50 \cdot 196 \cdot 0,945 \cdot 0,153 \cdot 119,42} = 0,53 \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2} \text{ (megfelel)}$$

4. Az állórész lemezalak számításai

A géphez új lemez kerül kisajtolásra, viszonylag olcsó szerszámozást igénylő csepp alakú hornyokkal. Az előzetesen felvett koszorú indukció (B_{k1}^*) alapján az állórész koszorú vastagsága:

$$h_{k1}^* = \frac{\Phi}{2 \cdot B_{k1}^* \cdot l_{v1}} = \frac{0,009745}{2 \cdot 1,5 \cdot 0,137} = 23,7063 \text{ mm}$$

Az előzetesen felvett fogindukció $B_{f1}^* = 1,6 \text{ Vs/m}^2$, a belapulási tényező előzetesen $\alpha_i^* = 0,72$, és a telítési tényező előzetesen $k_t^* = 0,6$ értékűek, melyek a számítások végeztével ellenőrzésre kerülnek. Kiválasztásuk a 2 sz. ábrán lévő függvényből történt.

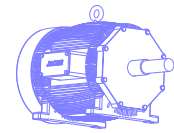
Ezek alapján az állórész fogszélesség előzetes értéke:

$$f_1^* = \frac{B_{\delta k} \cdot \tau_{h1} \cdot l_i}{\alpha_i^* \cdot B_{f1}^* \cdot l_v} = \frac{0,53 \cdot 13,269 \cdot 153,9}{0,72 \cdot 1,6 \cdot 137,03} = 6,85 \text{ mm}$$

A félkörrel lekerekített horony rádiuszát (R_1) trigonometrikus összefüggést alkalmazva:

$$\sin 5^\circ = \frac{\frac{f_1^*}{2} + R_1^*}{D_{R1}^*} = \frac{\frac{f_1^*}{2} + R_1^*}{\frac{D_k}{2} - h_{k1}^* - R_1^*} = \frac{\frac{6,85}{2} + R_1^*}{\frac{245}{2} - 23,706 - R_1^*} \Rightarrow R_1^* = 4,76 \text{ mm}$$

Egy speciális marókés névleges méretét alapul véve $R_1 = 4,8 \text{ mm}$



A kerekítés miatt :

$$D_{R1}^* = D_k - 2R_1 - 2h_{k1}^* = 245 - 2 \cdot 4,8 - 2 \cdot 23,706 = 187,98 \text{ mm}$$

helyett $D_{R1} = 188 \text{ mm}$ legyen.

Továbbá:

$$h_{k1} = \frac{D_k - 2R_1 - D_{R1}}{2} = \frac{24 - 2 \cdot 4,8 - 188}{2} = 23,7 \text{ mm}$$

$$f_1''' = 2 \cdot \left(\frac{D_{R1}}{2} \cdot \sin 5^\circ - R_1 \right) = 2 \cdot \left(\frac{188}{2} \cdot \sin 5^\circ - 4,8 \right) = 6,785 \text{ mm}$$

A koszorú indukció változása:

$$B_{k1} = B_{k1}^* \cdot \frac{h_{k1}^*}{h_{k1}} = 1,5 \cdot \frac{23,706}{23,7} = 1,5004 \frac{Vs}{m^2} \text{ (elenyésző)}$$

alkalmazott lemezminőség: $v_{1,0} = 3 \text{ W/kg}$

Az ehhez tartozó mágneses térerősség a 5 sz. táblázat mágnesezési görbe alapján:
 $H_{k1} = 0,65 \text{ kA/m}$.

R_2 rádiusz számítása:

$$\sin 5^\circ = \frac{\frac{f_1^*}{2} + R_2^*}{\frac{D}{2} + h_{14}^* + R_2^*} = \frac{\frac{6,85}{2} + R_2^*}{\frac{152}{2} + 0,5 + R_2^*} \Rightarrow R_2^* = 3,54 \text{ mm}$$

Egy speciális marókés névleges méretét alapul véve $R_2 = 3,6 \text{ mm}$

A kerekítés miatt :

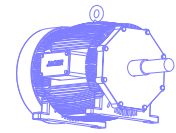
$$D_{R2}^* = D + 2h_{14}^* + 2R_2 = 152 + 2 \cdot 0,5 + 2 \cdot 3,6 = 160,2 \text{ mm}$$

Legyen a végleges érték $D_{R2} = 160 \text{ mm}$.

A fog felső vastagsága:

$$f_1' = 2 \cdot \left(\frac{D_{R2}}{2} \cdot \sin 5^\circ - R_2 \right) = 2 \cdot \left(\frac{160}{2} \cdot \sin 5^\circ - 3,6 \right) = 6,744 \text{ mm}$$

Valamint $h_{14} = 0,727 \text{ mm}$.



A párhuzamos foghossz:

$$h_{11} = \frac{D_{R1} - D_{R2}}{2} = \frac{188 - 160}{2} = 14 \text{ mm}$$

A tiszta horonyterület

$$T_{h1} = \frac{R_1^2 \cdot \pi}{2} + (R_1 + R_2) \cdot h_{11} + \frac{R_2^2 \cdot \pi}{2} = \frac{4,8^2 \cdot \pi}{2} + (4,8 + 3,6) \cdot 14 + \frac{3,6^2 \cdot \pi}{2} = 174,148 \text{ mm}^2$$

A tekercselés számára ennél a horonyszigetelés miatt kevesebb hely áll rendelkezésre:

$$T_{h_{tek}} = \frac{(R_1 - v_{hsz})^2 \cdot \pi}{2} + (R_1 + R_2 - 2 \cdot v_{hsz}) \cdot h_{11} + \frac{(R_2 - v_{hsz})^2 \cdot \pi}{2}$$

$$T_{h_{tek}} = \frac{(4,8 - 0,3)^2 \cdot \pi}{2} + (4,8 + 3,6 - 2 \cdot 0,3) \cdot 14 + \frac{(3,6 - 0,3)^2 \cdot \pi}{2} = 158,114 \text{ mm}^2$$

A szükséges réz keresztmetszet az

$$q_{1réz}^* = \frac{I_{1f}}{s_1^*}$$

összefüggéssel, a kitöltési tényező (melynek értéke 0,7 – 0,8 közötti) az

$$k_{tek} = \frac{d_{szig}^2 \cdot z_1}{T_{h_{tek}}} \leq 0,7 \dots 0,8$$

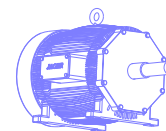
összefüggésből számolható. (a d_{szig}^2 a szigetelt huzalátmérő).

A tekercselés közepes menethossza:

$$2lk_1 = 2 \cdot \left(l_i + 1,1 \cdot \tau_{p1} \cdot \frac{S}{\tau_{p1}} + 2 \cdot 0,025 \right) = 2 \cdot \left(0,153 + 1,1 \cdot 0,119 \cdot \frac{8}{0,119} + 2 \cdot 0,025 \right) = 0,641 \text{ m}$$

egy fázisának ellenállása:

$$R_{1f} = \rho \cdot \frac{N_1 \cdot 2lk_1}{q_{réz}}$$



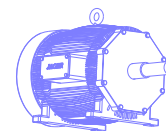
A motorhoz felhasznált rézmennyiség pedig a:

$$m_{\text{rész}} = 3 \cdot N_1 \cdot 2lk \cdot 10 \cdot q_{\text{rész}} \cdot 10^{-4} \cdot 8,9$$

összefüggéssel számolható. Az alábbi táblázatban a párhuzamos szálakat növelve ki lehet választani a legoptimálisabb vezető-keresztmetszetet – amellyel még akár kézi erővel is lehet dolgozni – és a legjobb helykitöltést eredményezi.

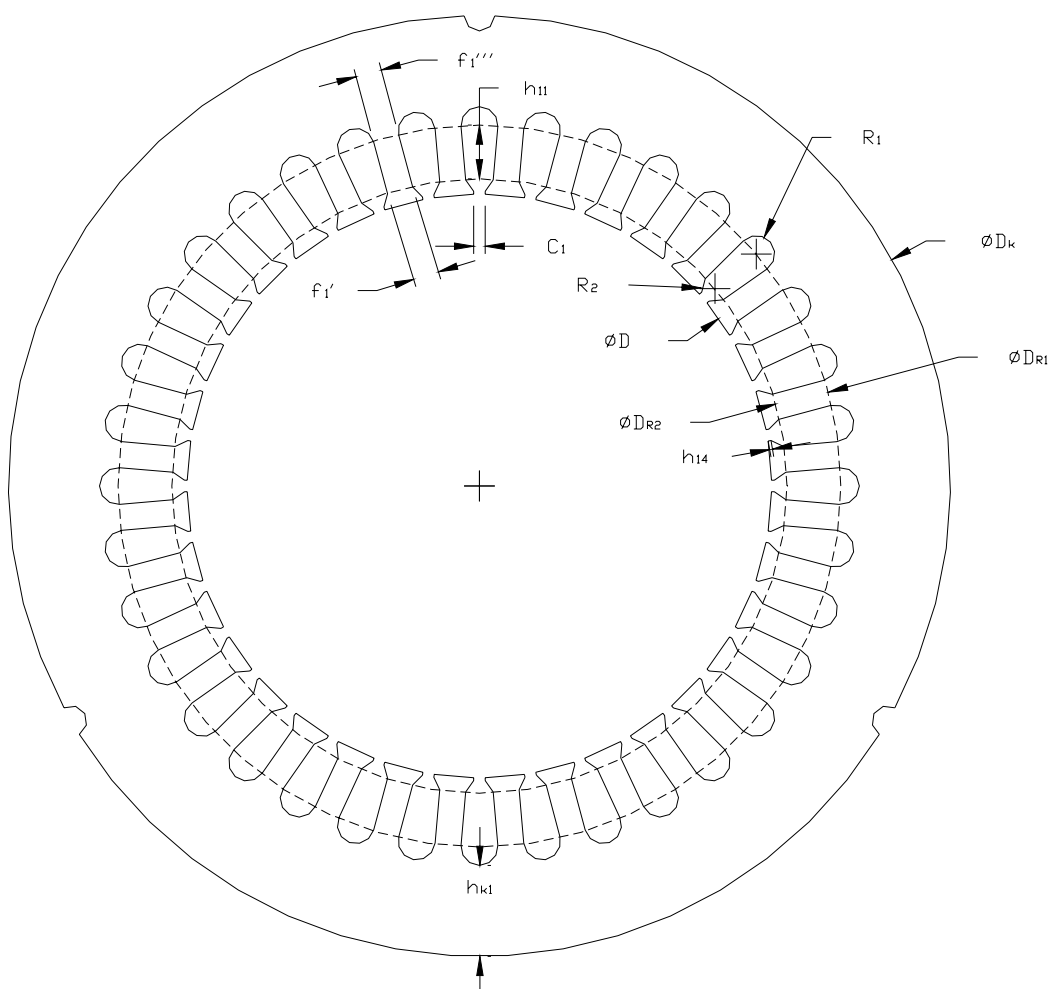
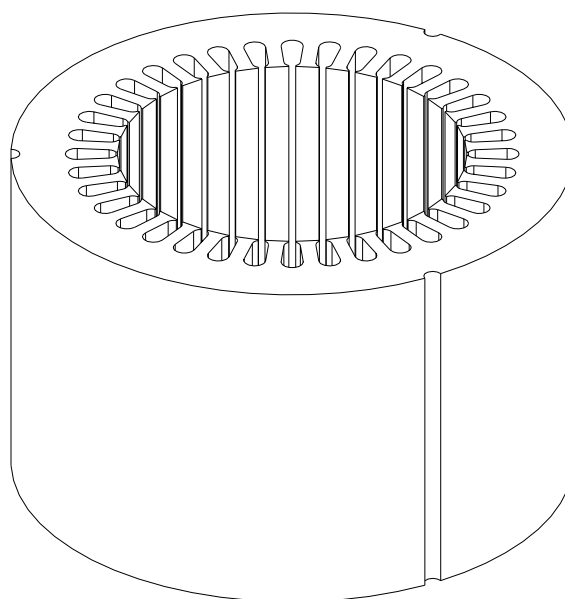
	vezető átmérő:	rész ke- resztmet- szet:	eredő áram- sűrűség	kb. szigetelt huzal átmé- rő:	Horony kitöltés (0,7-0,8)	Ellen- állás 20C fokon:	Ellen- állás 75C fokon:	Tö- meg(kg):
1 szál:	1,7	2,269	5,02	1,91	0,75	0,97	1,19	7,6
2 szál:	1,2	2,261	5,03	1,34	0,74	0,96	1,19	7,57
3 szál:	0,98	2,262	5,03	1,1	0,74	0,96	1,19	7,58
4 szál:	0,85	2,269	5,02	0,96	0,76	0,97	1,19	7,6

A táblázat második sorában lévő adatokkal (2. szál as tekercselés) készüljön a motor, a további számítások alapadatai is ezek. A többi tekercselési adat tájékoztató jellegű, arra az esetre, ha nem áll rendelkezésre 1,2 Mzz huzal.

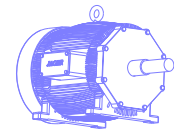


4.1 Az állórész lemezrajza

Z_1	36 db
$\varnothing D_k$	245
$\varnothing D$	152
$\varnothing D_{R1}$	188
$\varnothing D_{R2}$	160
R_1	4,8
R_2	3,6
h_{14}	0,7273
h_{11}	14
h_{k1}	23,7
C_1	3
f_1'	6,7449
f_1'''	6,7852
l_v	154



1. ábra



5. Forgórészrel kapcsolatos számítások

A tervezési és gyártási tapasztalatokat figyelembe véve a forgórész horonyszáma – ehhez az állórész horonyszámhoz – $Z_2=28$ horony.

A légrés $\delta=0,5$ megnövelt légrés miatt a forgórész külső átmérője $D_2=151$ mm. $Z_2=28$ horonyszámnál a horonyosztás:

$$\tau_{h2} = \frac{D_2 \cdot \pi}{Z_2} = \frac{151 \cdot \pi}{28} = 16,94 \text{ mm}$$

A forgórész kerületi árama:

$$A_2 = A_1 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \xi_1 = 28 \cdot 0,86 \cdot 0,945 = 22,76 \text{ kA/m}$$

A rúdáram közelítő értéke:

$$I_{rúd} \approx A_2 \cdot \tau_{h2} = 22,76 \cdot 10^3 \cdot 16,94 \cdot 10^{-3} = 385,71 \text{ A}$$

A gyűrűáram:

$$I_{gy} \approx I_{rúd} \cdot \frac{Z_2}{2p \cdot \pi} = 385,71 \cdot \frac{28}{4 \cdot \pi} = 859,43 \text{ A}$$

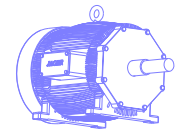
A kalicka Al 12 ötvözött alumíniumból készül. A rudakban és a gyűrűkben megengedett áramsűrűség $4,1 \text{ A/mm}^2$. Ezek alapján a keresztmetszetek:

$$q_{rúd}^* = \frac{I_{rúd}}{S_{rúd}^*} = \frac{385,71}{4,1} = 94,07 \text{ mm}^2$$

$$q_{gyűrű}^* = \frac{I_{gy}}{S_{gy}^*} = \frac{859,43}{4,1} = 209,61 \text{ mm}^2$$

Legyen a párhuzamos fogrészben az indukció $B_{f2}^* = 1,6 \text{ Vs/m}^2$. Az ehhez szükséges fogszélesség:

$$f_2^* = \frac{0,9 \cdot \frac{B_{\delta k}}{\alpha_i} \cdot \tau_{h2} \cdot l_i}{B_{f2}^* \cdot l_v} = \frac{0,9 \cdot \frac{0,53}{0,72} \cdot 16,94 \cdot 0,153}{1,6 \cdot 137} = 7,88 \text{ mm}$$



A csepp alakú horony R_1 sugarára felírható összefüggés alapján:

$$\frac{R_1^* + \frac{f_2^*}{2}}{\frac{D_2}{2} - h_{24}^* - R_1^*} = \sin\left(\frac{360^\circ}{2 \cdot Z_2}\right) \Rightarrow R_1^* = 4,007 \text{ mm}$$

A marókés névleges méretét alapul véve $R_1=4$ mm legyen.

R_1 sugár középpontjának osztóköre:

$$D_{R1} = D_2 - 2(h_{24}^* + R_1) = 151 - 2 \cdot (0,5 + 4) = 142 \text{ mm}$$

A fogfej magassága:

$$h_{24} = \frac{D_2 - D_{R1}}{2} - \sqrt{R_1^2 - \left(\frac{c_2}{2}\right)^2} = \frac{151 - 142}{2} - \sqrt{4^2 - \left(\frac{1}{2}\right)^2} = 0,5313 \text{ mm}$$

Fogszélesség a D_{R1} osztókörön:

$$f_2' = 2 \cdot \left(\frac{D_{R1}}{2} \cdot \sin\left(\frac{360}{2 \cdot Z_2}\right) - R_1 \right) = 2 \cdot \left(\frac{142}{2} \cdot \sin\left(\frac{360}{2 \cdot 28}\right) - 4 \right) = 7,898 \text{ mm}$$

Itt a tényleges fogindukció:

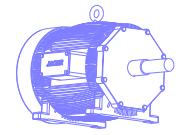
$$B_{f2}' = B_{f2}^* \cdot \frac{f_2^*}{f_2'} = 1,6 \cdot \frac{7,882}{7,898} = 1,596 \frac{Vs}{m^2}$$

alkalmazott lemezminőség: $\nu_{1,0} = 3 \text{ W/kg}$

Az indukció megváltozása gyakorlatilag elhanyagolható. Az ehhez tartozó mágneses térerősség a dinamólemez mágnesezési görbék alapján (5.sz. táblázat): $H_{f2}=5 \text{ kA/m}$

A horony területe közelítőleg:

$$q_{rud} \approx (R_1 + R_2^*) \cdot h_{21}^* + \frac{R_1^2 \cdot \pi}{2} \quad \text{és} \quad h_{21}^* = \frac{R_1 - R_2^*}{\sin\left(\frac{360}{2Z_2}\right)^\circ}$$



ennek alapján R_2 „visszafelé” számítva:

$$(R_1 + R_2^*) \cdot (R_1 - R_2^*) = \left(q_{rúd}^* - \frac{R_1^2 \cdot \pi}{2} \right) \cdot \sin\left(\frac{360}{2Z_2}\right)^\circ$$

$$4^2 - R_2^{*2} = \left(94,07 - \frac{4^2 \cdot \pi}{2} \right) \cdot 0,11196 \Rightarrow R_2^* = 2,877 \text{ mm}$$

Egy speciális marókés névleges méretét alapul véve $R_2=2,9$ mm legyen.

Ekkor:

$$h_{21}^* = \frac{R_1 - R_2}{\sin\left(\frac{360}{2 \cdot Z_2}\right)} = \frac{4 - 2,9}{0,11196} = 9,824 \text{ mm}$$

kerekítés után $h_{21}=9,9$ mm.

Így:

$$D_{R2} = D_{R1} - 2 \cdot h_{21} = 142 - 2 \cdot 9,9 = 122,2 \text{ mm}$$

$$f_2''' = 2 \cdot \left(\frac{D_{R2}}{2} \cdot \sin \frac{360}{2 \cdot Z_2} \right) = 2 \cdot \left(\frac{122,2}{2} \cdot \sin\left(\frac{360}{2 \cdot 28}\right) \right) = 7,882 \text{ mm}$$

A horony tényleges területe:

$$T_{h2} = q_{rúd} = \frac{R_1^2 \cdot \pi + R_2^2 \cdot \pi}{2} + (R_1 + R_2) \cdot h_{21} = \frac{4^2 \cdot \pi + 2,9^2 \cdot \pi}{2} + (4 + 2,9) \cdot 9,9 = 106,65 \text{ mm}^2$$

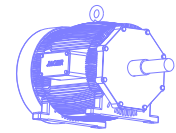
A rúdban fellépő áramsűrűség a névleges pontban:

$$s_{rúd} = \frac{I_{rúd}}{q_{rúd}} = \frac{385,71}{94,07} = 3,61 \frac{A}{\text{mm}^2}$$

A gyűrű árama:

$$I_{gy} = I_{rúd} \cdot \frac{Z_2}{2p \cdot \pi} = 385,71 \cdot \frac{28}{4 \cdot \pi} = 856,73 \text{ A}$$

A gyűrű külső átmérője: $D_{gyk}=150$ mm legyen, hogy ne lógjon túl a vastesten.



A gyűrű belső átmérője:

$$D_{gyb}^* = D_{gyk} - 2 \cdot (R_1 + h_{21} + R_2) = 150 - 2 \cdot (4 + 9,9 + 2,9) = 116,4 \text{ mm} \Rightarrow D_{gyb} = 116 \text{ mm}$$

A rövidrezáró gyűrű axiális méretét a gyűrűáramból kiindulva lehet méretezni.

$$v_{gy}^* = \frac{I_{gy} \cdot 2}{s_{gy} \cdot (D_{gyk} - D_{gyb})} = \frac{859,43 \cdot 2}{4,1 \cdot (150 - 116)} = 12,438 \text{ mm}$$

Legyen a gyűrű axiális végleges mérete 13 mm.

A gyűrű végleges keresztmetszete:

$$q_{gy} = v_{gy} \cdot \frac{D_{gyk} - D_{gyb}}{2} = 13 \cdot \frac{150 - 116}{2} = 221 \text{ mm}^2$$

A gyűrűben fellépő áramsűrűség ellenőrzése névleges terhelésnél a tervezetthez képest:

$$s_{gy} = \frac{I_{gy}}{q_{gy}} = \frac{859,43}{221} = 3,876 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2} \text{ a biztonság javára tér el.}$$

A gyűrűben folyó nagy áramerősség miatt a gyűrűben keletkező hő elvezetésére lapátokat kell önteni a gyűrűre.

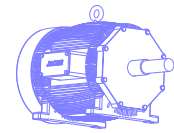
A lapátok magassága egyezzen meg a gyűrű radiális vastagságával:

$$h = v_{gy} = 13 \text{ mm}$$

A lapátok tengely irányú szorzója 1, 2 ezért a lapátok axiális mérete $b=15,6 \text{ mm}$

A lapátok száma:

$$Z_{lapát} = \frac{D_{gyk} + D_{gyb}}{2} \cdot \pi \cdot \frac{2}{D_{gyk} - D_{gyb}} = \frac{150 + 116}{2} \cdot \pi \cdot \frac{2}{150 - 116} = 25 \text{ lapát / gyűrű}$$



A forgórész redukált ellenállása 90 C°-on:

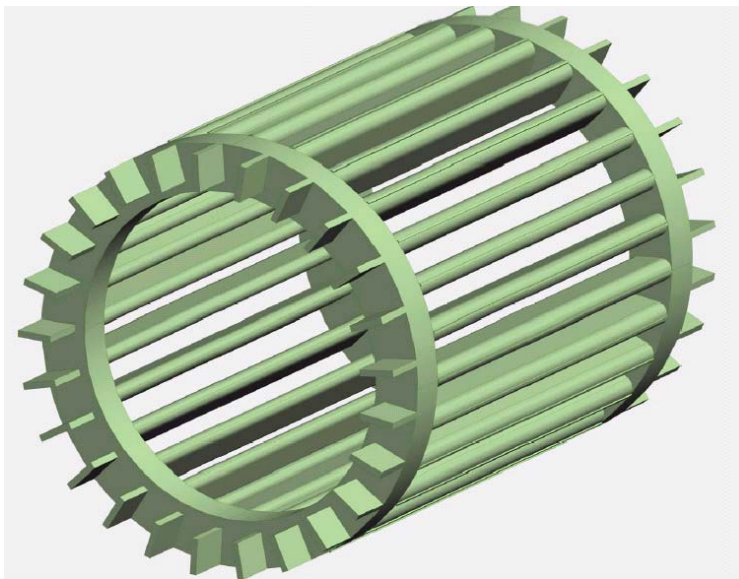
$$\rho_{Al90} = \rho_{Al20} \cdot \frac{235 + 90}{235 + 20} = 0,04 \cdot \frac{325}{255} = 0,05 \frac{\Omega mm^2}{m}$$

és

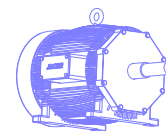
$$D_{gy} = \frac{D_{gyk} + D_{gyb}}{2} = \frac{150 + 116}{2} = 133 mm$$

$$\begin{aligned} R_2' &= \frac{2p \cdot m_1 \cdot (N_1 \cdot \xi_1)^2}{Z_2} \cdot \rho \cdot \left(\frac{I_{rúd}}{q_{rúd}} + 2 \cdot \frac{D_{gy} \cdot \pi \cdot Z_2}{q_{gy} \cdot (2p \cdot \pi)^2} \right) = \\ &= \frac{4 \cdot 3 \cdot (196 \cdot 0,945)}{28} \cdot 0,05 \cdot \left(\frac{385,71}{94,07} + 2 \cdot \frac{133 \cdot \pi \cdot 28}{209,61 \cdot (4 \cdot \pi)^2} \right) = 1,7502 \Omega \end{aligned}$$

5.1 A tervezett kalicka

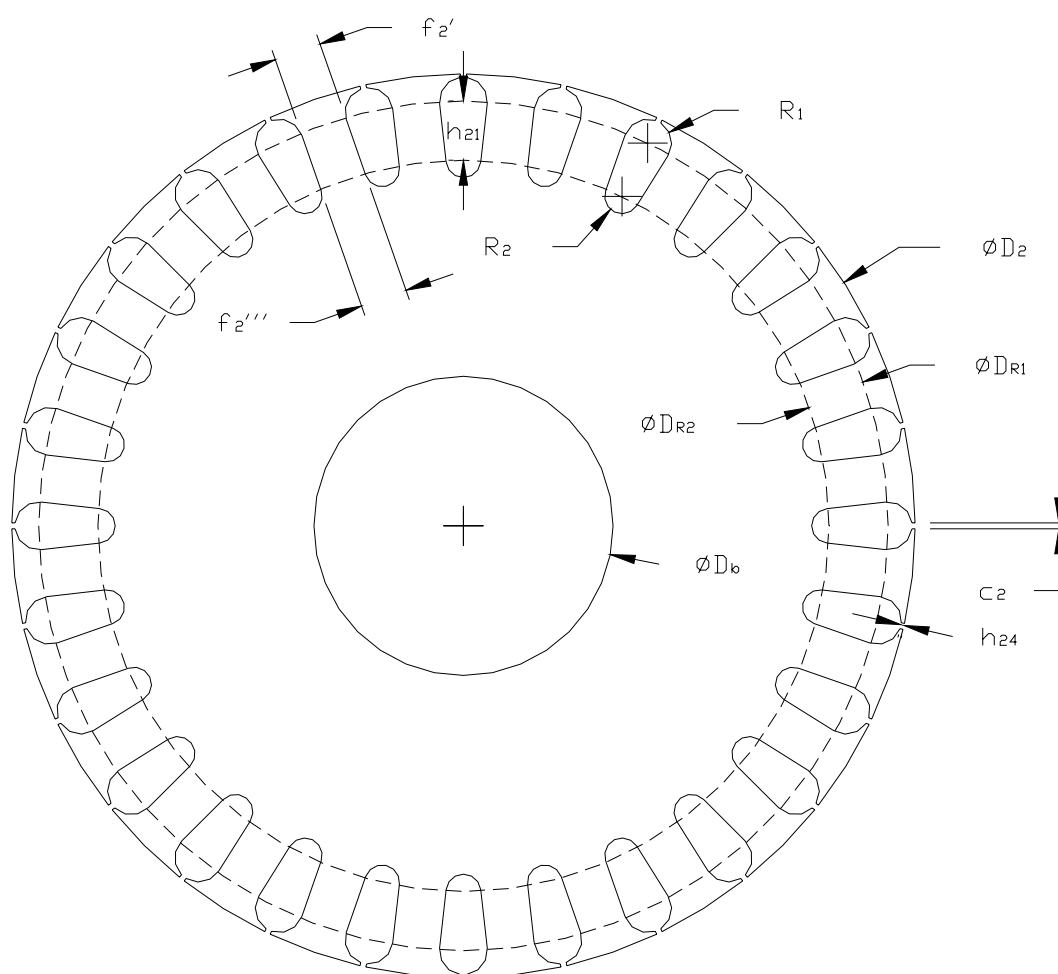
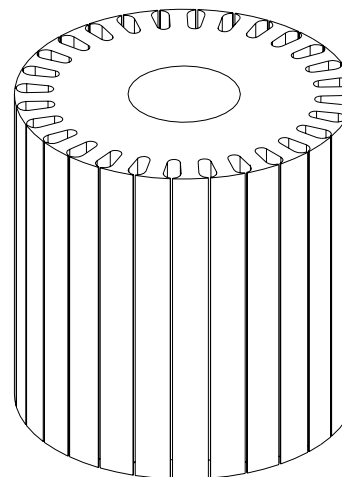


1.sz. színes modell

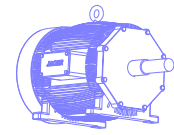


5.2 A forgórész lemezrajza

Z_2	28 db
$\varnothing D_2$	151
$\varnothing D_{R1}$	142
$\varnothing D_{R2}$	122,2
R_1	4
R_2	2,9
h_{24}	0,5313
h_{21}	9,9
D_b	50
C_2	1
$f_{2'}$	7,8989
$f_{2''}$	7,8820
l_v	154



2. ábra



6. Mágnesező áram számításai

A Carter tényező értéke:

$$k_{c1} = \frac{\tau_{h1}}{\tau_{h1} - c_1 \cdot \frac{\frac{c_1}{\delta}}{5 + \frac{c_1}{\delta}}} = \frac{13,26}{13,26 - 3 \cdot \frac{\frac{0,5}{3}}{5 + \frac{3}{0,5}}} = 1,1406$$

$$k_{c2} = \frac{\tau_{h2}}{\tau_{h2} - c_2 \cdot \frac{\frac{c_2}{\delta}}{5 + \frac{c_2}{\delta}}} = \frac{16,94}{16,94 - 1 \cdot \frac{\frac{0,5}{1}}{5 + \frac{1}{0,5}}} = 1,0171$$

$$k_c = k_{c1} \cdot k_{c2} = 1,1406 \cdot 1,0171 = 1,1602$$

6.1 Légrés

A maximális légrés indukció:

$$B_{\delta \max} = \frac{B_{\delta \text{öz}}}{\alpha_i} = \frac{0,53}{0,72} = 0,736 \frac{Vs}{m^2}$$

A légrésre jutó mágneses feszültség:

$$U_{m\delta} = \frac{B_{\delta \max} \cdot k_c \cdot \delta}{\mu_0} = \frac{0,736 \cdot 1,16 \cdot 0,5}{1,256 \cdot 10^{-6}} = 339,99 A \cdot \text{menet}$$

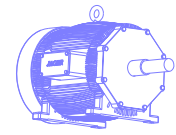
6.2 Állórész fog

Állórész fog hossza:

$$l_{f1} = h_{11} + R_1 + R_2 = 14 + 4,8 + 3,6 = 22,4 mm$$

Állórész fogra jutó mágneses feszültség:

$$U_{mf1} = H_{f1} \cdot l_{f1} = 5 \cdot 10^3 \cdot 22,4 \cdot 10^{-3} = 112 A \cdot \text{menet}$$



6.3 Forgórész fog

Forgórész fog hossza:

$$l_{f2} = h_{21} + R_1 + R_2 = 9,9 + 4 + 2,9 = 16,8 \text{ mm}$$

Forgórész fogra jutó mágneses feszültség:

$$U_{mf2} = H_{f2} \cdot l_{f2} = 5 \cdot 10^3 \cdot 16,8 \cdot 10^{-3} = 84 \text{ A} \cdot \text{menet}$$

6.4 Állórész koszorú

Mágnesezési szempontból figyelembe veendő koszorúhossz:

$$l_{k1} = \frac{D_{k1} + D_{k1} - 2h_{k1}}{2} \cdot \pi \cdot \frac{1}{2 \cdot 2p} = \frac{245 + 245 - 2 \cdot 23,7}{2} \cdot \pi \cdot \frac{1}{2 \cdot 4} = 86,9 \text{ mm}$$

Az állórész koszorúra jutó mágneses feszültség:

$$U_{mk1} = H_{k1} \cdot l_{k1} = 0,65 \cdot 10^3 \cdot 86,9 \cdot 10^{-3} = 56,486 \text{ A} \cdot \text{menet}$$

6.5 Forgórész koszorú

Forgórész vastest belső furata: $D_b=50 \text{ mm}$.

Ez alapján a forgórész koszorú vastagsága:

$$h_{k2} = \frac{D_2}{2} - h_{24} - R_1 - h_{21} - R_2 - \frac{D_b}{2} = \frac{151}{2} - 0,53 - 4 - 9,9 - 2,9 - \frac{50}{2} = 33,16 \text{ mm}$$

A forgórész koszorúban az indukció:

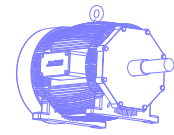
$$B_{k2} = 0,9 \cdot \frac{\Phi}{2 \cdot h_{k2} \cdot l_v} = 0,9 \cdot \frac{0,0097}{2 \cdot 33,16 \cdot 10^{-3} \cdot 0,137} = 0,964 \frac{Vs}{m^2}$$

alkalmazott lemezminőség: $v_{1,0} = 3 \text{ W/kg}$

Az ehhez tartozó mágnesezési térerősség a koszorú mágnesezési görbéből (5.sz. táblázat): $H_{k2}=0,15 \text{ kA/m}$.

Mágnesezési szempontból figyelembe veendő koszorúhossz:

$$l_{k2} = (D_b + 2 \cdot h_{k2}) \cdot \pi \cdot \frac{1}{2 \cdot 2p} = (50 + 2 \cdot 33,16) \cdot \pi \cdot \frac{1}{2 \cdot 4} = 46,3 \text{ mm}$$



A fogórész koszorúra jutó mágneses feszültség:

$$U_{mk2} = H_{k2} \cdot l_{k2} = 0,15 \cdot 10^3 \cdot 46,3 \cdot 10^{-3} = 6,852 \text{ A} \cdot \text{menet}$$

A motor teljes gerjesztés szükséglete:

$$\sum U_m = U_{m\delta} + U_{mf1} + U_{mf2} + U_{mk1} + U_{mk2} = 339,99 + 112 + 84 + 56,48 + 6,852 = 599,32$$

α_i belapulási tényező ellenőrzése:

$$k_t = \frac{U_{mf1} + U_{mf2}}{U_{m\delta}} = \frac{112 + 84}{339,99} = 0,5764$$

az ehhez tartozó $\alpha_i = 0,718$ ez pedig közelítőleg megegyezik a számítások kezdetekor felvett értékkel, tehát a számítás helyes volt, az eltérés 0,27%.

7. Reaktanciák számításai

7.1 A főmező reaktanciája

Az ideális egyenértékű légrés:

$$\delta_i' = \delta \cdot k_c \cdot \frac{\sum U_m}{U_{m\delta}} = 0,5 \cdot 1,16 \cdot \frac{599,32}{339,99} = 1,022 \text{ mm}$$

A főmező fajlagos mágneses vezetése:

$$\lambda_a = 0,2 \cdot m_1 \cdot \frac{\tau_p}{\delta_i'} \cdot \xi_1^2 \cdot \alpha_i' \cdot 10^{-6} = 0,2 \cdot 3 \cdot \frac{119,426}{1,022} \cdot 0,945^2 \cdot 0,718 \cdot 10^{-6} = 4,493 \cdot 10^{-5} \frac{H}{m}$$

A főmező reaktanciája:

$$X_a = \frac{4 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot N_1^2 \cdot l_i \cdot \lambda_a}{p} = \frac{4 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 196^2 \cdot 0,153 \cdot 4,493 \cdot 10^{-5}}{2} = 83,18 \Omega$$

7.2 Szórási reaktanciák számítása

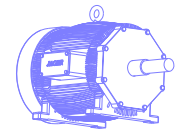
Horonyszórási reaktancia számításához a k_{cu} és a k_k tényezők a grafikon alapján:

$k_{cu} = 0,94$; $k_k = 0,919$ (6.sz. táblázat)

Az állórész lépésrövidítése: $q_1 = 3$.

A forgórészen kialakuló lépésrövidítés:

$$q_2' = \frac{Z_2}{2p \cdot m_1} = \frac{28}{4 \cdot 3} = 2,333$$



Csepp alakú állórész horony mágneses vezetőképessége:

$$\lambda_{h1} = \mu_0 \cdot \left[k_{cu} \cdot \frac{h_{11}}{3 \cdot 2 \cdot R_2} + k_k \cdot \left(\frac{h_{14}}{c_1} + 0,623 \right) \right] =$$

$$= 1,256 \cdot 10^{-6} \cdot \left[0,94 \cdot \frac{14}{3 \cdot 2 \cdot 3,6} + 0,919 \cdot \left(\frac{0,7273}{3} + 0,623 \right) \right] = 1,574 \cdot 10^{-6} \frac{H}{m}$$

Csepp alakú forgórész horony fajlagos mágneses vezetőképessége:

$$\lambda_{h2} = \mu_0 \cdot \left[1 \cdot \frac{h_{21}}{3 \cdot 2 \cdot R_1} + 1 \cdot \left(\frac{h_{24}}{c_2} + 0,623 \right) \right] =$$

$$= 1,256 \cdot 10^{-6} \cdot \left[1 \cdot \frac{9,9}{3 \cdot 2 \cdot 4} + 1 \cdot \left(\frac{0,5313}{1} + 0,623 \right) \right] = 1,968 \cdot 10^{-6} \frac{H}{m}$$

Csepp alakú forgórész horony fajlagos mágneses vezetése az állórészre redukálva:

$$\lambda_{h2}' = \lambda_{h2} \cdot \left(\frac{\xi_1}{\xi_2} \right)^2 = 1,968 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{0,945}{1} \right)^2 = 1,757 \cdot 10^{-6} \frac{H}{m}$$

A horonyszórás X_{sh} reaktanciája az állórészen:

$$X_{sh1} = \frac{4\pi \cdot f_1 \cdot N_1^2 \cdot l_i \cdot \lambda_{h1}}{p \cdot q_1} = \frac{4\pi \cdot 50 \cdot 196^2 \cdot 0,153 \cdot 1,574 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 3} = 0,971 \Omega$$

A forgórész horonyszórási reaktanciája az állórészre redukálva:

$$X_{sh2}' = \frac{4\pi \cdot f_1 \cdot N_1^2 \cdot l_i \cdot \lambda_{h2}'}{p \cdot q_2'} = \frac{4\pi \cdot 50 \cdot 196^2 \cdot 0,153 \cdot 1,757 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 2,33} = 1,394 \Omega$$

7.3 A tekercsfej szórás X_{st} reaktanciájának számítása

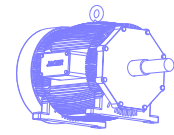
Az tervezett tekercselés tekercsfej szórási tényezője: $\lambda_s = 0,41 \cdot 10^{-6} \text{ H/m}$ (7.sz. táblázat)

Az állórész tekercsfej szórásból származó reaktanciája:

$$X_{st} = \frac{4\pi \cdot f_1 \cdot N_1^2 \cdot l_i}{p} \cdot \left(\lambda_s \cdot \frac{l_{k1} - l_i}{l_i} \right) = \frac{4\pi \cdot 50 \cdot 196^2 \cdot 0,153}{2} \cdot \left(0,41 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{0,32 - 0,153}{0,153} \right) = 0,822 \Omega$$

Ahol l_{k1} a közepes menethossz fele.

A kalickás forgórész tekercsfej szórása elhanyagolható.



7.4 A légrés szórás $X_{s\delta}$ reaktanciájának számítása a főmező X_a százalékában

Az állórész légrés szórási tényezője: (8.sz. táblázat) $\sigma_{\delta 1}=1,15$

A forgórész légrés szórási tényezője :

$$\sigma_{\delta 2} = 82 \cdot \left(\frac{2p}{Z_2} \right)^2 = 82 \cdot \left(\frac{4}{28} \right)^2 = 1,673$$

A csillapítási tényező a tervezett kalickára: (9.sz. táblázat) $\Delta=0,95$

Az állórész légrés szórási reaktanciája:

$$X_{s\delta 1} = X_a \cdot 0,01 \cdot \sigma_{\delta 1} \cdot \Delta = 83,18 \cdot 0,01 \cdot 1,15 \cdot 0,95 = 0,8609 \Omega$$

A forgórész légrés szórási reaktanciája az állórészre redukálva:

$$X_{s\delta 2}' = X_a \cdot 0,01 \cdot \rho_{\delta 2} = 83,18 \cdot 0,01 \cdot 1,673 = 1,392 \Omega$$

Sem az állórészen, sem a forgórészen nem alkalmazunk horonyferdítést, a gyártás megkönnyítése végett.

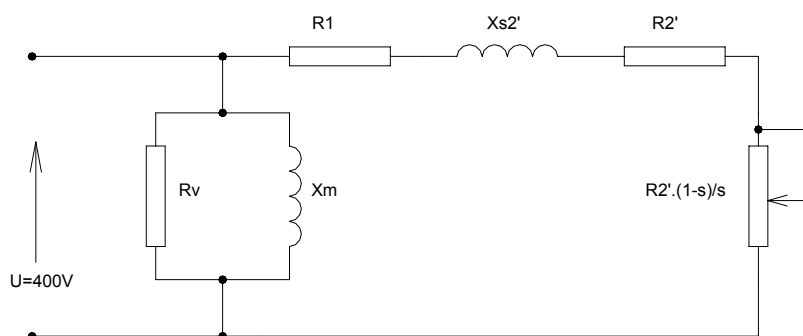
Az állórész szórási reaktanciája:

$$X_{s1} = X_{sh1} + X_{st1} + X_{s\delta 1} = 0,971 + 0,822 + 0,8609 = 2,654 \Omega$$

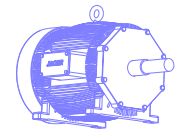
A forgórész szórási reaktanciája az állórészre redukálva:

$$X_{s2}' = X_{sh2}' + X_{s\delta 2}' = 1,394 + 1,392 = 2,786 \Omega$$

8. A helyettesítő vázlat és a kördiagram szerkesztéséhez szükséges számítások



3. sz. ábra: Aszinkron motor kördiagram szerkesztéséhez szükséges helyettesítő vázlat



Az állórész fogak tömege mágnesezési szempontból:

$$m_{f1} = Z_1 \cdot f_1^* \cdot \left[\frac{2}{3} \cdot (R_1 + R_2) + h_{11} \right] \cdot l_v \cdot \chi_{vas} =$$

$$= 36 \cdot 6,85 \cdot \left[\frac{2}{3} \cdot (4,8 + 3,6) + 14 \right] \cdot 1,37 \cdot 7,6 \cdot 10^{-2} = 5,04 \text{ kg}$$

Az állórész fogban keletkező vasveszteség:

$$P_{vfog} = 3 \cdot \nu_{1,0} \cdot \left(\frac{B_{f1}}{1,0} \right)^2 \cdot m_{f1} = 3 \cdot 3 \cdot \left(\frac{1,6}{1,0} \right)^2 \cdot 5,04 = 116,134 \text{ W}$$

Az állórész koszorú tömege mágnesezési szempontból:

$$m_{k1} = (D_k - h_{k1}) \cdot \pi \cdot h_{k1} \cdot l_v \cdot \chi_{vas} = (2,45 - 0,237) \cdot \pi \cdot 0,237 \cdot 1,37 \cdot 7,6 = 17,15 \text{ kg}$$

Az állórész koszorúban keletkező vasveszteség:

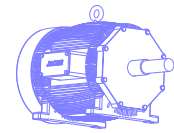
$$P_{vkosz} = 2 \cdot \nu_{1,0} \cdot \left(\frac{B_{k1}}{1,0} \right)^2 \cdot m_{k1} = 2 \cdot 3 \cdot \left(\frac{1,5}{1,0} \right)^2 \cdot 17,15 = 231,77 \text{ W}$$

A motor vasvesztesége:

$$P_{vas} = P_{vfog} + P_{vkosz} = 116,134 + 231,77 = 347,9 \text{ W}$$

Az áthidaló ág Ohmos ellenállása:

$$R_v = 3 \cdot \frac{U_n^2}{P_{vas}} = 3 \cdot \frac{400^2}{347,9} = 1379,67 \Omega$$



A kördiagram pontjainak meghatározása:

Q_0 pont:

$$\operatorname{Re} I_0 = \frac{U_n}{R_v} = \frac{400}{1379,67} = 0,2899 \text{ A}$$

$$\operatorname{Im} I_0 = \frac{U_n}{X_a} = \frac{400}{83,18} = 4,8085 \text{ A}$$

Q_z pont:

$$\overline{I_{z2}}' = \frac{U_n}{(R_1 + R_2') + jX_s} = \frac{400}{(1,192 + 1,75) + j \cdot (2,65 + 2,78)} = 30,7584 - j56,8809 \text{ A}$$

$$\operatorname{Re} I_z = \operatorname{Re} I_0 + \operatorname{Re} I_{z2}' = 0,2899 + 30,7584 = 31,0483 \text{ A}$$

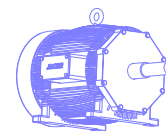
$$\operatorname{Im} I_z = \operatorname{Im} I_0 + \operatorname{Im} I_{z2}' = 4,8085 + 56,8809 = 61,6894 \text{ A}$$

Q_∞ pont adatai:

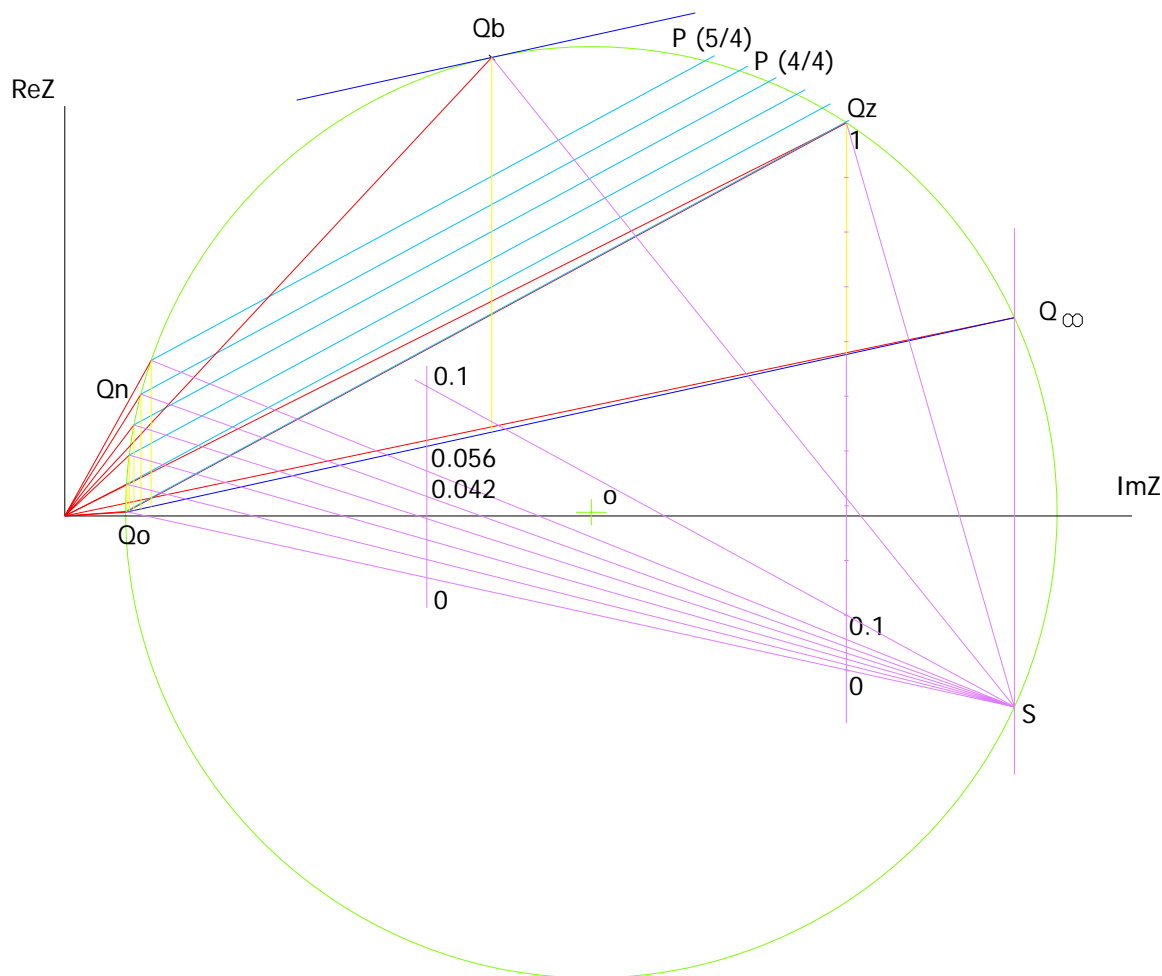
$$\overline{I_{\infty 2}}' = \frac{U_n}{R_1 + jX_s} = \frac{400}{1,192 + j(2,65 + 2,78)} = 15,3678 + j70,1467$$

$$\operatorname{Re} I_\infty = \operatorname{Re} I_0 + \operatorname{Re} I_{\infty 2}' = 0,2899 + 15,3678 = 15,6577 \text{ A}$$

$$\operatorname{Im} I_\infty = \operatorname{Im} I_0 + \operatorname{Im} I_{\infty 2}' = 4,8085 + 70,1467 = 74,9553 \text{ A}$$



9. Az aszinkron motor kördiagramja



4. ábra

A kördiagram AutoCAD rajzprogrammal készült.

9.1 Néhány gondolat a kördiagram szerkesztésével kapcsolatban

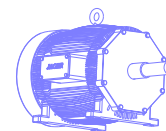
A számítások során a kör három pontját sikerült meghatározni.

A kördiagram megszerkesztéséhez ez már elegendő. Innen, ha sikerül megrajzolni a kört, akár elektronikus rajzolóprogrammal, akár kézi úton papíron és vonalzóval, ki lehet értékelni a kördiagramot.

Ha rajzolóprogramot alkalmaznék, azzal a hátránnyal kellene szembesülni, hogy bármilyen apró módosítás vagy iterációs lépés végrehajtása után, az egészet lehetne előről kezdeni.

Mivel a feladat kiírásakor ki lett kötve az indító nyomaték és a névleges nyomaték viszonya, itt más megoldást kellett választanom, ha csak nem minden iterációs lépés után újra nem szerkesztem a teljes kördiagramot.

Tulajdonképpen minden síkmértani feladat megoldható koordináta geometrikus módon is. Az ismert szerkesztési lépéseket mint egyenletek megoldását végeztem el, a metszéspontok pedig az egyenletek gyökei voltak.



Terjedelmi korlátok miatt az összes egyenlet leírását elkerültem, helyette Excel elektronikus formában ez megtalálható. Bármilyen paraméteren lehet módosítani a tervezés kiinduló adatai közül, a kördiagram kiértékelő táblázata magától újraszámolásra kerül. Az elektronikus számolólap cellái tartalmazzák azokat a koordináta geometrikus egyenleteket, amelyek alapján ezt ki lehet értékelni.

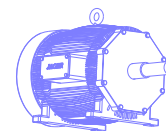
Egy helyen, a teljesítmény tényező számításakor két fajta módszert is alkalmaztam, azért, hogy össze lehessen hasonlítani. Először kiszámoltam a rendelkezésre álló áram, feszültség és teljesítmény adatokból. Az alatta lévő sorban pedig koordináta geometrikus megoldással ugyanezt kiszámoltam. Az eltérés csak a második vagy a harmadik tizedes jegyben jelentkezik (!)

9.2 A kördiagram kiértékelése

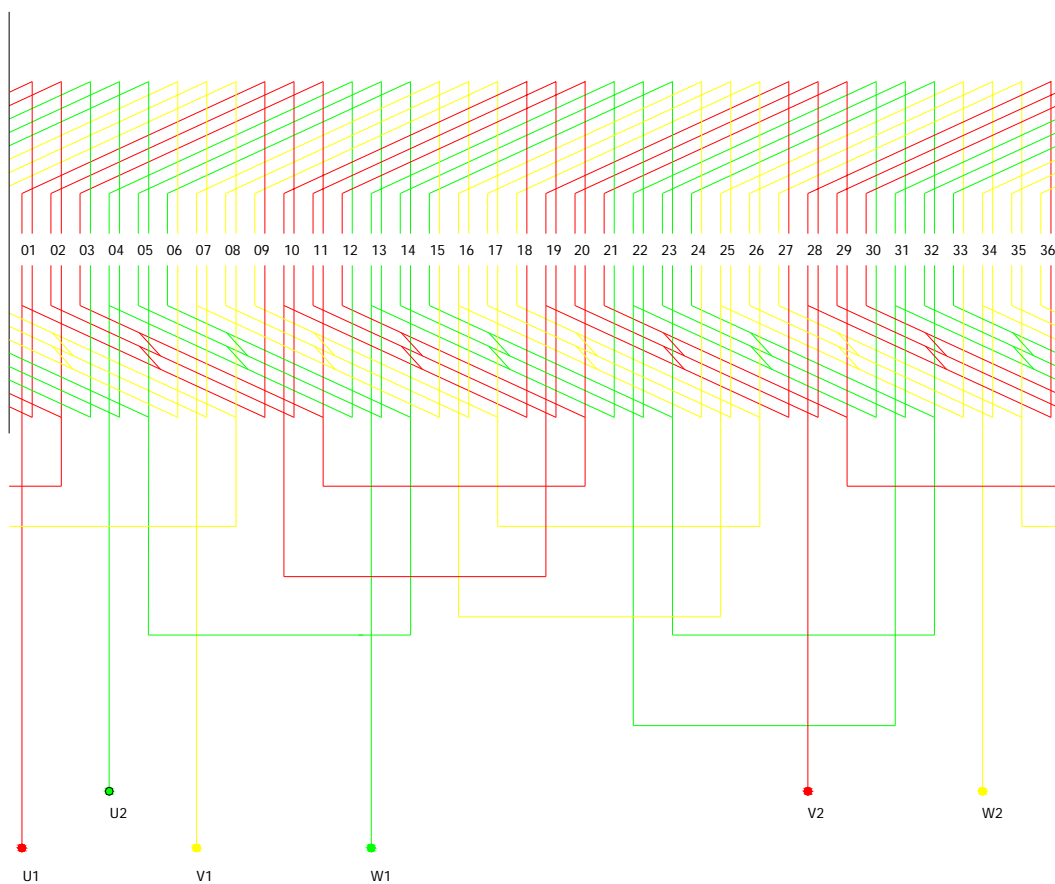
	$P = 0$ $P_{surl.+vent.} = \frac{P_n}{100}$	$\frac{1}{4}P$	$\frac{1}{2}P$	$\frac{3}{4}P$	$P_{névleges}$	$\frac{5}{4}P$	$s_{bill.}$	$s = 1$
$P_2 [W]$	0	2500	5000	7500	10000	12500	24339	0
$I_1 \text{ fázis } [A]$	4,82	5,48	7,00	9,03	11,40	14,05	49,45	69,06
$I_2' \text{ fázis } [A]$	0,09	2,22	4,52	6,93	9,47	12,17	46,09	64,66
$s [\%]$	0,04	0,98	2,01	3,11	4,30	5,60	31,42	100,0
$M [Nm]$	0	16,83	34,02	51,61	69,67	88,29	225,9	139,7
$n = (1-s) \cdot n_0 \left[\frac{1}{\min} \right]$	1499	1485	1470	1453	1436	1416	1029	0
$P_{r1} = 3 \cdot I_{1f}^2 \cdot R_1 [W]$ ($R_1 = 1,192 \Omega$)	83	108	175	291	465	706	8746	17057
$P_{r2} = 3 \cdot I_{2f}^2 \cdot R_2' [W]$ ($R_2' = 1,75 \Omega$)	0	26	107	252	470	777	11152	21956
$\sum P_{veszt} [W]$	531	581	730	992	1383	1931	20346	39461
$P_1 = P_2 + \sum P_{veszt} [W]$	531	3081	5730	8492	11383	14431	44685	39461
$\cos \varphi = \frac{P_1}{3 \cdot I_{1f} \cdot 400V}$	0,092	0,468	0,683	0,784	0,832	0,856	0,753	0,476
$\cos \varphi$ (koordináta geometrikus számítással):	0,078	0,457	0,687	0,796	0,849	0,874	0,732	0,450
$I_1 = \sqrt{3} \cdot I_{1f} [A]$	8,35	9,50	12,12	15,64	19,75	24,34	85,66	119,6
$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 [\%]$	0,00	81,14	87,25	88,32	87,85	86,62	54,47	0,00

A kiértékelt adatokból látható, hogy $\frac{Mi}{Mn} = \frac{139,78}{69,67} = 2,01 = 201\%$, tehát a feladat

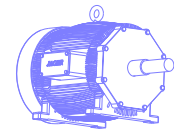
kiírásának ebben a tekintetben megfelel.



9.3 A tervezett aszinkron motor tekercselési vázlata



5.sz. ábra.



10. Szellőzőkerék méreteinek meghatározása

A szellőzőkerék méreteinek és szállítóteljesítményének meghatározásához szükséges adatok:

Állórész ház falvastagsága: 5mm

Bordák szélessége: 15 mm
(Tekintettel arra, hogy nem egyenletes szélességűek - a motor formatervezett alakja miatt – egy átlagos szélességet vettem alapul.)

A tengely hossza: $l_{\text{teng}}=360 \text{ mm}$

A vas hővezetési tényezője: $\lambda_{\text{vas}}=5 \text{ W/dm.C}^\circ$

A szigetelés hővezetési tényezője: $\lambda_{\text{szig}}=0,02 \text{ W/dm.C}^\circ$

A gépészeti rajzok alapján:

A bordákra húzható ventilátor búra átmérője: $D_{\text{búra}}=300 \text{ mm}$

A ventilátor külső átmérője: $d_{v2}=255 \text{ mm}$

A szellőzőkerék belépő átmérője: $d_{v1}=178,5 \text{ mm}$

A lapátszélesség a kilépő élnél: $b_{v2}=30 \text{ mm}$

A lapátszélesség a belépő élnél:

$$b_{v1} \approx \frac{d_{v2}}{d_{v1}} \cdot b_{v2} = \frac{255}{178,5} \cdot 30 = 43 \text{ mm}$$

A lapátok száma:

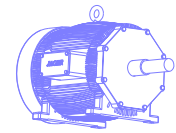
$$Z_v = \frac{d_{v2} + d_{v1}}{d_{v2} - d_{v1}} \cdot \pi = \frac{255 + 178,5}{255 - 178,5} \cdot \pi \approx 18 \text{ lapát}$$

A szellőzőkerék kilépő keresztmetszete:

$$A_{v2} = d_{v2} \cdot \pi \cdot b_{v2} = 0,255 \cdot \pi \cdot 0,03 = 0,02402 \text{ m}^2$$

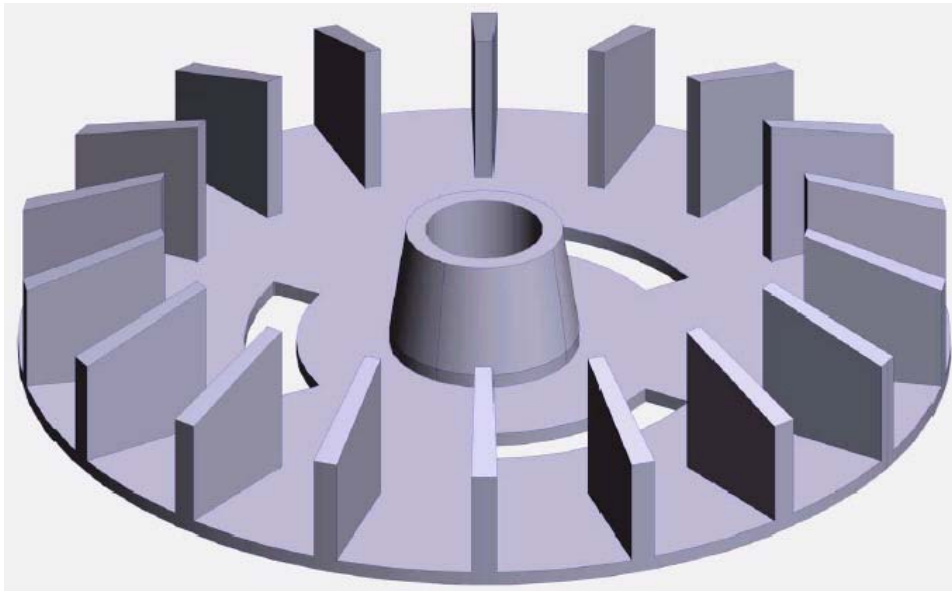
Kerületi sebesség:

$$v_{k2} = \frac{d_{v2} \cdot \pi \cdot n}{60} = \frac{0,255 \cdot \pi \cdot 1440}{60} = 19,21 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



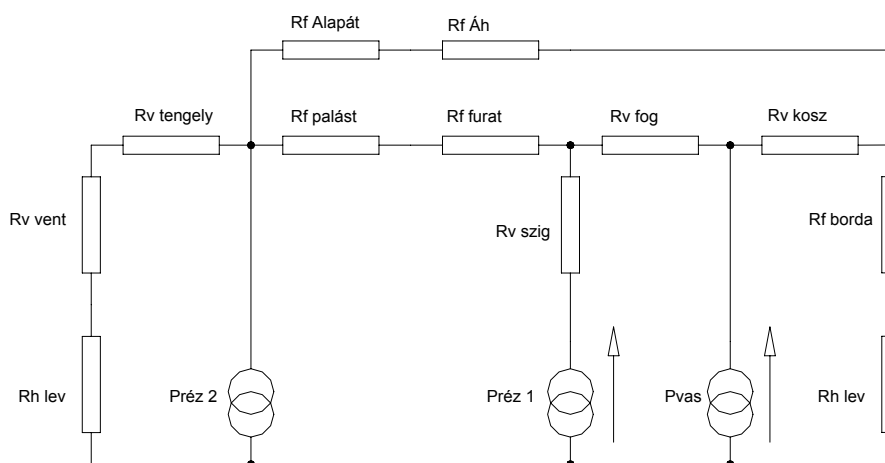
A szállított levegőmennyiség:

$$Q_{lev} \approx 0,2 \cdot A_{v2} \cdot v_{k2} = 0,2 \cdot 0,02402 \cdot 19,21 = 0,09232 \frac{m^3}{s}$$

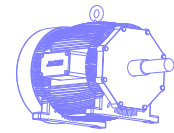


2. színes modell: A szellőzőkerék.

11. Ellenőrzés melegedésre



6.sz. ábra: Melegedés számításához szükséges hő modell vázlat.



Tengely felülete:

$$A_{tengely} = \frac{D_b^2 \cdot \pi}{4} = \frac{0,5^2 \cdot \pi}{4} = 0,1962 \, dm^2$$

A tengely hővezetéséből adódó hő ellenállás:

$$R_{vtengely} = \frac{l_{tengely}}{\lambda_{vas} \cdot A_{tengely}} = \frac{3,6}{5 \cdot 0,1962} = 3,6687 \, \frac{C^\circ}{W}$$

A ventilátor felülete:

$$\begin{aligned} A_{vent} &= A_{tárcsa} + Z_{lapát} \cdot A_{lapát} = \frac{\frac{d_{v2}^2 \cdot \pi}{4} \cdot 0,01 + Z_v \cdot 0,35 \cdot 2 \cdot \frac{(d_{v2} - d_{v1})}{2}}{100} = \\ &= \frac{\frac{255 \cdot \pi}{4} \cdot 0,01 + 18 \cdot 0,35 \cdot 2 \cdot \frac{255 - 178,5}{2}}{100} = 9,92 \, dm^2 \end{aligned}$$

A levegő sebessége:

$$\begin{aligned} v_{lev} &= \frac{Q_{lev}}{A_{lev}} = \frac{Q_{lev}}{A_{búra teljes felület} - A_{ventilátor telj. fel.}} = \frac{Q_{lev}}{\left(\frac{D_{búra}}{2}\right)^2 \cdot \pi - \left(\frac{d_{v2}}{2}\right)^2 \cdot \pi} = \\ &= \frac{0,09232}{\left(\frac{300}{2}\right)^2 \cdot \pi - \left(\frac{255}{2}\right)^2 \cdot \pi} = 4,706 \, \frac{m}{s} \end{aligned}$$

A levegőáramlási sebességéből adódó tényező:

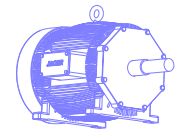
$$h_{vent} = \frac{1 + 0,1 \cdot v_{lev}}{3} = \frac{1 + 0,1 \cdot 4,706}{3} = 0,49 \, \frac{W}{dm \cdot C^\circ}$$

A ventilátor felületén keletkező hő lépcsőt figyelembe vevő ellenállás:

$$R_{fvent} = \frac{1}{h_v \cdot A_{vent}} = \frac{1}{0,49 \cdot 9,92} = 0,2024 \, \frac{C^\circ}{W}$$

A forgórész palást felszíne:

$$A_{pal} = D \cdot \pi \cdot l_v = 1,52 \cdot \pi \cdot 1,37 = 6,49 \, dm^2$$



A palást mentén a levegő sebessége:

$$v_{pal} = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{60} = \frac{0,152 \cdot \pi \cdot 1440}{60} = 11,33 \frac{m}{s}$$

A levegőáramlási sebességéből adódó tényező:

$$h_{pal} = \frac{1 + 0,1 \cdot v_{pal}}{3} = \frac{1 + 0,1 \cdot 11,33}{3} = 0,711 \frac{W}{dm^2 \cdot C^\circ}$$

A forgórész palástján keletkező hő lépcsőt figyelembe vevő ellenállás:

$$R_{fpal} = \frac{1}{h_{pal} \cdot A_{pal}} = \frac{1}{0,711 \cdot 6,49} = 0,216 \frac{C^\circ}{W}$$

A levegőáramlási sebességét figyelembe vevő tényező az állórész furatban:

$$h_{furat} = h_{pal} = 0,7118 \frac{W}{dm \cdot C^\circ}$$

A hő felvevő felület csökkenését figyelembe vevő tényező:

$$\frac{\tau_{h1} - c_1}{\tau_{h1}} = \frac{13,25 - 3}{13,25} = 0,773$$

Az állórész furatban keletkező hő lépcsőt figyelembe vevő ellenállás:

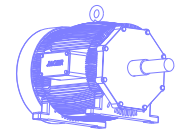
$$R_{furat} = R_{fpal} \cdot \frac{1}{0,773} = 0,216 \cdot \frac{1}{0,773} = 0,2796 \frac{C^\circ}{W}$$

A gyűrűre öntött lapát felszíne:

$$\begin{aligned} A_{Alapát} &= 2 \cdot (D_{gy} \cdot \pi \cdot v_{gy} + Z_{lapát} \cdot 2 \cdot b_{lapát} \cdot h) = \\ &= 2 \cdot (1,33 \cdot \pi \cdot 0,13 + 25 \cdot 2 \cdot 0,156 \cdot 0,13) = 3,113 dm^2 \end{aligned}$$

A levegő sebessége a gyűrű mentén:

$$v_{Alapát} = \frac{D_{gy} \cdot \pi \cdot n}{60} = \frac{0,133 \cdot \pi \cdot 1440}{60} = 10,38 \frac{m}{s}$$



A levegőáramlási sebességéből adódó tényező:

$$h_{Alapát} = \frac{1 + 0,1 \cdot v_{Alapát}}{3} = \frac{1 + 0,1 \cdot 10,38}{3} = 0,679 \frac{W}{dm^2 \cdot C^{\circ}}$$

A rövidre záró gyűrűkre öntött lapátok felületén kialakuló hő lépcsőt figyelembe vevő ellenállás:

$$R_{fAlapát} = \frac{1}{h_{Alapát} \cdot A_{Alapát}} = \frac{1}{0,679 \cdot 3,113} = 0,472 \frac{C^{\circ}}{W}$$

Csapágypajzs belső felülete:

$$A_{Ah} = 2 \cdot \left(D_k \cdot \pi \cdot l_b + \frac{D_k^2 \cdot \pi}{4} \right) = 2 \cdot \left(2,45 \cdot \pi \cdot 0,5 + \frac{2,45^2 \cdot \pi}{4} \right) = 17,11 dm^2$$

A levegő sebessége bizonytalan, ezért a biztonság javára tévedek, ha álló levegővel számolok.

$$V_{lev} = 0 m/s$$

A levegőáramlási sebességéből adódó tényező:

$$h_{Ah} = \frac{1 + 0,1 \cdot v_{Alapát}}{3} = \frac{1 + 0,1 \cdot 0}{3} = 0,333 \frac{W}{dm^2 \cdot C^{\circ}}$$

A csapágypajzsok belső felületén a belső légtérből felvett hőáramlás okozta hő lépcsőt figyelembe vevő ellenállás:

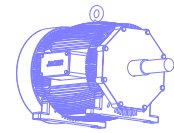
$$R_{fAh} = \frac{1}{h_{Ah} \cdot A_{Ah}} = \frac{1}{0,333 \cdot 17,11} = 0,175 \frac{C^{\circ}}{W}$$

A horonyszigetelés hő átadó felülete:

$$A_{szig} = Z_1 \cdot (R_1 \cdot \pi + 2 \cdot h_{11}) \cdot l_v = 36 \cdot (4,8 \cdot \pi + 2 \cdot 14) \cdot 1,37 = 21,24 dm^2$$

A horonyszigetelés hőátadását figyelembe vevő ellenállás:

$$R_{vszig} = \frac{\delta_{szig}}{\lambda_{szig} \cdot A_{szig}} = \frac{0,005}{0,02 \cdot 21,24} = 0,00705 \frac{C^{\circ}}{W}$$



A hővezetés hossza a fogakban:

$$l_{fog} = h_{11} + R_2 + h_{14} = 0,14 + 0,036 + 0,0074 = 0,183 \text{ dm}$$

A hővezetésben résztvevő fogak felülete:

$$A_{fog} = Z_1 \cdot f_1 \cdot l_v = 36 \cdot 0,0674 \cdot 1,37 = 3,327 \text{ dm}^2$$

A fogak hővezetését figyelembe vevő ellenállás:

$$R_{vfog} = \frac{l_{fog}}{\lambda_{vas} \cdot A_{fog}} = \frac{0,183}{5 \cdot 3,327} = 0,011 \frac{C^\circ}{W}$$

A hővezetés hossza a koszorúban:

$$l_{kosz} = h_{k1} = 0,237 \text{ dm}$$

A hővezetés keresztmetszete:

$$A_{kosz} = l_{v1} \cdot (D_k - h_{k1}) \cdot \pi = 1,37 \cdot (2,45 - 0,237) \cdot \pi = 9,526 \text{ dm}^2$$

A koszorú hőátadását figyelembevevő ellenállás:

$$R_{vkosz} = \frac{l_{kosz}}{\lambda_{vas} \cdot A_{kosz}} = \frac{0,237}{5 \cdot 9,526} = 0,0049 \frac{C^\circ}{W}$$

Egy borda felülete:

$$A_{borda} = 2 \cdot m_{borda} \cdot l_{Aház} = 2 \cdot 0,15 \cdot 2,9 = 1,979 \text{ dm}^2$$

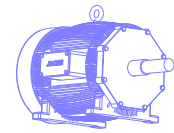
A bordák száma: $Z_{borda}=144$

Az összes bordák felülete: $\Sigma A = Z_{borda} \cdot A_{borda} = 152,401 \text{ dm}^2$

A bordák között a levegőáramlási sebessége bizonytalan, ezért a biztonság javára tévedek, ha a kilépő levegősebesség felével számolok.

A levegő sebességét figyelembe vevő tényező:

$$h = \frac{1 + 0,1 \cdot \frac{v_{lev}}{2}}{3} = \frac{1 + 0,1 \cdot \frac{4,706}{2}}{3} = 0,411 \frac{W}{\text{dm}^2 \cdot C^\circ}$$



Az állórész ház külső felületén keletkező hő lépcsőt leképező ellenállás:

$$R_{fborda} = \frac{1}{h \cdot \sum A} = \frac{1}{0,411 \cdot 152,401} = 0,0159 \frac{C^\circ}{W}$$

A hűtőlevegő felmelegedését figyelembe vevő ellenállás:

$$R_{hlev} = \frac{1}{1160 \cdot Q_{lev}} = \frac{1}{1160 \cdot 0,09232} = 0,0093 \frac{C^\circ}{W}$$

A gép vasvesztése:

$$P_{vas} = 347,9 \text{ W}$$

Az állórész tekercsvesztése:

$$P_{r1} = 464,7 \text{ W}$$

A forgórész tekercsvesztése a kördiagram alapján:

$$P_{r2} = 470 \text{ W}$$

A melegedés számításához felírható egyenletrendszer:

$$I. \quad P_{t2} = I_1 + I_2 + I_3$$

$$II. \quad I_4 = P_{t1} + I_2$$

$$III. \quad I_5 = P_{vas} + I_4$$

$$IV. \quad I_6 = I_5 + I_3$$

$$V. \quad (R_{flev} + R_{fvent} + R_{vteng}) \cdot I_1 = (R_{fAlapát} + R_{fÁh}) \cdot I_3 + (R_{fborda} + R_{hlev}) \cdot I_6$$

$$VI. \quad (R_{fAlapát} + R_{fÁh}) \cdot I_3 = R_{vfog} \cdot I_4 + R_{vkosz} \cdot I_5 + (R_{fpal} + R_{ffurat}) \cdot I_2$$

ahhol:

$$I_1 = 41,05$$

$$I_2 = 231,90$$

$$I_3 = 197,45$$

$$I_4 = 696,66$$

$$I_5 = 1044,56$$

$$I_6 = 1242,02$$

Az egyenletrendszer megoldása:

Az egyes pontok hőmérséklete („feszültsége”) a hőáramok és a hozzá tartozó hőellenállások szorzatai.

Így:

Az alumínium hőmérséklete:

$$v_{Al} = 159,30 C^\circ$$

A réz hőmérséklete:

$$v_{Cu} = 47,54 C^\circ$$

A fogak hőmérséklete:

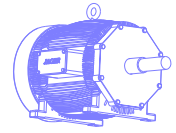
$$v_{fog} = 44,26 C^\circ$$

A vas hőmérséklete:

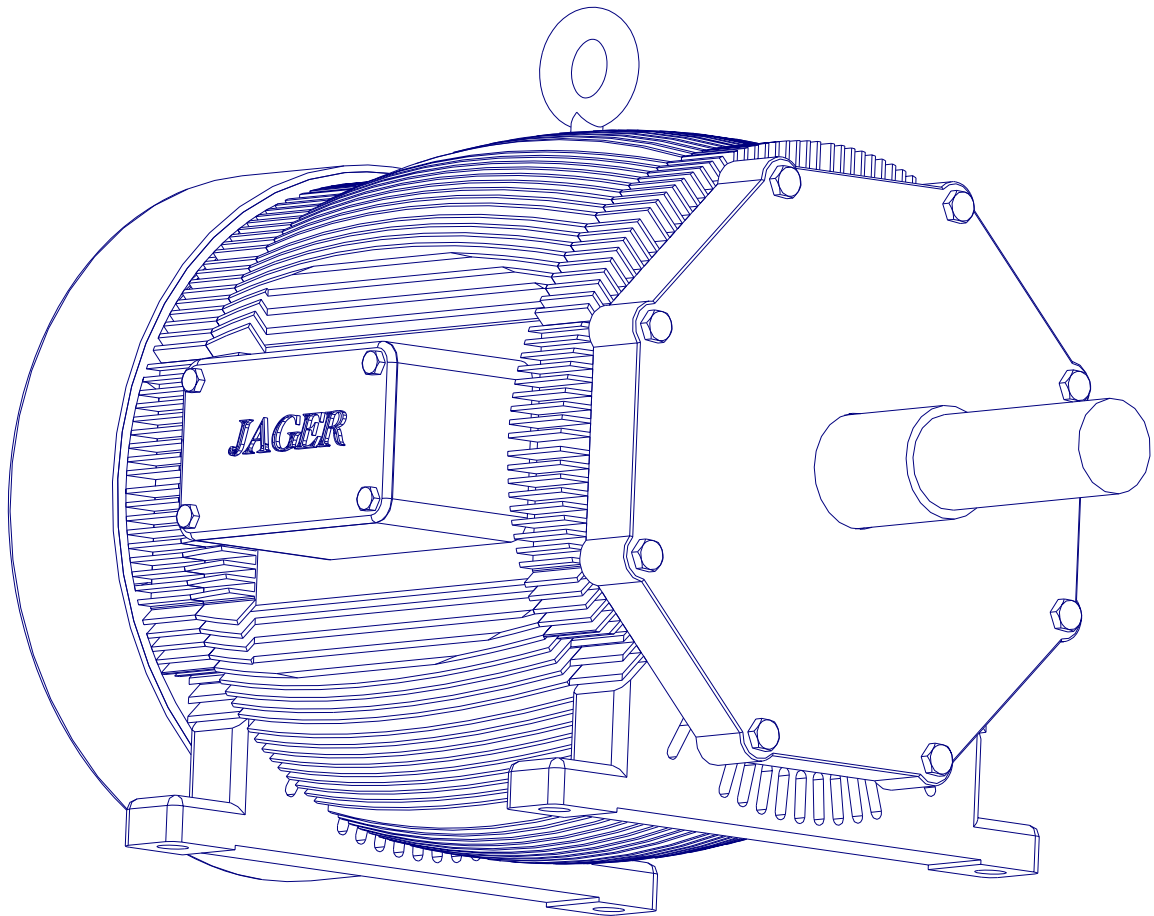
$$v_{Fe} = 36,58 C^\circ$$

A burkolat hőmérséklete:

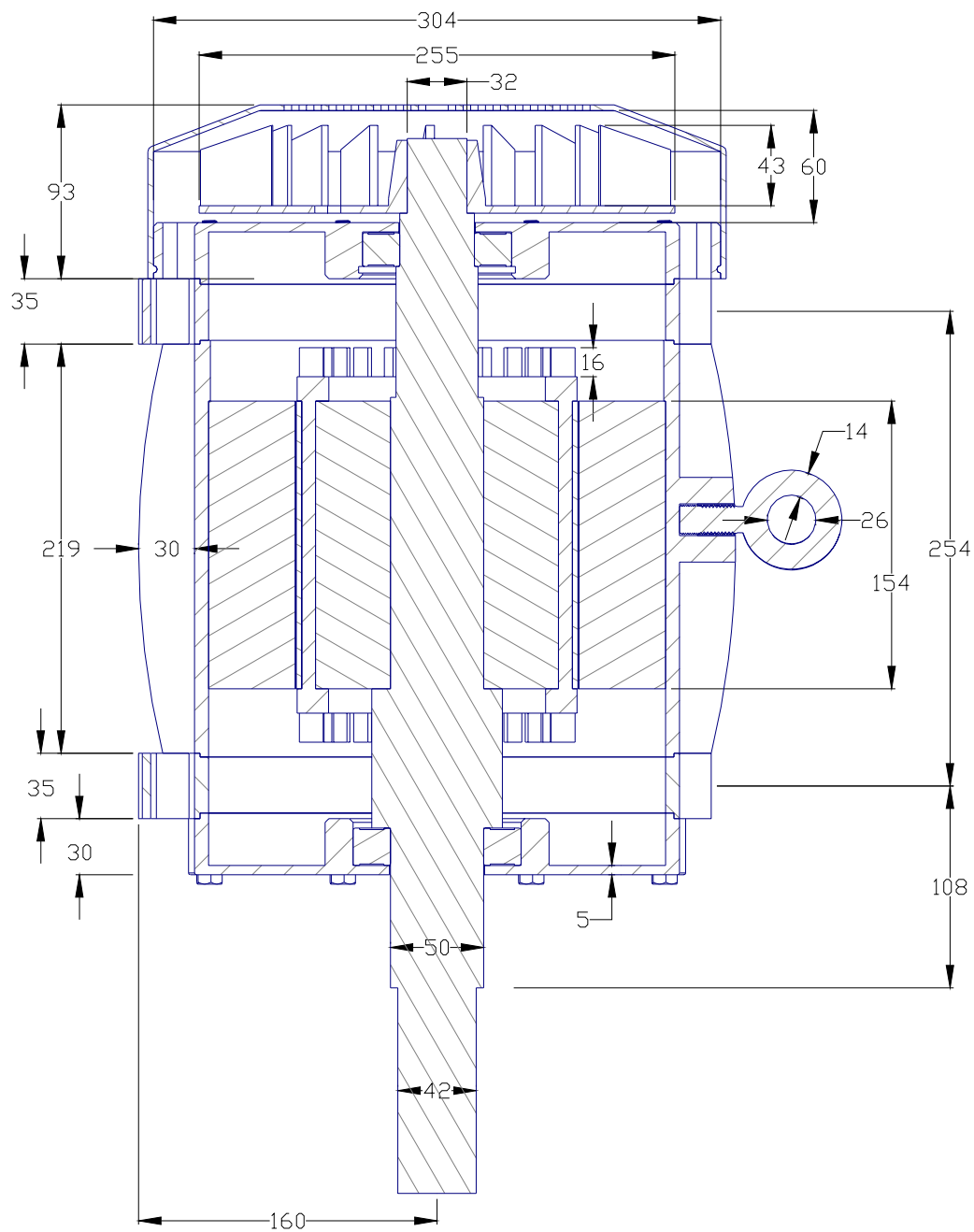
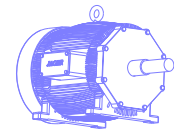
$$v_{burkolat} = 31,38 C^\circ$$



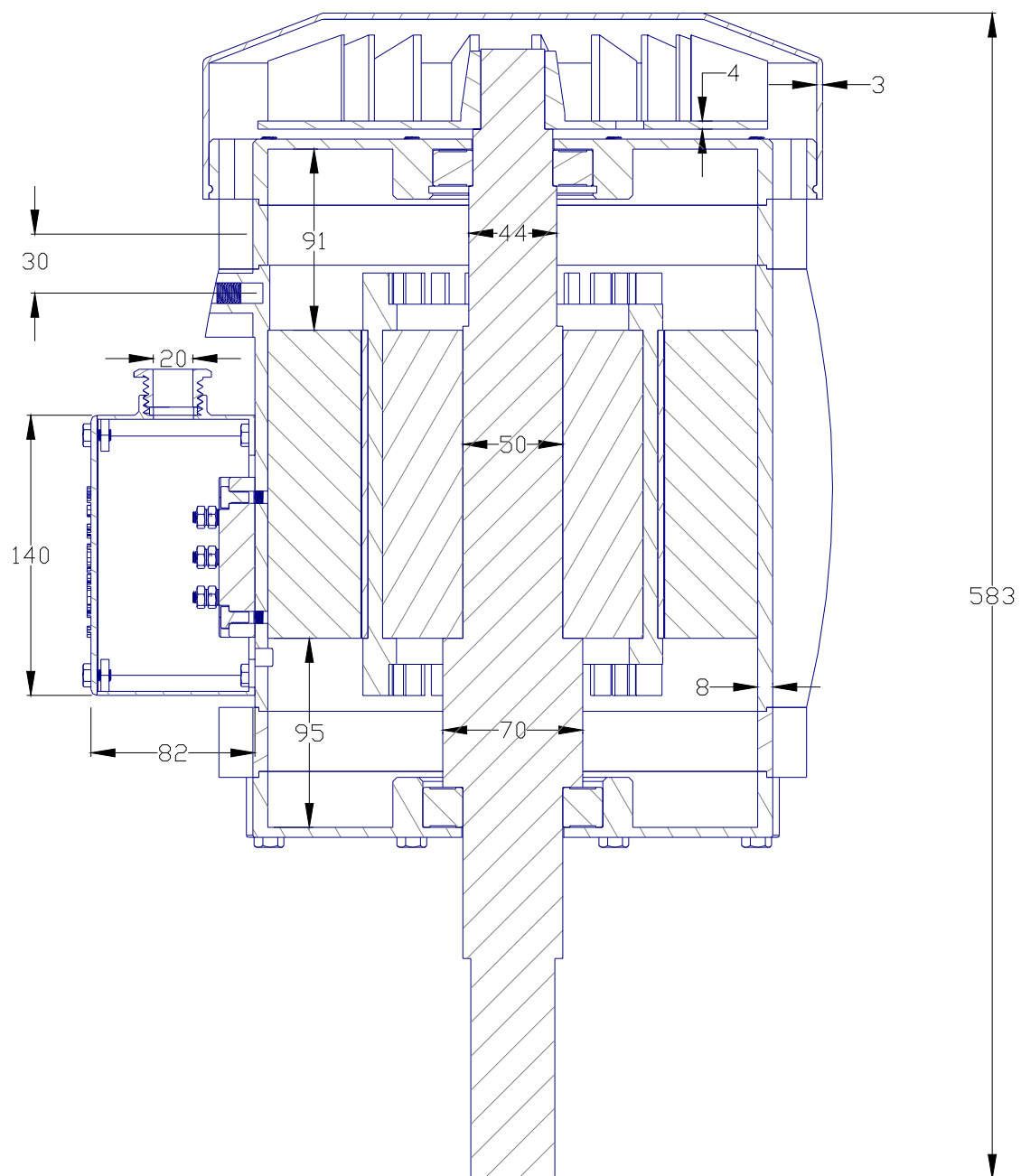
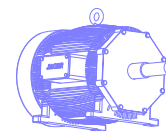
12. *A tervezett motor főtervei, főbb méretek*



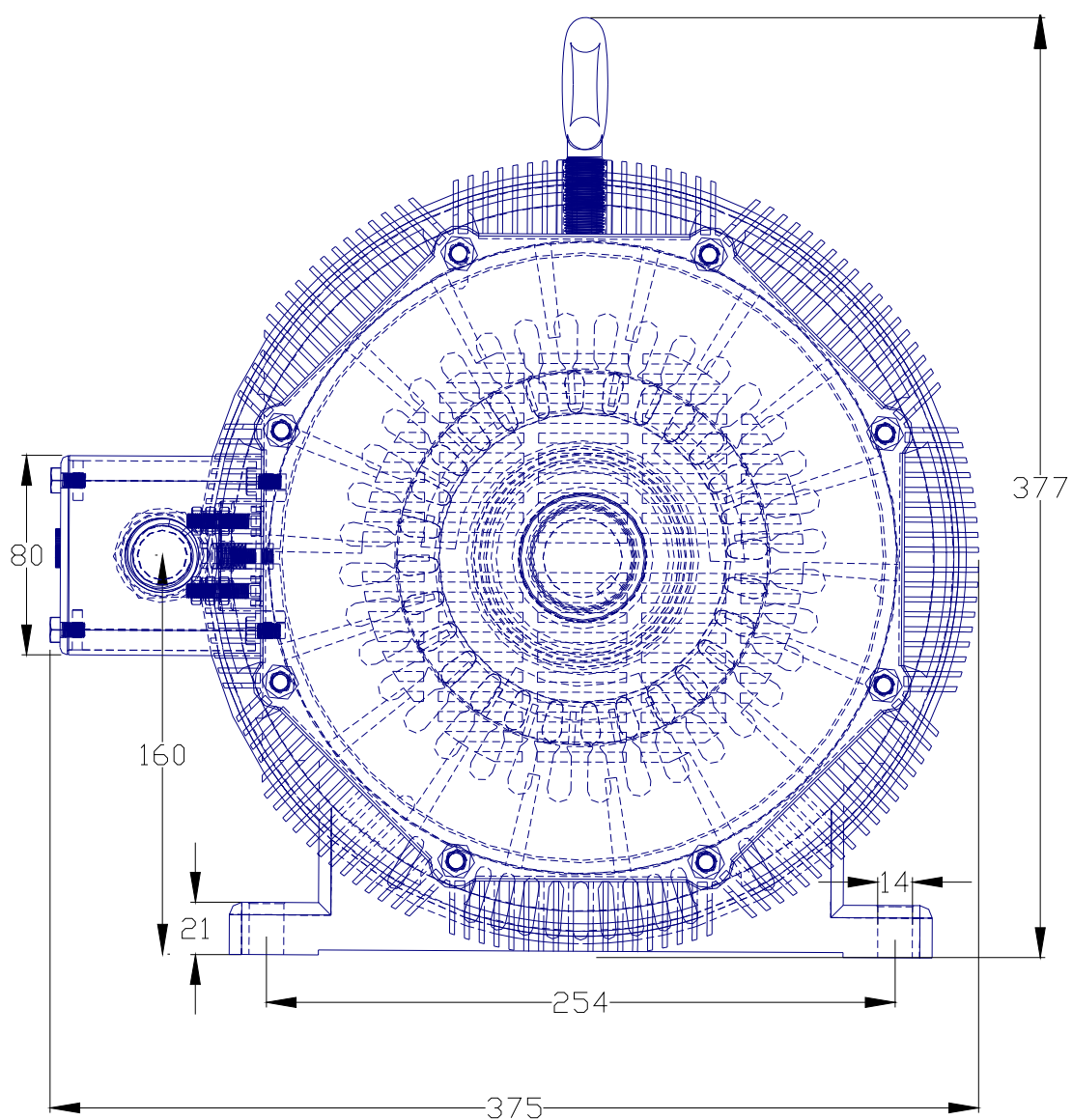
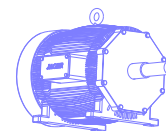
7.sz. ábra
10 kW aszinkron motor axonometrikus vetülete



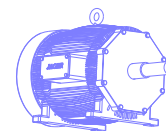
8.sz.ábra
Főbb méretek I.



9. sz. ábra
Főbb méretek II.

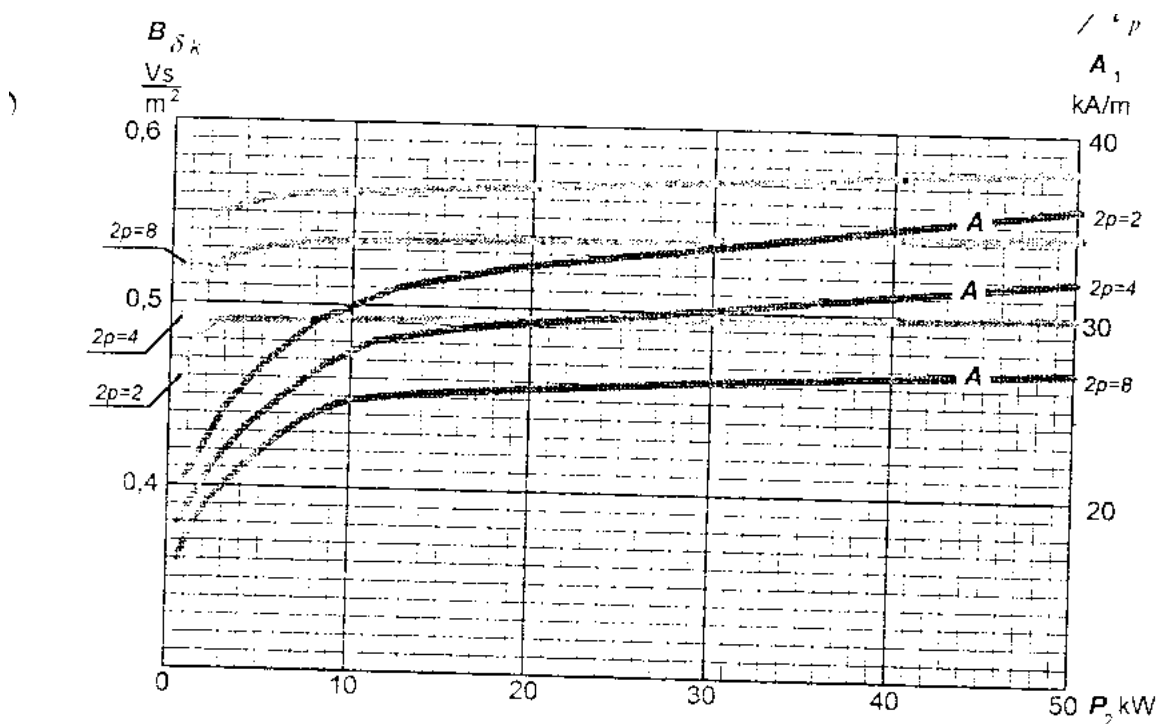


10. sz. ábra
Főbb méretek III.

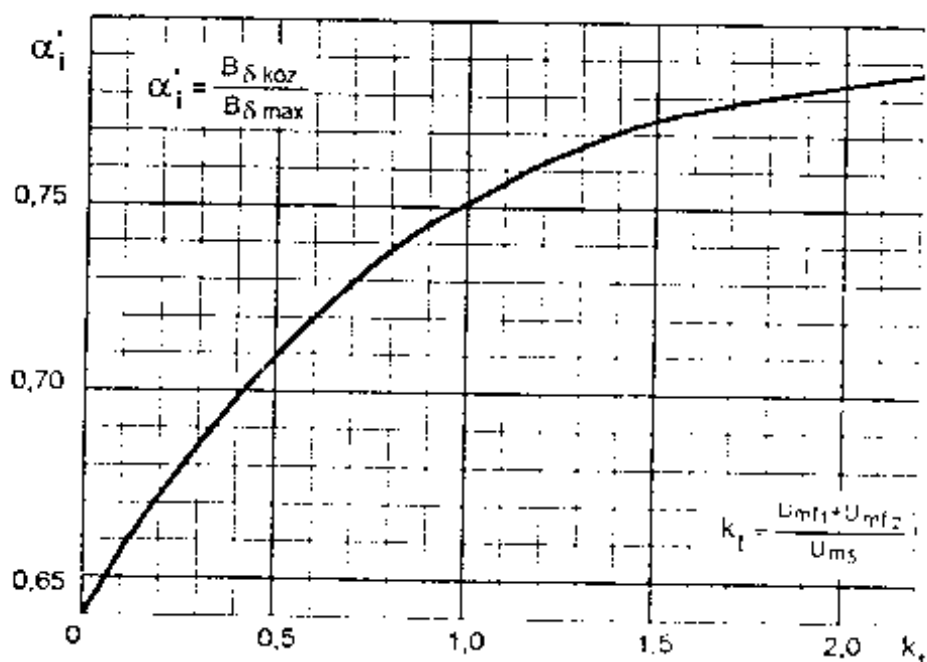


13. Mellékletek; táblázatok a motor villamos számításaihoz

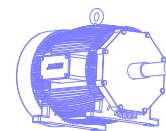
1. sz. táblázat: $B_{\delta k}$, A_1 a teljesítmény (P_2) függvényében



2. sz. táblázat: α_i' a k_t függvényében (indukciós motorok belapulási tényezője)



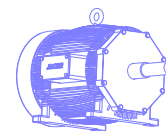
(Forrás: Dr. Nagy Lóránt – Gemeter Jenő: Automatizálás villamos gépei)



3. sz. táblázat: Három fázisú tekercselések tekercselési tényezői:

q	S/τ_p	ξ_c	ξ_h	ξ
2	1	0,966	1	0,966
	5/6		0,966	0,933
	2/3		0,866	0,837
3	1	0,960	1	0,960
	8/9		0,985	0,945
	7/9		0,940	0,902
	2/3		0,866	0,831
4	1	0,958	1	0,958
	11/12		0,992	0,950
	5/6		0,966	0,925
	3/4		0,924	0,885
	2/3		0,866	0,829
5	1	0,957	1	0,957
	14/15		0,995	0,951
	13/15		0,979	0,936
	4/5		0,951	0,910
	11/15		0,914	0,874
	2/3		0,866	0,829

(Forrás: Dr. Nagy Lóránt – Gemeter Jenő: Automatizálás villamos gépei)



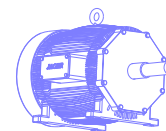
4. sz. táblázat: lemezcsomag kiválasztásához szükséges táblázat

Zárt aszinkronmotorok tájékoztató adatai 100...200 mm tengelymagasságig.

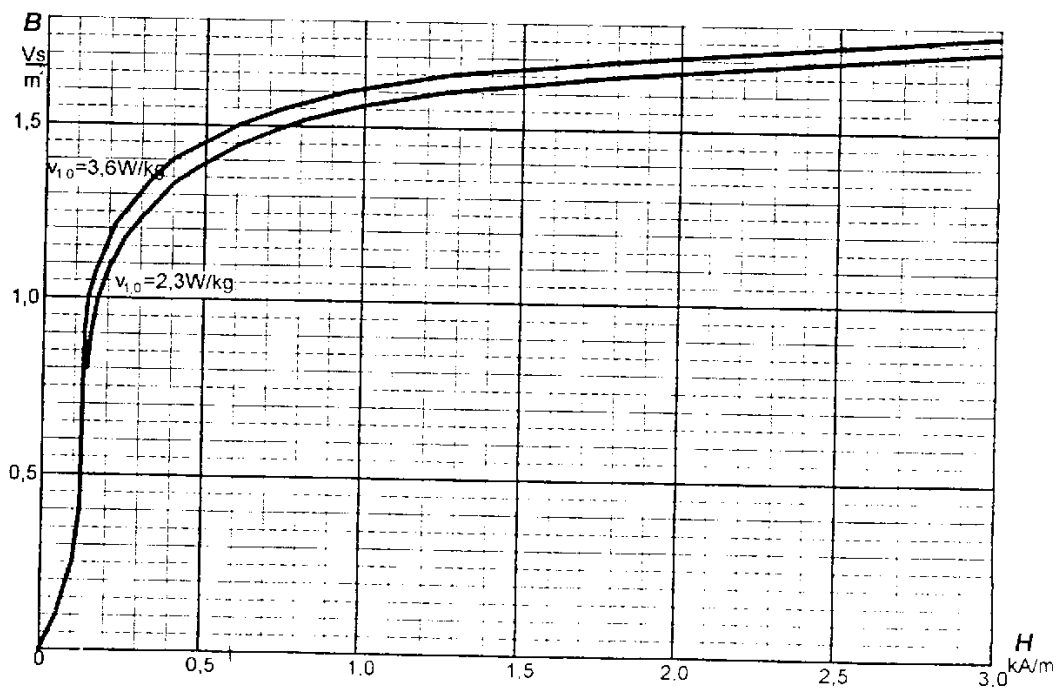
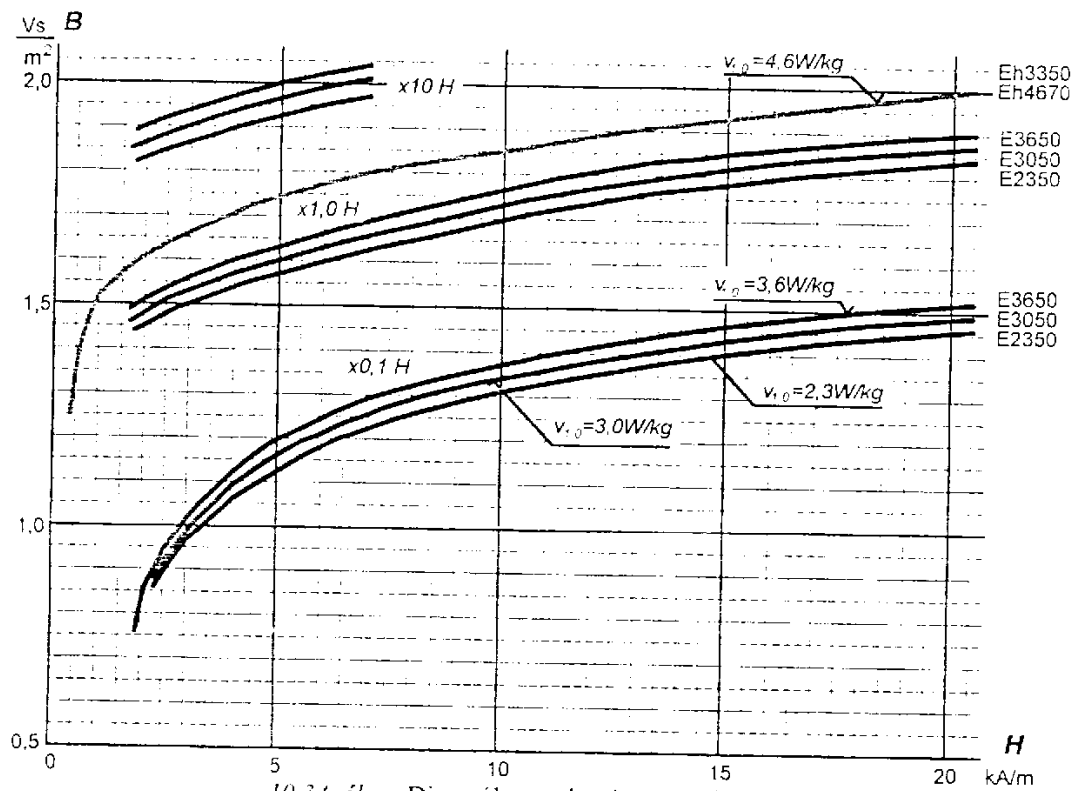
(3x400V, f=50Hz, kapcsolás 3kW-ig Y, felette Δ, 6 kivezetés.)

H mm	P ₂ kW	n 1/min	I A	cosφ	η %	I _i /I _n	M _n Nm	M _i /M _n	M ₁₀₀ /M _n	Állórész Ø külső/furat	Csapágyazas Ho./Ileo.
100L	3	2870	6,2	0,84	81	6,5	10,0	2,2	3,0	148/89	2x6206 2Z
112M	4	2890	8	0,86	85	6,8	13,2	2,4	3,0	170/104	2x6206 2Z
132S	5,5	2890	11,2	0,84	84	6,5	18,2	2,5	3,3	200/122	2x6208 2Z
132M	7,5	2860	15	0,85	85	6,0	25,0	2,5	3,3	200/112	2x6208 2Z
160S	11	2920	21	0,87	87	6,0	36,0	2,3	3,0	245/152	6210/6208 2Z
160M	15	2930	28	0,88	88	7,2	48,9	2,8	3,4	245/152	6210/6208 2Z
160L	18,5	2930	34	0,88	90	7,6	60,3	2,9	3,4	245/152	6210/6208 2Z
180M	22	2965	39	0,90	91	8,0	71,0	3,0	3,5	280/158	6311/6309 Z
200M	30	2960	52	0,91	91	7,6	97,0	2,1	3,3	320/175	6313/6211 Z
200L	37	2965	64	0,90	93	7,5	119,2	2,5	3,5	320/175	6313/6211 Z
100M	2,2	1425	5,4	0,76	78	5,2	14,7	1,8	2,4	148/89	2x6206 2Z
100L	3	1435	6,7	0,81	80	5,5	20,0	2,0	2,7	148/89	2x6206 2Z
112M	4	1440	8,6	0,81	83	6,2	26,5	2,4	3,0	170/104	2x6206 2Z
132S	5,5	1450	11,5	0,83	85	6,3	36,2	2,1	2,9	200/122	2x6208 2Z
132M	7,5	1455	15,2	0,83	86	6,5	49,2	2,4	3,2	200/122	2x6208 2Z
160M	11	1460	22	0,84	88	7,0	72,0	2,0	3,2	245/152	6210/6208 2Z
160L	15	1460	29	0,84	90	7,5	98,1	2,1	3,1	245/152	6210/6208 2Z
180M	18,5	1475	35	0,85	90	6,6	119,8	2,2	3,0	280/182	6211/6209 Z
180L	22	1475	42	0,84	91	6,8	142,4	2,3	2,8	280/182	6211/6209 Z
200L	30	1475	58	0,82	92	7,0	194,2	2,4	2,4	320/195	6213/6211 Z
100L	1,5	960	4	0,72	78	5,0	15,0	1,7	2,5	148/98	2x6206 2Z
112M	2,2	960	5,2	0,75	81	5,0	21,9	2,0	2,4	170/116	2x6206 2Z
132S	3	960	6,7	0,79	83	6,0	30,0	2,0	2,6	200/140	2x6208 2Z
132M	4	950	8,6	0,80	84	6,0	40,2	2,0	2,6	200/140	2x6208 2Z
132L	5,5	950	11,7	0,80	85	6,0	55,3	2,3	2,7	200/140	2x6208 2Z
160M	7,5	975	16,6	0,75	87	6,0	73,5	2,3	2,8	245/178	6210/6208 2Z
160L	11	980	24	0,77	88	6,5	107,2	2,1	2,7	245/178	6210/6208 2Z
180L	15	075	30	0,80	88	6,5	147,8	1,9	2,4	280/202	6211/6209 Z
200M	18,5	980	35	0,84	90	5,5	180,3	2,2	2,0	320/223	6213/6211 Z
200L	22	980	41	0,85	91	5,8	214,4	2,2	2,1	320/223	6213/6211 Z
100M	0,75	715	2,4	0,64	70	3,5	10,0	1,4	2,2	148/98	2x6206 2Z
100L	1,1	710	3,3	0,67	72	3,5	14,8	1,5	2,2	148/98	2x6206 2Z
112M	1,5	715	4,5	0,67	75	3,9	20,0	1,6	2,3	170/116	2x6206 2Z
132S	2,2	705	5,7	0,70	81	5,0	29,8	1,9	2,4	200/146	2x6208 2Z
132M	3	705	7,6	0,71	81	4,8	40,6	1,7	2,3	200/146	2x6208 2Z
160S	4	730	9,5	0,72	84	4,0	52,3	1,4	2,0	245/178	6210/6208 2Z
160M	5,5	730	13	0,72	85	4,5	72,0	1,5	2,0	245/178	6210/6208 2Z
160L	7,5	730	17	0,76	86	4,5	98,0	1,5	1,9	245/178	6210/6208 2Z
180L	11	725	25	0,75	86	4,8	145,0	1,7	2,2	280/202	6211/6209 Z
200L	15	725	32	0,76	87	4,5	198,0	2,1	1,9	320/223	6213/6211 Z

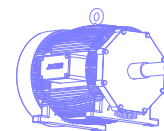
(Forrás: Dr. Nagy Lóránt – Gemeter Jenő: Automatizálás villamos gépei)



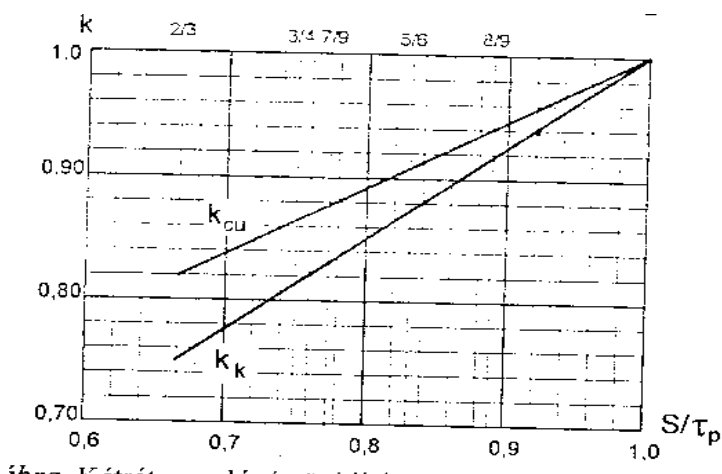
5. sz.. táblázat: Mágnesezési görbék



(Forrás: Dr. Nagy Lóránt – Gemeter Jenő: Automatizálás villamos gépei)



6. sz. táblázat: A kétréteges lépésrövidített tekercselések horonyszórásának számításához szükséges tényezők értékei



7. sz. táblázat: A tekercsfejszórás reaktanciájához szükséges X_{st} érték

Állórész Forgórész	$\frac{3s}{3s}$	$\frac{2s}{2s}$	$\frac{2s}{2r}$	$\frac{2r}{2r}$	$\frac{3s}{k}$	$\frac{2s}{k}$	$\frac{2r}{k}$
$\lambda_s \cdot 10^{-6} \text{ H/m}$	0,41	0,54	0,45	0,42	0,40	0,43	0,41

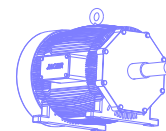
8. sz. táblázat: A légrésszórási tényező értékei

Lépés rövidítés	$q-Zm \cdot 2p$							
horony	1	2	3	4	5	6	7	8
0	9,66	2,84	1,40	0,89	0,64	0,52	0,44	0,38
1	9,66	2,36	1,15	0,73	0,55	0,45	0,34	0,30
2		2,84	1,11	0,64	0,44	0,35	0,26	0,22
3			1,40	0,69	0,41	0,29	0,23	0,18
4				0,89	0,50	0,31	0,25	0,18
5					0,64	0,40	0,31	0,23
6						0,52	0,38	0,28

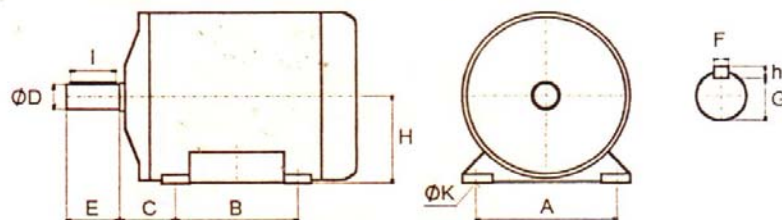
9. sz. táblázat: Δ csillapítási tényező értékei

Z_2/p	5	10	15	20	30
$q_1=3$	0,95	0,9	0,85	0,8	0,7
$q_1=8$	0,75	0,7	0,65	0,6	0,5

(Forrás: Dr. Nagy Lóránt – Gemeter Jenő: Automatizálás villamos gépei)

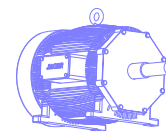


10.sz. táblázat: Talpas motorok szabványos csatlakozó méretei

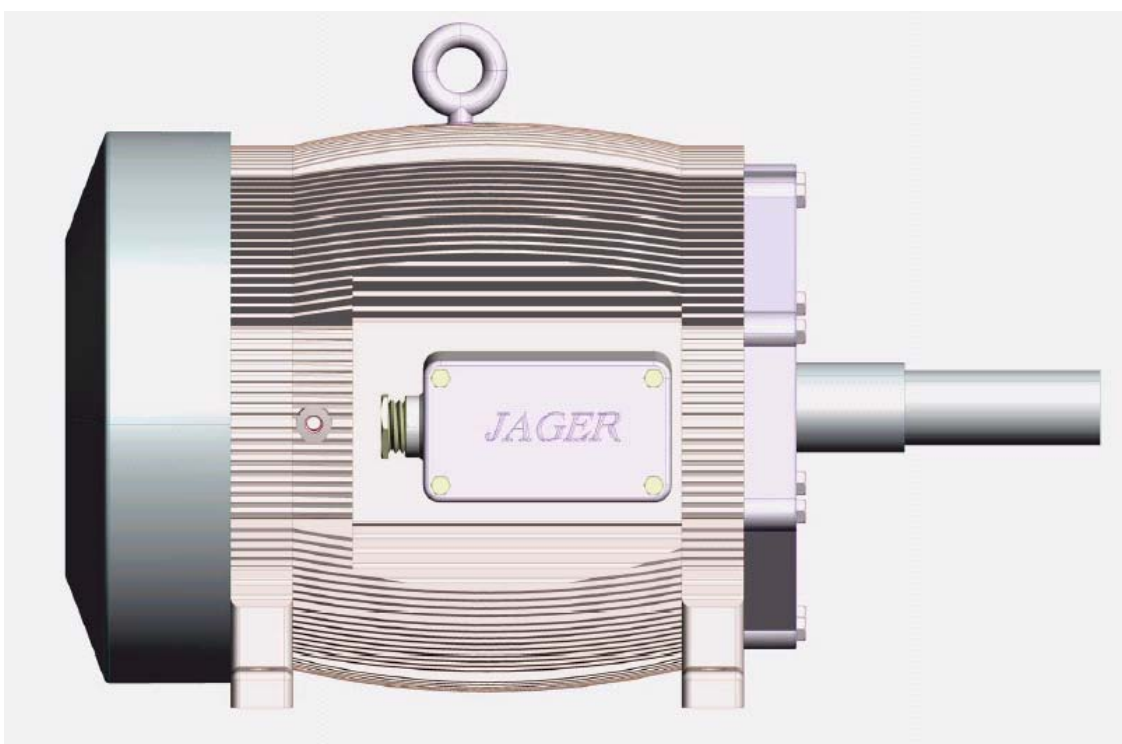
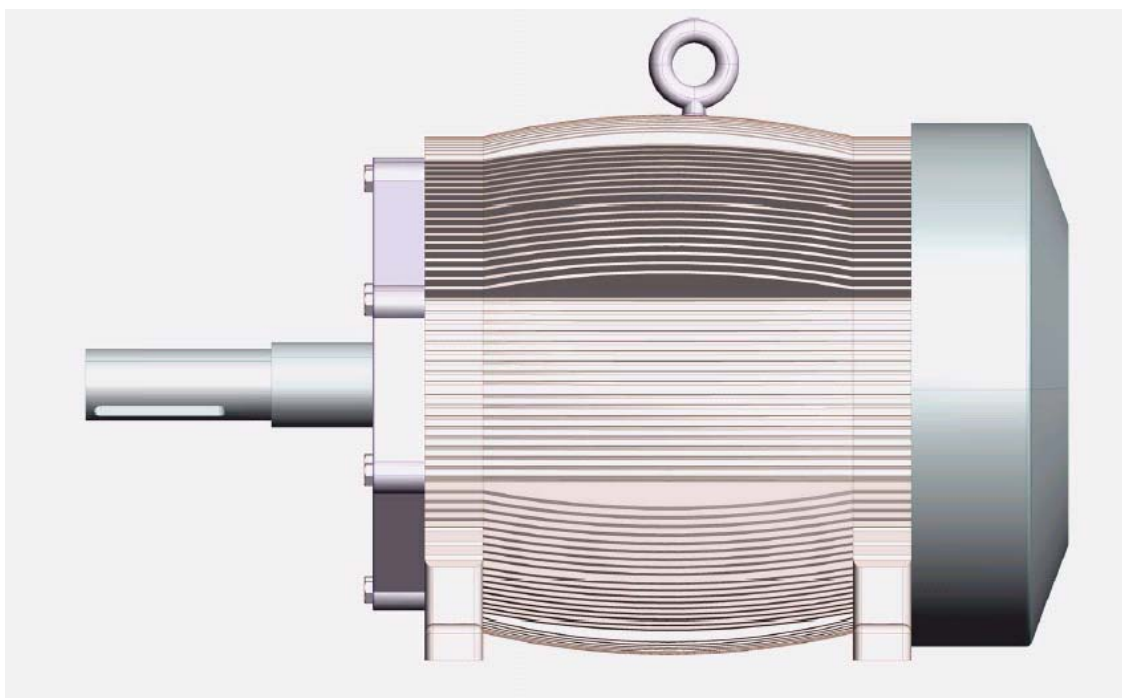


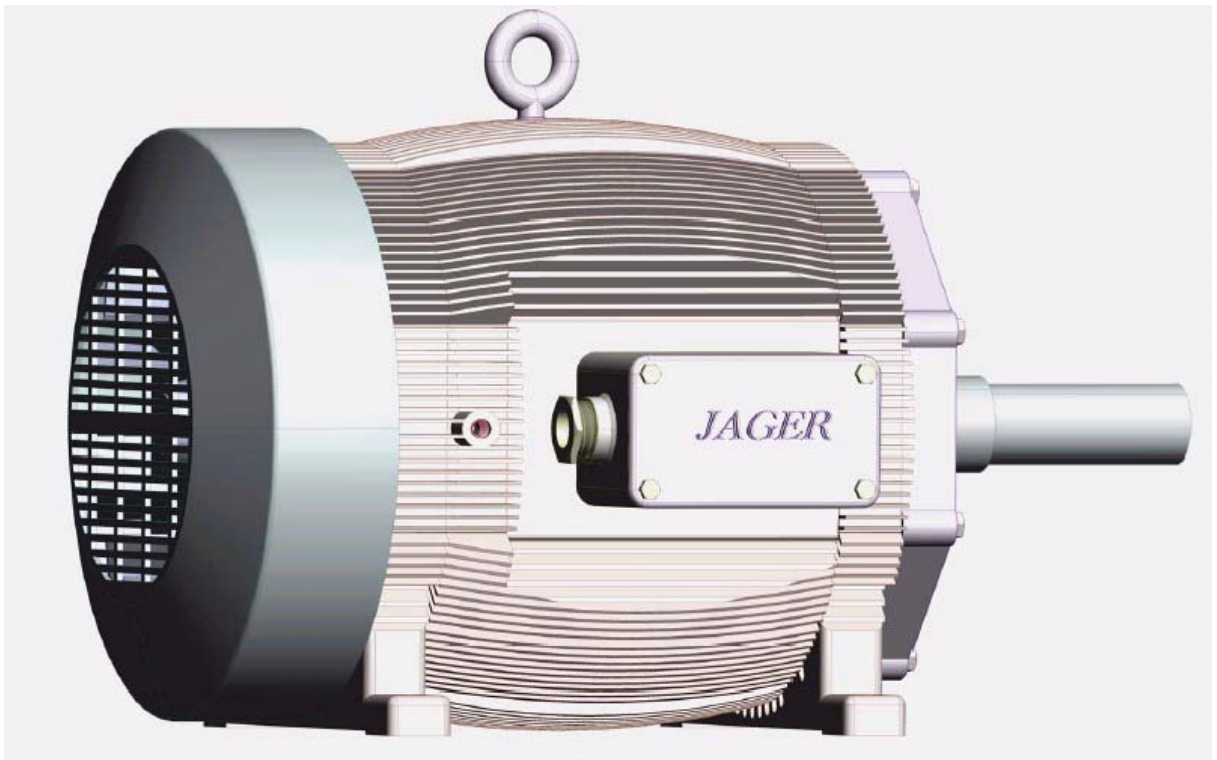
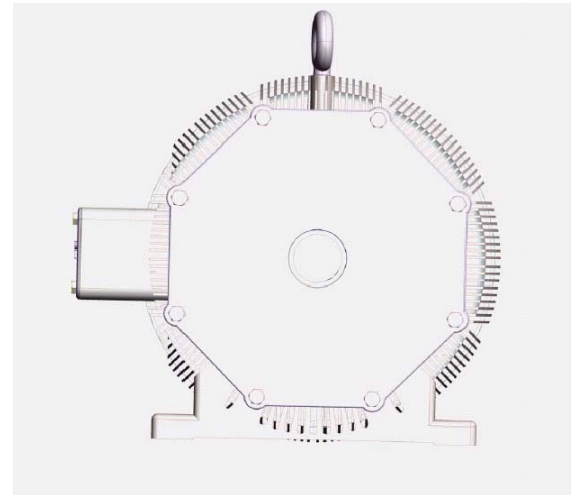
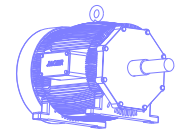
H	A	B	C	ØD	E	Fxhxl	G	ØK
56	90	71	36	11	23	4x4x18	8,5	7
63	100	80	40	14	23	5x5x25	11	7
71	112	90	45	14	30	5x5x25	11	7
80	125	100	50	19	40	6x6x36	15,5	9
90 S	140	100	56	24	50	8x7x45	20	9
90 L	140	125	56	24	50	8x7x45	20	9
100	160	140	63	28	60	8x7x50	24	12
112	190	140	70	28	60	8x7x50	24	12
132 S	216	140	89	38	80	10x8x63	33	12
132 M	216	178	89	38	80	10x8x63	33	12
160 S	254	178	108	42	110	12x8x90	37	14
160 M	254	210	108	42	110	12x8x90	37	14
160 L	254	254	108	42	110	12x8x90	37	14
180 S	279	203	121	48	110	14x9x90	43	15
180 M	279	241	121	48	110	14x9x90	43	15
180 L	279	279	121	48	110	14x9x90	43	15
200 S	318	228	133	55	110	16x10x90	50	18
200 M	318	267	133	55	110	16x10x90	50	18
200 L	318	305	133	55	110	16x10x90	50	18
225 S	356	286	149					18
225 M		311						
225 L		356						
250 S	406	311	168					22
250 M		349						
250 L		406						
280 S	457	368	190					22
280 M		419						
280 L		457						

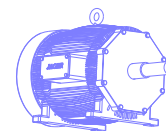
(Forrás: Dr. Nagy Lóránt – Gemeter Jenő: Automatizálás villamos gépei)



14. *Komplett motor modell rajzai*







Tököl, 2006 április 25