

**MISKOLCI EGYETEM  
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR  
Szerszámgépek Tanszéke**

**FORGÁCSOLÓ SZERSZÁMGÉPEK  
FOKOZATNÉLKÜLI FŐHAJTÓMŰVEI**

Oktatási segédlet

Dr. Jakab Endre  
egyetemi docens

Miskolc, 2000-2002

## TARTALOMJEGYZÉK

Bevezetés.....	4
<b>1. Főhajtóművek funkciói, rendszerezése.....</b>	<b>6</b>
1.1 Főhajtóművek funkciói.....	6
1.2 Főhajtóművek rendszerezése.....	7
1.3 Főhajtóművek funkcióvázlatai blokkvázlatai).....	9
<b>2. Főhajtóművek forgácsolási- és teljesítményviszonyai.....</b>	<b>12</b>
2.1 Forgácsolási- és teljesítményviszonyok.....	12
<b>3. Fokozatos főhajtóművek teljesítmény- és nyomatékviszonyai.....</b>	<b>17</b>
<b>4. Motorok.....</b>	<b>19</b>
4.1 Aszinkron motorok.....	20
4.2 Egyenáramú motoros főhajtások.....	22
4.2.1 Állandó mágneses egyenáramú motoros főhajtások.....	26
4.3 Frekvenciaváltós aszinkron motoros főhajtások.....	27
4.3.1 Aszinkrongépes motororsók.....	31
4.4 Szinkron motoros főhajtások.....	32
4.5 Motorok kiválasztása.....	34
<b>5. Fokozatnélküli főhajtóművek tervezése.....</b>	<b>37</b>
5.1 Főhajtóművek kinematikai tervezése.....	37
5.2 Motorteljesítmény meghatározása.....	51
5.3 Példa.....	51
5.3.1 A hajtómű kinematikai tervezése.....	51
5.3.2 A motorteljesítmény számítása.....	53
<b>6. Fokozatnélküli főhajtóművek szerkezeti megoldásai.....</b>	<b>57</b>
6.1 Főhajtóművek kialakítása az esztergagép példáján.....	57
6.2 MC 403 háromorsós megmunkáló központ.....	59
6.2.1 A megmunkáló központ felépítése.....	59
6.2.2 A megmunkáló központ főhajtóműve.....	61
6.3 EPA 320-01 CNC esztergagép.....	63
6.3.1 Az esztergagép felépítése.....	63
6.3.2 Az esztergagép főhajtóműve.....	64
6.4 SL esztergagép család.....	66
6.4.1 Az SL 320 HS CNC esztergagép.....	67
6.4.2 Az esztergagép főhajtása.....	68
6.5 HMC 500 T80 fúró-maró megmunkáló központ.....	70
6.5.1 A megmunkáló központ felépítése.....	70
6.5.2 A megmunkáló központ főhajtóműve.....	71
6.6 HMC 400 fúró-maró megmunkáló központ.....	73
6.6.1 A megmunkáló központ főhajtása.....	74
6.7 Síkköszörű gép.....	76

6.7.1 A síkkészítő gép főhajtása.....	76
<b>7. Főhajtóművekben alkalmazott gépelemek.....</b>	<b>77</b>
<b>Irodalom.....</b>	<b>78</b>

## BEVEZETÉS

*A szerszámgép olyan munkavégző berendezés, amelyet meghatározott technológiai eljárással, a munkadarab és a szerszám között létrehozott relatív mozgásokkal a munkadarab geometriai alakjának célszerű megváltoztatására, kialakítására alkalmaznak. A munkadarab anyaga tetszőleges lehet. A relatív mozgásokat elemi haladó és forgó mozgások hozzák létre. A szerszámgépek kevés kivétellel a diszkrét gyártási eljárások gépei.*

A megmunkáló gépek körében a fémforgácsoló szerszámgépek a legfontosabb gépcsoportot képezik. A szerszámgépek egyes mozgásainak teljesítményigénye nagyon különböző. *A legnagyobb teljesítményigényű mozgást forgácsoló főmozgásnak nevezzük*, amelynek teljesítménye legalább két nagyságrenddel haladja meg az előtoló mozgásokét. A forgácsoló főmozgást főhajtóművek biztosítják, ezért szerepük a gépeken belül kiemelt. A munkadarab megmunkálási pontossága a főhajtómű és a főorsó működésétől ugyancsak nagymértékben függ. A korábban szinte kizárólagos fokozatos főhajtóművek elméleti alapjait és gyakorlati alkalmazásait magas szinten mutatja be TAJNAFŐI, J. és TAKÁCS, E. az [1, 2] művekben, a leírtak ma is helytállóak és alkalmazottak.

A számjegyevezérlés megjelenése lényegesen befolyásolta a szerszámgépek szerkezeti kialakítását, építőelemeik és egységeik fejlesztését. Az elmúlt időszak elektrotechnikai-elektronikai, hajtástechnikai, irányítás- és szabályozástechnikai, informatikai fejlődésének eredményeként a fokozat nélküli fordulatszámú hajtóművek terjedtek el. Nagyobb teljesítményű gépeken ezek általában néhány fokozatú fokozatos hajtóművel kombinált hajtóművek, mert a nyomaték növelése leggazdaságosabban ma is fogaskerék hajtásokkal oldható meg. A fokozat nélküli főhajtóművek a velük szemben támasztott követelményeket igen magas színvonalon elégítik ki és számos új funkciót is megvalósítanak a fokozatosakhoz viszonyítva. A főhajtóművek palettája sokkal gazdagabbá vált, pl. a nagy fordulatszámú, nagy pontosságú és más speciális főhajtások megjelenésével.

A korszerű főhajtóművek a Szerszámgépek Tanszéke oktatásában, ipari és kutató munkáiban már kezdetektől fogva szerepelnek. Ugyanakkor e főhajtóművekről áttekintő magyar nyelvű leírás, ismertetés még nem jelent meg. A segédlet célja a forgácsoló szerszámgépeknél alkalmazott fokozat nélkül állítható fordulatszámú, forgó főmozgást megvalósító hajtóművek bemutatása, tervezési kérdéseinek tárgyalása. A kinematikai tervezés során a fokozatos hajtóművek idevonatkozó kérdéseit ismertnek tételezzük fel az [1, 2] irodalmak alapján. Azokból az elengedhetetlenül szükséges ismereteket felhasználtuk illetve hivatkoztunk rá. A villamos motorok és hajtások bemutatása a téma kapcsán nélkülözhetetlen, mivel azok kinematikai-, teljesítmény- és nyomatékviszonyai nélkül a korszerű főhajtóművek nem tárgyalhatók.

A leírtak más hajtóműveknél, vagy hajtási feladatoknál közvetlenül felhasználhatók illetve adaptálhatók.

A segédlet megírása kapcsán szeretném megköszönni mindazon kollégák támogatását, akik biztattak és segítettek e munkában.

Tajnaíró József professzor értékes szakmai észrevételei hozzájárultak ahhoz is, hogy a segédlet a Szerszámgéptervezés I. [1] jegyzet fokozatos főhajtóművekről írt ismereteinek folytatását jelentse.

Mádai Ferenc kolléga villamos hajtásokról írt oktatási segédletei [3, 4, 18], hasznos tanácsai nemcsak szakmailag, de szemléletben is formálták az anyag írását.

A szerkezeti megoldások rajzainak időigényes beszerkesztése Takács György kolléga és Vizi Gábor okleveles gépészmérnök, volt doktorandusz hallgató munkáját dicséri. A leírás jobbításában Lakatos Károly kolléga kritikai észrevételei voltak hasznomra.

Külön köszönettel tartozom az Excel-Csepel Szerszámgépgyártó Kft-nek a szerszámgépeikről elektronikus formában átadott rajzokért, amelyeket a tervezés oktatásában használunk fel, és amelyekből több főhajtómű szerkezeti megoldást is bemutatunk a segédletben.

Az összeállításához felhasználtuk mindazon tapasztalatokat és eredményeket, amelyek a tanszék oktató, kutató és ipari megbízásos munkái kapcsán e témakörben összegyűltek.

Külön köszönöm tanszékvezetőmnek Patkó Gyula professzornak és Cselényi József professzornak a Gépészmérnöki Kar volt dékánjának támogatását a segédlet nyomtatott formában való megjelentetésében.

Jakab Endre

# 1. FŐHAJTÓMŰVEK FUNKCIÓI, RENDSZEREZÉSE

A forgácsoló megmunkáláshoz szükséges mozgások:

- a forgácsoló erők aktív komponensei ellenében működő, vagy létrehozásuk céljából végzett *főmozgás(ok)* és a
- *mellékmozgás(ok)*, amelyeket *előtoló*, vagy *fogásvételi* mozgásoknak neveznek. A szerszámgépeken emellett más mellékmozgások is lehetnek, illetve az egyes mellékmozgások funkciói változhatnak, felcserélődhetnek.

Továbbiakban a forgácsoló főmozgásokat létrehozó fokozatnélküli fordulatszámú elektromechanikus és villamos főhajtóműveket tárgyaljuk. A fokozatos hajtóműveket csak az anyag megértéséhez szükséges mértékben magyarázzuk.

## 1.1 Főhajtóművek funkciói

*A forgácsoló szerszámgépek főhajtóműveinek legfontosabb funkciója (feladata) a forgácsoló főmozgás létrehozása, ami a forgácsoló sebességek, a forgácsoló erők, nyomatékok (teljesítmények) és a megmunkálási pontosság lehető leggazdaságosabban történő biztosítását jelenti.*

A különböző megmunkálási feladatok egy adott szerszámgépen történő gazdaságos elvégzése eltérő forgácsolási paraméterek beállítását igényli, ami szorosan összefügg a megmunkálni kívánt munkadarab anyagával, a hozzá megválasztott szerszámmal és a megmunkálás minőségi jellemzőivel. A technológiai paraméterek változtatása elsődlegesen a forgácsoló erők változásában jelenik meg.

A nagyoló megmunkálások a gép legnagyobb nyomatékát (teljesítményét), a simító megmunkálások pedig a legnagyobb fordulatszámát határozzák meg. A főhajtóművet úgy kell megtervezni, hogy a lehetséges variánsok által meghatározható teljesítmény és nyomaték igényt a fordulatszámok függvényében a lehető legjobban kielégítse. A szerszámgépek egyetemessége a széleskörű technológiai lehetőségek biztosításában jelenik meg.

Az optimális és gazdaságos *forgácsoló sebességek*, illetve az egyes munkadarab, vagy szerszám átmérőknél szükséges *fordulatszámok* a főhajtómű kinematikai kialakítását befolyásolják. A kinematikai tervezéseknél figyelembe kell venni az erőhatásokat is, azaz a megfelelő kinematikai megoldások, elemek csak az együttes követelmények alapján választhatók ki.

A megmunkálási feladatokhoz kiszámított legnagyobb *forgácsoló erőt* és *nyomatékot* a főhajtómű mechanikai, szilárdsági tervezéséhez használjuk fel.

A főhajtómű *teljesítményét* a forgácsoló sebességek és erők, vagy fordulatszámok és nyomatékok együttesen határozzák meg.

A főhajtómű fő funkcióit a forgácsoló főmozgást végző szerkezeti egység (a végrehajtó szerv) valósítja meg, amely forgó főmozgás esetén a *főorsó* (eszterga - fúró - maró - körfűrész - köszörű - stb. - gép), egyenes vonalú haladó főmozgás esetén a *lineáris szán* (gyalu- véső- és üregelő gép). A végrehajtó szerv kialakítása, előállítása (gyártása, szerelése) és működése a megmunkálás pontosságát nagymértékben meghatározza. A főhajtóművek a fő funkciók mellett továbbiakat is ellátnak, amelyek az alábbiak lehetnek.

- A hajtás bekapcsolása, kikapcsolása és fékezése a gép be- és kikapcsolásakor, műveletet közbeni leállításakor munkadarab cseréhez, mérés-ellenőrzéshez, szerszámcserehez, vagy a fordulatszámszámok váltására a munkadarab átmérő változása vagy más szerszám alkalmazása esetén.
- A fordulatirány megváltoztatását és közben fékezést igényel például furatesztergálásnál balos vagy jobbos szerszám alkalmazása, a menetvágás és a menetfúrás.
- A főorsó pozicionálása automatikus szerszámcsere esetén pl. az NC (Numerical Control - számjegyvezérlésű) fúró- maró megmunkáló központoknál, köszörűgépeknél, stb. szükséges.
- A főorsó C-tengelyes hajtását a hajtott szerszámokkal ellátott eszterga központokon alkalmazzák, amikor a főorsó forgó NC tengelyként mellékmozgásokat (folytonos forgó, szakaszos osztó) is megvalósíthat a forgó főmozgás mellett.

## 1.2 Főhajtóművek rendszerezése

A főhajtóművek rendszerezésére többféle szempont kínálkozik [1, 2, 6, 7].

### A főmozgás lehet:

- *forgó*, mint amilyen például az esztergagépek, fúrógépek, marógépek, köszörűgépek, stb. főmozgása, vagy
- *egyenes vonalú, szakaszos*, mint a gyalu- és vésőgépek, az üregelő gépek, főmozgása.

### A főmozgás nagysága lehet:

- *állandó* (forgó főmozgású gépek, hosszgyalu, stb.), vagy
- *változó* (pl. harántgyalu).

### A főmozgás nagyságának változtatása történhet:

- *fokozatosan* (erő- vagy alakzáró módon kapcsolhatóan, vagy cserélhetően különböző állandó áttételekkel),

- *fokozat nélkül* (mechanikus súrlódó, hidraulikus, pneumatikus, elektromechanikus és villamos hajtásokkal).

#### **A főmozgás és a mellékmozgások közötti kapcsolatok jellege lehet:**

- *kinematikai és*
- *technológiai függvénykapcsolat.*

A *kinematikai függvénykapcsolatok* nagy pontosságot követelnek a mozgáskomponensek között, amelyet vagy *mechanikus kinematikai láncokkal*, vagy szabályozott *elektronikus kinematikai láncokkal* valósítanak meg.

A *technológiai függvénykapcsolatok* nem igényelnek pontos összhangot a mozgások között, ezért az egyes mozgások létrehozásánál a szabályozás nélküli, külön villamos, hidraulikus, pneumatikus motoros hajtások is szóba jöhetnek. Természetesen kitűnőek e célra a kinematikai függvénykapcsolatoknál felsorolt megoldások is.

#### **A paraméterek nagysága szerinti csoportosítás kiterjedhet:**

- *a főmozgás sebességére (fordulatszámára),*
- *a főhajtás teljesítményére, nyomatékára,*
- *a hajtómű szabályozhatóságára, stb.*

A szerkezeti kialakítást alapvetően befolyásolja a főmozgás jellege. A főmozgást megvalósító hajtóművek kinematikai láncának első, energiaközlő tagja rendszerint valamilyen forgó villamos motor.

A hajtóműveket leggyakrabban a mozgást létrehozó és átalakító, közvetítő szerkezettől függően szokás rendszerezni.

#### **A főmozgást előállító hajtóművek típusai:**

- *Mechanikus hajtóművek.* A hajtási lánc elején egy állandó fordulatszámú villamos motor található, utána kapcsolódik valamilyen sokfokozatú (vagy fokozat nélküli) mechanikus hajtómű. A hagyományos egyetemes szerszámgépek jellegzetes hajtóművei.
- *Elektromechanikus hajtóművek.* A hajtási lánc fokozatmentesen, vagy fokozatosan állítható fordulatszámú villamos motorból (egyenáramú, szinkron, aszinkron) és utána kapcsolt kis fokozatszámú mechanikus hajtóműből, vagy állandó áttételű hajtásból esetleg ezek kombinációjából áll. A számjegyvezérlésű szerszámgépek hajtóművei leggyakrabban ilyen kialakításúak. Nincs akadálya annak, hogy mechanikus hajtóművet elektromechanikussá alakítsunk, vagy arra cseréljünk le meghagyva a további mechanikus kinematikai láncokat.
- *Villamos főhajtások.* A hajtást a fokozatmentesen változtatható fordulatszámú motor közvetlenül biztosítja esetleg tengelykapcsoló közbeiktatásával. Tipikus kiviteli megoldásaik a motororsók, amelyek mind a hagyományos, mind a CNC (Computer Numerical Control - számítógépes számjegyvezérlésű) szerszámgépeken megtalálhatók. A



nagy fordulatszámú és/vagy nagy pontosságú szerszámgépek tipikus főhajtásai.

- *Hidraulikus és pneumatikus főhajtásokban* a villamos energiát először hidraulikus, pneumatikus energiává alakítják, amit lineáris vagy forgó motorok segítségével használnak fel mechanikai munkavégzésre.

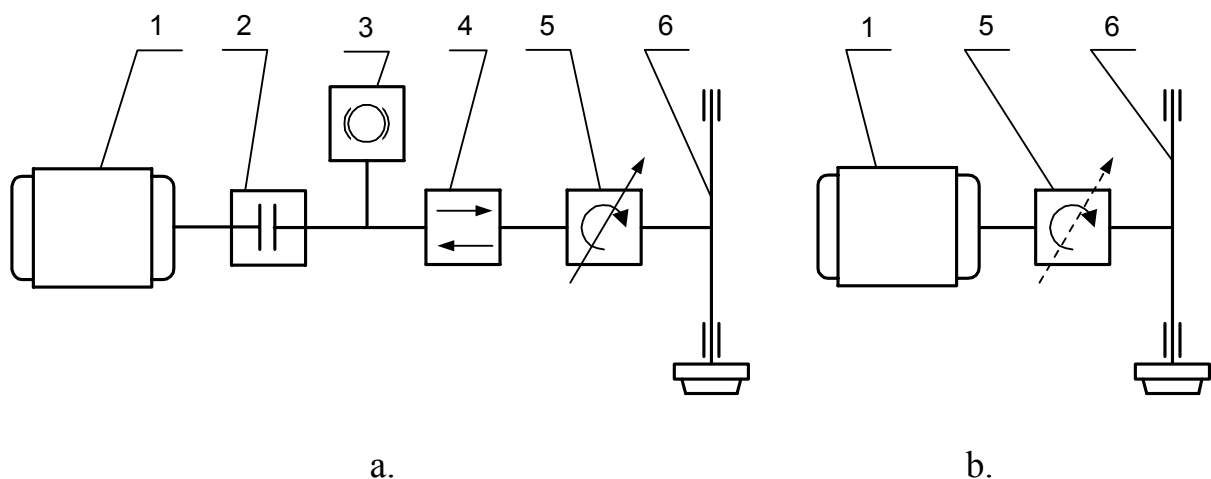
*Fokozatos, vagy fokozat nélküli mechanikus hajtómű* alatt olyan hajtóművet értünk, amelynél az egyes fordulatoknak megfelelő kinematikai viszonyok *kapcsolással* hozhatók létre.

*Az állandó áttételű hajtás* alatt olyan hajtáskapcsolatot értünk, amelynél a kinematikai viszonyok állandóak. Ha egy állandó kinematikai viszony más állandó értékre való megváltoztatása szükséges, az nem kapcsolással, hanem a hajtáskapcsolat elemeinek (fogaskerekek, szíjtárcsák) *cseréjével* történik.

Továbbiakban részletesen csak az elektromechanikus és villamos főhajtóműveket tárgyaljuk, az összehasonlításokhoz azonban mindegyik hajtómű típus funkcióvázlatát megvizsgáljuk.

### 1.3 Főhajtóművek funkcióvázlatai (blokkvázlatai)

Az 1. és 2. ábrák a forgó főmozgású mechanikus, elektromechanikus és villamos hajtóművek funkcióra jellemző vázlatokat szemléltetik, amelyeket szokás blokkvázlatoknak is nevezni.



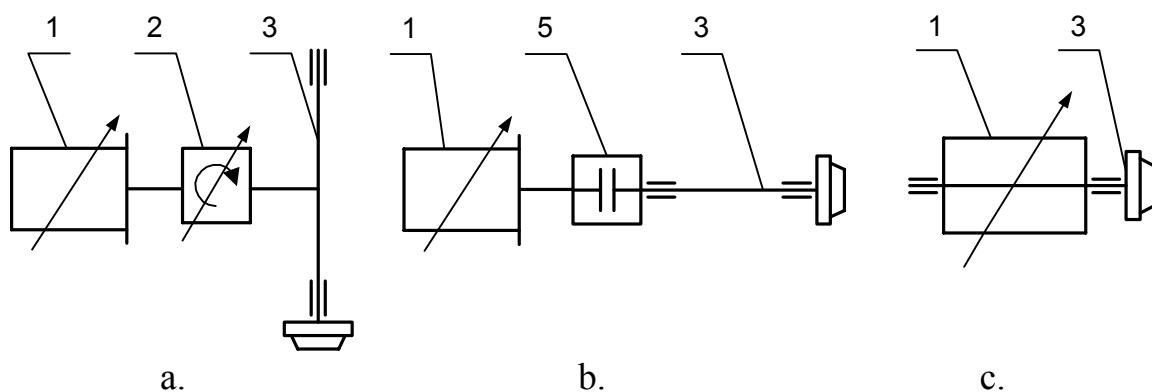
1. ábra Forgó főmozgású, fokozatos főhajtóművek funkcióvázlata

Az ábrák jelölései: 1- főmotor állandó, fokozatosan vagy fokozat nélkül állítható fordulatszámú, 2- tengelykapcsoló, 3- fék, 4- irányváltó, 5- a forgó mozgás nagyságát beállító fokozatos vagy fokozat nélküli hajtómű, esetleg állandó áttétel, 6- főorsó (forgó szán), 7- forgó/egyenes vonalú mozgás-átalakító mechanizmus (forgattyús-himbás, fogaskerék- fogasléces, orsó- anya, stb.), 8-

haladó mozgású szán. Az 1- főmotor és a mechanikus hajtómű között rendszerint ékszíjhajtás található, amelyet itt nem ábrázoltunk. A motor tengelye párhuzamos, vagy merőleges lehet a főorsó tengelyére.

Az 1.a ábra szerinti funkcióvázlat az egytetemes szerszámgépek főhajtásaira jellemző. A hajtás célgépi, vagy speciális megmunkáló egységeknél egyetlen állandó áttételre egyszerűsödik, ami lehet fogaskerekes (cserekerekes is) pl. célgépeknél, vagy lapos szíjas (esetenként cserélhető szíjtárcsákkal) pl. célgépi finomfúró, vagy furatköszörű egységeknél (1.b ábra). A fordulatirány általában azonos az állandó technológia következtében, megváltoztatása szükség esetén motorral, vagy reverzáló készülékkel történhet. A főorsó fékezéséről a motorral egybeépített erőzáró (súrlódó) fék gondoskodhat, amely rugós működtetésű. A motor indításakor a rugószorítást (a fékezést) elektromágnes oldja.

A számjegyvezérlésű szerszámgépek különböző kialakítású főhajtóműveinek funkcióvázlataiból (2. ábra) jól látszanak a hagyományos mechanikus hajtóművektől való eltérések. A fokozat nélküli szabályozható fordulatszámú főmotorok tulajdonságaiknál fogva kedvezőbbek, mivel a mechanikus hajtóművek több funkcióját is megvalósítják, ennél fogva a funkció összevonás kiváló példájaként is szolgálnak. Így elmaradhatnak a mechanikus hajtóművek olyan szerkezeti egységei, mint pl. a tengelykapcsolók, fék, irányváltó, csökken a mozgásnagyság beállító hajtómű fokozatszám, szerkezete, nincs szükség fokozat nélküli mechanikus hajtóműre ugyanakkor az egyes funkciók mennyiségi és minőségi paraméterei javulnak.



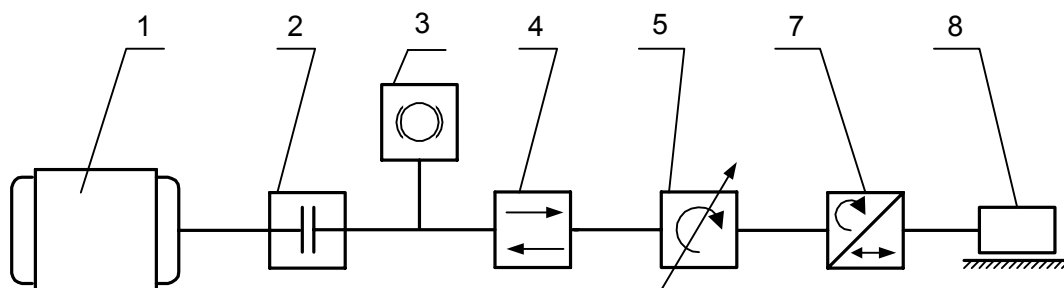
2. ábra Forgó főmozgású, fokozat nélküli hajtóművek funkcióvázlatai

A 2.a ábra szerinti elektromechanikus hajtásban a motor és a kis fokozatszámú hajtómű között rendszerint Poly-V szíjhajtás (esztergák), fogaskerék áttétel, rugalmas tengelykapcsoló (fúró- maró megmunkáló központok) helyezkedik el.

A 2.b ábra szerinti villamos főhajtás alkalmazása köszörűgépeknél, vagy gyorsfordulatú faipari marógépeknél gyakori. Az egytengelyű (koaxiális) hajtásnál rugalmas tengelykapcsoló a tengelyek közötti szög- és helyzethibát egyenlíti ki. A merev tengelykapcsoló rendszerint un. tokos, amelynek az egytengelyűség biztosítása kiemelt követelmény.

A tengelykapcsoló helyett az 1- motor és a 6- főorsó között olykor csak egy állandó áttételű szíjhajtás található. Motororsóknál (2.c ábra) a főorsó ház a motor álló (sztátor), a főorsó pedig a motor forgó (rotor) része.

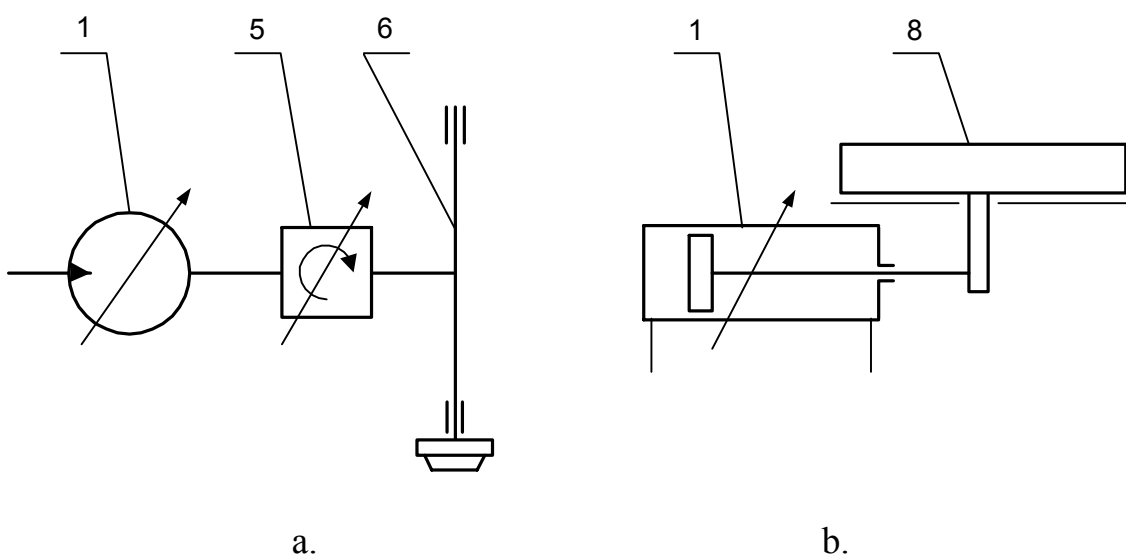
A 3. ábra a haladó főmozgású mechanikus hajtóművek blokkvázlatát szemlélteti. Ha az alternáló mozgást olyan 7 önirányváltó szerkezet hozza létre, mint amilyenek a különböző forgattyús mechanizmusok-, a 4 irányváltó szerkezet elmarad. A haladó főmozgás létrehozásában a jövőben számítani lehet a mozgás átalakítóval kombinált forgó szervomotoros és a lineáris motoros hajtások megjelenésére.



3. ábra Haladó főmozgású fokozatos hajtómű funkcióvázlata

A forgó mozgást létrehozó hidrosztatikus főhajtásokra (4.a ábra) példát a nehéz szerszámgépeknél, a haladó mozgásúakra (4.b ábra) hosszgyalugépeknél találunk. A mozgási sebességek fokozat nélkül állíthatók a térfogatáram nagyságának változtatásával.

Levegővel nagyfordulatszámú, kis terhelésű főorsókat közvetlenül hajtanak meg. Funkcióvázlata a 2.c ábrához hasonló, de az 1 egység légturbinás motor.



4. ábra Hidrosztatikus főhajtások funkcióvázlatai

## 2. FŐHAJTÓMŰVEK FORGÁCSOLÁSI- ÉS TELJESÍTMÉNYVISZONYAI

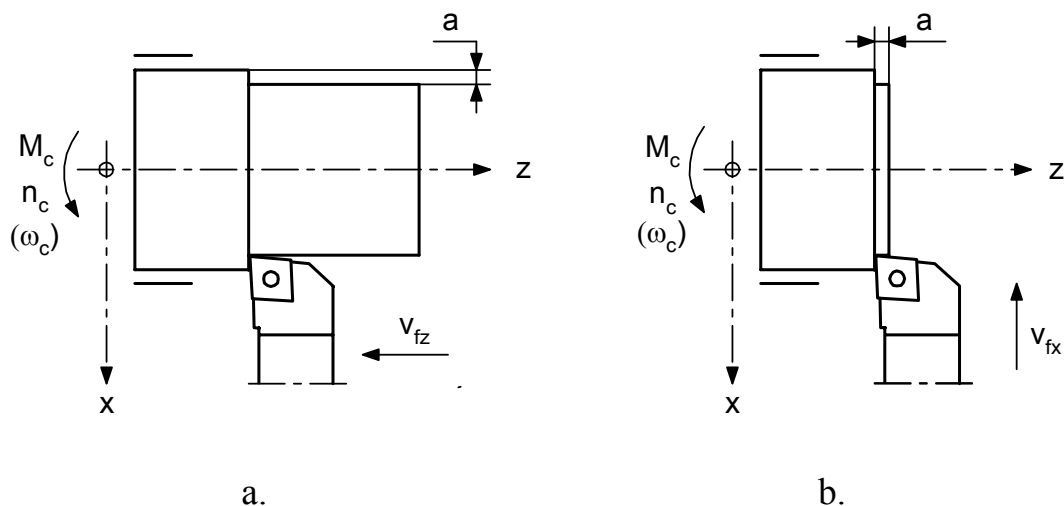
A mechanikus és elektromechanikus hajtásoknál mindig forgó mozgású hajtóművekkel dolgozunk. Ez egyrészt azzal magyarázható, hogy a forgó mozgások előállítása villamos forgó motorokkal egyszerű. Továbbá az egyenes vonalú mozgásokhoz is forgó mozgású hajtóműveket célszerű alkalmazni és csak a kinematikai lánc végére épített forgó/haladó mozgás-átalakító mechanizmus (orsó-anya, fogaskerék-fogasléc, csiga-csigaléc, a forgattyús mechanizmussal kezdődő különböző szerkezetek, stb.) biztosítja a haladó mozgást.

A forgácsoló szerszámgépek elsősorban forgó főmozgással dolgoznak. A forgó főmozgású szerszámgépek és főhajtások jelentősége és kiemelt szerepe abból adódik, hogy csak folytonos forgó mozgásoknál használhatók ki a különböző minőségű szerszámok (gyorsacél, keményfém, kerámia, stb.) optimális és gazdaságos vágósebességei.

A forgácsoló fő- és mellékmozgásokat létrehozó hajtóművek paraméterei igen eltérőek. A következőkben ennek igazolására végezzünk el néhány vizsgálatot.

### 2.1 Forgácsolási- és teljesítményviszonyok

A további magyarázatok és hivatkozások megértésének könnyítésére, a fő- és mellékmozgások bemutatására az esztergálás mozgás- és erőviszonyait célszerű alapul venni. Ennek magyarázata az, hogy az esztergálás a legszélesebb körben alkalmazott és ismert technológia. Az egytetemes esztergagépeken a leggyakrabban használt szerszám az egyélű esztergakés és a forgástengellyel azonos tengelyű furatok megmunkálására szolgáló furatoló szerszámok [5, 6].

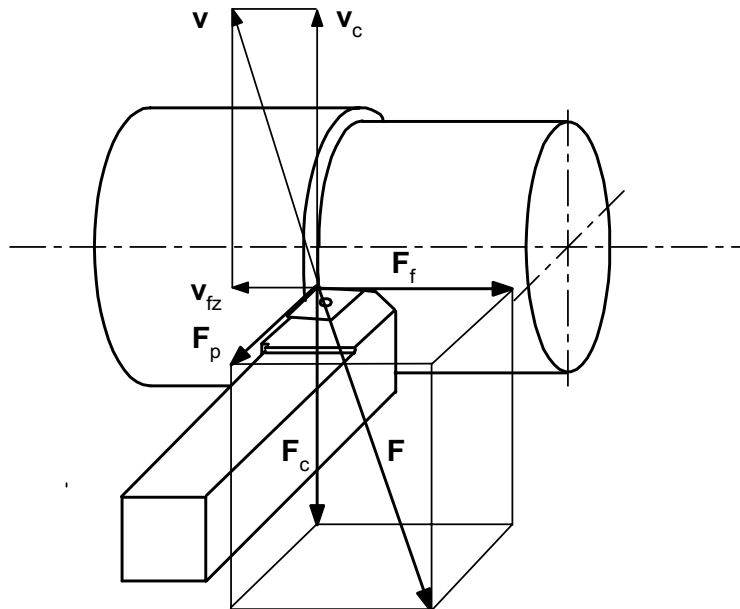


5. ábra Hossz- és kereszt vagy –síkesztergálás

Az 5. ábra a hossz- és kereszttergálásra jellemző mozgásokat tünteti fel, ahol az egyes jelölések:

- $n_c$ ,  $\omega_c$  - a főorsó fordulatszáma (f/perc), illetve szögsebessége (1/sec),
- $v_c$  - forgácsoló sebesség (főmozgás sebessége), amely a szerszám forgácsolóél egy pontjának sebessége a munkadarab koordináta-rendszerében, mértékegysége: m/perc, köszörülésnél m/sec,
- $v_{fz}$ ,  $v_{fx}$  (m/perc, vagy mm/perc) a  $v_f = n_c f$  összefüggésből számított koordinátairányú előtoló sebességek, ahol  $f$  az előtolás (mm/fordulat, vagy mm/löket),
- $a$  – fogásméret (mm), amely lehet fogásmélység, vagy fogásszélesség.

Látható, hogy a kétféle megmunkálásnál az előtoló és fogásvételi mozgások, azaz a szánok funkciói felcserélődnek. Az ábrákon feltüntettük az NC gépre vonatkozó x-z koordinátarendszert is. Továbbiakban csak a forgácsolási folyamathoz nélkülözhetetlen előtoló mozgásokat vizsgáljuk.



6. ábra Forgácsolási alapmodell

A 6. ábra a hosszsztergálásnál fellépő, a szerszámra ható  $F$  eredő forgácsoló erőt és  $v$  sebességet, valamint azok összetevőit szemlélteti, amelyek:

- $F_c$  - forgácsoló erő a főmozgás irányába esik,
- $F_f$  - előtoló erő az előtolás hatásvonalába esik,
- $F_p$  - fogásvétel irányú, passzív erő, ami az előzőekre merőleges irányú,
- $F$  - eredő forgácsoló erő,
- $v_c$  - forgácsoló sebesség,
- $v_{fz}$  - z irányú előtolási sebesség,
- $v$  - eredő sebesség.

Az  $F_p$  mélyítő irányú erőhöz a forgácsolás alatt szánmozgás nem kötődik, ezért passzívnak tekintjük.

A fenti térbeli erő- és sebességvektorok skaláris szorzatából a megmunkáláshoz szükséges  $P$  összes *hasznos mechanikai teljesítmény* és annak összetevői meghatározhatók.

$$P = \vec{F} \cdot \vec{v} = \begin{bmatrix} F_c \\ F_f \\ F_p \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_c \\ v_f \\ 0 \end{bmatrix}, \text{ azaz kifejtve:}$$

$$P = F_c v_c + F_f v_f + F_p \cdot 0 = F_c v_c + F_f v_f = P_c + P_f. \quad (1)$$

Az összefüggésekbe a sebességeket m/sec, az erőket N mértékegységben kell behelyettesíteni.

A  $P_c$  (fő)forgácsolási *hasznos teljesítmény* felírható a főorsót terhelő  $M_c$  nyomaték és a főorsó  $n_c$  fordulatszámának szorzatával is:

$$P_c = M_c \omega_c = \frac{2\pi}{60} M_c n_c \approx \frac{M_c n_c}{9,55}. \quad (2)$$

Az egyenletek mind az egyenes vonalú, mind a forgó főmozgás teljesítményének meghatározására alkalmasak különböző megmunkálási típusoknál (esztergálás, fúrás, marás, stb.). A legnagyobb forgácsolási teljesítmény, vagy nyomaték meghatározása nagyoló megmunkálás feltételezése mellett történik, azaz a legnagyobb leválasztható forgácskeresztmetszet és a legnagyobb megmunkálási átmérőt (szerszám vagy munkadarab) figyelembe véve. A méretezési fordulatszám meghatározása külön megfontolásokat igényel, amelynek vizsgálatára a későbbiekben térünk vissza.

A  $P_f$  *előtolási hasznos teljesítmény*:  $P_f = F_f v_f$ . (3)

Figyelembe véve, hogy  $F_c > F_f$  ( $F_f \approx (0,1 \div 0,4) F_c$ ) és hogy a  $v_c \gg v_f$  (pl.  $v_c \approx 20 \div 450$  m/perc, illetve  $v_f \approx 0,2 \div 1$  m/perc értékekkel) az adódik, hogy a forgácsolási teljesítmény nagyságrendekkel nagyobb, mint az előtoló teljesítmény.

A kinematikai eltéréseket tovább növeli, hogy a mellékajtóműveknek kúszómeneti ( $2 \div 10 \cdot 10^{-3}$  m/perc) és gyorsjáratú ( $10 \div 20$  m/perc, vagy ennél is nagyobb) sebességeket is biztosítani kell a nagy pozicionálási pontosság és a kis mellékidők érdekében. A főhajtóművek fordulatszám- vagy sebesség szabályozhatóságával összevetve az előtoló hajtóművek sebesség szabályozhatósága akár két nagyságrenddel is nagyobb lehet. Mindez a mellékajtóműnek a főhajtóműtől lényegesen eltérő kinematikai, mechanikai, szilárdsági tervezését és kialakítását követeli meg. A fentiek alapján mondhatók a főhajtóművek teljesítmény- az előtoló hajtóművek kinematikai hajtóműveknek.

Azoknál a szerszámgépeknél, amelyeknél a mellékajtás a főhajtással kinematikailag összefügg-, főhajtásról levezetett mechanikus kinematikai lánc biztosítja az előtolást-, a főmotort az összes szükséges teljesítmény alapján kell kiválasztani. Ilyen gépek pl. a hagyományos esztergagépek, a fűrőgépek. A kinematikailag független fő- és mellékajtással rendelkező gépeknél, mint pl. az egyetemes marógépeknél, köszörűgépeknél, vagy a CNC gépeknél a motorok teljesítményét a fő- és mellékajtásokhoz külön- külön kell meghatározni.

A hajtóművek  $\eta_{\text{mech}}$  mechanikai hatásfokának figyelembevételével számítható ki a motor tengelyén szükséges teljesítmény, ami alapján a motor katalógusból kiválasztható. A fő- és mellékajtás szükséges motorteljesítményei:

$$P_{\text{csz}} = \frac{P_c}{\eta_{\text{mech}}}, \quad P_{\text{fsz}} = \frac{P_f}{\eta_{\text{mech}}}. \quad (4)$$

A hajtómű és a motor hatásfokával a bemenő villamos teljesítményszükségletek:

$$P_{\text{cv}} = \frac{P_c}{\eta_{\text{mech}} \eta_{\text{vill}}}, \quad P_{\text{fv}} = \frac{P_f}{\eta_{\text{mech}} \eta_{\text{vill}}}. \quad (5)$$

Az összes bemenő villamos teljesítmény:

$$P_{\text{sv}} = P_{\text{cv}} + P_{\text{fv}}. \quad (6)$$

Az egyetemes szerszámgépek főhajtóműveinek mechanikai hatásfoka nagyobb mértékben a terhelés és kisebb mértékben a fordulatszám függvényében változik:

$$\eta_{\text{mech}} \approx 0,75 \div 0,95.$$

A mechanikai veszteségek keletkezésének forrásai a hajtómű kinematikai- és kényszer párjaiban fellépő súrlódási veszteségek, lég- és folyadék ellenállásból adódó veszteségek, kisebb részben rugalmas deformációs veszteségek. Megjegyezzük, hogy az üresjáratú hatásfok mindig rosszabb, mint a terhelés alatti. A villamos motor hatásfokát, ami nagyobb névleges teljesítményeknél jobb, a mechanikai, légellenállási és nagyjából a villamos veszteségek határozzák meg. Szokásos értéke, pl. aszinkron gépeknél:

$$\eta_{\text{vill}} \approx 0,75 \div 0,9.$$

A szerszámgép főhajtóművek teljesítménye és azt meghatározó komponensek értékei a technológia típusával és szerszámaival illetve azok paramétereivel, a mechanikus építőelemekkel, készülékekkel függ össze. A XIX. század végén és a XX. század elején például a villamos motorok megjelenése, majd a gyorsacél szerszámok alkalmazása a szerszámgépek építését, így a főhajtóművek kialakítását is nagymértékben befolyásolta, a szerszámgépek forgácsolási és teljesítmény paramétere jelentősen megnöttek.

A hagyományos egyetemes szerszámgépek fordulatszámai általában nem lépték túl az 1500÷2000 f/perc értéket. Esztergagépeknél a technológia és szerszámai mellett a leggyakrabban használt munkadarab befogó készülék, a kézi működtetésű síkspirálmenetes tokmány szerkezete is korlátot szabott a fordulatszám növelésének. A fordulatszám növelésével ui. a megfogó pofák szorítóereje a pofákra ható röpitő erő növekedése miatt csökken.

Még nagyobb változást hozott az NC gépek, a fokozat nélkül állítható fordulatszámú motorok alkalmazása, a forgácsoló szerszámok további fejlődése. Az elmúlt száz év alatt például az esztergálás vágósebessége ~10 m/perc-ről 1000 m/perc fölé nőtt különböző anyagok megmunkálását alapul véve [8]:

- Szerszámacélok: ~10÷18 m/perc

- Gyorsacél:  $\sim 15 \div 50$  m/perc
- Öntött keményfém:  $\sim 30 \div 70$  m/perc
- Zsugorított keményfém:  $\sim 80 \div 300$  m/perc
- Oxid és más kerámiák:  $\sim 100 \div 2000$  m/perc
- Bevonatos keményfémek:  $\sim 300 \div 450$  m/perc

Ennek megfelelően más határozott élgeometriájú szerszamos megmunkálás (marás, fúrás) vágósebessége is növekedett. A határozatlan élgeometriájú, merev köszörű szerszámoknál a növekedés arányai nem ilyen nagyok, ami a szerszám szerkezetével magyarázható.

*A ma épített főhajtásoknál a következők tendenciák érvényesülnek.*

- A forgácsleválasztási teljesítmény növelése céljából növelik a főhajtás teljesítményét. A magasabb forgácsolási paraméterek ( $v_c$ ,  $f$ ,  $a$ ) megvalósítását nagy forgácsoló képességű szerszámok teszik lehetővé, a fő hangsúly a  $v_c$  növelésére esik. A fellépő nagy erőkhöz, nyomatékokhoz rendkívül merev gépeket építenek, és azokat statikus és dinamikus merevségre méretezik. A gépek a nagy anyagleválasztási teljesítmény mellett a pontos megmunkálás feltételeit is kielégítik.
- A nagy forgácsoló sebességű szerszámok egyre nagyobb fordulatszámú szerszámgépek tervezését igényelték. Forgó szerszamos gépeknél egyidejűleg csökkentették az alkalmazott szerszámok átmérőjét. Géptípustól függően  $4000 \div 25000$  f/perc, vagy speciális esetekben ennél is magasabb fordulatszámokat alkalmaznak.
- A cél legtöbbször nem a fő forgácsoló teljesítmény növelése, hanem a forgácsoló erők csökkentése, amit növekvő forgácsoló sebességeknél a fordulatonkénti előtolás és a fogásméret csökkentésével érnek el. Mindez a gépek megmunkálási pontosságának növeléséhez vezetett.
- Nagy forgácsoló erők, illetve fordulatszámok esetén a rezgések veszélye is nagyobb, aminek elkerüléséről már tervezéskor gondoskodni kell. A statikus terhelések a munkadarab geometriai alakját, a dinamikusak a felület minőségét befolyásolják.



### 3. FOKOZATOS FŐHAJTÓMŰVEK TELJESÍTMÉNY- ÉS NYOMATÉKVISZONYAI

A forgácsolási teljesítményt a számított legnagyobb forgácsoló nyomaték és az un.  $n_{kr}$  kritikus fordulatszám (méretezési fordulatszám) határozza meg, amelyet az  $n_1 \div n_z$  fordulatszám tartományból kell kiválasztani. Ennek magyarázatát alább megadjuk. Továbbiakban a fordulatszámnál a  $c$  indexet elhagyjuk. A fokozatos főhajtóművek  $n_1 \div n_z$  ( $n_{min} \div n_{max}$ ) fordulatszám tartományában összesen  $z$  diszkrét fordulatszám hozható létre, amelyek  $\varphi$  szorzótényezőjű (fokozati tényezőjű) geometriai sort alkotnak. Fokozatos hajtóműveknél a  $\varphi = \varphi(\Delta v)$  fokozati tényezőt a szerszám gazdaságos vágósebességétől megengedett százalékos sebességcsökkenés mértéke, a  $\Delta v$  határozza meg.

A méretezési  $n_{kr}$  *kritikus fordulatszám* megválasztását a különféle munkadarab- és szerszámanyagok, illetve a technológia befolyásolja.

Belátható, hogy a legkisebb fordulatszámokat az alacsony vágósebességű szerszámok (gyorsacél), vagy technológiák (pl. menetvágás) igénylik.

A *maximális nyomatékot* a nagyoló megmunkálás technológiájának figyelembevételével határozzák meg, amit nagy forgácskeresztmetszet, forgácsoló erő és megmunkálási átmérő jellemez. A legnagyobb  $M_{cmax}$  forgácsoló nyomatékot a legkisebb fordulaton is biztosítani kell. Jobb minőségű szerszámokkal (pl. keményfém) történő nagyolásnál-, ahol magasabb a forgácsoló sebesség-, a maximális forgácsoló nyomatéokra ugyancsak szükség van. A méretezés fordulatszámát tehát nem a ritkán előforduló esetre (nagyolás  $M_{cmax}$  nyomatékkal a legkisebb vágósebességet adó legkisebb fordulaton), hanem a fentiek figyelembevételével kell meghatározni. A forgácsolási teljesítményt ezért az  $n_1$  legkisebb fordulaton magasabb  $n_{kr}$  fordulatszámmal ( $n_{kr} > n_1$ ) határozzák meg. A méretezés fordulatszáma a kialakult gyakorlat szerint a (7) összefüggéssel számítható:

$$n_{kr} = n_1 \sqrt[4]{Sz}, \quad (7)$$

ahol az  $Sz$  a fokozatos főhajtómű szabályozhatósága, amelynek értékét a legnagyobb és a legkisebb fordulatszámok hányadosa adja. A kritikus fordulatszám közelítően úgy is meghatározható, mint a legkisebb fordulatszámtól számított

$$\left(\frac{z}{4} + 1\right). \text{ fordulatszám.}$$

Például egy 12 fokozatú hajtóműnél  $n_{kr} = n_4$ , azaz a legkisebbtől számított negyedik fordulattal méretezünk.

A kritikus fordulatszám szolgál alapul a hajtómű szilárdsági méretezéséhez is. A hajtómű kimenő tengelyén, a főorsón szükséges teljesítmény a (2) szerint:

$$P_{c\max} = M_{c\max} \omega_{kr} = M_{c\max} n_{kr} \frac{2\pi}{60} \approx \frac{M_{c\max} n_{kr}}{9,55}. \quad (8)$$

A szükséges motorteljesítményt a (4) egyenlet alapján határozzuk meg és a kiszámított értékhez legközelebbi, nagyobb teljesítményű motort választjuk:

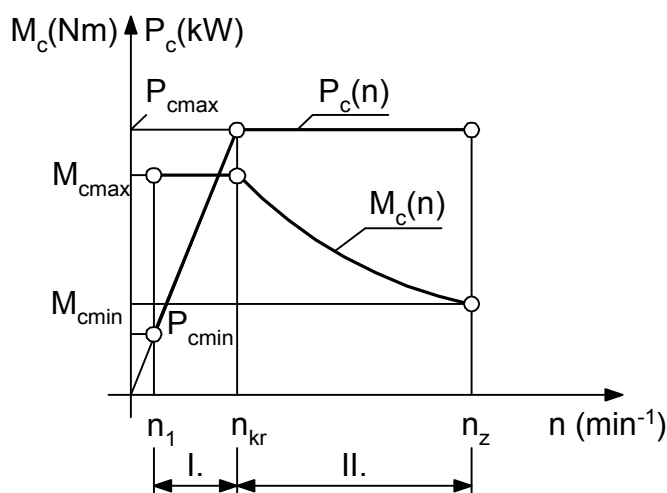
$$P_m \geq P_{csz} = \frac{P_{c\max}}{\eta_{\text{mech}}}.$$

A fokozatos hajtómű teljesítmény- és nyomaték határdiagramjai a fordulatszámok függvényében a 7. ábrán láthatók. A diagram két részre bontható aszerint, hogy a nyomaték, vagy a teljesítmény állandó:

I.  $M_{c\max} = \text{állandó}, P_c = C_1 n, n_1 \leq n \leq n_{kr},$

II.  $P_{c\max} = \text{állandó}, M_c = C_2 \frac{1}{n}$  (hiperbola),  $n_{kr} \leq n \leq n_z.$

A hajtómű szerkezeti elemeit az I. tartomány  $M_{c\max}$  maximális nyomatékára méretezik. A 7. ábrából is látható, hogy a motor névleges teljesítménye ettől nagyobb nyomatékok elérését is lehetővé teszi az I. ( $n_1$ – $n_{kr}$ ) fordulatszám tartományban, ezért a túlterhelés elleni védelemről gondoskodni kell. A túlterhelés elkerülésére erőzáró szíjhajtás, vagy nyomatékhatároló tengelykapcsoló alkalmazható.



7. ábra A fokozatos hajtómű teljesítmény- és nyomaték határdiagramjai

## 4. MOTOROK

Szerszámgépeken motorként leggyakrabban a villamos forgó motorokat alkalmazzák, egyes esetekben azonban a hidraulikus, vagy pneumatikus motorok előnyösek. Az 1. táblázat foglalja össze a motorok fajtáit.

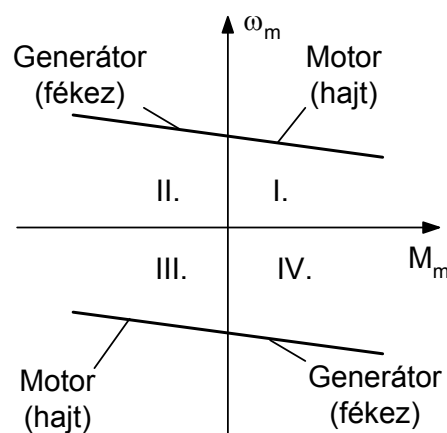
1. táblázat

Villamos	Hidraulikus	Pneumatikus
motorok		
Forgó: egyenáramú szinkron aszinkron	Forgó	Forgó
Lineáris: szinkron	Lineáris	Lineáris

Fokozatos hajtóműveknél a gazdaságos forgácsoló sebességtől megengedett százalékos sebességeltérés (10%, 20%, 30%, stb.) alapján meghatározott  $\varphi$  fokozati tényezővel (1,12, 1,26, 1,41, stb.) képezik a geometriai fordulatszám sorokat. A fordulatszám sorot sokfokozatú mechanikus hajtóművel valósítják meg, ami a hagyományos szerszámgépeket jellemzi. A fokozatos hajtóműveket egy, ritkábban két diszkrét fordulatú (Dahlander) *aszinkron motor* hajtja meg.

A villamos motorok és hajtások fejlesztése lehetővé tette olyan fokozat nélküli hajtások építését, amelyek sok paraméterben felülmúlják a mechanikus fokozatos hajtóműveket. A *motorok* fokozatmentesen állítható fordulatszámú *egyenáramú, frekvenciaváltós aszinkron, vagy szinkron* gépek, amelyek *un. négynegyedes (4/4) hajtással* rendelkeznek, azaz mindkét irányú forgás és fékezés létrehozható.

Igénytől függően a motorok 1/4-es vagy 2/4-es hajtással is rendelhetők.



8. ábra Villamos forgógépek hajtási negyedei

2/4-es hajtás lehet a kétirányú forgatás (nyomaték), vagy egyirányú forgatás (nyomaték) és fékezés. 1/4-es hajtású pl. az aszinkronmotor, ahol csak egyirányú nyomaték és forgásirány lehetséges. A leírtak a 8. ábra szemlélteti. A motor megválasztása a technológiai igénytől függ. A motorok tulajdonságai következtében jelentősen csökken a mechanikai építőelemek száma. A motor után gyakran kis fokozatszámú mechanikus hajtómű helyezkedik el, amelyet pl. esztergagépeknél Poly-V szíjhajtásokkal kombinálnak. A későbbi fejezetben együtt tárgyaljuk a szorosan összetartozó elektromechanikus és a tisztán villamos főhajtásokat.

## 4.1 Aszinkron motorok

A villamos gépek állandósult üzemének (nyomatékának) feltétele két *együttforgó* mágneses mező megléte. A motor csak addig működőképes, a két oldal csak addig fejt ki nyomatékot egymásra, amíg az együtt járás megvalósul és azt a pólusok egymáshoz viszonyított helyzete biztosítja. Az egyes forgó motortípusok-, egyenáramú, szinkron, aszinkron (kalickás, csúszógyűrűs)-, az álló és forgórészek pólusrendszereinek kialakításában különböznek egymástól. A  $\Phi$  fluxus, az I áram előállítási módja és a  $\beta$  terhelési szög alakulása attól függ, hogyan keletkezik az egyik illetve a másik mágnes.

A fokozatos hajtóművek kinematikai láncának elején *háromfázisú aszinkron motor* [3, 4, 9, 10] található. A kalickás és a csúszógyűrűs forgórészű típusok közül elsősorban a kalickás, (rövidrezárt) forgórészű motorok terjedtek el jellemzőik miatt. Ismertetésüket ehelyütt az indokolja, hogy a motorokat együtt célszerű bemutatni és a hajtóművek teljesítmény és nyomaték viszonyairól átfogó, összehasonlításra alkalmas képet adni. Az aszinkronmotorokat számos kedvező tulajdonság jellemzi:

- Háromfázisú hálózatra való közvetlen csatlakozás.
- Üzembiztonság, kis karbantartási igény, alacsony ár.
- Kis forgórész-tehetetlenségi nyomatékok.
- A motor fordulatszáma szükség esetén fokozatosan illetve fokozat nélkül változtatható.
- Széles választék.

A motor állórész tekercseibe vezetett szimmetrikus, háromfázisú  $U_1$  váltófeszültség által létrehozott forgó mágneses mező a forgórész tekercseiben feszültséget (áramot) indukál, ezért is nevezik *indukciós motornak*.

A forgó mágneses mező  $\Phi$  fluxusa, a motor  $n_m$  fordulatszáma és  $s$  szlipje:

$$\Phi = K \frac{U_1}{f_1}, \quad n_m = \frac{60 \cdot f_1}{p} (1 - s), \quad s = \frac{n_1 - n}{n_1}, \quad (9)$$

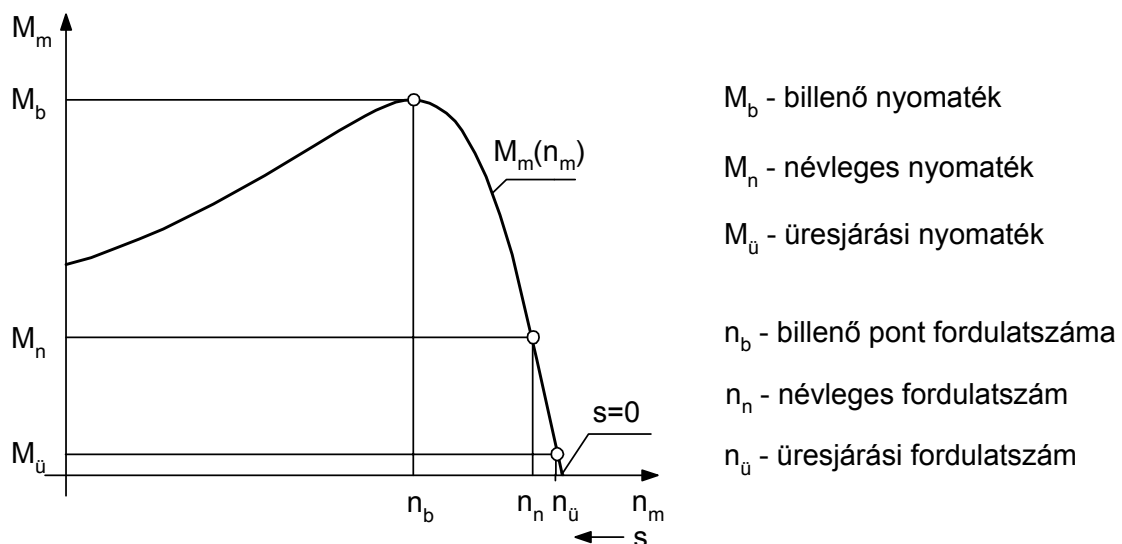
ahol az  $f_1$  hálózati frekvencia 50 Hz,  $p$  a póluspárok száma,  $K$  gépállandó. Az  $s$  szlip a relatív fordulatszámarány, amelynél  $n$  a motor mindenkori fordulatszáma és  $n_1$  a forgó mágneses mező szinkron fordulatszáma. A motor nyomatékot csak aszinkron állapotban, azaz valamilyen  $n < n_1$  fordulatszámnál fejt ki, amit az  $M_m = M_m(s)$  nyomatéki egyenlet fejez ki:

$$M_m(s) \cong \frac{M_b}{\frac{s}{s_b} + \frac{s_b}{s}}, \quad (10)$$

ahol  $M_b$  és  $s_b$  a billenő nyomaték és szlip. Viszonylag kis fordulatszám csökkenéssel ( $s=0,02 \div 0,1$ ) már elérhető a névleges nyomaték. Szerszámgépeken leggyakrabban 1, 2, 3 és 4 póluspárú motorok találhatók, amelyek elméleti szinkron fordulatszámai: 3000, 1500, 1000, 750 f/perc. Alacsonyabb fordulatszámok nagyobb póluspár számmal valósíthatók meg, amelynek növelése azonban bizonyos póluspár szám után szerkezeti korlátokba ütközik.

Emlékeztetőül felrajzoltuk az aszinkron motor nyomaték-fordulatszám (szlip) jelleggörbéjét (9. ábra) és megadtuk a görbe jellemző pontjait.

A motorok fordulatszámának diszkrét állítására a pólusszám (póluspár szám) változtatás szolgál. A fordulatszám fokozatmentes állítása a szlip és frekvencia változtatásával lehetséges. Ez utóbbit széles állíthatósága, kedvező paramétereit miatt elterjedten használják a mai korszerű főhajtóművekben.



9. ábra Aszinkronmotor nyomaték - fordulatszám jelleggörbéje

## 4.2 Egyenáramú motoros főhajtások

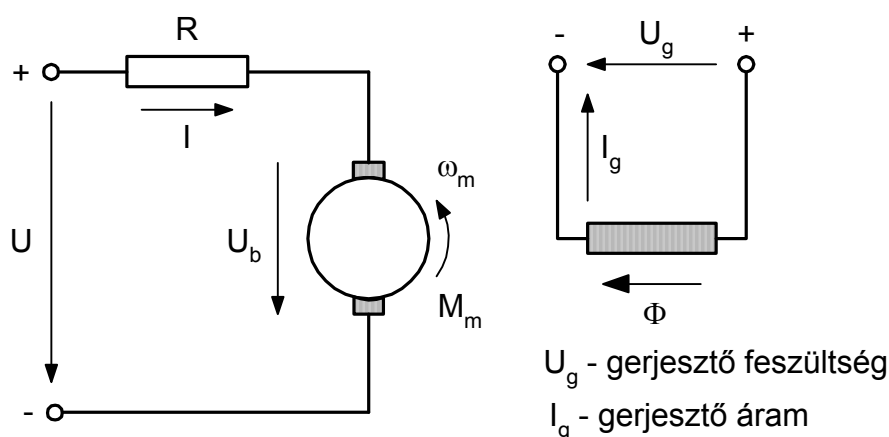
Szerszámgép főhajtásokban ma igen gyakran a hagyományos, kefések egyenáramú motorokat használják [3, 4, 6, 9, 10, 11]. Ehhez kapcsolódó ismeretek részletesebb tárgyalását az indokolja, hogy azok egy része további, fokozatmentesen állítható fordulatszámú motoroknál is felhasználhatók.

Az egyenáramú motorok fő jellemzői:

- Nagy választék, az igényeknek megfelelő kialakítás.
- Fordulatszám szabályozhatóságuk nagy, fordulatszám tartásuk stabil.
- 4/4-es üzemre alkalmasak, azaz mindkét irányú hajtás és fékezés lehetséges, ha ezt a gép táplálása is lehetővé teszi.
- Más fokozatmentes fordulatszám állítású motorokhoz viszonyítva kisebb, az aszinkronmotorokhoz viszonyítva nagyobb karbantartás igényű, ami a kefe - kommutátor kialakításából következik.

A motor állandósult állapotbeli működésére jellemző egyszerűsített kapcsolási rajzot a 10. ábra mutatja. Jól látható, hogy a fordulatszámot, illetve a nyomatékot meghatározó villamos paraméterek létrehozása két, egymástól független áramkörrel-, *armatúrakör*, *gerjesztő kör*-, történik. A mágnesek ez esetben árammal gerjesztett elektromágnesek. A motor *armatúra (forgórész) tekercseiben az állórész mágneses mező  $\Phi$  fluxusa* által indukált  $U_b$  belső feszültség  $\omega_m$  motor tengely szögsebességénél és  $k$  motorállandónál:

$$U_b = k\omega_m \Phi, \quad (\omega_m = \frac{U_b}{k\Phi}). \quad (11)$$



10. ábra Az egyenáramú motor egyszerűsített kapcsolása

A motor armatúrakör feszültségegyenlete az ábra alapján:

$$U = U_b + IR, \text{ amelyből } U_b = U - IR. \quad (12)$$

A motor armatúra tekercselésében váltakozó feszültség indukálódik a forgás következtében. Ez a feszültség a kommutátor-kefe egyenirányító hatása miatt egyenfeszültségként jelenik meg. Az elektromágneses motor nyomatéka a belső teljesítménnyel és a szögsebességgel kifejezhető, továbbá a (11) behelyettesítésével kapjuk, hogy:

$$M_m = \frac{P_m}{\omega_m} = \frac{U_b I}{\omega_m} = k\Phi I. \quad (13)$$

A motor tengelynyomatéka a vasvesztésből és a súrlódási veszteségből adódó nyomatékkal, 2÷3 %-kal kisebb az  $M_m$  elektromágneses nyomatéknál. A motor nyomatékát az  $I$  armatúraáram és a  $\Phi$  fluxus nagysága határozza meg. A (11), (12), majd az (13) egyenletekből a motor mechanikai jelleggörbéje:

$$M_m = k\Phi \frac{U - k\Phi\omega_m}{R} = \frac{(k\Phi)^2}{R} \left( \frac{U}{k\Phi} - \omega_m \right), \quad (n_m \approx \omega_m \cdot 9,55). \quad (14)$$

Névleges üzemben, névleges nyomatéknál az  $U/k\Phi$ -nél kb. 5 % kal kisebb az  $\omega_m$ , ezért az egyenáramú motort szögsebesség (fordulatszám) tartónak mondjuk.

#### *A fordulatszám változtatása*

A fordulatszám (szögsebesség) fokozatmentes állítása a (11) egyenlet szerint több módon is lehetséges.

I. *Kapocsfeszültség változtatása* (főáramköri szabályozás). A leggyakoribb és legjobb megoldás az armatúra kapocsfeszültségének változtatása, amellyel a motor közel 0 fordulattig is szabályozható. A feszültséget a legkisebb ( $U_{\min}$ ) és legnagyobb névleges ( $U_n$ ) érték között állítják, miközben a fluxust a  $\Phi_n$  névleges értéken tartják:

$$U_{\min} \leq U \leq U_n, \quad \Phi = \Phi_n = \text{áll.}$$

Az  $U_{\min}$ -ot a szerszám gép főhajtómű legkisebb fordulata határozza meg. A (11)÷(14) egyenletekből az  $U \approx U_b$ ,  $\Phi = \Phi_n$ ,  $I = I_n$  feltételezése mellett meghatározhatók az egyes paraméterek:

$$M_m = M_{\max} = \text{áll.}, \quad P_m = C_1 n_m, \quad n_{\min} \leq n_m \leq n_n.$$

A *nyomaték* a szabályozási tartományban állandó.

A *teljesítmény* a fordulatszámmal egyenes arányban változik.

A motor  $n_m$  *fordulatszáma* (szögsebessége) a kapocsfeszültséggel kb. egyenes arányban ( $\omega_m \approx U/k\Phi$ ) változik a legkisebb ( $n_{\min}$ ) és a névleges ( $n_n$ ) értékek között. Kapocsfeszültség állítással a motor fordulatszám szabályozhatóság szokásos értéke szerszámgépeknél:  $Sz_{mk} = n_n/n_{\min} = 5 \div 10$ .

II. *Mezőgyengítés (fluxuscsökkentés).* A névleges érték feletti szögsebességek villamos okokból csak a fluxus csökkentésével valósíthatók meg. A fluxus a legnagyobb és legkisebb értékek között változtatható, az alsó határt a kedvezőtlen kefeszikrázás korlátozza. A tartományban a kapocsfeszültség állandó:

$$\Phi_{\min} \leq \Phi \leq \Phi_n, \quad U = U_n = \text{áll.}$$

A (11)÷(14) egyenletekből az egyes paraméterek:

$$M_m = C_2 \frac{1}{n_m}, \quad P_m = \text{áll.}, \quad n_n \leq n_m \leq n_r.$$

A *nyomaték* a szögsebesség növekedésével fordított arányban változik, hiperbolikusan csökken.

A *teljesítmény* ebben a tartományban állandó, maximális értékű.

A motor  $n_m$  *fordulatszáma (szögsebessége)* a  $\Phi$  fluxussal fordított arányban ( $\omega_m \approx U/k\Phi$ ) változik az  $n_n$  névleges és az  $n_r$  reaktancia fordulatszámok között. Az  $n_r$  az un. reaktancia feszültség miatti határfordulatszám, ami a kefeszikrázással függ össze. Mezőgyengítéssel a fordulatszám szabályozhatóság szokásos értéke:  $Sz_{mfl} = n_r/n_n = 3 \div 4$ .

III. *Vegyes szabályozás.* Az  $n_r$ -nél nagyobb,  $n_{\max}$  fordulathoz elérésére használt állítási mód, amelynél az armatúra áramot csökkentik, ezáltal a  $\Phi_{\min}$  is tovább csökkenthető. Ebben a tartományban mind a teljesítmény, mind a nyomaték csökken, szabályozhatósága  $Sz_{mv} = n_{\max}/n_r \approx 1,2 \div 1,3$ . Vegyes szabályozásra csak ritkán van szükség, ekkor:  $n_r = n_{\max}$ .

A motor teljes szabályozhatóságát a rész-szabályozhatóságok határozzák meg:

$$Sz_m = Sz_{mk} Sz_{mfl} Sz_{mv}, \quad \text{vagy} \quad Sz_m = Sz_{mk} Sz_{mfl}, \quad \text{vagy} \quad Sz_m = Sz_{mk}. \quad (15)$$

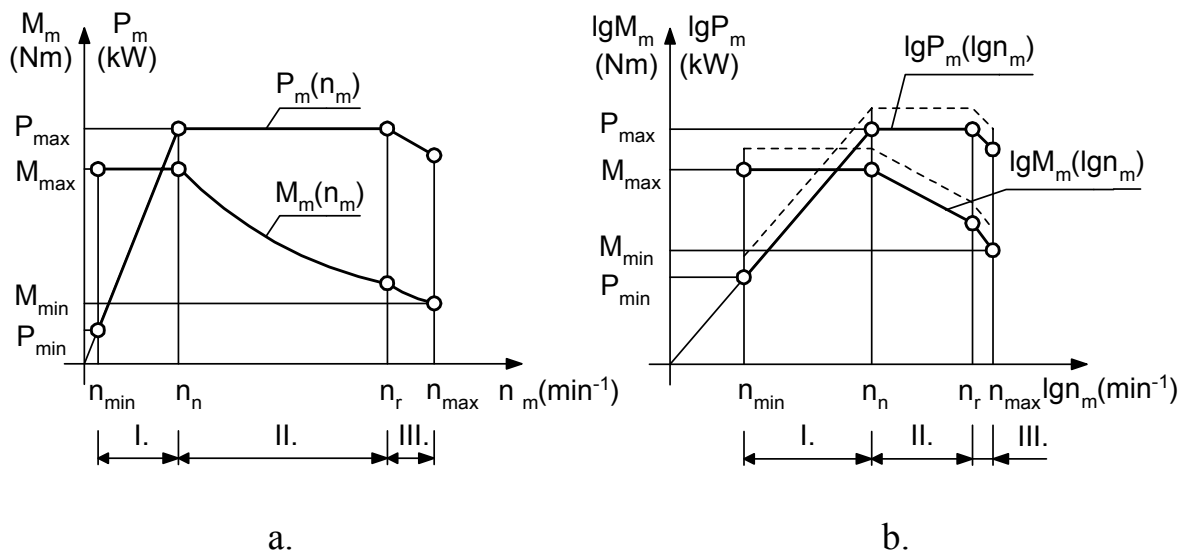
Az egyenáramú motor állandósult üzemére (S1, S6÷S9) vonatkozó *teljesítmény- és nyomaték határdiagramjait* a fordulatszámok függvényében a 11.a,b ábrák szemléltetik. A 11.a ábra hasonló, de nem azonos a fokozatos hajtóművek teljesítmény- és nyomaték-fordulatszám határdiagramjait szemléltető 7. ábrájával.

A 11.b ábra logaritmikus léptékű, ami egyszerűbb ábrázolást tesz lehetővé. Itt szaggatott vonallal megrajzoltuk valamilyen százalékos bekapcsolási idejű (pl.  $b_i = 60\%$ , vagy  $\%ED = 60$ ), szakaszos üzemű gép határgörbét is. A gépkönyvekben és katalógusokban általában két üzemmódra adják meg a motor, vagy a főhajtómű teljesítmény- és nyomaték határgörbét: állandó üzemre és szakaszos, vagy rövid ideig tartó üzemre (4.1 fejezet).

A motorok rövid ideig túlterhelhetők egészen a kommutációs határig. A motor paraméterek szokásos legnagyobb értékei:

$$I_{\max} \approx (1,5 \div 2,5) I_n, \quad U_{\max} \approx (1,5 \div 2) U_n.$$





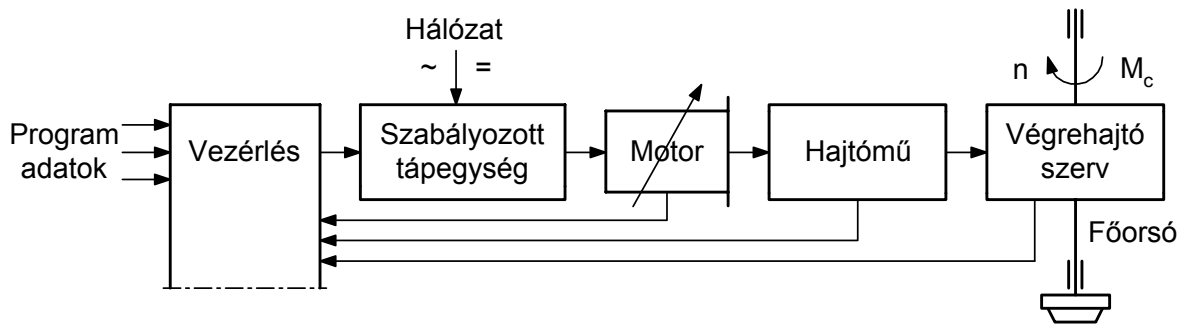
11. ábra Az egyenáramú motor teljesítmény- és nyomaték határdiagramjai

Egy adott motorhoz különböző névleges fordulatszámok és névleges kapocsfeszültség értékek tartozhatnak. A névleges fordulatszámok általában 500÷2000 f/perc közöttiek, de előfordulnak magasabb értékek is. A motorok legnagyobb fordulatszáma ~6000÷7000 f/perc. A motor utáni fokozatos hajtóművel ( $k_{max}=2$ ) elérhető legnagyobb fordulat: 12000÷14000 f/perc. A fogaskerekeket a szilárdsági méretezés, ellenőrzés mellett a pontossági osztálytól függően megengedett legnagyobb kerületi sebességre is vizsgálni kell. Értéke pl. a 6. és 5. pontossági osztályú kerekeknél ~40÷70 m/sec [12]. A nagy fordulatszámú főhajtóműveknél általában a legkisebb fordulatszám is magasabbra kerül, ezáltal a főhajtómű szabályozhatósága lényegesen nem nő a kisebb fordulatszámú gépekhez viszonyítva.

### Fékezés

Az egyenáramú motorokat a négynegyed-es hajtásoknál generátoros fékezéssel állítják meg, mivel ezzel a móddal igen nagy féknyomaték érhető el. A leállítást gyakran technológiai okokból fordulátírány váltás követi.

A leírtakból látható, hogy a motor hajtásával szemben igen magas és sokféle követelményt állítanak. A szabályozott villamos motorok *tápegységen* (meghajtón, driveren) keresztül csatlakoznak a villamos energia hálózatra. A vezérlés - hálózat - tápegység - motor - hajtómű - főorsó (végrehajtó szerv) együttest a szabályozáshoz szükséges mérő, ellenőrző szervek egészítik ki. A mérő, ellenőrző jeleket a vezérlés fogadja, ahol a különböző szabályozókörök, védelmek, stb. foglalnak helyet. A vezérlés a programadatok alapján a szabályozott tápegységen keresztül határozza meg a motor fordulatszámát. A leírtakat a 12. ábra funkcióvázlata (blokkvázlata) szemlélteti.



12. ábra Szabályozott elektromechanikus főhajtás funkcióvázlata

A motor egyenfeszültségét félvezetős, három fázisról táplált áramirányítók hozzák létre. A digitális, mikroprocesszoros fordulatszám állítás és szabályozás az áramirányítókba integrált. A motorfordulatszám mérésére *tachogenerátor* szolgál, amely a fordulattal arányos feszültség jelet ad. A terhelés (nyomaték) változásából adódó fordulatszám ingadozások elkerülését fordulatszám szabályozó biztosítja, a nyomaték szabályozását pedig külön áramszabályozó végzi.

Feladattól függően további funkciókat is integrálnak a hajtásba. Pl. a főorsó szögelfordulását közvetlenül mérő szöghelyzet-adót (esztergagépeknél), a főorsó pozicionálást (indexelést) szerszámcsere céljából (fűrő-maró megmunkáló központoknál), vagy a terheléstől független fel- és lefutást, stb.

A motorok rendelésekor általában a következő adatokat kell megadni:

- Névleges teljesítmény
- Névleges feszültség
- Névleges fordulatszám
- Fordulatszám szabályozás módja, mértéke
- Üzemi körülmények, terhelés jellege, üzemmód
- Építési alak, védettség, hűtési mód
- Motortengelyt terhelő radiális irányú erő
- Kiegészítő egységek (tachogenerátor, stb.)
- Külön igények, stb.

#### 4.2.1 Állandó mágneses egyenáramú motoros főhajtások

Az egyenáramú motorok álló- vagy forgórésze állandó (permanens) mágnessel is készülhet. A motorok belső vagy külső forgórésze lehetnek. A *permanens mágneses egyenáramú motorokat* szerszámgépek előtoló szervomotorjaiként az 1960-as évektől használják, ma is ez a fő alkalmazási területük. Ezért részletesebb tárgyalásuk az előtoló hajtásoknál található. A motorok szerkezeti kialakítása, az eltérő feladatokhoz igazodóan különböző lehet (nyújtott rúd, tárcsa, stb alakú).

A *permanens mágneses állórészű motorok* többségükben kisteljesítményű törpemotorok és szervomotorok, amelyek fluxusa állandó, kapocsfeszültsége változtatható. (A 10. ábra kialakításban a gerjesztő áramkör helyén állandó mágnes van). A motorok forgórészének kefe-kommutátoros kialakításából adódó kommutáció a magasabb fordulatszám tartományban korlátozza a legnagyobb dinamikus nyomaték levételét. Ez a nyomaték határdiagramnak a kommutációs határgörbe része, ahol mind az áram, mind a nyomaték csökken.

A *permanens mágneses forgórészű egyenáramú motorok* az egyszerű egyenáramú motor kifordításával képzelhetők el. A forgórész helyére kerülő állórész ekkor állandó mágnesű, a nagy mágneses térerőt legtöbbször kerámia (ferrit-) mágnesek biztosítják. A kialakításból adódóan ezek *kefe (kommutátor) nélküli motorok*, amelyeket *elektronikus kommutációjú egyenáramú motoroknak* is neveznek. Az állórész legtöbbször három, vagy négyfázisú tekercselését a kívánt fordulatránynak megfelelő sorrendben tranzistorok (kommutáló tranzistorok) kapcsolják az egyenáramú hálózathoz a forgórész helyzetétől függően. A forgórész helyzetét három, egyenlő osztásra elhelyezett Hall elem, vagy szöghelyzet adó érzékeli. Mivel a létrejövő forgó mágneses tér és a forgórész együtt mozog, ezért olykor a *szinkron motor* elnevezéssel is találkozhatunk.

Ezeket a motorokat előtoló hajtásokban egyre növekvő mértékben használják. Főhajtás céljaira elsősorban *motororsóként* alkalmazzák, magas fordulatszámú és precíziós szerszámgépeknél. A funkció összevonás eredményeként a *motor forgórésze (rotora)* a szabványosan kialakított *főorsó*. A főorsó csapágyháza és a motor állórész egyetlen egységet képez. A hajtás tisztán *villamos főhajtás*. A forgórész kommutációjának hiánya következtében e motorokkal magas, 10000÷12000 f/perc értékek is elérhetők. Az állórész kapocsfeszültségének változtatásával a fordulatszám hozzávetőleg arányosan változik, ahogy a motor teljesítménye is, a nyomaték pedig közel állandó.

### 4.3 Frekvenciaváltós aszinkron motoros főhajtások

Aszinkron motoroknál fokozat nélküli fordulatszám állításra először a veszteséges *slip szabályozásokat* használták. Jelentőségük gyakorlatilag megszűnt.

Ma legszélesebb körben a *frekvenciaváltós fordulatszám szabályozással* találkozhatunk. Az aszinkronmotorok alkalmazását jelentősen kiszélesítette a jó minőségű, megbízható frekvenciaváltók- és szabályozók kifejlesztése. A frekvenciaváltós aszinkron motorok fő jellemzői:

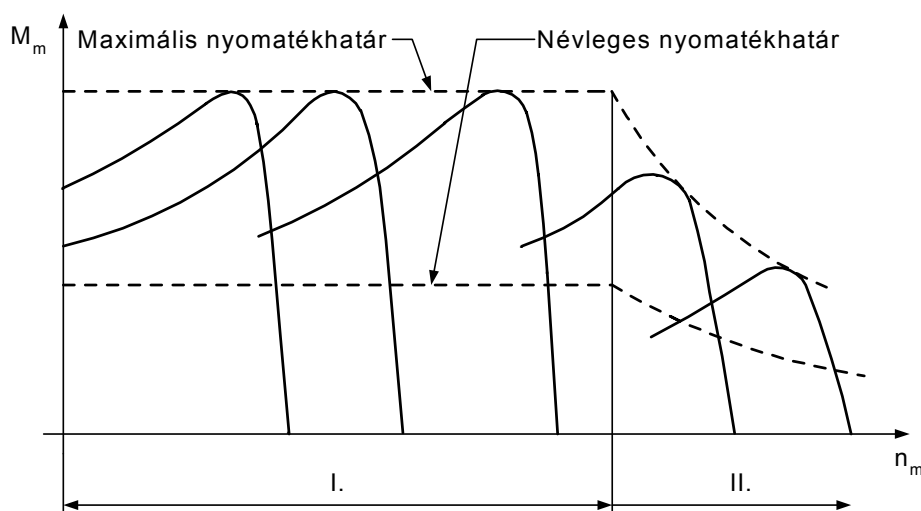
- A nagy választékú motorok viszonylag egyszerű felépítésűek, kis karbantartás igényűek.
- A kis tehetlenségi nyomatékok következtében nagy gyorsítások (lassítások) érhetők el.

- A szokásos frekvenciasáv 0÷400 Hz, de igény esetén több kHz-es feszültség is előállítható, ezáltal igen nagy motor szabályozhatóság- és fordulatszám érhető el. Például 3000 f/perc szinkron fordulatszámú, egy póluspárú aszinkronmotor 600 Hz-nél 36000 f/perc fordulátú.
- Az állandó teljesítményű tartományban lényegesen magasabb fordulatszámok érhetőek el, mivel nincsenek kommutációs problémák.
- 4/4-es üzemre alkalmas motorok, azaz mindkét irányban forgás és fékezés lehetséges.

A fokozatmentesen állítható frekvenciájú (fordulatszámú), kalickás forgórészű motorokat a nagy fordulatszám igényű faipari marógépeken már korábban is széleskörűen alkalmazták. Igényesebb hajtásoknál a motor kialakítása, vasmag anyagminősége, stb. eltér a szokásos aszinkron gépektől. Fémmegmunkáló szerszámgépeken a fokozatmentes fordulatszám változtatás lehetősége mellett a *nagysebességű megmunkálások* (pl. marás) elterjedése hatott kedvezően a frekvenciaváltós hajtások alkalmazására és fejlesztésére. A főmotorok  $n_n$  névleges fordulatszáma, pl. 850, 1000, 1150, 1500, 1800, 3000 f/perc, stb. lehet. A motornyomaték az alábbi összefüggéssel írható fel, ahol  $K$  a gépállandó,  $U_1$  a feszültség,  $f_1$  a frekvencia:

$$M_m = K \left( \frac{U_1}{f_1} \right)^2. \quad (16)$$

A frekvenciaváltós aszinkronmotorok  $M_m(n_m)$  nyomaték jelleggörbéit és határgörbét a 13. ábra szemlélteti, ami az  $f_1$  frekvencia függvényében is hasonlóan rajzolható fel. A frekvenciák függvényében ugyancsak három tartomány különböztethető meg, amelyekből itt kettőt ábrázoltunk. A motor nyomaték (teljesítmény) határdiagramjának alakja hasonló az egyenáramú gépekéhez.



13. ábra Frekvenciaváltós aszinkronmotor jelleggörbéi

- I. Az *állandó nyomatékú tartományban* a névleges fordulatot meghatározó határfrekvenciáig a motor nyomatékgörbék párhuzamosan jobbra tolódnak el, alakjuk nem változik és a motorról a névleges nyomaték levehető:

$$M_m = M_{\max} = \text{áll.}, P_m = C_1 n_m, n_{\min} \leq n_m \leq n_n, (f_{\min} \leq f_1 \leq f_n).$$

Ez azt is jelenti, hogy a *motor fluxusa állandó*. A motor mechanikai jelleggörbéjének összefüggése (16) szerint az  $f_1$  frekvencia változtatása mellett a motor  $U_1$  feszültségét is közel hasonló mértékben változtatni kell ahhoz, hogy a motor fluxusa, a motorról levehető nyomaték ne csökkenjen. Kis frekvenciáknál a feszültséget kevésbé kell csökkenteni ahhoz, hogy a mágneses forgómező fluxusa állandó maradjon. A motor alacsony fordulatszámainál a névleges nyomaték levétele külső hűtéssel biztosítható.

- II. Az *állandó teljesítményű tartományban* a frekvencia növelésével a nyomatékgörbék jobbra tolódnak, alakjuk megváltozik és a motorról a névlegesnél egyre kisebb nyomatékok vehetők le:

$$M_m = C_2 \frac{1}{n_m}, P_m = \text{áll.}, n_n \leq n_m \leq n_{\max}, (f_n \leq f_1 \leq f_{\max}).$$

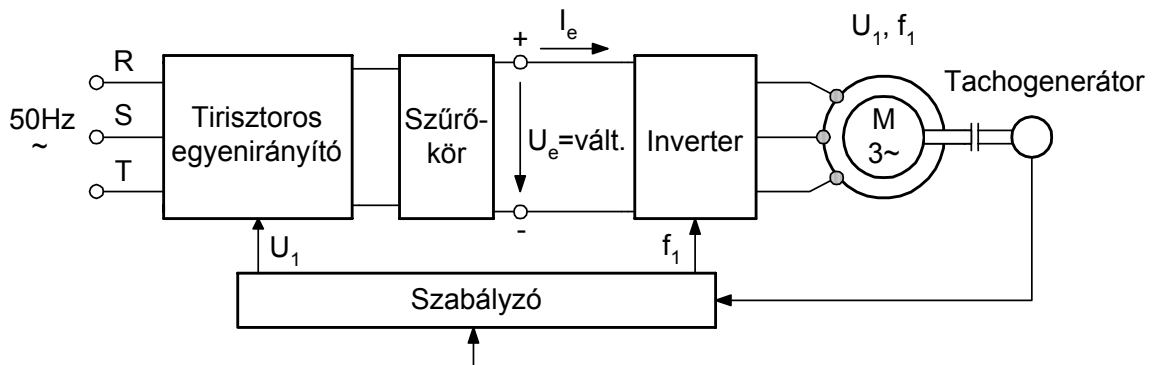
A nyomaték csökkenés oka, hogy a (16) összefüggésben az  $U_1$  feszültség értéke nem növelhető tovább a frekvenciával arányosan. A II. tartományban a fordulatszám állítás *mezőgyengítéses*, mivel a motor fluxusa a frekvencia növelésével csökken.

- III. Magas fordulatoknál és nagyobb teljesítményeknél III. tartomány is létrehozható. A frekvencia növekedése miatti vasvesztés már túl nagy lenne, ezért  $U_1$  csökkentésével a fluxust jobban kell csökkenteni. A nyomaték határgörbe esése meredekebb lesz a II. tartományhoz viszonyítva.

A motor fordulatszámok függvényében felrajzolható teljesítmény és nyomaték határgörbék a 4.1 fejezet 11. ábrájához hasonlóak, ezért részletesen nem magyarázzuk. A jelleget a tápegység és a szabályozás biztosítja. Meg kell jegyezni, hogy a különböző százalékos bekapcsolási időknél és nagyobb terheléseknél a legnagyobb fordulatszám határértéke megváltozik. Az aszinkronmotorok gyakran két póluspárúak, névleges fordulatszámuk 1500 f/perc.

A frekvenciaváltós hajtásoknál két paraméter-, a *feszültség* és a *frekvencia*-, állítása szükséges, amelyet külön-külön egységek oldanak meg [11]. A szerszámgépek közbenső egyenáramú körös, feszültséginverteres aszinkron motoros hajtásainál nagy szabályozhatóság, a közbülső körbe beiktatott ellenállással és azt szaggató tranzisztorral 4/4-es hajtás valósítható meg. A feszültséginverterek csak kikapcsolható félvezető elemeket tartalmaznak. Inverteres (egyenáramból váltóáramot előállító áramirányító) táplálással az aszinkronmotorok fordulatszáma veszteségmentesen szabályozható a tápfeszültség és a frekvencia egyidejű állításával. A frekvenciaváltók két fő egysége az:

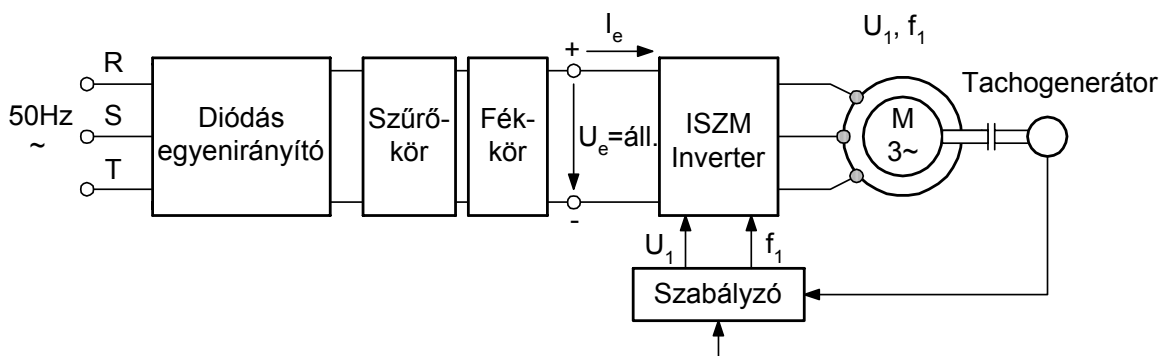
- egyenirányító (váltóáramból egyenáramot képez) és az
- inverter.



14. ábra Egyszerű feszültséginverteres frekvenciaváltó blokkvázlata

Az *egyszerű inverteres* megoldásnál (14. ábra) az  $U_e$  közbenső egyenáramú feszültség nagyságát (végül is az  $U_1$  feszültséget) az  $\alpha$  tirisztor gyújtásszög változtatásával érik el. Az  $f_1$  frekvenciát az inverterben állítják be. A motor fékezése hálózatra visszatápláló, generátoros.

Az *ISZM (impulzus szélesség modulációs) invertereknél* (15. ábra) a közbenső egyenáramú kör  $U_e$  egyenfeszültsége-, az inverterbe bemenő feszültség-, állandó a diódás egyenirányítás következtében. A diódás híd miatt a hálózatra visszatápláló fékezés nem lehetséges. Erről a szűrő után beépített generátoros fék (energiaelnyelő ellenállás) gondoskodik, miáltal a hajtás 4/4-es lesz. A kimenő feszültség és frekvencia egyaránt az ISZM inverterben állítható be, ami gondoskodik a fluxus állandó értéken tartásáról is. Az ISZM inverteres táplálásnál a motor fordulata alacsony értékeknél is egyenletes. A tápegységek további funkciói hasonlóak az egyenáramú motornál leírtakhoz.



15. ábra ISZM inverteres frekvenciaváltó blokkvázlata

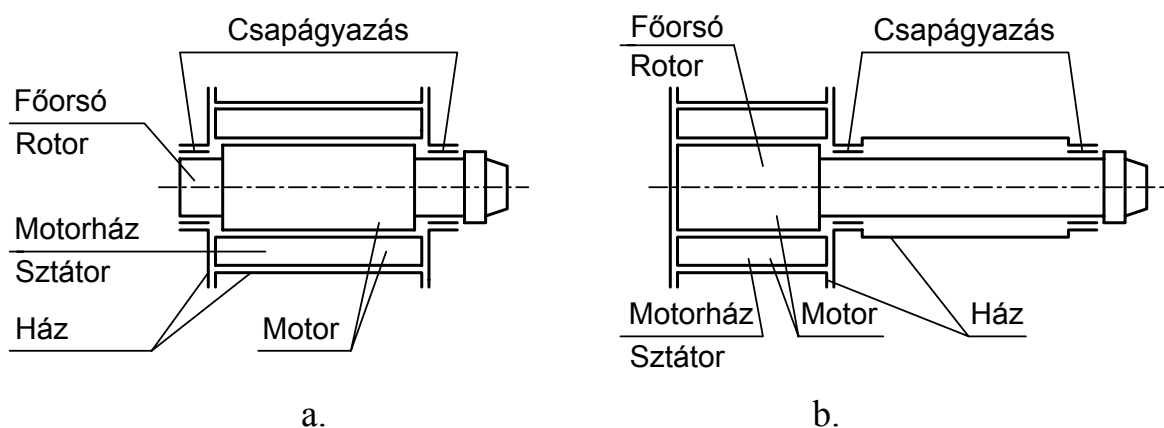
Diódás híd és egyszerű inverter közé iktatott egyenáramú szaggatóval (chopperrel) a bemenő feszültség ugyancsak változtatható, a frekvencia változtatása az inverterben történik.

Nagy fordulatszám igénynél a motor vagy egyetlen, állandó hajtóviszonyú (fogaskerék, laposszíj) áttétellel, vagy rugalmas tengelykapcsolón keresztül, közvetlenül hajt a főorsóra. Az ily módon megvalósítható fordulatszámok felső határa, a hajtás paramétereitől függően lényegesen különbözhet. Fogaskerekes hajtással kombinálva általában 10000÷14000 f/perc, lapos szíjhajtással akár 60000 f/perc, közvetlen tengelykapcsolós megoldással 20000÷24000 f/perc értékek érhetők el. E fokozatmentes hajtások igen nagy szabályozhatósággal is rendelkeznek. A fordulatok felső határát a közbeiktatott mechanikai elem fordulatszámhatára korlátozhatja.

Egyre inkább terjed az aszinkron gépek ún. *mezőorientált (vektor kontroll) fordulatszám szabályozása* mind a fő- és mellékajtásokban. Ennek oka az, hogy ennél a hajtástípusnál kedvezőbbek a tranziens üzem jellemzői, a fordulatszám beállítás gyors és lengésmentes, továbbá a fordulatszám pontosan tartható. A mezőorientált fordulatszám szabályozásnál a forgórész fluxusát tartják állandó értéken az állórész áram valós és képzetes összetevőinek szabályozásával. Más megoldásban az állórész fluxusát szabályozzák. Ezek hajtásszabályozása mezőorientált frekvenciaváltós. A motorra jellemző nyomaték (teljesítmény) határgörbék a 13. ábra szerint alakulnak.

#### 4.3.1 Aszinkrongépes motororsók

A nagyfrekvenciás köszörű, maró, fúró motororsó egységek [13, 14] tisztán villamos főhajtásúak. A korábbi változatokat alapvetően a kézi szerszám-befogás jellemezte. Percenkénti fordulatszámuk nagyságrendtől és technológiai feladattól függően 10 és 180 ezer között található.



16. ábra Motororsó elrendezések

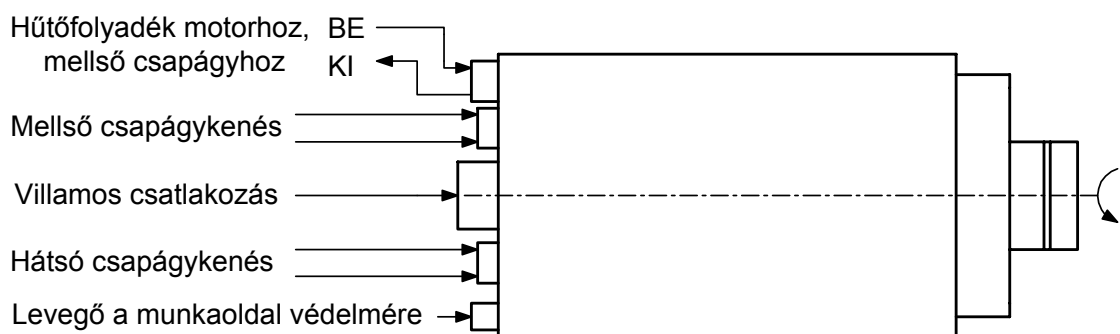
Kompakt, frekvenciaváltós aszinkrongépes motororsókkal egyre elterjedtebben találkozhatunk a könnyűfémek megmunkálására szolgáló, nagy forgácsoló sebességű fúró-maró megmunkáló központoknál, ahol a furatos, szabványos

kialakítású főorsóba a szerszámok automatikus befogása is megoldott. A frekvenciaváltós motororsókat gyakran alkalmazzák nagy pontosságú szerszámgépeknél, mikro-forgácsolási feladatoknál. A motor kerülhet a főorsó csapágyak közé, vagy mögé (16. ábra).

A 17. ábrán egy motororsó minimálisan szükséges energiacsatlakozásait tüntettük fel. A hűtőfolyadék lehet víz, vagy olaj. A csapágyak kenése kis viszkozitású olajjal történik. Az adagolt olajat közvetlenül a csapágyakhoz juttatják, pl. levegővel (porlasztottan), vagy befecskendezéssel. A villamos csatlakozások kódolása biztosítja, hogy a tápegység az adott orsóra megengedett paramétereket ne lépje túl. A mellső csapágyak levegő túlnyomásos védelme már külön igény szerint kerül beépítésre. A csatlakozók a motor hátsó fedelén oszlanak meg. A CNC szerszámgépek fúró- maró motororsóinál további funkciók is szükségesek:

- Szerszám automatikus befogás oldás és lazítás pneumatikus, vagy hidraulikus hengerrel, valamint a dugattyú helyzetek érzékelése.
- Orsó pozicionálás automatikus szerszámcserehez forgó jeladó segítségével.
- Szerszámkúp tisztítás szerszámcserénél levegővel.

Az orsó felügyelet kiterjedhet a legnagyobb fordulatszámra, a hőmérsékletre, áramfelvételre, kenőanyag nyomására, olajtöltésre, hűtőfolyadék mennyiségre.



17. ábra Motororsó energiacsatlakozásai

#### 4.4 Szinkron motoros főhajtások

A szinkronmotorok az aszinkron gépektől a forgórész kialakításában és ebből adódó eltérő működésben különböznek [15]. *A szinkron gépek állórésze rendszerint háromfázisú (az indukciós gépekhez hasonló), forgórésze pedig valamilyen állandó mágnes.* Itt ismerhető fel legtisztábban a kétmágnes elv, a két mágnes, a mágneses tengelyek és a terhelési szög.



Nagyobb teljesítményeknél a forgórész két *csúszógyűrűn be- illetve kivezetett egyenáramú* elektromágnes. Az álló és forgórész póluspárok száma azonos.

Kisebb teljesítményeknél a gép *állandó mágnesű, reluktancia (mágneses ellenállás), vagy hiszterézis* forgórészű.

- A *hiszterézis motorokat* a finommechanikában használják, teljesítményük kicsi: (50÷100 W).
- Az *állandó mágnesű* szinkron motorok elsősorban szerszámgépek előtoló hajtásaiban, robothajtásokban (szervohajtásokban) használják, de van példa főhajtásra is. A forgórész vastestét állandó mágnessel kombinálják. Fordulatszám tartásuk jó, teljesítményük: 0.5÷10 kW.
- A *reluktancia motorok* is fordulatszám tartók, további előnyük a pontos pozicionálás és több hajtás együttléte egyszerűen biztosítható. Teljesítményük 50÷200 W. A reluktancia motorok a pólusok irányában és arra merőleges irányban eltérő *mágneses ellenállást (reluktanciát)* használják ki, ezért kiálló pólusokkal készülnek. A kapcsolt reluktanciamotorokkal elért eredmények alapján várhatóan egyre szélesebb körben nyernek alkalmazást.

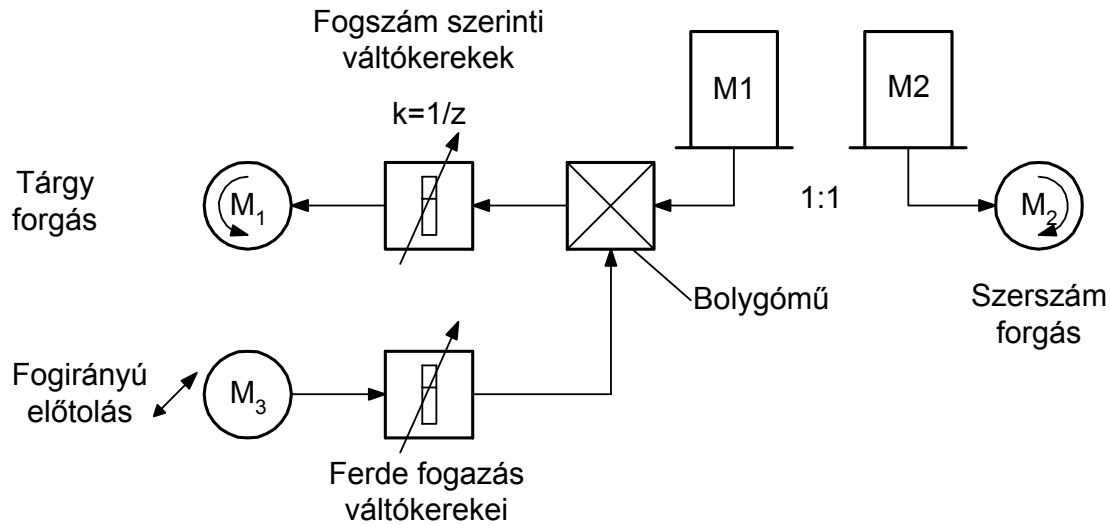
A szinkron motor, azaz a két mágnes egymásra nyomatékot csak akkor fejt ki, ha a forgó mágneses mezővel a forgórész együtt, szinkron forog. Állandó terhelő nyomatéknál a forgó mező és rotor között valamilyen  $\beta$  terhelési szög alakul ki. Túlterhelésnél a motor a szinkronból kieshet. Az indításnak, szinkronozásnak több megoldása is van.

A szinkron motorok működése a 4.4 fejezetben tárgyalt, állandó mágnesű egyenáramú motorokkal összevethető, ahogy az elektronikus kommutáció a háromfázisú táplálással. Az állórészre kapcsolt állandó nagyságú váltakozó feszültség, állandó nagyságú és állandó szögsebességgel forgó külső mágneses teret hoz létre. A motor diszkrét fordulatszáma a póluspárok száma határozza meg. A fokozatmentes fordulatszám állítás frekvencia változtatással, közbülső egyenáramú körös frekvenciaváltóval történik (4.3 fejezet), az állítási tartományban a motor nyomatéka állandó. A motor és hajtómű teljesítmény- és nyomaték határgörbéi a 11. ábrának megfelelőek.

A szinkron motorok fordulatszám tartó tulajdonsága igen előnyösen használható ki olyan szerszámgépeknél, ahol két azonos, vagy különböző nagyságú forgómozgás összehangolása szükséges. Utóbbi esetben a két különböző nagyságú forgómozgás között szükséges diszkrét hajtóviszony értékeket fokozatos hajtómű, váltókerekek, vagy elektronikus kinematikai lánc valósítja meg.

Szinkronmotoros hajtások találhatók pl. a Csepeli Szerszámgépgyár (jogutódja Excel-Csepel Szerszámgépgyártó Kft.) csigakorongos lefejtő fogaskerék köszörűgépén [16, 17]. A köszörűkorongot közvetlenül hajtó 1500

fordulatszámú M2 szinkronmotor és az ugyancsak 1500 fordulatszámú tárgyforgató M1 szinkronmotor azonos hálózati táplálás következtében azonos szinkron fordulatszámmal bír, a köztük lévő hajtóviszony 1:1.



18. ábra Csigakorongos fogaskerék köszörűgép hajtásainak, mozgáskapcsolatainak funkcióvázlata

A gép hajtásainak, mozgáskapcsolatainak egyszerűsített funkcióvázlata a 18. ábrán látható. Az M<sub>1</sub> a munkadarab, M<sub>2</sub> a szerszám forgás, M<sub>3</sub> a fogirányú előtolás, amelyet hidraulikus henger valósít meg. A fogazandó fogszámnak megfelelő hajtóviszony a fogsám szerinti váltókerekekkel, a fogferdeségnek megfelelő munkadarab járulékos mozgás a ferde fogazás váltókerekeivel állítható be, amelyet bolygóművön keresztül biztosítunk.

## 4.5 Motorok kiválasztása

*A motorok kiválasztása a főhajtómű előírt és meghatározott paramétereivel szoros összefüggésben, a szükséges teljesítmény (nyomaték) és fordulatszám alapján történik. A motorok teljesítménye a szükséges és elégséges értéket felülről közelítse, mivel a túlméretezés gazdaságtalan és felesleges költségeket jelent, stb.*

A motor kiválasztása során számos további szempontot is figyelembe kell venni, illetve a rendeléskor megadni, mint az építési alak, a védettségi fokozat (IEC 34-5/1991), a hűtési mód (IEC 34-6), az üzemmód (IEC 34-1), stb. [18].

Az IEC - International Electrotechnical Commission, a Nemzetközi Elektrotechnikai Bizottság ajánlásait jelenti.

### *Építési alak*

A motorok különböző kiviteli, építési alakját az IM betűk utáni négyjegyű szám adja meg. Az építési alak a motor beépítési és csatlakozó méreteit foglalja

magába, talpas motoroknál a tengelymagasságot és a talp méreteit, peremes motoroknál a perem geometriai adatait. Az IM 1001 jelű talpas motorok felfogása vízszintes sík felfogó felületre csavarokkal történik. Az IM 3001 jelű peremes motorok központosító pereme pontos tengelyhelyzetet biztosít, rögzítésre a motor külső gyűrűje szolgál. A motorok forgórésze rendelkezhet egyoldali, vagy kétoldali kihajtó tengellyel, esetleg igény szerinti furatos tengellyel, stb.

### *Védettségi fokozat*

A védettséget az IP betűk utáni kétjegyű szám adja meg. Az első szám a motor személy és idegen test elleni, a második szám a víz elleni védettségre utal. A leggyakoribb védettségi mód az IP 44, ami az 1 mm-nél vastagabb szerszámokkal, valamint bármilyen irányú fröcskölt vízzel szembeni védettséget jelent [10].

### *Hűtési mód*

A motor hűtési módját az IC betűk utáni számkombináció határozza meg. Az IC0041 a természetes hűtésre utal, a gépnek nincs ventilátora. Az IC01 saját szellőzésű motor, a hűtést a forgórészre szerelt, vagy arról állandó áttételen keresztül hajtott ventilátor biztosítja. Az IC06 a motorra épített idegen szellőzővel való hűtőlevegő áramoltatásra utal. Ez igen gyakori a fordulatszabályozott motoroknál. Az ismertetett hűtések nyitott rendszerűek, amikor a hűtőlevegő a motor belsején átáramlik. Zárt hűtési rendszereknél a hűtés történhet a gép felületén, pl. az IC 0641 ráépített idegen szellőzővel való levegőhűtést jelent, vagy a gép belsején és hőcserélőn keresztül. Orsómotoroknál zárt rendszerű, külső köpenyes folyadékhűtést alkalmaznak hőcserélővel.

### *Üzem mód*

A motor különböző üzemmódokban terhelhető, bármely üzemmódban is a motor melegedésére megengedett értékeket tartani kell. A motorokat különböző üzemmódokra tervezik a sajátosságoknak megfelelően. A szerszámgépeken használatos motorok több üzemmódban is igénybe vehetők, a gép kialakításánál erre tekintettel vannak. A legfontosabb üzemmódok:

- *Az állandó üzem-*, jele S1, S6÷S9-, pl. a szerszámgépek alapvető üzemmódja. A gép állandó fordulatszámmal és állandó, vagy kissé változó terheléssel üzemel, azaz  $b_i = 100\%$ -os bekapcsolási idejű (idegen kifejezéssel 100 %ED - 100 %Einschaltdauer). A terhelés időnként szünetelhet. Pl. az S1 állandó terhelést, az S6 ciklikusan ismétlődő terhelést, az S7 ciklikusan ismétlődő állandó üzemet, stb. jelent. Ekkor a statikus terhelés alapján számított névleges teljesítmény tartósan levehető. A motor hőegyensúlya beáll, a melegedés névleges értékű.

- *A rövid ideig tartó üzemet-, jele S2-, igen változó terhelések jellemezik. Az indítások és fékezések hatása a melegedésre elhanyagolható. Rövid ideig tartó üzemmódban a motor meghatározott, ajánlott  $t_{\text{ü}}$  üzemideig, 10, 30, 60, 90 percig üzemeltethető, de hőmérséklete rendszerint nem éri el az állandósult értéket. Kikapcsolás után a motor a környezeti hőmérsékletre hűl le. A  $t_{\text{ü}}$  üzemidőre számított levehető teljesítmény a névlegesnél nagyobb.*
- *A szakaszos üzemű gépeknél (S3÷S5) gyakoriak a motor melegedését befolyásoló indítások és fékezések, a ciklikusan ismétlődő terhelés és fordulatszám állandó lehet. Szakaszos üzemben a  $t_{\text{ü}}$  üzemidőt és a  $t_{\text{c}}$  ciklusidőt figyelembe véve határozzák meg a  $b_i\% = t_{\text{ü}}/t_{\text{c}}$  100% százalékos, vagy viszonylagos bekapcsolási időt, amelynek szabványos értékei: 15%, 25%, 40%, 60%. Szakaszos üzemű gépnél a  $t_{\text{c}}$  ciklusidőt általában 10 percben korlátozzák. *Állandó üzemű gép szakaszos üzemre való felhasználásakor a ciklusidő  $t_{\text{c}} \geq 10$  perc és a százalékos bekapcsolási idővel együtt adják meg. A szakaszos üzem ekkor a periodikus terhelésű folyamatos üzemnek felel meg- jelölése ezért lehet S6 is- azzal a különbséggel, hogy a motort kikapcsolják. A motor lekapcsolás után nem hűl le a környezet hőmérsékletére. A kihasználható teljesítmény a névlegesnél nagyobb.**

### *Melegedés*

Az állandó üzemű motoroknál névleges teljesítménynél, állandósult állapotban a keletkező és eltávozó hőmennyiség egyensúlyban van normál környezeti feltételek mellett. Rövid idejű és szakaszos üzemben a motorokról a névlegesnél nagyobb teljesítmények és nyomatékok vehetők le. A túlterhelés mértékét mindig a hőegyensúly és a hőállósági osztály határozza meg. Valamely munkaciklusban a motor hőenergiává alakuló átlagos vesztesége azonos vagy kisebb lehet a névlegesnél. Az ellenőrző számításokhoz legtöbbször az egyenértékű áramok módszerét használják. A motorok túlmelegedés ellen védettek.

## 5. FOKOZATNÉLKÜLI FŐHAJTÓMŰVEK TERVEZÉSE

A fokozat nélkül változtatható fordulatszámú motorokkal kombinált mechanikus főhajtóművek kinematikai tervezése, a motorteljesítmény meghatározása a szabályozott motorok típusától függetlenül végezhető el. A hajtómű kimenő teljesítményére és nyomatékára jellemző határgörbék szerkesztését kapcsolófeszültség (főáramköri) és mezőgyengítéses szabályozási tartománnyal rendelkező motor esetére mutatjuk be, amelyből az egyszerűbb (csak kapcsolófeszültség szabályozású), vagy az összetettebb (vegyes szabályozással is bíró) esetek is levezethetők.

### 5.1 Főhajtóművek kinematikai tervezése

A technológiailag megkívánt hajtó,  $n_{\min}$  legkisebb és  $n_{\max}$  legnagyobb, fordulatszámok gyakran a motor szélső fordulatszámain kívül esnek. A főorsón levehető nyomatékok növelése, és/vagy a motor fordulatszám tartomány kiterjesztése céljából a motor után fokozatos, rendszerint két- vagy háromfokozatú elemi, mechanikus hajtómű helyezkedik el. A feladatok jelentős része általában szabályos hajtóművel, a megengedett értékű,  $k_{\max}$  gyorsító és  $k_{\min}$  lassító, hajtóviszonyok betartásával megoldható. A  $k_{\max}$ ,  $k_{\min}$ , ( $k$ ) hajtóviszony a kapcsolódó hajtó és hajtott fogaskerek fogszám hányadosaként ( $k=z_{\text{hajtó}}/z_{\text{hajtott}}$ ), vagy a hajtó és hajtott szíjtárcsák átmérő hányadosaként ( $k=D_{\text{hajtó}}/D_{\text{hajtott}}$ ) számítható. A leírtak alapján adódik, hogy a  $k$  hajtóviszony az  $i$  módosítás reciprokaként, a  $k=1/i$  összefüggéssel határozható meg. A  $k$  hajtóviszonyok használatának előnye a kinematikai elemzéseknél egyértelműen kitűnik. Segítségével a kimenő fordulatszámok közvetlenül meghatározhatók a bemenő fordulatszám ismeretében.

A fordulatszám tartomány végső helyzetét sokszor egy állandó hajtóviszonyú (áttételű) lassító, vagy gyorsító fogaskerék- vagy szíjhajtás jelöli ki. Az állandó hajtóviszonyt konstrukciós és/vagy kinematikai szempontok alapján, a hajtómű elején, vagy végén helyezkedik el.

Kedvező tulajdonságaik miatt az előtét tengelyes, vagy a fokozatos túlfedett hajtóművek előnyei ekkor is kihasználhatók [1,2]. A leírtak megértésére a minimálisan szükséges mértékben magyarázzuk a fokozatos hajtóművek idevágó ismereteit.

A fokozat nélküli elektromechanikus főhajtómű  $S_z$  szabályozhatóságát a sorba kapcsolt motor  $S_{z_m}$ , és a fokozatos hajtómű  $S_{z_f}$  szabályozhatóságainak szorzata adja [1, 2, 26]:

$$S_z = S_{z_m} S_{z_f}, \quad (\lg S_z = \lg S_{z_m} + \lg S_{z_f}), \quad \text{ahol} \quad (17)$$

$$S_{z_f} = \varphi^{z-1}, \quad \text{és amelyből} \quad z = \frac{\lg S_{z_f}}{\lg \varphi} + 1. \quad (18)$$

Az egyenletekben szereplő jelölések:

$Sz$  - a hajtómű teljes szabályozhatósága, ami az  $n_{\max}$  legnagyobb és az  $n_{\min}$  legkisebb technológiai fordulatszámok hányadosa,

$Sz_m$  - a motor szabályozhatósága, ami az  $n_{m\max}$  legnagyobb és az  $n_{m\min}$  legkisebb motor fordulatszámok hányadosa,

$Sz_f$  - a fokozatos hajtómű szabályozhatósága, ami a hajtómű és a motor szabályozhatóságok hányadosa ( $Sz/Sz_m$ ), vagy másként a fokozatos hajtómű szélső, eredő hajtóviszonyainak hányadosa ( $k_{\max}/k_{\min}$ ).

$z$  - a fokozatos hajtómű fordulatfokozatainak száma,

$\varphi$  - a fokozatos hajtómű egymás melletti nagyobb és kisebb kihajtó fordulatszámainak hányadosa, mint azt később magyarázzuk. A  $\varphi$  értéke a *tisztán fokozatos főhajtóműveknél*, a forgácsolószerszám élén megengedett százalékos, viszonylagos sebességeséstől ( $\Delta v$  %) függ.

A fent leírtakat egyenletekkel kifejezve:

$$Sz = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}, \quad Sz_m = \frac{n_{m\max}}{n_{m\min}}, \quad Sz_f = \frac{Sz}{Sz_m}, \quad \varphi = \frac{100}{100 - \Delta v}. \quad (19)$$

*A túlfedés(ek)*

A motor és a hajtómű illesztésekor a cél a minél kisebb tagszámú fokozatos hajtóművel történő megoldás. A motor és hajtómű soros összekapcsolásakor *kihagyás nélküli, pozitív, illetve negatív túlfedésű* főhajtómű megoldások adódhatnak. Az elektromechanikus fokozatnélküli hajtóművek törvényszerűségei, fordulatszámábrái sok tekintetben azonosak a mechanikus fokozatnélküli hajtóművekével [26]. A motor és a fokozatos hajtómű közötti  $Sz_T$  *túlfedés* mértéke a motor és a fokozatos hajtómű szabályozhatóságainak hányadosából határozható meg, ami egyben a túlfedett tartomány szabályozhatóságát fejezi ki:

$$Sz_T = \frac{Sz_m}{Sz_f} = \frac{Sz/Sz_f}{Sz_f} = \frac{Sz}{Sz_f^2}, \quad \text{vagy} \quad Sz_T = \frac{Sz_m}{Sz_f} = \frac{Sz_m}{Sz/Sz_m} = \frac{Sz_m^2}{Sz}. \quad (20)$$

A fokozatos hajtómű  $Sz_f$  szabályozhatóságát a hajtómű  $z$  fokozatszámával és a  $\varphi$  fokozati tényezővel kifejezve a (20) összefüggés az alábbi formába írható:

$$Sz_T = \frac{Sz_m}{Sz_f} = \frac{Sz_m}{\varphi^{z-1}}. \quad (21)$$

Kétfokozatú hajtóműnél ( $z=2$ ), illetve egymás melletti fordulatfokozatok kapcsolásakor a túlfedés mértéke:

$$Sz_T = \frac{Sz_m}{\varphi}. \quad (22)$$

A 19. ábrán kétfokozatú mechanikus hajtóművel kialakított elektromechanikus fokozatnélküli főhajtómű *kihagyás nélküli* (19.a ábra), *pozitív túlfedéses* (19.b ábra) és *negatív túlfedéses, vagy kihagyásos* (19.c ábra) fordulatszámábrája, valamint a köztük lévő eltérések láthatók. A kétfokozatú hajtóművet ehelyütt a  $k_1$  lassító és a  $k_2=1/1$  hajtóviszony jellemzi, ez utóbbi gyorsító hajtóviszony is lehet.

*Kihagyás nélküli hajtóműnél*  $Sz_T=1$ , azaz  $Sz_m=Sz_f$ . A kívánt fordulattartomány kihagyás nélkül, teljes egészében megvalósítható.

*Pozitív túlfedésnél*  $Sz_{T+}>1$ , azaz  $Sz_m>Sz_f$ . A fokozatos hajtóművet a szélső hajtóviszony ágakra kapcsolva a motor azonos nagyságú, I. és II. fokozatnélküli fordulatszám tartományai egymást meghatározott mértékben átfedik. Az  $Sz_m>Sz_f$  egyenlőtlenség a motorok nagy szabályozhatósága következtében általában teljesül.

*Negatív túlfedésnél*  $Sz_{T-}<1$ , azaz  $Sz_m<Sz_f$ . Ekkor a motor azonos nagyságú, I. és II. fokozatnélküli fordulatszám tartományai között nincs átfedés, kihagyásos tartomány adódik, amely tartományban fordulatok nem valósíthatók meg. Ilyen hajtómű alkalmazása szerszámgépeken nem fordul elő.

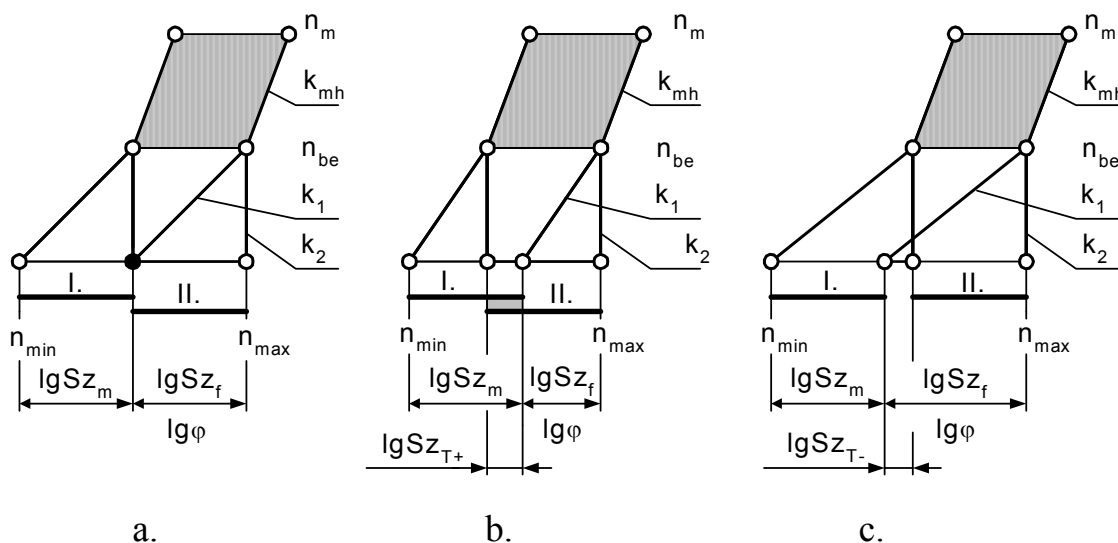
Fontos megjegyezni, hogy a kettőnél több fokozatú hajtóműnél a hajtóműre vonatkozó kihagyás ( $Sz_{T-}<1$ ) nem jelenti azt, hogy az előírt technológiai fordulatszámok (fordulatszám tartomány) a hajtóműről teljes egészében nem vehetők le. A  $z>2$  esetben ugyanis a fokozatos hajtómű egymás után kapcsolt fokozatainál az egyes fordulatszám tartományok között már lehet átfedés. Erre mutat példát a 33. ábra szerinti főhajtómű fordulatszámábrája. Az egymás melletti fordulatszámfokozatok kapcsolásakor a motor fordulatszám tartományok közötti túlfedés a (22) összefüggéssel határozható meg. A  $\varphi$  értékét az egymás melletti nagyobb és a kisebb értékű hajtóviszonyok (a fokozatos hajtóművel megvalósítható, egymás melletti nagyobb és kisebb fordulatszámok) hányadosa határozza meg. Többfokozatú hajtóműveknél az egymás melletti  $\varphi$  értékek különbözőek is lehetnek (a fokozatos hajtómű nem szabályos) technológiai megfontolások alapján.

Fokozatnélküli elektromechanikus főhajtóműveknél általában pozitív túlfedésű megoldásokat adódnak, mivel az  $Sz_m<Sz_f$ . A túlfedések száma és mértéke, adott bemenő paramétereknél, a fokozatos hajtómű kinematikai tervezésekor dől el.

A T túlfedések száma:  $T=z-1$ .

A *fordulatszámábrákon* a fogaskerékpárok hajtóviszonyai, az egyes tengelyek fordulatszámjai és a szabályozhatóságok logaritmikus léptékű ábrázolásban könnyen áttekinthetők. Ezt az ábrázolást egységesen alkalmazzuk a továbbiakban. A 19. ábrán a motor - hajtómű közötti,  $k_{mh}$  lassító hajtóviszonyt is feltüntettük. A 19.a,b,c ábrák alapján felírható összefüggések:

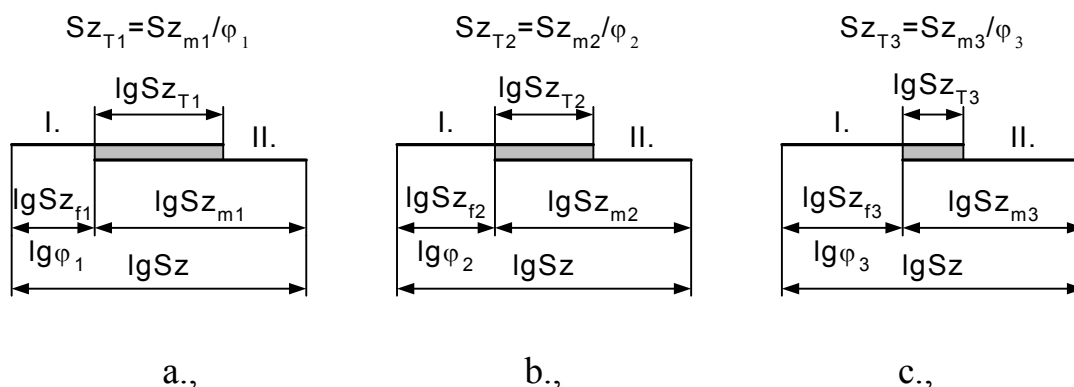
$$S_{z_m} = S_{z_f} = \frac{k_2}{k_1} = \varphi, \quad S_{z_m} > S_{z_f} = \frac{k_2}{k_1} = \varphi, \quad \text{illetve} \quad S_{z_m} < S_{z_f} = \frac{k_2}{k_1} = \varphi.$$



19. ábra Kétfokozatú hajtóművel kombinált fokozatnélküli hajtóművek fordulatszámábrái

A túlfedésekre vonatkozó elemzések az alábbiakkal egészíthetők ki.

Adott  $S_z$  hajtómű szabályozhatóságnál és  $z$  fokozatszámnál csökkenő  $S_{z_m}$  motor szabályozhatóságok esetén a fokozatos hajtómű  $S_{z_f}$  szabályozhatósága és  $\varphi$  fokozati tényezője nő, illetve fordítva. Ennek megfelelően a túlfedés mértéke csökken, illetve nő. A leírtakat kétfokozatú hajtómű példáján a 20. ábra szemlélteti. Szélső esetben a két szabályozhatóság azonos, túlfedés nem lesz és a 19.a ábra szerinti kihagyás nélküli fordulatszámára adódik.



20. ábra A túlfedés mértékének változása a szabályozhatóságok arányában

A gondolatmenet és vizsgálatok  $S_{z_f}$  változtatása esetén hasonlóan vihetők végig. Ugyanolyan  $S_z$ ,  $S_{z_m}$  és  $S_{z_f}$ -nél a  $z$  fokozatszám növelése kisebb  $\varphi$  fokozati tényezőket eredményez, miáltal a túlfedések száma és nagysága egyaránt nő.



A fokozatos és fokozatnélküli túlfedett főhajtóműveket összehasonlítva a következő megállapítások tehetők.

*Fokozatos főhajtóműveknél* a túlfedés elsősorban a nagy szabályozhatósági igény kielégítésére szolgál, továbbá lehetővé teszi a meg nem engedett lassítások elkerülését. Utóbbi céllal elektromechanikus fokozatnélküli hajtóművek fokozatos hajtóműveinél is alkalmazzák a diszkrét fordulatszámú fokozatok túlfedését (25. ábra).

*Fokozatnélküli főhajtóműveknél* a túlfedett fokozatnélküli tartomány a fokozat nélkül állítható fordulatszámú motor és a fokozatos hajtómű összekapcsolásából következik. A túlfedéseknek a kinematikai tervezés első lépésében kiadódó értékei (nagysága), száma célszerűen változtatható a gép rendeltetésének megfelelően (Lásd a  $\varphi$ -re vonatkozó megjegyzést!).

A fokozatok és ezzel a túlfedések számának növelésével, különböző mértékű átfedési tartományok létrehozásával a főhajtómű alkatrész-specifikus, technológiaorientált kinematikai tervezése valósítható meg. Egyes alkatrészek megmunkálása, vagy a megmunkálások nagy része elvégezhető anélkül, hogy a fokozatos hajtóműben fordulatszámú váltásra lenne szükség, ami egyben a motorteljesítmény gazdaságos kihasználását is szolgálja. A felsorolt előnyök akár gazdaságossá is tehetik a fokozatos hajtómű fokozatszámának növelését.

*Alapvető jellegzetesség, hogy fokozat nélküli hajtóműveknél nem követjük a fokozatos hajtóművek törvényszerűségeit, nincs szükség a szabványos  $\varphi$  fokozati tényezők betartására,* ami a motorok fokozat nélkül állítható fordulatszámából következik. A  $\varphi$  fokozati tényező tartalma is megváltozott, továbbiakban a fokozatos hajtómű két egymás melletti nagyobb és kisebb fordulatszámának (hajtóviszonyának) hányadosát jelenti csak. Ugyanakkor a fokozatos hajtóművek kinematikai tervezésre vonatkozó más törvényszerűségeit célszerű indításként felhasználni. A fokozati tényezőknél változatlanul figyelembe kell venni a hajtóviszonyokra megengedett határértékeket, ami alapján a  $\varphi_{\max}$  fokozati tényező maximális értéke kiszámítható. Gyorsítást nem kell alkalmazni, ha a motor maximális fordulatszáma nagyobb, mint a technológiailag szükséges legnagyobb fordulatszám. Ekkor  $k_{\min} \geq 1/4$  és  $1/1 \geq k_{\max}$ . Ha gyorsítás is szükséges, akkor  $k_{\min} \geq 1/4$  és  $2/1 \geq k_{\max}$ . A leírtak figyelembevételével:

$$\varphi_{\max} \leq \frac{k_{\max}}{k_{\min}} = 4, \text{ illetve } \varphi_{\max} \leq \frac{k_{\max}}{k_{\min}} = 8.$$

A szükséges  $z$  fokozatszámot különböző megfontolások alapján határozhatjuk meg, amelyet azután a tervezés igényei szerint módosíthatunk (növelhetünk). A (18) egyenletbe például a fenti  $\varphi_{\max}=4$ , vagy 8 értéket helyettesítve a szabványos hajtómű legkisebb  $z$  fokozatszáma gyorsítás nélküli, vagy gyorsításos esetben felfelé egész számra történő kerekítéssel meghatározható a (18) alapján:

$$z \geq \frac{\lg Sz_f}{\lg \varphi_{\max}} + 1.$$

A fokozatos hajtómű  $Sz_f$  szabályozhatóságának és  $z$  fokozatszámának ismeretében a  $\varphi$  fokozati tényező a (18) összefüggés átrendezésével kifejezhető és pontosan számítható:

$$\varphi = \sqrt[z]{Sz_f}.$$

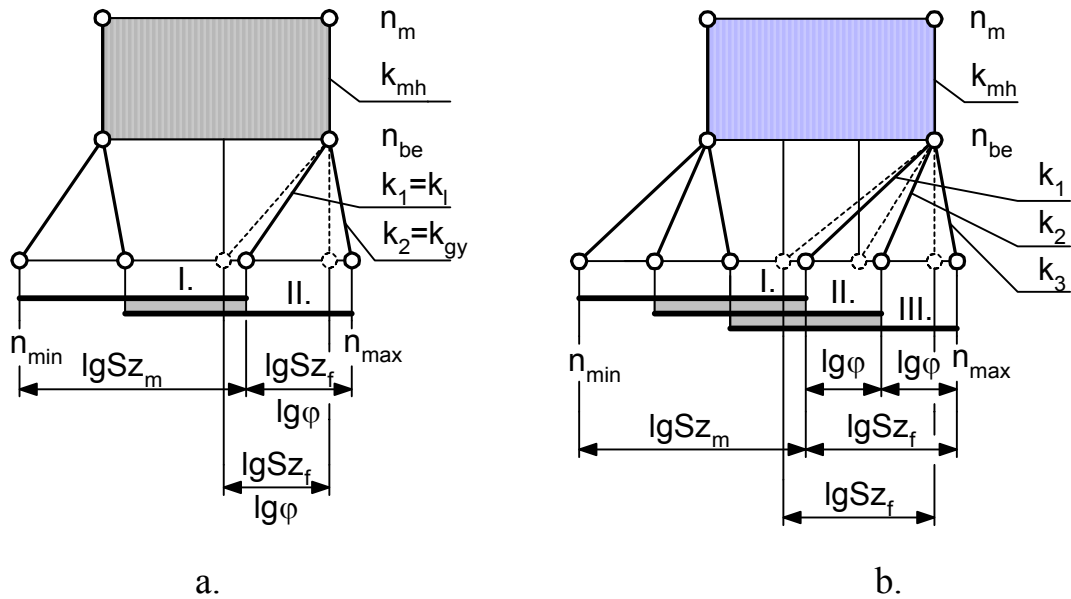
A ma használt motorok fordulatszám szabályozhatóságát és a főhajtóművek szokásos összes fordulatszám szabályozhatóságát figyelembe véve a hajtómű  $z$  fokozatszámára 2, 3, 4 ritkán 6 és 8. A gyakorlatban leginkább előforduló eseteket az alábbiakban tekintjük át.

*A fokozatos hajtómű szabályozhatósága:  $Sz_f \leq 4$ .*

A fokozatos hajtómű elemi 2, vagy 3 fokozatú és szabályos, azaz a hajtóműben lassítás(ok) és 1:1 hajtóviszony, vagy lassítás(ok) és gyorsítás fordul elő a megengedett határokon belül, amit a fordulatszámábrák (20. ábra) mutatnak. A fordulatszámábrákon látható, hogy a fordulatoknak a továbbiakban nem kell a fokozatos hajtóművekre jellemző háló metszéspontjaira esni. A fokozatos hajtómű kiinduló fordulatszámábrájának rácspontjait a hajtómű tengelyeinek megfelelő vízszintes egyenesek és a  $\lg \varphi$  távolságra meghúzott függőleges egyenesek metszéspontjai képezik. A szaggatott vonallal feltüntetett fordulatszám ábrából kiindulva készíthető el a feladatnak megfelelő fordulatszámára (és kinematikai ábra), amelyen megrajzoltuk az egyes fordulatszámoknál levehető fokozat nélküli fordulatszám tartományokat és az egymás melletti tartományok túlfedését is (I.-II., II.-III.), amelyek a 20.b ábrán egyformák. Megjegyzés: az ábrákon a motorfordulatszám szabályozhatósága nem léptékhelyes a fokozatos hajtómű szabályozhatóságához képest! A motor és hajtómű között  $k_{mh}=1/1$  állandó hajtóviszony található.

A fokozatos elemi hajtóművek szabályozhatósága, a 19. ábra kapcsán leírtaknak megfelelően, a hajtóviszonyokkal kifejezhető:

$$Sz_f = \frac{k_2}{k_1} \text{ (20.a ábra), illetve } Sz_f = \frac{k_3}{k_1} \text{ (20.b ábra).}$$

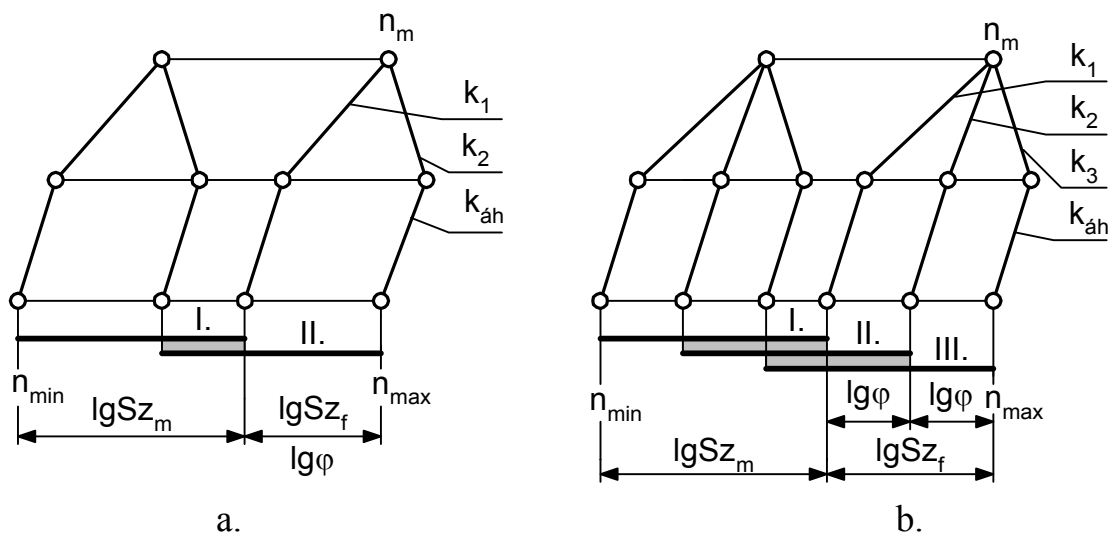


20. ábra Fordulatszámábrák lassító és gyorsító hajtóviszonyokkal

A fokozatos hajtómű szabályozhatósága:  $4 \leq Sz_f \leq 8$ .

Ekkor az alábbiak szerint építhetők fokozatos hajtóművek.

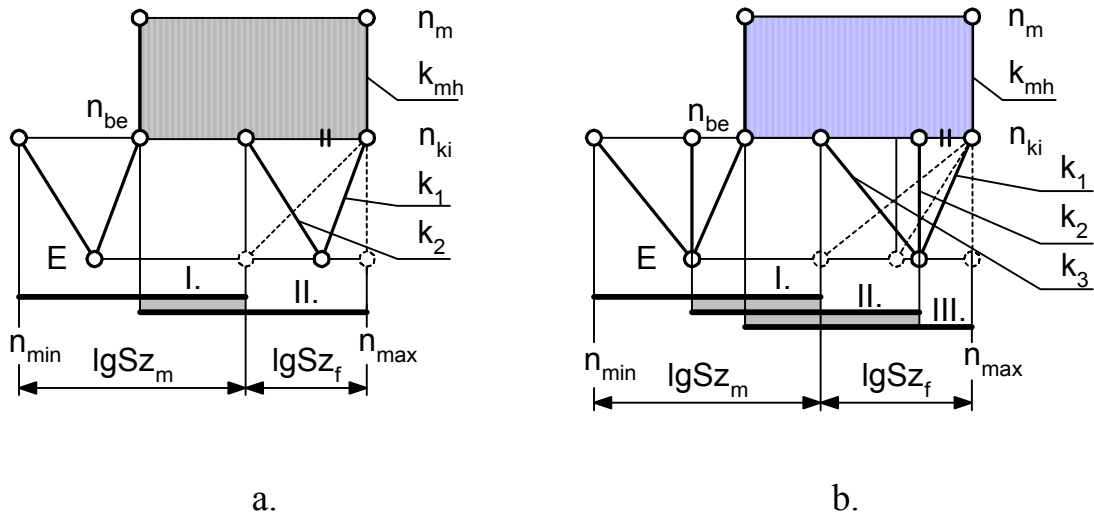
- a., A feladatok egy része szabályos elemi hajtóművel megoldható (20. ábra).
- b., A technológiailag indokolt gyorsítások mellett a túlzott mértékű lassítások elkerülésére növeljük a gyorsítás mértékét a megadott korláton belül, amelyet azután valamely  $k_{\text{áh}}$  állandó hajtóviszonnyal (fogaskerekes, szíj) kompenzálunk. A 22. ábra az így kialakított fokozatos hajtómű fordulatszám ábráját szemlélteti. A motor és a hajtómű első tengelye egytengelyű. A fokozatos elemi hajtóművek szabályozhatósága az előzőek szerint írható fel.



22. ábra Fordulatszámábrák végfokozati lassítással

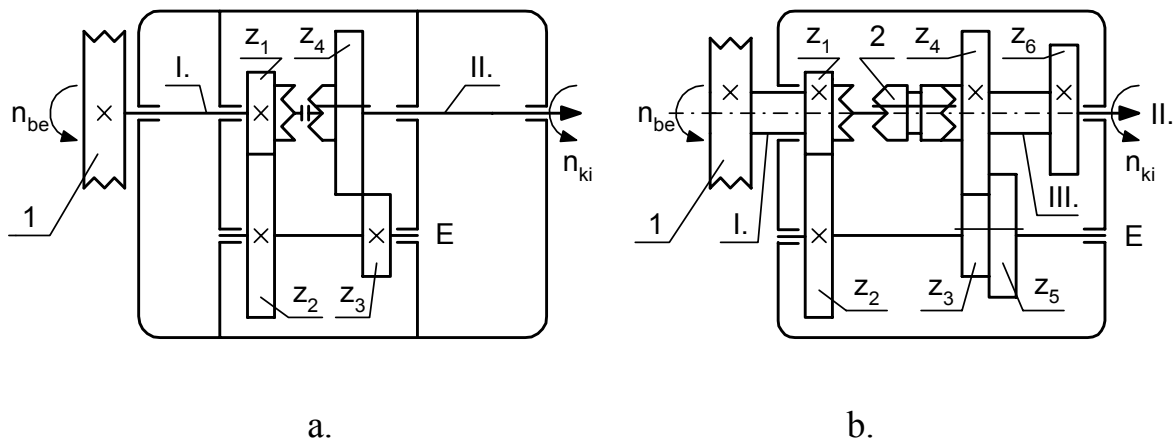
c., A kényszerből alkalmazott gyorsítások és lassítások E előtéttengelyes megoldással elkerülhetők, és a nagy lassítások megoszthatók. A megosztás mértéke a fokozatos hajtóművektől eltérően tetszőleges lehet. Az egyszerű és kettős előtéttengelyes megoldások fordulatszámábrái a 23. ábrán, kinematikai vázlataik a 24. ábrán láthatók.

A kinematikai vázlat a főhajtómű (szerszám gép) kinematikai felépítését szemléltető egyszerűsített, síkba terített vonalas ábra, amellyel a hajtómű kinematikája-, nem léptékhelyesen-, jelképekkel szemléltethető.



23. ábra Fordulatszámábrák előtéttengelyes hajtóműegységek alkalmazásánál  
Az egyszerű előtéttengelyes hajtóműegység kétfokozatú, a kettős előtéttengelyes háromfokozatú elemi hajtóműnek felel meg. A fokozatos hajtóműegységek szabályozhatósága a sorba kapcsolás következtében:

$$Sz_f = \frac{1}{k_1 k_2} \text{ (23.a ábra), illetve } Sz_f = \frac{1}{k_1 k_3} \text{ (23.b ábra).}$$



24. ábra Előtéttengelyes hajtóműegységek kinematikai vázlatai

Az *egyszerű előtéttengelyes* megoldás felrajzolt kinematikai vázlatánál (24.a ábra) a magasabb fordulatszám tartomány az 1 szíjtárcsa, az I. behajtó tengely és arra ékelt  $z_1$  fogaskerék-tengelykapcsolófél, a tolókeréknek kiképzett és baloldali állásba kapcsolt  $z_4$  fogaskerék-tengelykapcsolófél kinematikai láncon keresztül *közvetlenül* jut az I. tengellyel koaxiális, de attól különálló II. kihajtó tengelyre.

A  $z_4$  fogaskereket jobboldali állásába kapcsolva a hajtás az  $1 - z_1/z_2 - E - z_3/z_4$  kinematikai láncon keresztül *közvetetten* jut a II. kihajtó tengelyre.

A *kettős előtéttengelyes megoldás* (24.b ábra) más elvi kialakítású.

A magasabb fordulatszám tartomány a 2 tengelykapcsoló baloldali állásában *közvetlenül* vezethető át az 1 szíjtárcsáról és az I. behajtó csőtengelyről a II. kihajtó tengelyre, amelyre az I. és III. csőtengelyek épülnek.

A hajtás a 2 tengelykapcsoló jobboldali állásában az  $1 - z_1/z_2 - E - z_3/z_4$ , vagy  $z_5/z_6 - III. - 2$  kinematikai láncon keresztül *közvetetten* jut el a II. kihajtó tengelyre. A két alacsonyabb fordulatszám tartomány a  $z_3$  és  $z_5$  fogaskerekekből kialakított tolótömb helyzetétől függően vehető le.

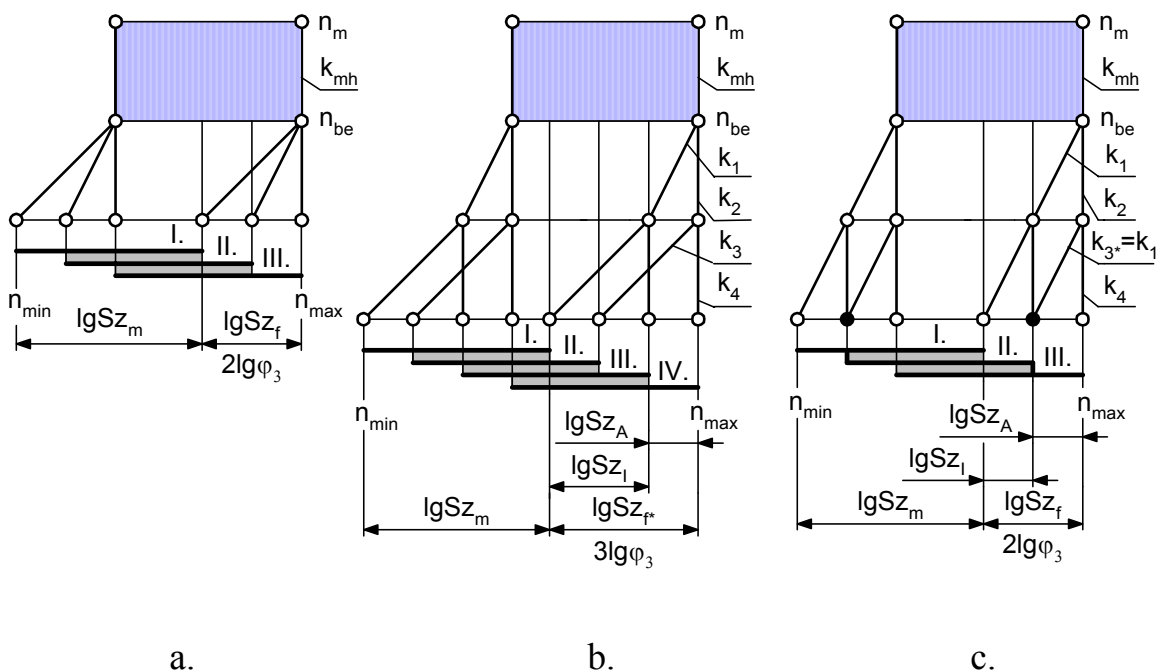
- d., A tagszám növelésével ugyan csökkenthető a  $\varphi$  fokozati tényező értéke, de az elemi hajtóművek körében maradván (2 fokozat helyett 3, vagy 4 fokozat) az előző megoldások közül kell választani a részhajtómű változatlan szabályozhatósága miatt. Ha a  $z > 3$ , akkor a feladat elemi hajtóművekből összetett szabályos hajtóművel oldható meg. A hajtómű  $z$  fokozatszámával általában 4, amelynek fordulatszám ábrája pl. 25.b ábra szerinti.
- e., A tagszámot növelve ( $z > 3$ ) és a fokozati tényező értékét nem változtatva, túlfedéses fokozatos hajtóművet kapunk. A túlfedett fokozatos hajtóművek előnye a nagymértékű szabályozhatóságok megvalósításában van! A túlfedés itt azt jelenti, hogy ugyanazon diszkrét fordulat(ok) különböző kinematikai láncokon keresztül is létrehozhatók, azaz fokozatos hajtóműnél a túlfedés egy-egy fordulatra, míg fokozat nélküli elektromechanikus hajtóműnél fordulatszám tartományra vonatkozik. Adott esetben a kétféle túlfedés egyaránt jellemzi a főhajtást. Például  $z=3$  fokozathoz meghatározott  $\varphi_3$  fokozati tényezőnél alkalmazzunk  $2 \times 2 = 4$  fokozatú hajtóművet egy túlfedéssel A hajtóműegyenletek a [1, 2] szerint:

$$A_3^1 = E_3^1, \quad A_2^1 I_2^{2-1} = E_{4-1}^1.$$

Az  $A_3^1 = E_3^1$  hajtóműegyenlet a 3 fokozatú (lábindex) elemi hajtóművet jellemzi, mely megkülönböztetésül A jelű, mivel rendűsége (felső indexe) 1. Másképpen fogalmazva egy tengelypár között három különböző fogaskerékpár kapcsolat hozható létre. A hajtott tengelyen eredményül (E) 3 fordulat vehető le, az egymás melletti fordulatok  $\varphi^1 = \varphi$  szorzótényezővel különböznek egymástól, amit az 1 felső index mutat.

Az  $A_2^1 I_2^{2-1} = E_{4-1}^1$  hajtóműegyenlet szerint két darab kétfokozatú elemi hajtóművet kapcsolunk sorba. Mindkét részhajtómű rendűsége 1. Ezt a másodiknál (I) úgy értük el, hogy a rendűséget-, amely az előző hajtóműegység kettő tagszáma-, eggyel csökkentettük, miáltal egy fordulat túlfedett lett. Eredményül négy helyett a kívánt három fordulatszámot kapjuk, amelyek egymástól ugyancsak  $\varphi_3$  szorzótényezővel különböznek. Az egymás melletti fokozatnélküli fordulatszám tartományok (I.-II., II.-III.) azonos mértékben túlfedettek.

Összehasonlítás céljából az összetett, túlfedett háromfokozatú hajtómű fordulatszámábrája (25.c ábra) mellett feltüntettük a kiinduló háromfokozatú elemi hajtómű (25.a ábra) és a nem túlfedett négy fokozatú (négy fordulatszámú) közbenső hajtómű (25.b ábra) fordulatszámábráit is. A 25.a és 25.c ábrákon a fokozatos hajtóművek szabályozhatóságai és így a teljes szabályozhatóság is megegyezik. A 25.b és 25.c ábrákon a szabályosról a túlfedett hajtóműre átalakítás metodikája látszik.



25. ábra Túlfedett háromfokozatú hajtómű fordulatszámábrája

*A fokozatos hajtómű szabályozhatósága:  $8 \leq Sz_f \leq 16$ .*

- Elemi hajtóművek körében maradva csak előtéttengelyes megoldás vezet eredményre.
- Összetett hajtóműveknél az előtéttengelyes és túlfedett megoldások egyaránt szóba jöhetnek.

**Megoldásváltozatok a példák köréből**

Az 5.1 fejezetben a főhajtóművek kinematikai tervezésének elsősorban az általános törvényszerűségeit vizsgáltuk. A gyakorlati példák azonban igen széleskörűek, ezért néhány további jellegzetességre hívjuk fel a figyelmet.

*1., Az összetett fokozatos főhajtómű további változatai*

Az előzőekben bemutatott esetekben felhasználtuk a fokozatos hajtóművek egyenleteit és a fordulatszámra szerkesztés szabályait, ami a kiindulási alapot szolgáltatott a végső fordulatszámra szerkesztéséhez, a hajtóviszonyok meghatározásához. Szükség esetén még a fentiekben követett szabályok is átléphetők. Az összetett hajtóműveknél nem szükséges biztosítani azt sem, hogy a fokozatos hajtómű fordulatszámjai azonos  $\varphi$  fokozati tényezővel kövessék egymást. *Egyedüli követelmény az, hogy a fokozatos hajtómű  $Sz_f$  szabályozhatósága teljesüljön.* A részhajtóművek szabályozhatóságai, a hajtóviszonyok ezen belül szabadon változtathatók a hajtómű megfelelő szerkezeti kialakítása érdekében.

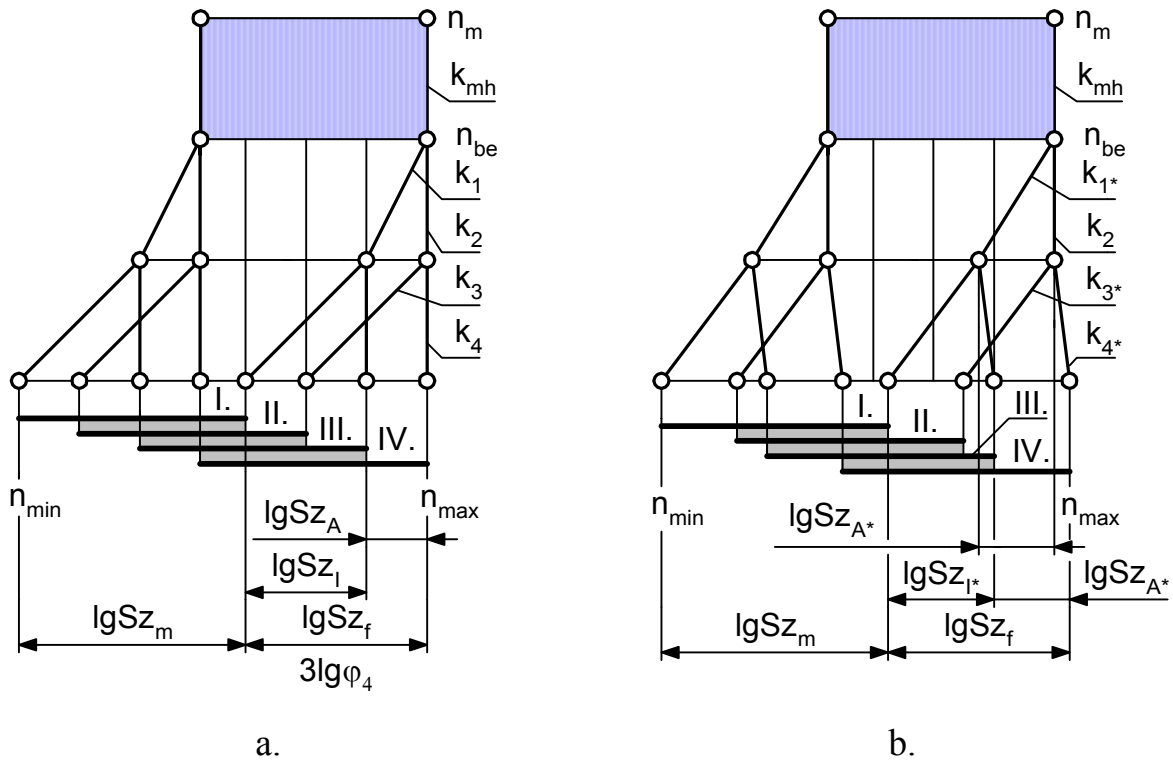
A következő példához a négyfokozatú hajtómű 25.b ábra szerinti szabályos fordulatszámábrája szolgált alapul, amelynek  $\varphi_4$  fokozati tényezőjét a  $z=4$  alapján határoztuk meg. A 26.a ábrán a második részhajtóműben a  $k_3$  lassító hajtóviszony a megengedettnél kisebb értékű. Ennek kiküszöbölésére a következő módosításokat hajtottuk végre:

- A  $k_3$  hajtóviszony egy részét az első részhajtóműre helyeztük át, miáltal az első részhajtóműben a  $k_1$  kisebb értékű, de még megengedett  $k_{1*}$  hajtóviszonyra változott.
- A második részhajtóműbe  $k_{4*}$  értékű gyorsítást is beépítettünk, amely pl. technológiailag szükséges lehet.

Mindennek következtében az egymás melletti fordulatszámoknak megfelelő fokozat nélküli tartományok túlfedésének mértéke különböző lesz, az I.-II. túlfedése azonos nagyságú, mint a III.-IV.-é, a II.-III. túlfedése ezektől nagyobb, aminek megfelelően alakul a teljesítmény és nyomaték határgörbék helyzete is.

Az előző átalakítások következtében a  $k_3$  hajtóviszonyú lassítás a megfelelő  $k_{3*}$  értékű, azaz  $1/4$ -nél nagyobb lett úgy, hogy a fokozatos hajtómű eredő  $Sz_f$  szabályozhatósága nem változott, amit az alábbi összefüggések fejeznek ki:

$$Sz_f = Sz_A Sz_I = Sz_{A*} Sz_{I*}, \text{ illetve } \lg Sz_f = \lg Sz_A + \lg Sz_I = \lg Sz_{A*} + \lg Sz_{I*}.$$



26. ábra Részhajtómű szabályozhatóságok módosítása

Vizsgáljuk meg, hogy a négyfokozatú hajtómű 26.a ábra szerinti fordulatszám-ábrájánál (itt a 27.a ábra) és  $\varphi_4$  fokozati tényezőnél, milyen más út kínálkozik a túlzott mértékű  $k_3$  hajtóviszonyú lassítás elkerülésére azonos  $Sz_f$ -nél. Tekintsünk úgy, hogy gyorsítás nem szükséges. Ha a  $k_1^*$  és a  $k_3^*$  szélső hajtóviszonyokat azonos értékűre választjuk, akkor bizonyíthatóan a 25.c ábra szerinti, három fokozatra négyfokozatúból túlfedett, fokozatos hajtóműhöz juthatunk vissza (itt 27.b ábra), amelynek fokozati tényezője  $\varphi_3$  volt. A hajtóviszonyok:

$$k_1^* = k_3^* = \sqrt{k_1 k_3} = \sqrt{\frac{1}{\varphi_4} \frac{1}{\varphi_4^2}} = \frac{1}{\sqrt{\varphi_4^3}} = \frac{1}{\sqrt{Sz_f}},$$

figyelembe véve, hogy:

$$\varphi_4 = \sqrt[4]{Sz_f} = \sqrt[3]{Sz_f} \rightarrow Sz_f = \varphi_4^3.$$

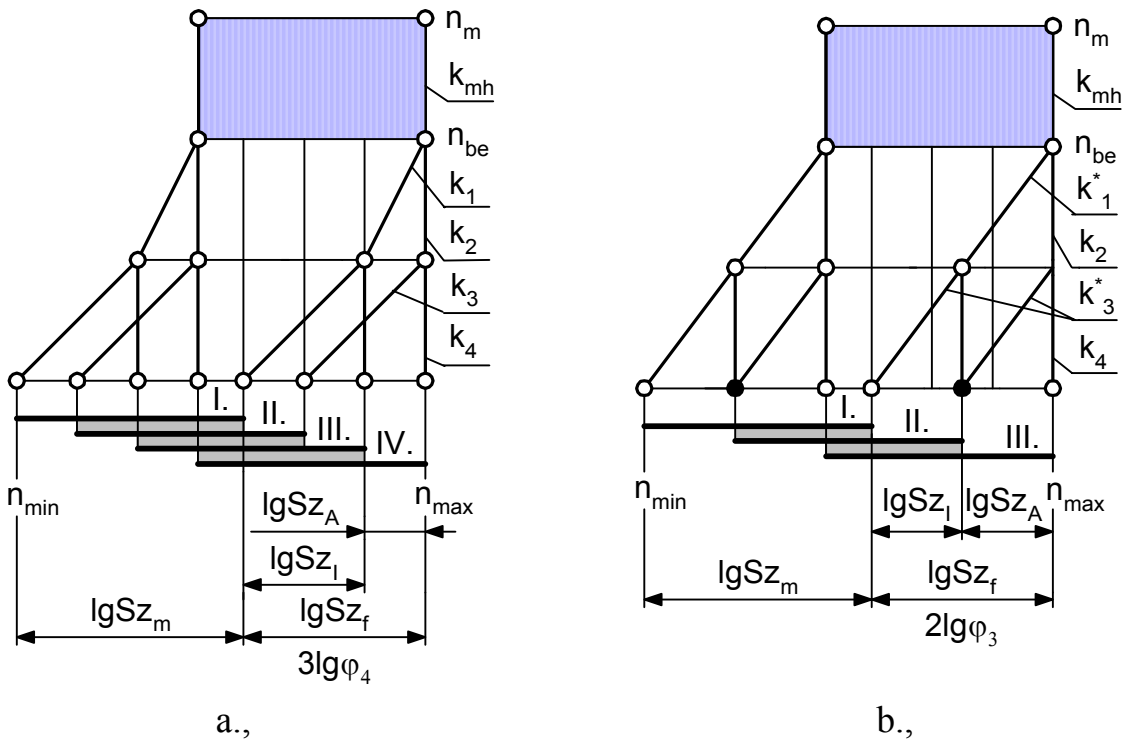
A szélső hajtóviszony értékeket összeszorozva a fokozatos hajtómű szabályozhatóságának reciprokát kapjuk eredményül (a részhajtóműveknél csak 1:1 és lassító hajtóviszonyokat alkalmazunk):

$$k_1^* k_3^* = \frac{1}{\sqrt{Sz_f}} \frac{1}{\sqrt{Sz_f}} = \frac{1}{Sz_f} = \frac{1}{\varphi_3^2} = \frac{1}{\varphi_3} \frac{1}{\varphi_3}.$$

A fentiekhez hasonlóan:



$$\varphi_3 = \sqrt[3]{S_{z_f}} = \sqrt[2]{S_{z_f}} \rightarrow S_{z_f} = \varphi_3^2, \text{ azaz } \varphi_3^2 = \varphi_4^3.$$



27. ábra A lassító hajtóviszonyok azonos értékűre választása

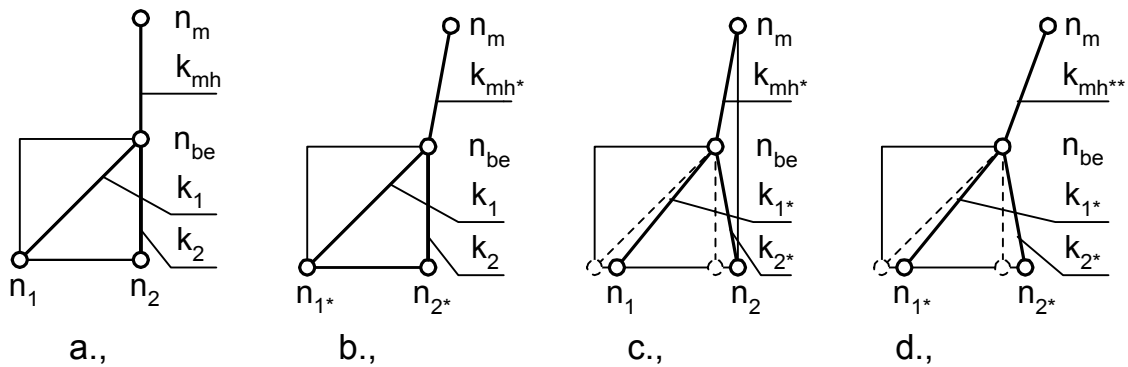
A leírtakat a 27.a,b ábrák szemléltetik. A 27.a ábra hasonló, de nem azonos a 25.b ábra szerinti fordulatszámábrával. A 27.b ábra a  $k_1^*$  és  $k_3^*$  azonosságát mutatja  $\varphi_3$  fokozati tényezőnél, ami megegyezik a 25.c ábrával.

A fentiek természetesen kiegészíthetők a gyorsítások figyelembevételével is.

## 2., Állandó hajtóviszony és fokozatos hajtómű kombinálása

Az előző átalakításoknál a motor és a hajtómű közé elhelyezett  $k_{mh}$  állandó hajtóviszonyt nem változtattuk meg, értéke 1:1. A túlzott mértékű lassítások, vagy gyorsítások elkerülése gyakran az állandó hajtóviszony(ok) változtatásával (megválasztásával) történik, amely elhelyezkedhet a motor és hajtómű, vagy a hajtómű és a motor között. Az állandó hajtóviszony emellett a fordulatszám tartomány kijelölését is szolgálhatja. A két különböző feladat együttes, vagy külön - külön kezelése ezért figyelmet igényel.

A 28. ábrákon a motor és hajtómű között elhelyezett állandó hajtóviszonnyal való variációkat ismertetünk. Hasonló eredményhez vezet a hajtómű és a főorsó közötti állandó hajtóviszony beépítése, ezért arra nem térünk ki. Mindkét helyre beépítéskor a feladatok szétszthatók. A kialakításnál célszerű azonban a lassító hajtóviszony nyomatéknövelő hatását figyelembe venni, és ha mód van rá azt a végfokozatba építeni. A 28. ábrák valamely  $n_m$  motorfordulatnál szemléltetik a mechanikus hajtómű fordulatszám ábráit.



28. ábra Állandó hajtóviszony alkalmazása

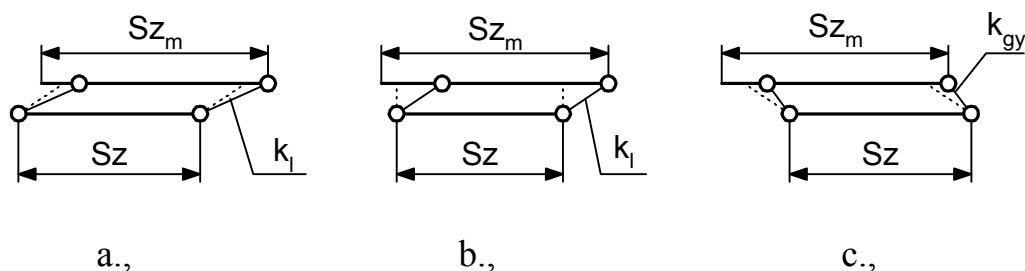
A 28.a a kiinduló fordulatszámról mutatja. A 28.b ábrán a  $k_{mh}^*$  lassító hajtóviszonnal biztosítjuk a megfelelő technológiai fordulatszám tartomány kijelölését. A fordulatszámokat balra az alacsonyabb fordulatok irányába toltuk el. A 28.c szerinti megoldásban a  $k_{mh}^*$  lassítás a kétfokozatú hajtóműegység hajtóviszonyainak ellentétes irányú (reciprok) megváltozását vonja maga után, ha a fordulatszám tartomány elhelyezkedésén nem kívánunk változtatni. A megoldással a túlzott mértékű  $k_1$  lassítás kiküszöbölhető. Természetesen a hajtóműben a túlzott mértékű  $k_1$  lassítás az állandó  $k_{mh}^*$  lassító hajtóviszony alkalmazása nélkül is elkerülhető egyszerűen a fordulatok jobbra tolásával (lásd 20. ábrák), ami a tervezésnél automatikusan kiadódhat. A 28.d szerinti megoldásban a  $k_{mh}^{**}$  mind a túlzott mértékű  $k_1$  lassítás elkerülését, mind a fordulatszám tartomány balra az alacsonyabb fordulatok irányába való eltolását szolgálja.

### 3., Egyetlen állandó hajtóviszony alkalmazása

A példák között előfordul, hogy a kiválasztott motor  $Sz_m$  fordulatszám szabályozhatósága nagyobb lehet, mint a főhajtómű előírt  $Sz$  szabályozhatósága:

$$Sz_m \geq Sz.$$

Ekkor  $Sz_f \leq 1$  adódik és a feladat egyetlen állandó hajtóviszony beépítésével, vagy egytengelyű (koaxiális) hajtással megoldható. A lehetséges variációkat a 29. ábrán foglaltuk össze.



29. ábra Egyetlen állandó hajtóviszony, vagy egytengelyű hajtás alkalmazása

A 29.a szerinti elrendezésnél (viszonyoknál) lassító hajtóviszonyt kell beépíteni, a nyomatékok növelésére célszerűen minél kisebb értékűt. Természetesen más hajtóviszony értékek is megvalósíthatók (szaggatott vonal).

A 29.b példában a hajtómű szélső fordulatszámai a motor szabályozhatóságán belül helyezkednek el. Ekkor alkalmazhatunk lassítást, esetleg gyorsítást, vagy 1:1 hajtóviszonyt (szaggatott vonal), ami lehet akár koaxiális hajtás is.

A 29.c megoldásban gyorsító hajtóviszony szükséges, amelyet célszerű minél kisebb értékre választani. Szükség esetén más hajtóviszony értékek is megvalósíthatók (szaggatott vonal).

Megjegyezzük, hogy a motorok különböző névleges fordulattal, illetve szélső fordulatszámokkal vehetők figyelembe, ami a tervezést nagymértékben segíti.

## 5.2 Motorteljesítmény meghatározása

A motor teljesítményének kiszámításhoz a (2, 4) összefüggéseket használjuk fel. A forgácsolási teljesítmény számításához az a fordulatszám szükséges, amely a legnagyobb nyomaték jobboldali sarokpontjánál van. Ezt a motor lineáris egyenes mentén változó  $P_c(n)$  karakterisztikájának sarokpontjai határozzák meg. Például egyenáramú motornál a méretezési fordulatszám a motor kapocsfeszültség szabályozásának mértékétől ( $Sz_{mk}$ ) és a technológiai igények alapján meghatározott  $n_{min}$  legkisebb fordulatszámtól függ:

$$n_n^* = n_{min} Sz_{mk} \quad (22)$$

A teljesítmények:

$$P_{cmax} \approx \frac{M_{cmax} n_n^*}{9.55}, \quad P_{csz} = \frac{P_{cmax}}{\eta_{mech}}, \quad P_m \geq P_{csz} \quad (23)$$

## 5.3 Példa

*Tervezze meg eszterga főhajtómű kinematikáját az alábbi adatok alapján.*

- A főhajtómű fordulatszám tartománya: 45÷4000 f/perc.
- A motor fordulatszám szabályozhatóság:  $Sz_m=25$ ,  $Sz_{mk}Sz_{mfl} \cong 9 \cdot 2,77$ .
- A motor névleges fordulatszáma:  $n_n=1150$  f/perc.

### 5.3.1A hajtómű kinematikai tervezése

*Az egyes szabályozhatóságok:*

$$Sz = \frac{4000}{45} \cong 89, \quad Sz_f = \frac{Sz}{Sz_m} = \frac{89}{25} \cong 3,55.$$

A szükséges fokozatszám a  $\varphi_{\max}=8$  figyelembevételével:

$$z \geq \frac{\lg Sz_f}{\lg \varphi_{\max}} + 1 = \frac{\lg 3,55}{\lg 8} + 1 \cong 1,61 \rightarrow z = 2$$

A fokozati tényező:

$$\varphi = z^{-1} \sqrt{Sz_f} = 2^{-1} \sqrt{3,55} = 3,55.$$

A fokozatos hajtómű elemi, kétfokozatú, amelynek hajtóműegyenlete:  $A_2^1 = E_2^1$ .

A motor sarok fordulatszámaiból (3185, 1150, 128) látható, hogy a technológiailag szükséges legnagyobb fordulatszám eléréséhez gyorsítás, a legkisebbhez lassítás szükséges.

$$n_{\min} = \frac{n_n}{Sz_{mk}} = \frac{1150}{9} \cong 128 \text{ f/perc}, \quad n_{\max} = 2,77 \cdot n_n \cong 3185 \text{ f/perc},$$

$$128 > 45, \quad 3185 < 4000.$$

A fogsók meghatározásához a kétfokozatú hajtómű hajtóviszonyainak értékét meghatározzuk és a megfelelő alakba írjuk. A 19. ábra jelöléseit felhasználva:

$$k_1 = k_{\min} = \frac{45}{128} = \frac{1}{2,845}, \quad k_2 = k_{\max} = \frac{4000}{3185} = \frac{1,256}{1}.$$

A fokozatos hajtómű nagyobb és kisebb hajtóviszonyainak (a magasabb és alacsonyabb fordulatszámok) hányadosát képezve, a fokozatos hajtómű  $Sz_f$  szabályozhatóságát, vagy ami ekkor ugyanaz, a  $\varphi$  fokozati tényezőjét kapjuk eredményül, ami a fenti számítások helyességét igazolja. Azaz a szabályos hajtómű fordulatszámábráját jobbra tolva megkapjuk a megfelelő fordulatszám tartományt, miközben az  $Sz_f$  és a  $\varphi$  értéke nem csak elhelyezkedésük változik.

$$Sz_f = \varphi = \frac{k_{\max}}{k_{\min}} = \frac{1,256}{1} \frac{2,845}{1} \cong 3,55.$$

A fogsók meghatározását az alábbiak szerint végezzük [1, 2].

$$k_1 = \frac{1}{2,845} \text{ esetén az első közelítő fogsámösszeg: } 1+2,845=3,845,$$

$$k_2 = \frac{1,256}{1} \text{ esetén az első közelítő fogsámösszeg: } 1,256+1=2,256.$$

A két fogsámösszeg legkisebb közös többszöröse:  $3,845 \times 256 \cong 8,67$ . A  $8,67 \times 10 \cong 86,7$  alapján például a 88 egész számú fogsám összeget alapul véve az egyes fogsók:

$$k_1 = \frac{z_1}{z_2} = \frac{23}{65} \cong \frac{1}{2,826}, \quad k_2 = \frac{z_3}{z_4} = \frac{49}{39} \cong \frac{1,256}{1}.$$

A kiszámolt adatokkal a 19.b-hez hasonló fordulatszámára szerkeszthető, ezért újra nem rajzoljuk fel.

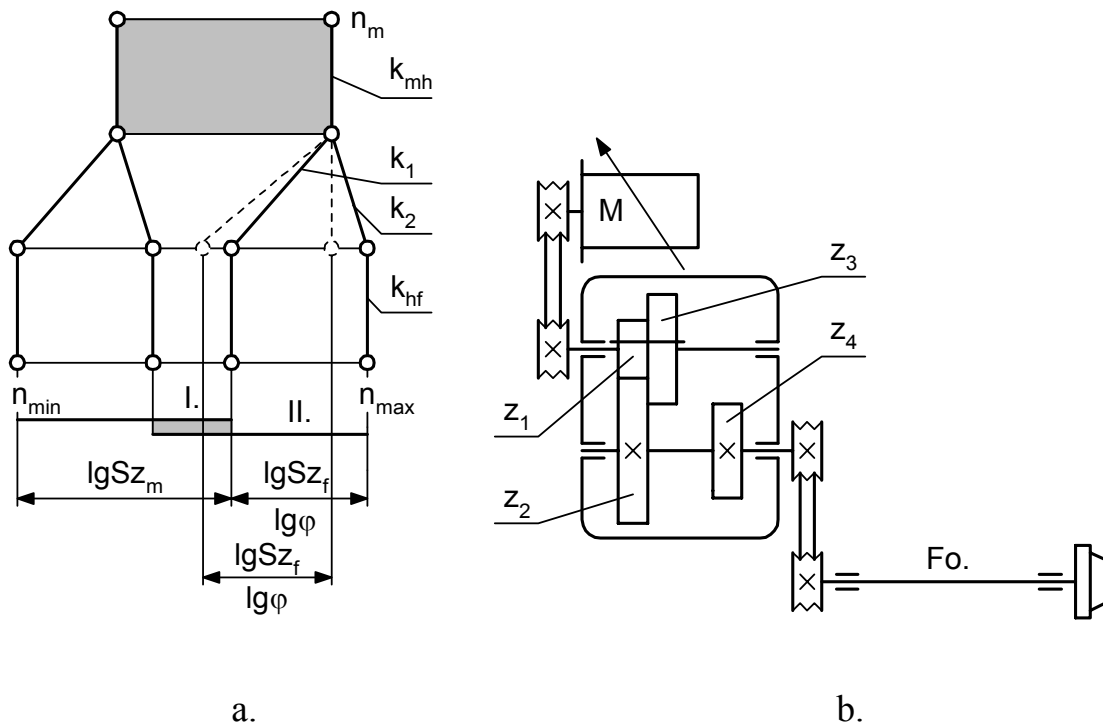
### Ellenőrzés

A fogsámokkal ellenőrizzük a megvalósítható fordulatszámok szélső értékeit. A tervezett értékekkel jó egybeesés miatt módosítás nem szükséges:

$$3190 \frac{49}{39} \cong 4008 > 4000 \text{ f/p}, \quad 128 \frac{23}{65} \cong 45 = 45 \text{ f/p}.$$

### Fordulatszámábra, kinematikai vázlat

A hajtómű fordulatszámábráján (27.a ábra) feltüntettük a két fordulatszám tartományt (I., II.) és azok túlfedését. A kétfokozatú szabályos hajtómű kiinduló fordulatszámábráját szaggatott vonallal ábrázoltuk. A főhajtómű kinematikai vázlatán (27.b ábra) a motorról a kétfokozatú hajtóműre  $k_{mh}=1:1$  és arról a főorsóra  $k_{hf}=1:1$  hajtóviszonyú Poly-V szíjártétel közvetíti a hajtást.



27. ábra A főhajtómű fordulatszámábrája és kinematikai vázlata

### 5.3.2 A motorteljesítmény számítása

Állandó üzemű gépeknél a szerkezetek méretezése a névleges, az állandó és szakaszos, tehát vegyes üzemű gépeknél a névlegesnél nagyobb nyomaték

alapján történik, amelyet a motor gyártók megadnak. Példánkban állandó üzem (pl. S6, S1) feltételezése mellett határozzuk meg a szükséges motorteljesítményt.

A forgácsoló nyomaték maximális értéke legyen:

$$M_{cmax}=300 \text{ Nm.}$$

A (22) egyenlet szerint a méretezés fordulatszáma:

$$n_n^* = n_{min} Sz_{mk} = 45 \cdot 9 = 405 \text{ f/perc.}$$

A forgácsolási teljesítmény a (23) szerint:

$$P_{cmax} \cong \frac{M_{cmax} n_n^*}{9,55} = \frac{300 \cdot 405}{9,55} 10^{-3} \cong 12,7 \text{ kW.}$$

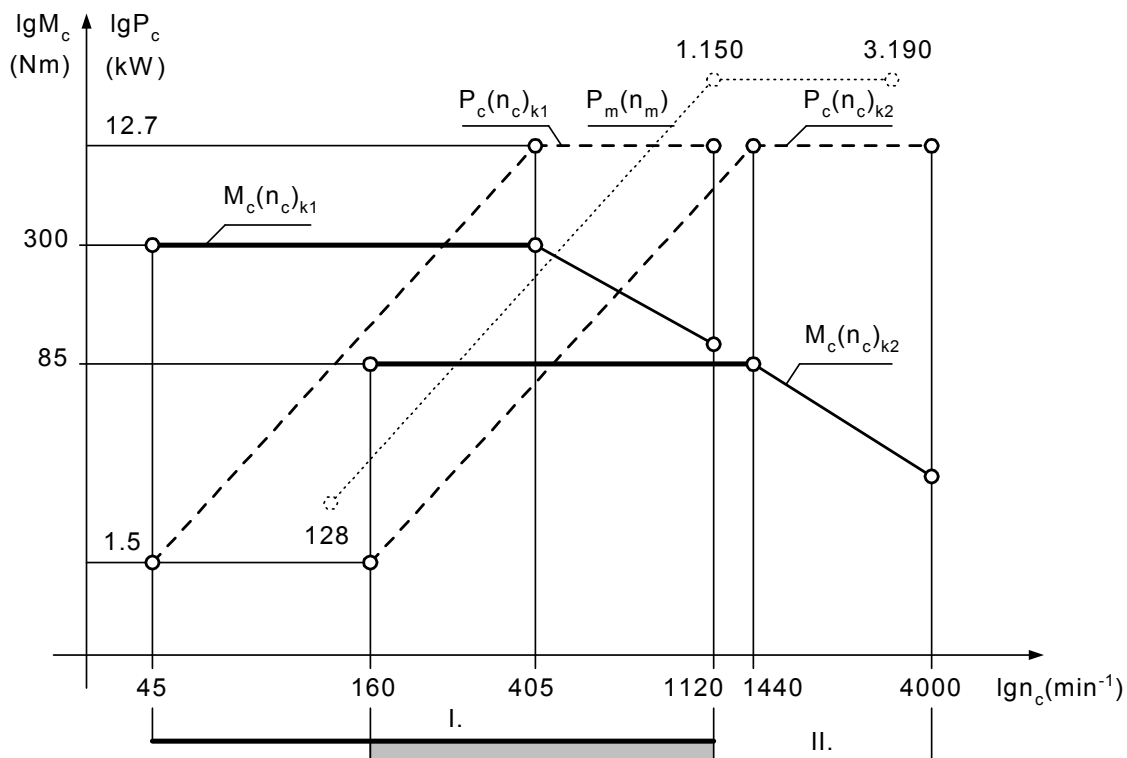
Az összefüggésbe a nyomatékot Nm, a fordulatszámot f/perc mértékegységekkel helyettesítettük be. A szükséges névleges motorteljesítmény:

$$P_{csz} = \frac{P_{cmax}}{\eta_{mech}} = \frac{12,7}{0,9} \cong 14 \text{ kW.}$$

A választott motor pl. EVIG gyártmányú EH 180L 4 típus [19] a rendelési adatokhoz illesztetten. A jelölésben E - egyenáramú gép, H - nyitott IP22S védettségű, 180 mm tengelymagasságú talpas, L - hosszú lemez hossz, 4 - pólusszám. A talpas motorra vonatkozó utolsó jelölés hiányzik, arra a tengelymagasság utal.

A példa szerinti adatokkal logaritmikus léptékben felrajzoltuk a hajtómű állandó üzemre jellemző  $P_c(n)$  és  $M_c(n)$  teljesítmény és nyomaték határgörbéket és a hatásfok figyelembevételével, pontokkal a motor  $P_m(n)$  teljesítmény határgörbét (28. ábra). Látható, hogy a fokozatos hajtómű fokozatszámának megfelelő számú teljesítmény és nyomaték határgörbe rajzolható meg. A sarok fordulatszámok és nyomaték értékek az ábrából leolvashatók.

A fordulatszámok 160÷1120 f/perc tartományban túlfedettek, azaz a hajtómű bármelyik kapcsolt helyzetében a főorsón e fordulattartomány levehető.



28. ábra A példa hajtómű teljesítmény és nyomaték határgörbéi

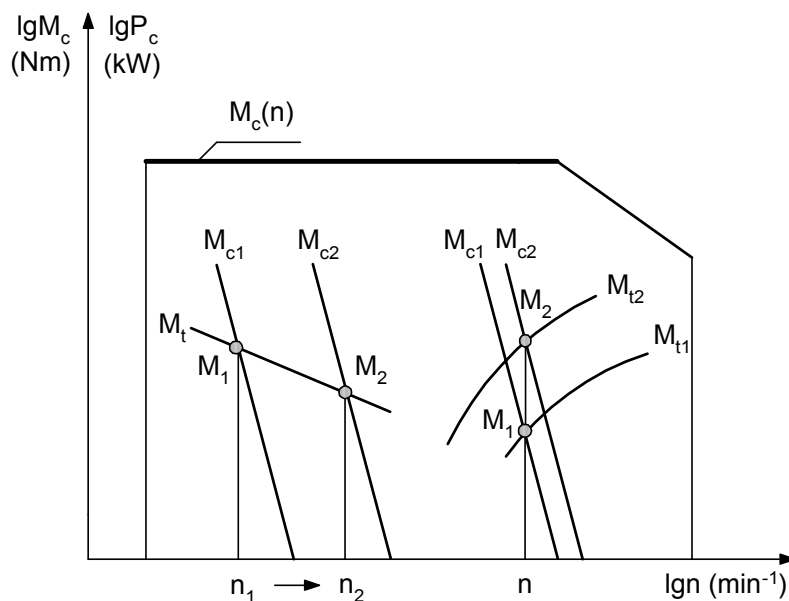
Az ábrából levonható következtetések:

- A teljesítmény határgörbék lassító hajtóviszonyoknál balra, gyorsításkor jobbra tolódnak el.
- A nyomaték határgörbék lassító hajtóviszonyoknál balra és felfelé, gyorsításkor jobbra és lefelé tolódnak el. A nyomaték határgörbék sarokpontjainak nyomaték- és fordulatszámértékei a teljesítmény határgörbék sarokpontjaiból határozhatók meg. Ha a fokozatos hajtómű egymás melletti fordulatai egységesen  $\varphi$  fokozati tényezővel követik egymást, akkor a nyomaték határgörbék mezőgyengítéses tartományai a logaritmusos ábrázolásban egy negatív iránytangensű egyenes mentén helyezkednek el.

### Munkapontok

A 29. ábrán valamely motor kapcsolófeszültség és mezőgyengítéses szabályozási tartományaira vonatkozó nyomaték határdiagramot tüntettük fel. A motor és táplálásának kiválasztása (a fokozatos hajtómű illesztése) a technológia, a gyorsítások (lassítások) alapján meghatározott  $M_t(n)$  nyomaték-fordulatszám terület alapján történik. Ebből a legnagyobb értékek határozzák meg a motor (hajtómű) teljesítmény és nyomaték határdiagramjait a fordulatszámok (szögsebességek) függvényében. Adott technológiára jellemző  $M_{t1}$  terhelési görbe és a motor főorsóra vonatkoztatott  $M_{c1}$  nyomatékgörbéjének metszése határozza meg az  $M_I$  munkapontot [3]. Állandósult fordulatszámánál  $M_{t1}=M_{c1}$ ,

azaz a munkapont a nyomaték határgörbe alatt helyezkedik el. A terhelés változásakor-, más  $M_{t2}$  terhelési görbénél-, a nyomaték jelleggörbét ( $M_{c2}$ ) újabb,  $M_2$  munkapontba kell vinni ahhoz, ha az előírások szerint állandó  $n$  fordulatszámra van szükség (29. ábra jobboldala). Természetesen más technológiai feladatok is adódnak. Befelé történő kereszttergálásnál a fordulatszámot fokozat nélkül növelni kell ( $n_1 \rightarrow n_2$ ) az optimális vágósebesség tartása érdekében miközben az  $M_t$  terhelőnyomaték csökken az erőkar csökkenése miatt ugyanolyan forgácsoló erőt feltételezve. A munkapontok folyamatosan változnak ( $M_1 \rightarrow M_2$ ). Ez csak úgy biztosítható, ha a motor szabályozása az  $M_c$  nyomaték jelleggörbét is folyamatosan a munkapontnak megfelelő helyzetbe állítja. A viszonyokat a 29. ábra baloldala szemlélteti.



29. ábra Munkapont vándorlás terhelésváltozáskor



## 6. FOKOZATNÉLKÜLI FŐHAJTÓMŰVEK SZERKEZETI MEGOLDÁSAI

### 6.1 Főhajtóművek kialakítása az esztergagép példáján

A következőkben esztergagépeknél követhetjük végig a főhajtóművek kialakításának változását. Az ábrák a hajtóművek alakját, elhelyezését mutatják. Az elemzések értelemszerűen más forgácsoló szerszámgépekre hasonlóan tehetők meg.

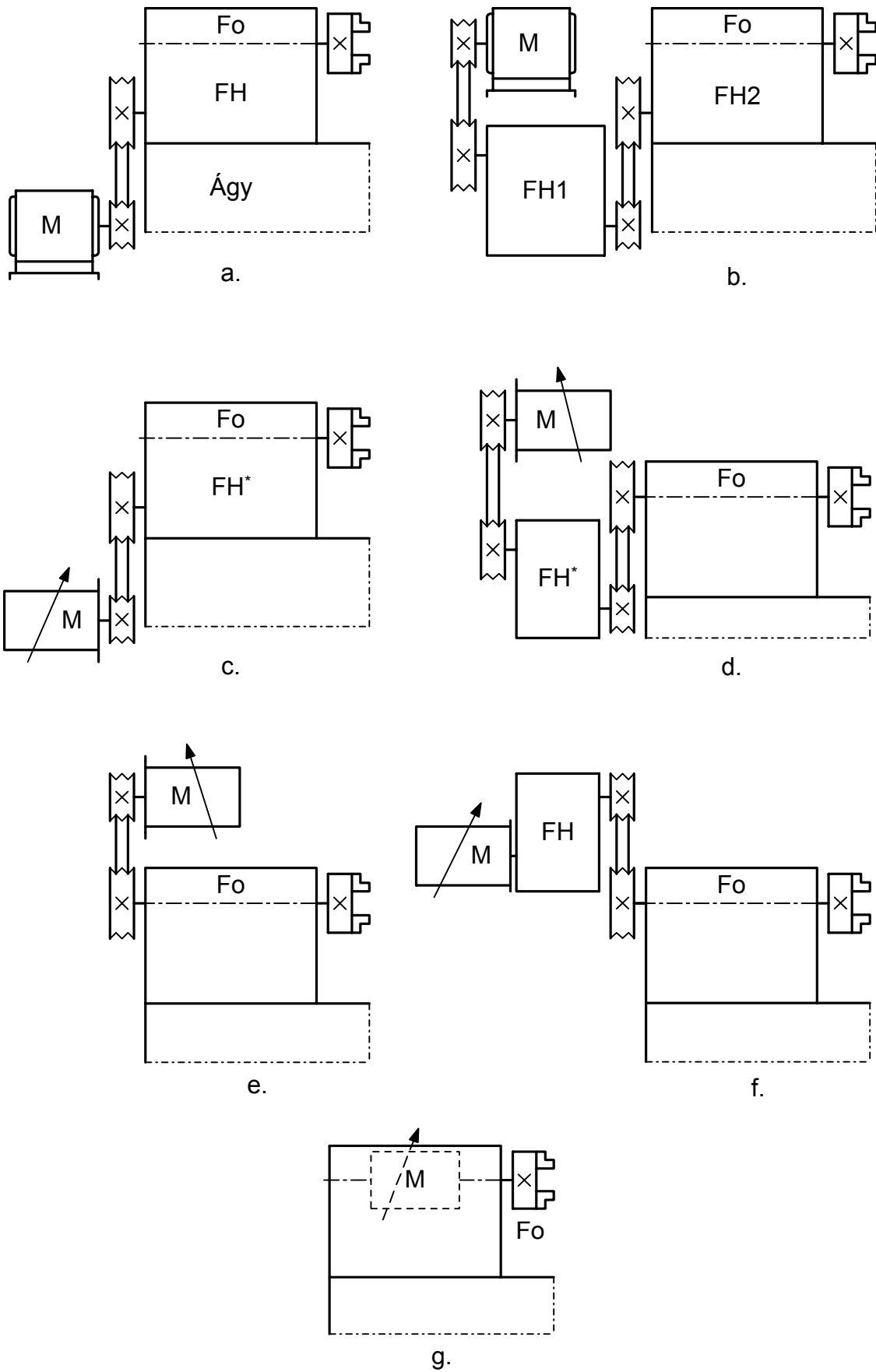
A 30.a ábrán a klasszikus, sokfokozatú hajtómű az esztergagép ágyán foglal helyet, bázisa lehet a szegnyereg- vagy az ágyvezeték. A főorsó a hajtóműházban foglal helyet. A fordulatfokozatok kapcsolása először az összevont fogaskerekek (tolótömb) kézi átkapcsolásával történt. A mechanikus automata és programvezérlésű esztergagépeknél az automatikus fordulatszámváltást elektromágneses tengelykapcsolók illetve hidraulikus hengerek hajtják végre a megfelelő vezérlő szervek segítségével. A hajtóművet az ágyra felfogott, elbillenthető talpas aszinkronmotor ékszíjakon keresztül hajtja meg. A motor rendszerint az ágy mögé befordított helyzetű. Egyes megoldásokban a szíjhajtás elmarad és a peremes motor a hajtóműházhoz közvetlenül csatlakozik.

A 30.b ábrán a főhajtómű kettéosztott. Az ágyra kézi kapcsolású két- vagy háromfokozatú hajtóműegység kerül, a többfokozatú lábazati hajtóműben a fokozatok kapcsolása elektromágneses tengelykapcsolókkal történik. A megoldás elsősorban a tengelykapcsoló, fék által termelt hő káros hatásainak elkerülését célozta.

A 30.c ábra az először alkalmazott fokozat nélküli elektromechanikus főhajtások külső képét mutatja. A hajtómű a gépágyon foglal helyet, fokozatszám lényegesen lecsökkent (pl.  $z \leq 12$ ), a fokozatok kapcsolása automatizált. A túlfedett hajtóműveknél esetenként egy kézi kapcsolást alkalmaztak a fent említett céllal. Ilyen volt például a Csepeli Szerszámgyárban készített első magyar NC esztergagép (ERI-250) főhajtóműve.

A 30.d ábra a kis- és közepes teljesítményű gépeknél napjainkban gyakori megoldást szemléltet. A gépágyra csak a főorsó kerül, a lábazati hajtómű két-, vagy háromfokozatú, ritkábban ennél több. A fokozat nélküli fordulatszámú motor és a fokozatos hajtómű, a hajtómű és főorsó között Poly-V szíj közvetíti a hajtást. Fokozatos főhajtóművel rendelkező célgépeken és pontos gépeken már korábban is alkalmazott elrendezés, esetenként laposszíj hajtással kombinálva.

A 30.e ábra szerinti megoldásnál a motor egyetlen Poly-V szíjhajtással kapcsolódik az ágyon helyet foglaló főorsóhoz. Hasonló kialakítású a korábbi finomesztergák lapos szíjjal kivitelezett főhajtása, ahol a fordulatszám változtatást szíjtárcsák cseréjével oldották meg. A szíjak főorsóra hajtása közvetlenül, vagy tehermentesítetten történik.



30. ábra Főhajtóművek kialakítása az esztergagép példáján

A 30.f ábrán a motor és a kereskedelmi tételként vásárolható kétfokozatú hajtóműegység egybeépített, a hajtómű és a főorsó között Poly-V szíjhajtás helyezkedik el. A motor az esztergaágy meghosszabbításában található.

A 30.g ábra motororsót szemléltet.

## 6.2 MC 403 háromorsós CNC megmunkáló központ

A Miskolci Egyetem Szerszámgépek Tanszéke CNC szerszámgépek, megmunkáló központok, gyártócellák konstrukciós fejlesztésében elért legjelentősebb eredménye az MC 403 (Machining Center - megmunkáló központ) háromorsós CNC megmunkáló központhoz [20, 21] kötődik, amely egy gépcsalád egyik tagja. A gép koncepciói és tervei Tajnafői, J. vezetésével a tanszéken születtek meg, a gép fejlesztése a SZIMFI-vel közösen történt. A SZIMFI (*Szerszámgépipari Művek Fejlesztő Intézete*) sikerterméke számos elismerésben részesült.

### *Alkalmazás*

A háromorsós megmunkáló központ a kisebb méretű fedelek, házak és hasáb alakú alkatrészek közép- és nagysorozatú, termelékeny és nagy műveletkoncentrációjú gyártását szolgálja. A munkadarabok anyaga acél, öntöttvas, vagy könnyűfém.

### 6.2.1 A megmunkáló központ felépítése

A főhajtómű gépen elfoglalt helyzetének bemutatására a gép struktúráját is ábrázoltuk. A 31. ábra szerint a gépnek három fő építő egysége van.

- Alapgép (1)
- Szerszámtár és szerszámcsereelő rendszer (2)
- Munkadarab-ellátó rendszer (3)

A rajzon jól kivehető, hogy a gép tisztán szerszámmozgatású, azaz a három egymásra merőleges irányú haladó mozgás x, z és y sorrendben épül egymásra. A főhajtómű a függőleges, y irányban mozgó szánon foglal helyet és azzal egy egységet képez.

### *A mellékajátás legfontosabb adatai*

- A szánok mozgáshossza:  $x=480$  mm,  $z=400$  mm,  $y=400$  mm.
- Gyorsjáratú és előtolási sebességek: 10 m/perc, illetve  $1 \div 2000$  mm/perc.
- A szánok előtoló ereje: 6300 N.

A dob alakú szerszámtár és a szerszámcsereelő önálló egységként az alapgép mellett baloldalt helyezkedik el.

### *A tár adatai*

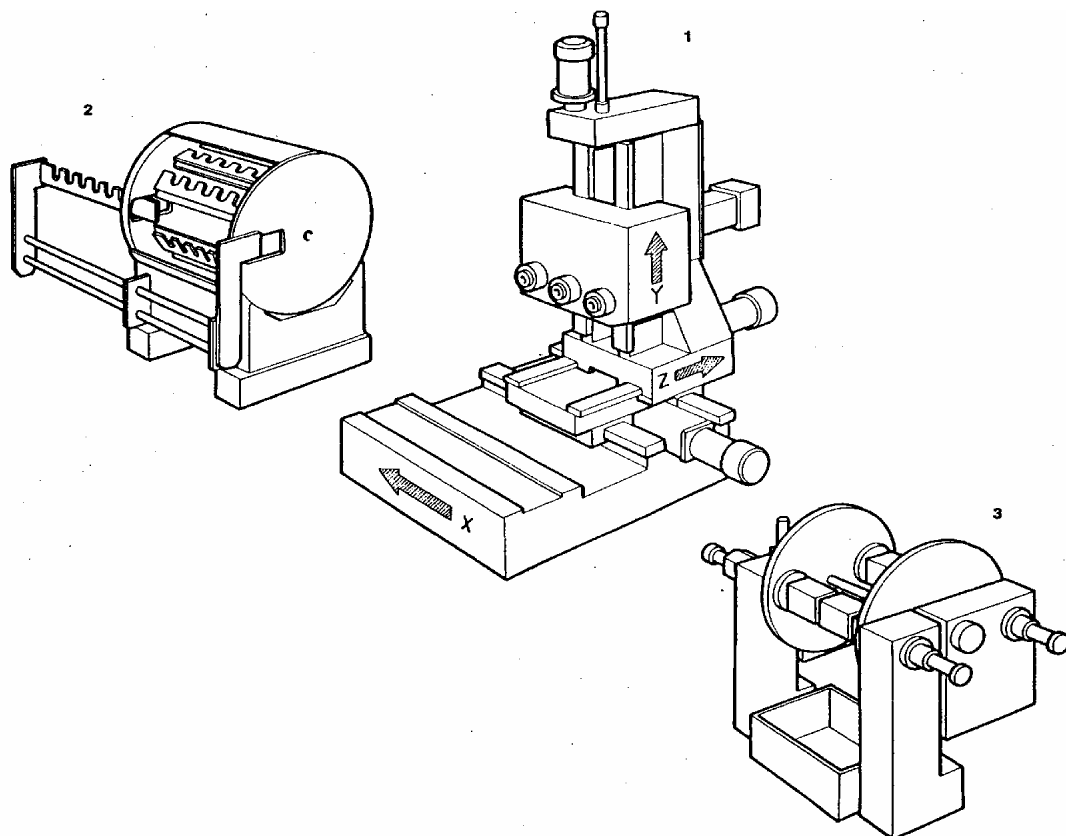
- A kazettás rendszerű szerszámtárba 24 kazetta és 24x3 szerszám fogható be.
- A szerszám befogó V peremes, ISO 40 (International Standard Organisation - Nemzetközi Szabványosítási Szervezet) meredek kúpos.
- A szerszámok max. súlya 7 kg, max. átmérője 125 mm, max. hossza 290 mm.

A munkadarabokat és befogó készülékeiket tartó és cserélő palettarendszer ugyancsak önálló egység, amely a gép öntött ágyára szerelten a főorsók előtt foglal helyet.

#### *A hasábpaletta adatai*

- A paletták száma 2, egy a munkatérben, egy munkadarab cseréhez.
- A paletták 180°-os elfordításával gyors palettacsere végezhető.
- A paletták mérete 140x140x840 mm.

A hasábpalettára alapkivitelben 4x3=12 munkadarab fogható fel. A munkadarabok hármásával, a paletta 90°-os elfordításával hozhatók munkahelyzetbe.



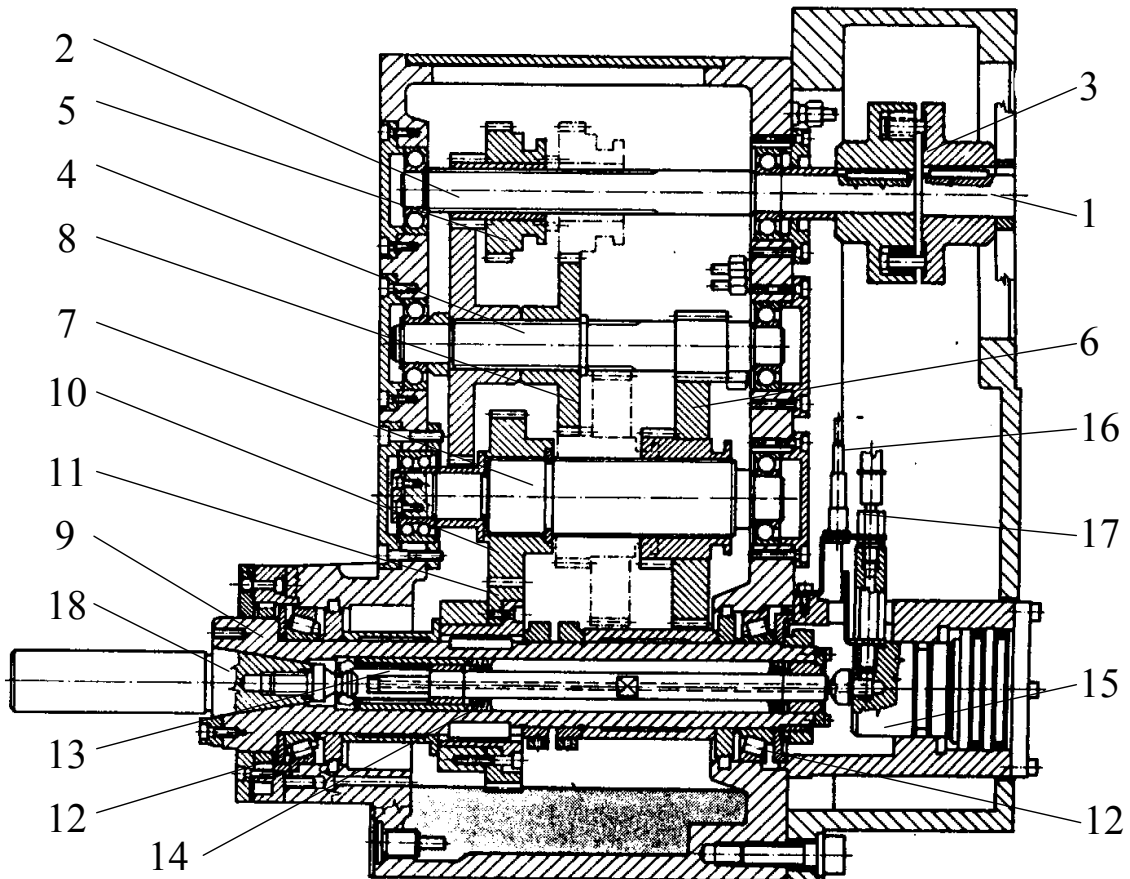
31. ábra MC 403 fúró-maró megmunkáló központ

## 6..2.2 A megmunkáló központ főhajtóműve

### A főhajtómű adatai

- Az egyenáramú főmotor teljesítménye: 15 kW.
- A fordulatszám tartomány:  $23 \div 3272 \text{ min}^{-1}$ .
- Egy főorsón levehető legnagyobb nyomaték: 200 Nm.

A háromorsós főhajtómű szerkezeti kialakítását az első főorsó hajtásáig síkba terített vázlaton a 32. ábra szemlélteti.



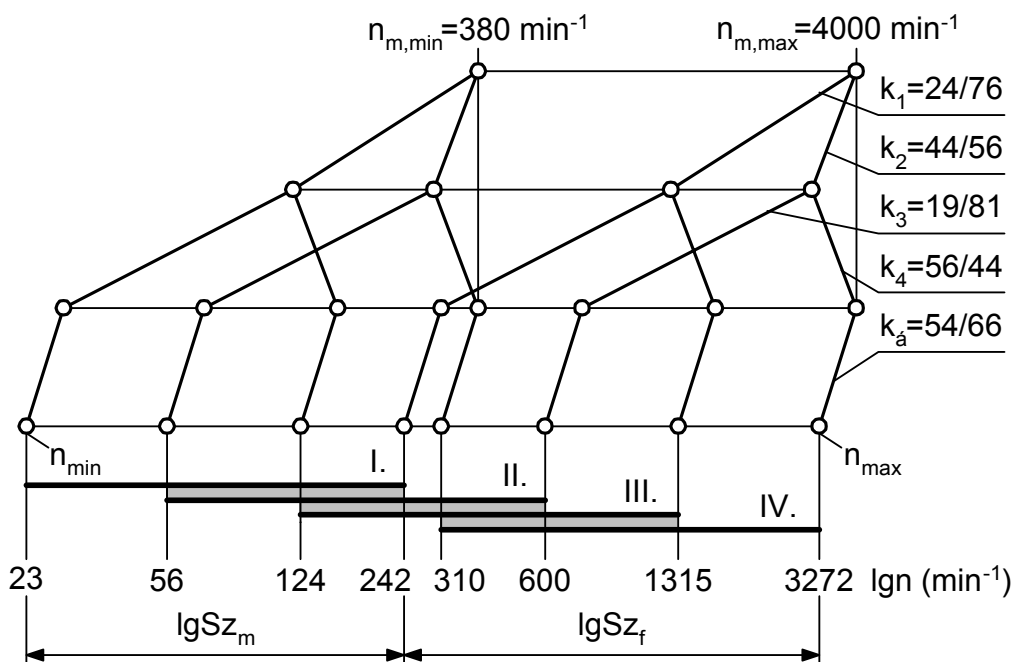
32. ábra Az MC 403 fúró-maró megmunkáló központ főhajtóműve

A főhajtó motor egyenáramú gép, amely a főhajtómű szekrényéből felül, hátrafelé az állvány jobboldali fala mellé nyúlik ki. A motor fordulatszámok fokozatnélküli állítása kapcsoló feszültség változtatással és kismértékben mezőgyengítéssel történik. A motor 1 kihajtó tengelye és a fokozatos hajtómű 2 behajtó tengelye koaxiális, a hajtás közvetítését a 3 rugalmas, gumidugós tengelykapcsoló végzi.

A fordulatszám tartományok átváltására szolgáló  $2 \times 2 = 4$  fokozatú hajtómű a ház jobb oldalában foglal helyet és ennek megfelelően a jobboldali főorsó kap először hajtást. A tartományok a 2 és 7 tengelyekre épülő 5 és 6 fogaskerék

tolótömbökkel válthatók át, amelyeket pneumatikus hengerek működtetnek. A tolótömbök helyzeteit érintés nélküli jeladók érzékelik. A 4 tengelyen helyet foglaló 8 fogaskerék a két elemi hajtómű egység közös fogaskereke, amelyen keresztül -, a fogaskerekek fogszáma miatt-, 1:1 hajtóviszony valósul meg. A 9 főorsóra a hajtás a 10, 11 állandó fogaskerék áttételen keresztül jut el. A további két főorsó azonos irányú és nagyságú forgatásáról a 11 fogaskerékről azonos fogszámú közvetítő fogaskerekekkel átvezetett hajtás gondoskodik, amelynek tengelyei a vízszintes síkban helyezkednek el.

A főorsók csapágyazása a 12 zsírkenésű kúpörgős csapágyakkal (TIMKEN) történik. A főorsók pozícionált szöghelyzetű megállása a szerszámcsere-t szolgálja. A főorsókban automatikus szerszámrögzítő és oldó berendezés található. Ennek legfontosabb elemei a 13 behúzó patron és rudazat, a 14 rögzítést végző tányérrugó köteg, a rögzítést oldó 15 hidraulikus henger és a rögzítést/oldást érzékelő 16 érintés nélküli jeladók. A 17 csővezeték a kúptisztító levegő bevezetésére szolgál. A főorsóba a 18 mérőtűskét rögzítették.



33. ábra Az MC 403 főhajtóművének fordulatszámábrája.

A főhajtóműre jellemző fordulatszámábrát a 33. ábra szemlélteti. A feltüntetett fordulatszámokból látható hogy a négy fordulatszám tartomány (I.÷IV.) nem szabályosan, a  $\varphi$  fokozati tényezővel követi egymást, ezért a fokozatmentes tartományok átfedése is eltérő. A fokozatos hajtómű fordulatszámábrája az 5.1 fejezet 26.b ábra elvéhez hasonló felépítésű. Azért, hogy a második kétfokozatú hajtóműegységben túlzott mértékű lassítás ne legyen annak egy részét az első részhajtómű vette át. A végfokozati lassító, állandó hajtóviszony jelöli ki a

végleges fordulatszám tartományt. Egyes fordulatszámok kerekítettek, ezért ellenőrzéskor kismértékű eltérések lehetnek. A főhajtómű, a fokozatos hajtóműegység és az egyenáramú motor szabályozhatósága:

$$S_z=142, \quad S_{z_f}=13,5, \quad S_{z_m}=10,52.$$

### 6.3 EPA 320-01 CNC esztergagép

Az EPA 320-01 CNC vezérlésű, fokozott pontosságú egytetemes esztergagépet [22] a *SZIM (Szerszámgépipari Művek) Budapesti Szerszámgépgyárában* állították elő. Egy példánya a ME szerszámgépek tanszéke géplaboratóriumában is megtalálható. A gép a legkorszerűbb építési elveknek megfelelően került kialakításra. Az építőszekrény elv alkalmazásával modulárisan különböző gépstruktúrákat építettek.

Az egytetemes jellegnek megfelelően a gépen tengely (a felfogható legnagyobb munkadarab átmérő és hossz 160x650 mm) és tárcsaszzerű (a felfogható munkadarab átmérő 450 mm, a megmunkálható hossz 250 mm) alkatrészeket munkálnak meg. A munkadarabok anyaga acél, öntöttvas és könnyűfém. A gép nagy termelékenységű, elsősorban egyedi- és kissorozatok előállítására szolgál.

#### 6.3.1 Az esztergagép felépítése

Az EPA 320-01 CNC esztergagép struktúrája a 34. ábrán látható. A főhajtómű a gép baloldali végén helyezkedik el, a gépágyra a szegnyereggel azonos bázisra csak a főorsó épül.

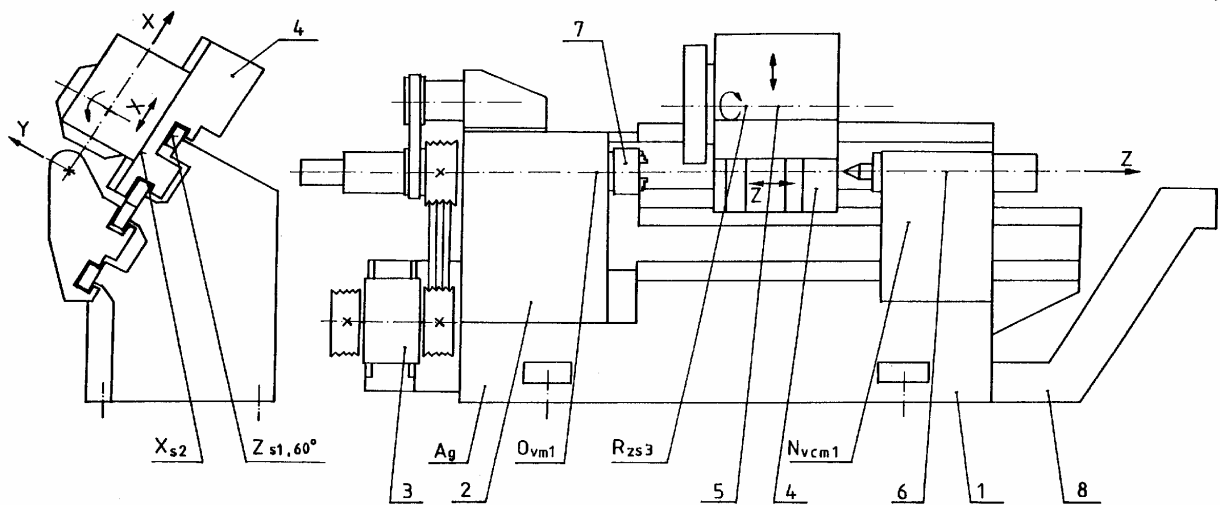
A gép legfontosabb szerkezeti egységei:

- 1 - Ágy
- 2 - Orsóház, főorsó
- 3 - Főhajtás
- 4 - Mellékhajtások, szánrendszer
- 5 - Revolverfej, szerszámozás
- 6 - Szegnyereg
- 7 - Tokmány (ajánlott tokmányátmérő: 200 mm)
- 8 - Forgácskihordó

Az ábrán a gép alfanumerikus kódját is feltüntettük a [23] irodalomnak megfelelően.

*A mellékhajtás legfontosabb adatai*

- A szánok mozgáshossza:  $z=600$  mm,  $x=175$  mm.
- A gyorsjárat sebessége: 5 m/perc.
- Az előtoló erő: 7000 N.



34. ábra Az EPA 320-01 CNC esztergagép struktúrája

#### *A revolverfej adatai*

- A befogható szerszámok illetve pozíciók száma: 12.
- A szerszámok közül két darab 20x20 mm szárkeresztmetszetű esztergakés közvetlenül, a többi DIN 69880 szerszámtartókon keresztül a VDI 3425 szerinti csatlakozással fogható fel a revolverfejre (DIN - Deutsches Institut für Normung - Német Szabványosítási Intézet, VDI - Verein Deutscher Ingenieure - Német Mérnökök Egyesülete).

### **6.3.2 Az esztergagép főhajtóműve**

#### *A főhajtómű adatai*

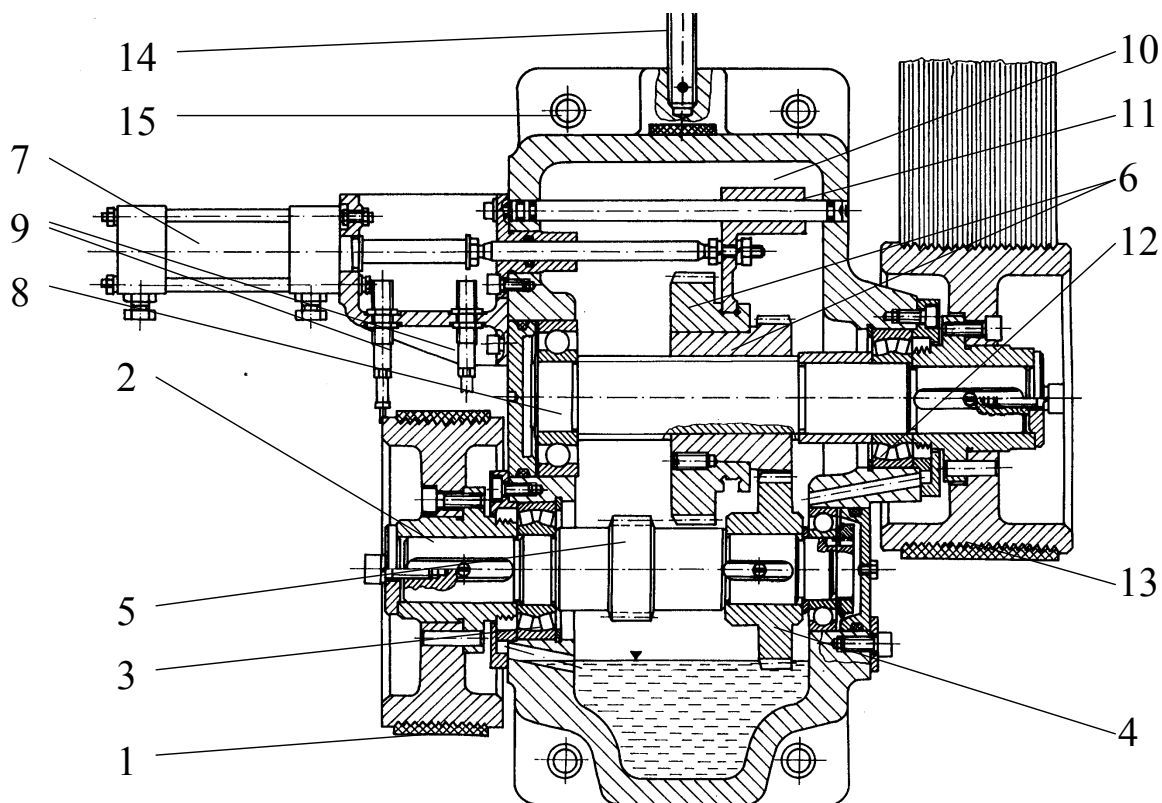
- Az egyenáramú főmotor teljesítménye: 15 kW.
- A fordulatszám tartomány: 50÷4000 f/perc.
- A főorsó legnagyobb nyomatéka és forgácsoló ereje: 320 Nm és 6000 N.

A 35. ábrán az esztergagép kétfokozatú főhajtóműve látható. A kialakítás és elrendezés a 30.d ábrának megfelelő. A hajtóművet az egyenáramú főmotor (DC motor) az 1 Poly-V szíjhajtáson keresztül hajtja meg, amely elnevezés sok V profilú szíjat jelent. A fordulatok fokozatmentes változtatása a motor kapocsfeszültségének és fluxusának változtatásával történik. A szíj szükséges feszítését a motorfelfogó talp billentésével oldották meg. A 2 tengelyre ható nagy feszítőerőt a 3 beálló görgőscsapágy veszi fel, a tengely másik végén mélyhornyú golyóscsapágy található. A kétfokozatú hajtómű 4 gyorsító és 5 lassító fogaskerék áttételei szolgálnak a motor fokozatmentesen állítható fordulatszám tartományának kiterjesztésére, a megfelelő fordulatszám tartomány beállítására, továbbá a nyomatékok növelésére. Az egyes fokozatok



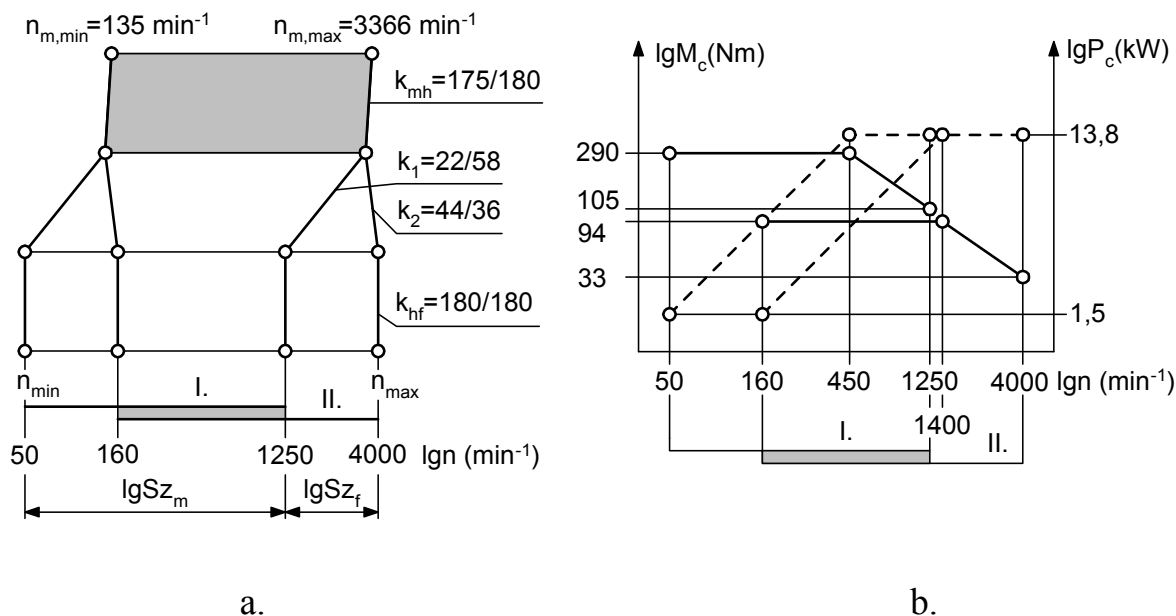
kapcsolásához a 6 tolótömböt a 7 hidraulikus henger váltja át a megfelelő helyzetbe.

A 6 tolótömb a 8 hajtott bordás tengelyre ül fel. A tolótömb és egyúttal a henger véghelyezeteit a 9 érintés nélküli jeladók érzékelik. A befeszülések elkerülését szolgálja a 10 tolóvillát megvezető 11 rúd. A 8 tengelyt egyik végén mélyhornyú golyóscsapágy támasztja meg, a kihajtó oldalon a 12 beálló görgős csapágyazás veszi fel a főorsóra hajtó 13 Poly-V szíj feszítő erejét. A szíjfeszítés a 14 csavarral állítható be a hajtóműház függőleges irányú állításán keresztül. Beállításakor a hajtóművet 4 db. 15 csavarral oldják, majd rögzítik miközben az 1 Poly-V szíj laza állapotban van. A hajtómű kenése szóró olajozású, az olajfürdőbe érő fogaskerék hordja fel a fogaskerekek kenéséhez szükséges olajat. Az olajsint felső és alsó határa az olajállás mutatón keresztül, vizuálisan ellenőrizhető. A kétfokozatú hajtómű az esztergagép baloldali végére szerelt konzol függőleges bázissíkján foglal helyet. A fokozatos hajtómű kinematikai vázlatát és fordulatszám ábrái hasonlóak az 5.3 fejezet szerinti példa hajtómű ábráihoz (27. ábra), de az egyes hajtóviszony értékek eltérnek attól.



35. ábra Az EPA 320-01 CNC esztergagép főhajtóműve

A főhajtómű fordulatszámábrája a 36.a, valamint teljesítmény és nyomaték határgörbéi a 36.b ábrákon láthatók. A fordulatszámábrán a fogaskerékpárok hajtóviszonyait a fogsók, a Poly-V szíjhajtását a tárcsaátmérők hányadosával adtuk meg.



36. ábra Az EPA 320 esztergagép főhajtóművének fordulatszámábrája, valamint teljesítmény és nyomaték határgörbéi

A teljesítmény és nyomaték határgörbék  $\eta_m = 0,92$  mechanikai hatásfok figyelembevételével kerültek ábrázolásra. Egyes fordulatszámértékek kerekítettek, ezért ellenőrzéskor kismértékű eltérések lehetségesek. Az I. és II. fordulatszám tartományok a 160÷1250 f/perc értékek között túlfedettek. A főhajtómű összes, a fokozatos hajtómű és a motor szabályozhatóságai:

$$Sz = 80, \quad Sz_f = 3,22, \quad Sz_m = 24,8 \quad (Sz_{mk} = 9, \quad Sz_{mfl} = 2,76).$$

## 6.4 Az SL esztergagép-család

Az *Excel-Csepel Szerszámgépgyártó Kft*-nél az SL (Center Lathe - eszterga központ) típusú ferdeágyas, nagy pontosságú CNC esztergagépet többféle változatban és méretben (SL 320, SL 400, SL 500) gyártják moduláris felépítésben. A főhajtómű változatokban található két fokozatú hajtóműves, egyetlen Poly-V szíjas megoldások különböző motorelrendezésekkel. Megemlítjük, hogy az SL 400 géptípuson szerepelt először Tajnafői, J. megoldása szerint megépített automatikus pofaállítású esztergatókmány [24], amelyet az 1999. évi EMO-n (Szerszámgép Világkiállítás), Párizsban is kiállítottak. A nagy szorítóerejű vonóékes tokmány működésének újszerűsége abban áll, hogy a szorítópofák tetszőleges munkadarab átmérőre való átállítása automatikusan történik és nagy fordulatszámoknál a szorítópofákra ható centrifugális erő kiegyensúlyozott.

Az egytetemes jellegű esztergagépen egyedi, kis és középsorozatban állítanak elő tengely és tárcsaszerű alkatrészeket, amelyek anyaga öntöttva, acél, színes- és

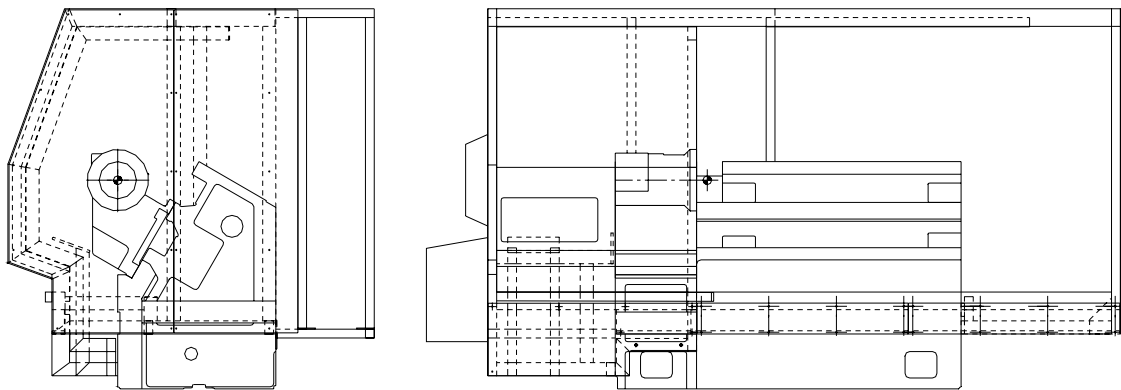
könnyűfém lehet. Ezen túlmenően megfelelő szerszámozással pl. műanyag munkadarabok is megmunkálhatók.

#### 6.4.1 Az SL 320 HS CNC esztergagép

Az esztergagépek legújabb fejlesztéséből az SL 320 HS (High Speed - nagysebességű) típusú CNC esztergagépet mutatjuk be, amelynek főhajtása nem tartalmaz kétfokozatú hajtómű egységet. A gép a legmodernebb építési elveknek megfelelően került kialakításra, struktúrája a 34. ábrán látható elrendezéshez hasonló. Az automatikus munkadarab- és szerszámellátással, az állapot felügyelettel, diagnosztikával és adaptív szabályozással rendelkező gépek alkalmasak az autonóm, cellaszintű üzemeltetésre, továbbá rugalmas gyártórendszerbe építésre.

A 37. ábra a burkolatrendszer mutatja, de az előnézeti és a jobboldali oldalnézeti rajzokon jól kivehető az esztergaágy és a főorsó ház körvonalrajza.

A gép 60° ferdeségű ágyára épülnek a fő és mellékajtás, valamint a szegnyereg egységek a munkadarab- és szerszámefogó készülékekkel, valamint a zárt burkolatrendszer és tartókerete, amelyre minden további egységet, mint pl. a hidraulikus- és pneumatikus (fluidtechnikai) tápegységeket, a villamos tápegységet és vezérlőszekrényt szereltek. A vezérlő egység a homlokoldali burkolat baloldalán foglal helyet.



37. ábra Az SL 320 HS CNC esztergagép körvonalrajza

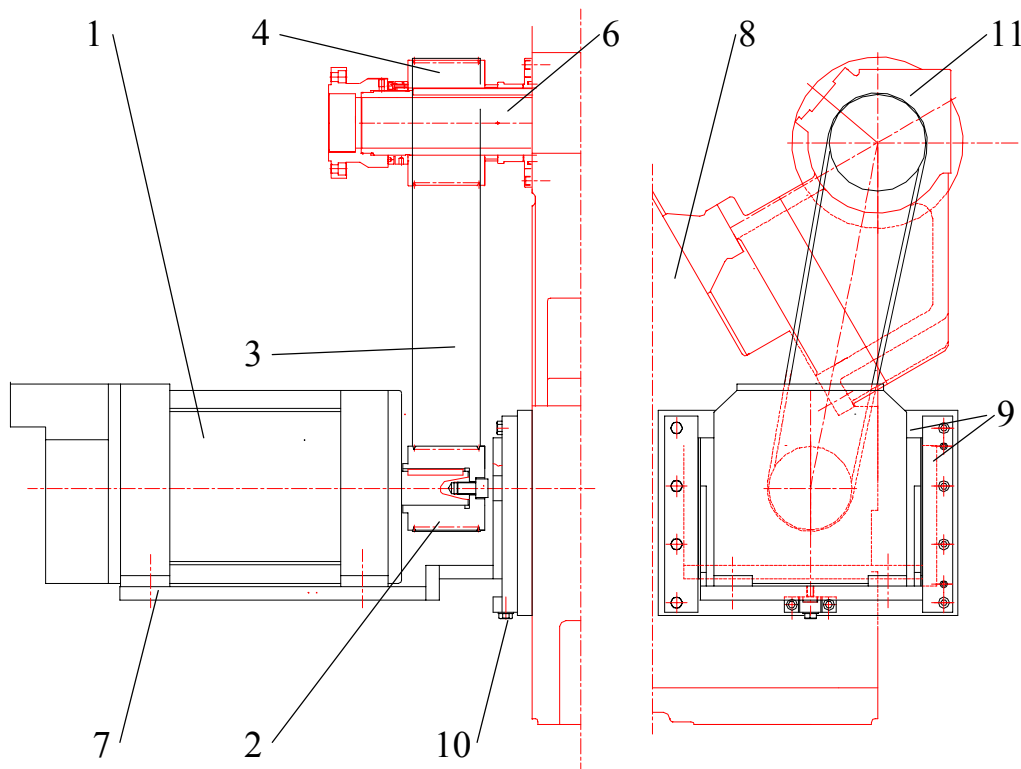
Ily módon a gép egy egységként a rendelési helyre szállítható és rövid időn belül üzembe helyezhető. A forgácskihordó és a vele egy egységet képező hűtő-kenő folyadékellátó rendszer önálló egységként kerül az ágy mellé. A gép alapkitelében azonnal alkalmas a legalapvetőbb megmunkálások elvégzésére.

## 6.4.2 Az esztergagép főhajtása

### A főhajtómű adatai

- Az aszinkron főmotor teljesítménye: 11/15 kW.
- A fordulatszám tartomány: 50÷6000 f/perc.
- A főorsó legnagyobb nyomatéka: 70/95,5 Nm,

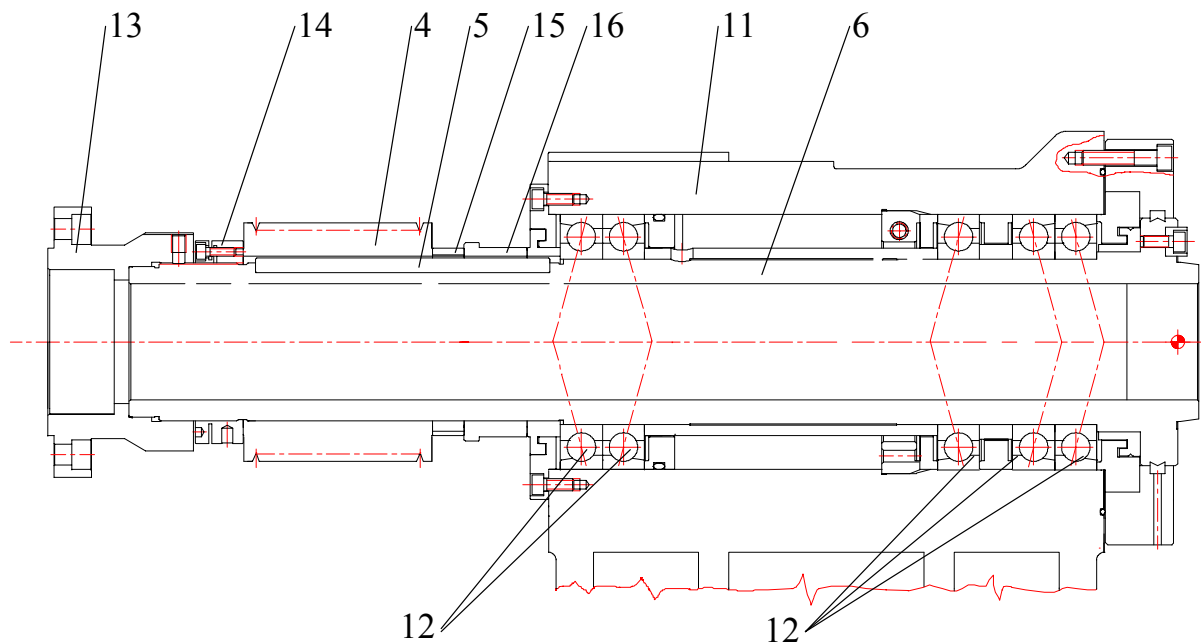
A teljesítmény és nyomaték adatok a motor folyamatos (100 %ED) és szakaszos (30 perces ciklusidő és 50 %ED) üzemmódjára vonatkoznak, utóbbi esetben az értékek magasabbak. Az igen egyszerű-, egyetlen állandó áttételű-, főhajtást a 38. ábra szemlélteti. A kialakítás és elrendezés a 30.e ábrának megfelelő azzal, hogy a motor a gépágy meghosszabbításában helyezkedik el. Az 1 fokozat nélkül állítható fordulatszámú motor aszinkron gép (Fanuc SJ-15A típusú AC motor), amelyet a gépágy baloldali folytatásában helyeztek el. Az 1 motor a 2 szíjtárcsa, a 3 Poly-V szíj és a 4 szíjtárcsa közvetítésével az 5 reteszen keresztül hajtja meg a 6 főorsót.



38. ábra Az SL 320 HS CNC esztergagép főhajtása

Az 1 talpas motort a 7 tartóelemre csavarozták. A 7 tartóelem az 1 motorral együtt függőleges irányban a 8 esztergaágy végére szerelt 9 vezetékben a 10 feszítő csavarral állítható. Felfelé állítással a szíj laza felszerelését biztosítják, lefelé állítással a szíj üzemi előfeszítését hozzák létre. A szíjfeszítés után a 7 tartóelemet a 9 vezetékekben rögzítik.

A 11 főorsó ház a 8 esztergaágy ferde síkú bázisfelületére épül, amely a szegnyereg és a z irányú szán vezetőkeinek is bázisa

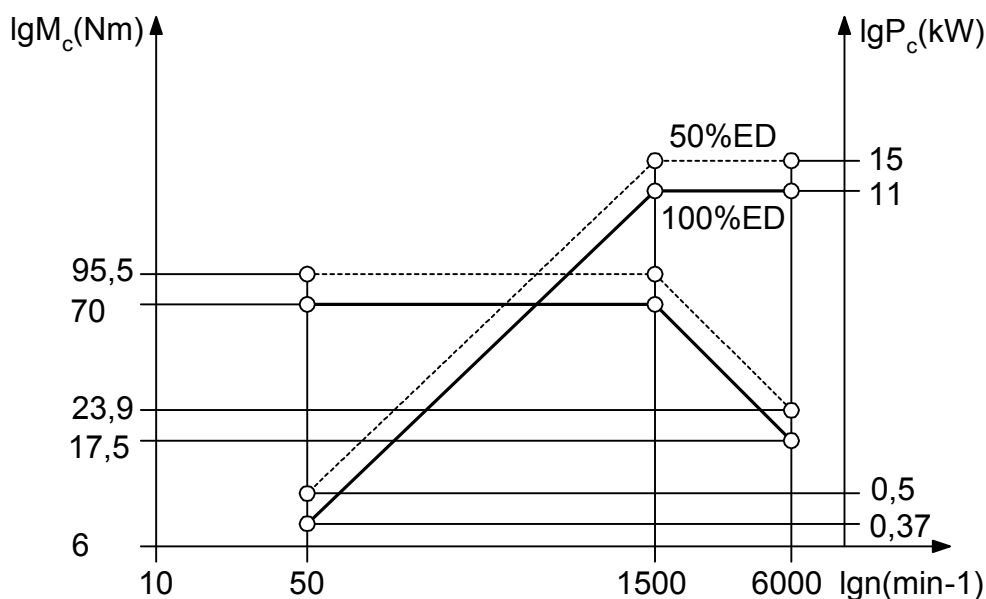


39. ábra Az SL 320 HS CNC esztergagép főorsója

A főorsó egység külön rajzon (39. ábra) látható, a hivatkozott elemek számozását a 38. ábra alapján folytattuk. A 6 főorsó a 11 főorsó házban O elrendezésű, 12 ferdehatásvonalú golyóscsapágyakkal (FAG) csapágyazott, a csapágyak zsírkenésűek. A 6 főorsó baloldali végén a következő elemek foglalnak helyet. A 13 toldat a vonóékes tokmány hidraulikus működtető szerkezetének felfogására szolgál. A 14 állító anya (Speeth anya) oldja meg a főorsóra épülő elemek (csapágyak, távtartók, fogastárcsák) axiális rögzítését. Az 5 retesz gondoskodik a 15 fogastárcsa menesztéséről, amely 1:1 hajtóviszonyú fogasszíj-hajtáson keresztül biztosítja a 6 főorsó elfordulását mérő forgó impulzusadó (ROD) meghajtását (rajzon nem szerepel). A 16 persely helyén a főorsóra igény szerint ráépíthető C tengelyes hajtás elemei (csigakerék) foglalnak helyet. A 6 főorsó furatában a tokmányt működtető szerkezet rudazata foglal helyet.

A főorsó jobboldali, szabványos kialakítású végére (MSZ 5038-52) fogják fel a munkadarab-befogó hidraulikus működtetésű vonóékes tokmányt.

A főhajtásra jellemző egy-egy teljesítmény és nyomaték határgörbe pl. a 13. ábra alapján egyszerűen felrajzolható (40. ábra). Az ábrázolásnál a szíjhajtás mechanikai hatásfokától eltekintettünk.



40. ábra Az SL 320 HS CNC esztergagép teljesítmény- és nyomaték határdiagramjai

## 6.5 HMC 500 T80 fúró-maró megmunkáló központ

Az *Excel-Csepel Szerszámgépgyártó Kft.*-nél gyártott HMC 500 T80 jelű (Horizontal Machining Center - vízszintes főorsójú megmunkáló központ, Tool - szerszám) fúró-maró megmunkáló központ kisméretű prizmatikus alkatrészek nagy műveletkoncentrációjú megmunkálására szolgál. Kielégíti a szerszámgépekkel szemben támasztott magas igényeket a termelékenység, pontosság és gazdaságosság terén és vevői kívánságra különböző opcionális változatok állnak rendelkezésre. A gép megfelelő kiegészítésekkel alkalmas gyártócellába vagy gyártórendszerbe építésre. A munkadarab anyaga lehet öntöttvas, acél, könnyű- és színesfém. A géptípus az MK 500 (MK - Megmunkáló Központ) megmunkáló központ továbbfejlesztett változata. Az MK 500 egy példánya a Miskolci Egyetem (ME) Gépgyártástechnológiai Tanszékének géplaboratóriumában is megtalálható.

### 6.5.1 A megmunkáló központ felépítése

A gép körvonalrajzán (41. ábra) a legfontosabb szerkezeti egységek és méretek, valamint a zárt burkolatrendszer kialakítása látható. A gép különböző egységei T alakú ágyszerkezetre épülnek. Az osztott mozgású gépen a főhajtómű (a szerszám) z és y irányú, a munkadarab x irányú mozgást végez. Az x irányban mozgó asztalba épül az y forgástengelyű diszkrét osztású, precíziós körasztal, amely a többoldalas megmunkálást teszi lehetővé. A körasztalon automatikusan cserélhető, munkadarab felfogó *technológiai paletta* foglal helyet, amelynek mérete 500x500 mm.

A gép előtt, a burkolaton kívül elhelyezett kettős palettatároló teszi lehetővé az automatikus paletta (munkadarab) cserét, amelyhez az x irányú szán és a körasztal mozgásai is szükségesek. A gép jobboldalára épített szerszámtár 80 férőhelyes, a tár és a főorsó közötti szerszámforgalmat automatikus szerszámcsere manipulátor bonyolítja le. A 41. ábra bal alsó részén az egyes szánok mozgásaira és a munkatérre jellemző méretek láthatók.

A megmunkáló központok zárt burkolattal készülnek, ezáltal a környezet védett a hűtő-kenő és mosó folyadéktól, a forgácstól, amelyek eltávolító egységei a gép baloldalán foglalnak helyet, továbbá megakadályozza az illetéktelen beavatkozást.

## **6.5.2 A megmunkáló központ főhajtóműve**

### *A főhajtómű adatai*

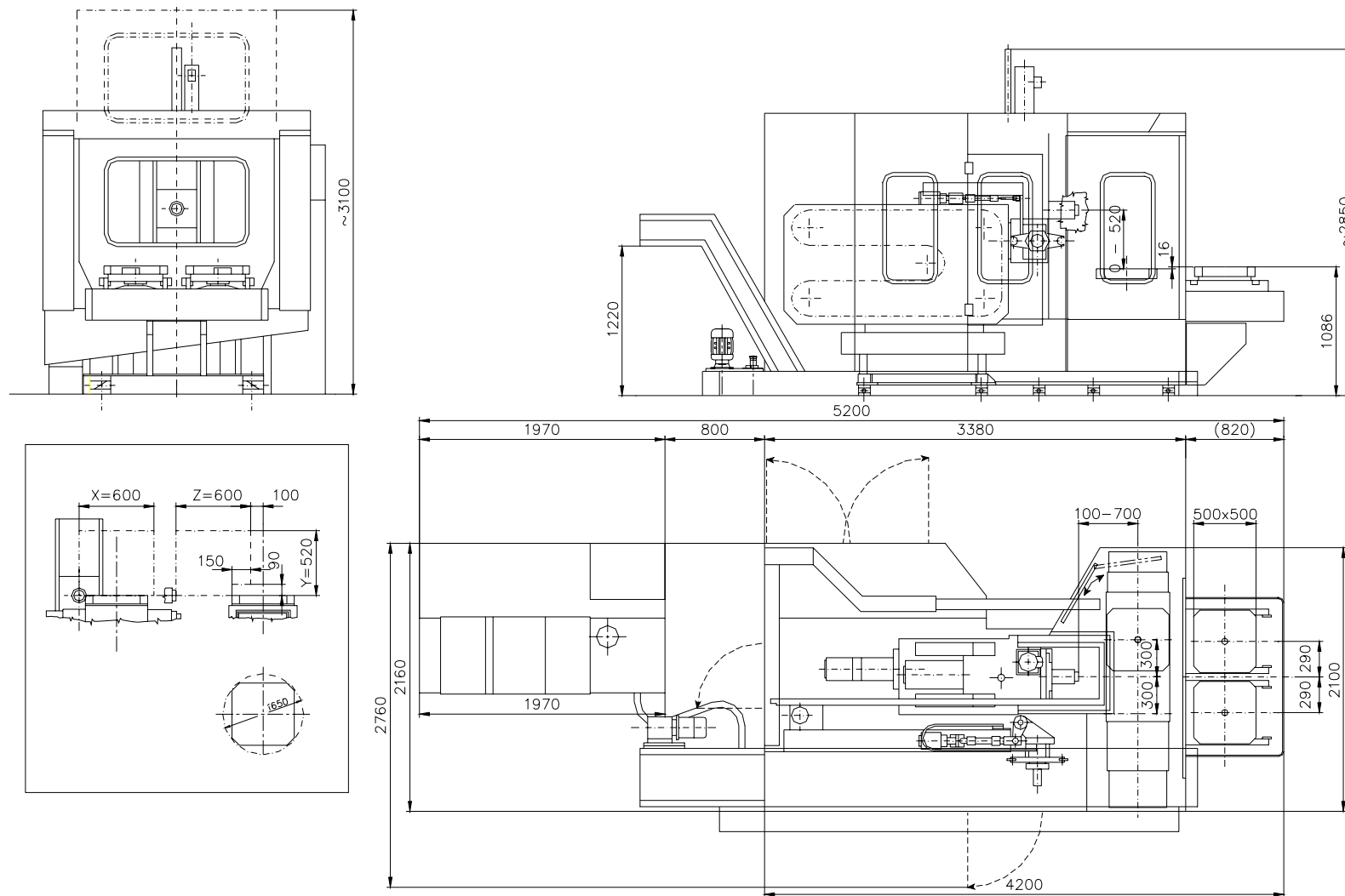
- Az aszinkron főmotor teljesítménye: 15/18,5 kW.
- A fordulatszám tartomány: 60÷6.000 f/perc, (50÷5000 f/perc MK 500).
- A főorsó legnagyobb nyomatéka: 283 Nm.

A főhajtómű (42. ábra) az 1 házban foglal helyet. Az 1 ház és a függőleges, y irányú szánvezeték-fél közös egységet képez, az öntvény elöl a vezetéknek megfelelő hosszúságú. Az y irányú szánnal egybeépített főhajtómű a z irányban mozgó keretállványban helyezkedik el.

Az 1 házba szerelt 2 hüvelyben a 3 O elrendezésű két-két ferde-hatásvonalú golyócsapággal csapágyazott a 4 főorsó, amelyet jobboldali végén még az 5 golyócsapágy is megtámaszt. A 4 főorsó (2 hüvely) kinyúlása egyrészt a megmunkálási feladatok, másrészt a szerszámcsere manipulátor szempontjából szükséges

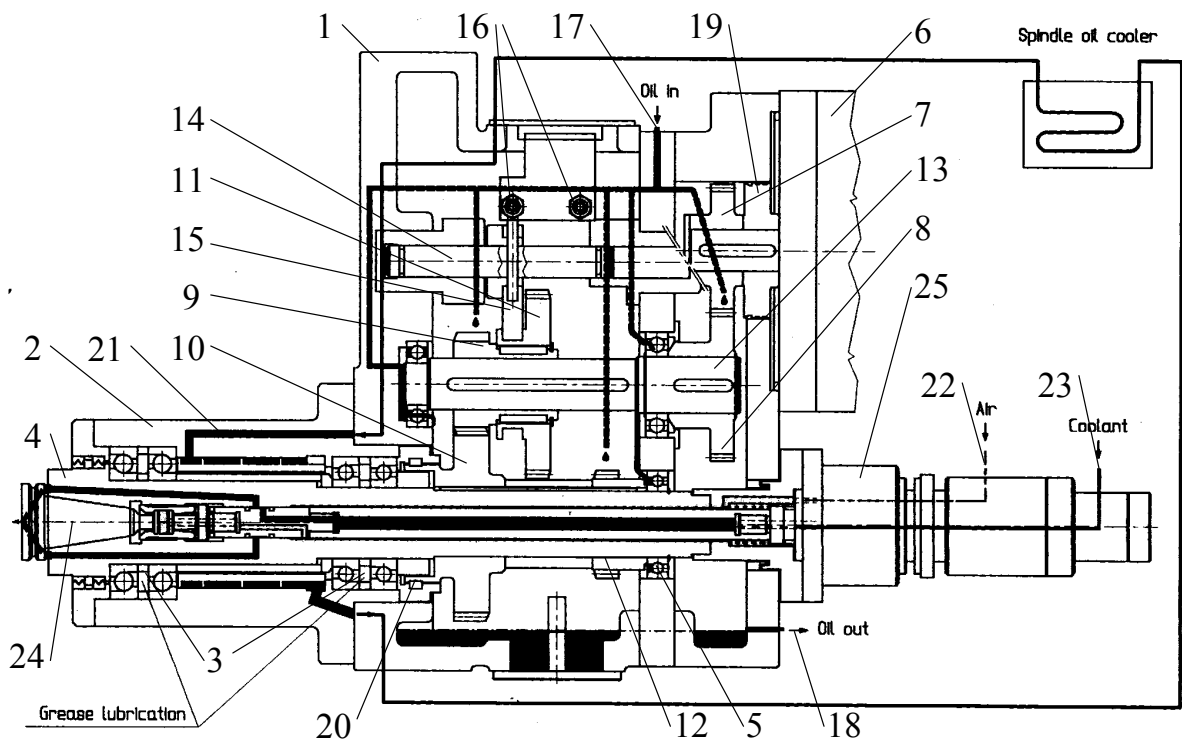
A 4 főorsó hajtását az 6 fordulatszám szabályozott aszinkron motor a 7-8 állandó hajtóviszonyú és a 9-10, vagy a 11-12 fogaskerékpárokon keresztül végzi. A motor folyamatos üzemmódban (100 %ED) 15 kW, szakaszos üzemmódban (30 perces ciklusidő, 50 %ED) 18,5 kW teljesítményt ad le. A 9 és 11 fogaskerekek a 13 tengelyhez siklóretesszel kapcsolódnak és tolótömböt képeznek. A tolótömböt a hidraulikusan működtetett 14 tolattyú a hozzá rögzített 15 villával váltja a szükséges fordulatszám tartománynak megfelelő helyzetbe. A véghelyzetek kijelzéséről és a hajtás indíthatóságáról a 16 érintés nélküli jeladók gondoskodnak.

A hajtómű fordulatszám ábrája a 20.a ábrához hasonló.



41. ábra A HMC 500 fúró-maró megmunkáló központ körvonalrajza





42. ábra A HMC 500 T80 fúró-maró megmunkáló központ főhajtóműve

#### *A főhajtómű fluidtechnikai egységei*

A főorsó és a csapágyak kényszerolajozásúak. Az olaj bevezetése a 17, elvezetése a 18 vezetékeken keresztül történik. Az olajteret az 1 motor felé a 19, a főorsó csapágyak felé a 20 tömítések zárják le. A 3 ferdehatásvonalú golyóscsapágyak zsírkenésűek. A főorsó környezetének hűtését a 21 olajhidraulikus rendszer biztosítja. A 4 főorsó szerszámbefogó kúpjába (MSZ 3815, 2. sz.) szerszámcserekor a 22 álló-forgó csatlakozó fejen és a főorsón keresztül tisztító levegőt vezetnek be. A szerszámon keresztüli hűtés-kenéshez a folyadékot a 23 álló-forgó csatlakozó fejen, a 4 főorsó furatrendszerén keresztül vezetik a főorsó homlokához, majd a 24 szerszám alaptartóhoz. Automatikus szerszámcserehez a 4 főorsó tájolt helyzetű, a szerszám tányérrúgó köteg ellenében való lazításához szükséges erőt és mozgást a 25 hidraulikus henger szolgáltatja.

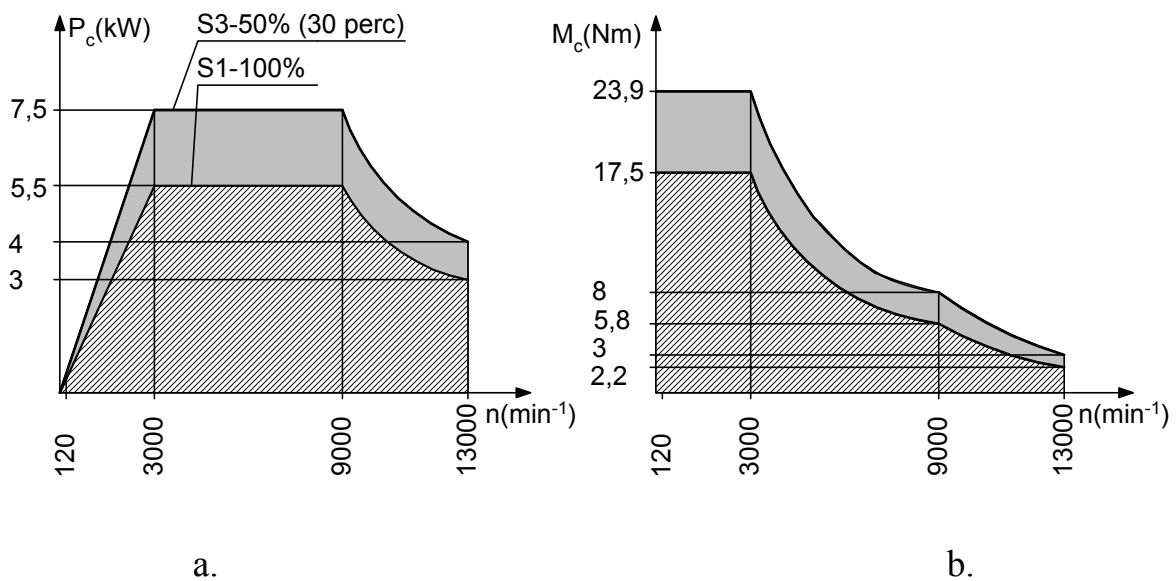
## **6.6 HMC 400 fúró-maró megmunkáló központ**

Ugyancsak az *Excel-Csepel Szerszámgépgyártó Kft*-nél gyártják a HMC 400 vízszintes főorsójú fúró-maró megmunkáló központot, amely a megmunkáló központ család legújabban kifejlesztett tagja. A gép kisméretű prizmatikus alkatrészek megmunkálására szolgál. A munkadarabokat 400x400 mm-es technológiai palettára fogják fel.

### 6.6.1 A megmunkáló központ főhajtása

- Az aszinkron főmotor teljesítménye: 5,5(S1)/7,5(S3) kW (Fanuc SJ-7,5A).
- A motor fordulatszámjai:  $n_{\min}=60$  f/perc,  $n_n=1500$  f/perc,  $n_v=4500$  f/perc,  $n_{\max}=8000$  f/perc.
- A főorsó fordulatszám-tartománya: 120÷13000 f/perc.
- A főorsó legnagyobb nyomatéka: 24 Nm.

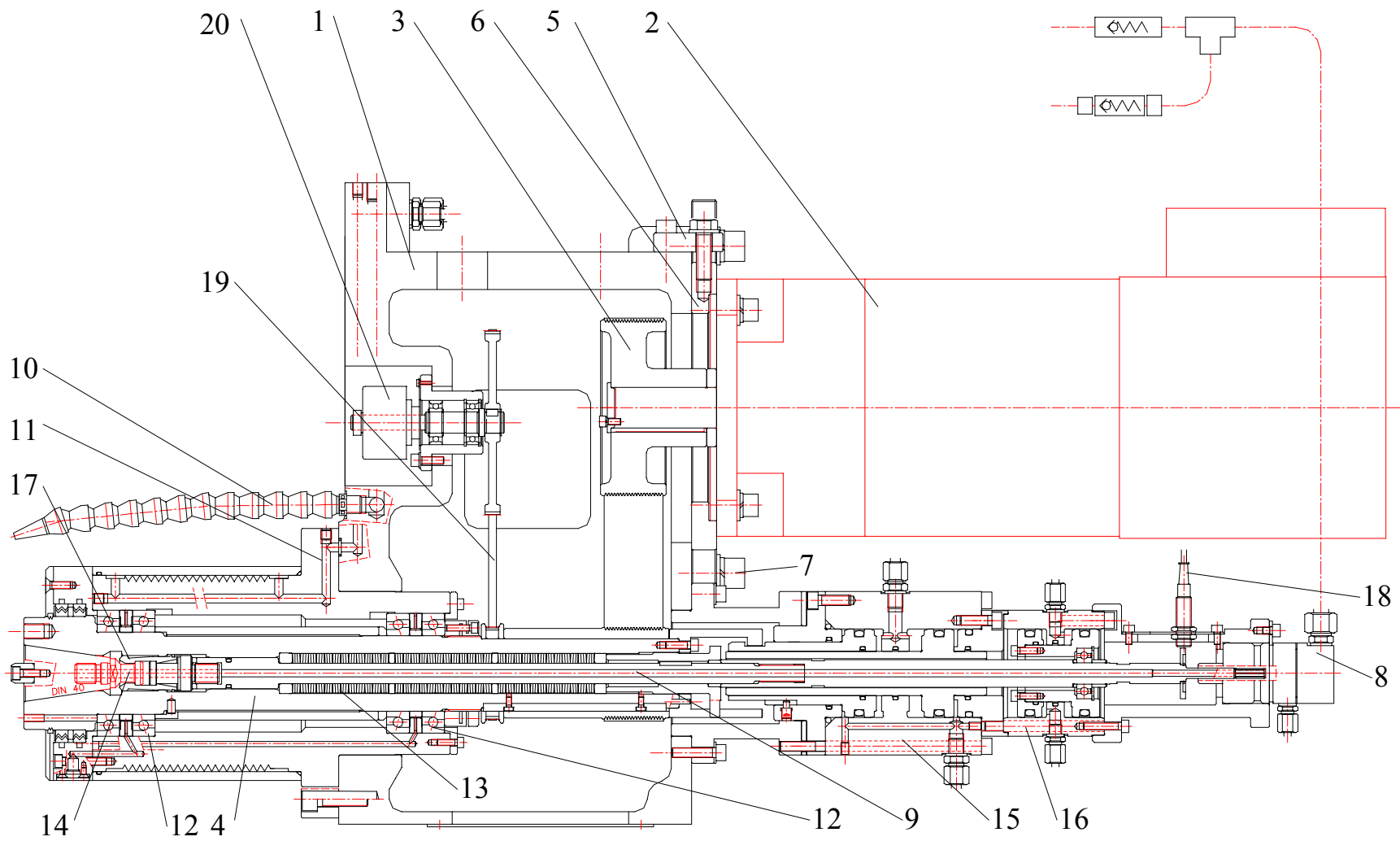
A 43. ábrán megrajzoltuk az AC motoros főhajtásra jellemző és a főorsón levehető teljesítmény (43.a ábra) és nyomaték (43.b ábra) határgörbékét, amelyek a motor S1 folyamatos ( $bi\%=100$ ) és S3 szakaszos (30 perces ciklusidő és  $bi\%=50$ ) üzemmódjára vonatkoznak. Az S3 szakaszos üzemmódban levehető teljesítmény mindig nagyobb, maximális értéke az üzemeltetési időparamétereitől függ. Látható, hogy a magas fordulatszámok ( $120\div 13000\text{ min}^{-1}$ ) megvalósítása érdekében a motor mindhárom szabályozási tartományát kihasználják.



43. ábra A HMC 400 főhajtómű teljesítmény és nyomaték határdiagramjai

A főhajtómű 1 háza új kialakítású keretállványban foglal helyet. A főhajtómű a magas igények és követelmények kielégítésére új funkciókkal, szerkezeti megoldásokkal rendelkezik (44. ábra).

A nagysebességű megmunkálások miatt szükséges nagy fordulatszámokat igen egyszerű főhajtómű valósítja meg. A 2 aszinkron főmotor nagy fordulatszám tartományban való fokozat nélküli állítása frekvenciaszabályozással történik. A 2 motor a 3 Poly-V szíjhajtáson keresztül hajtja meg a 4 főorsót. A szíj feszítés beállítása az 5 feszítő csavarral a 6 motorfelfogó lapon keresztül történik. Beállítás után a 6 lapot a rá felfogott 2 motorral együtt a 7 csavarokkal rögzítik.



44. ábra A HMC 400 fúró-maró megmunkáló központ főhajtása

### *A főhajtómű fluidtechnikai egységei*

A szerszámbefogó kúp tisztítását szolgáló levegő bevezetése a 8 álló-forgó csatlakozó fejen, továbbítása a szerszámbehúzó 9 rudazat furatán keresztül történik. A szerszámokat hűtő-kenő és a forgácsot lemosó nagymennyiségű folyadékot a 10 csövön keresztül vezetik a forgácsolás helyére. A főorsó környezetének olaj hidraulikus hűtése a 11 furatrendszeren keresztül valósul meg. A 4 főorsó 12 O elrendezésű két-két ferdehatásvonalú golyóscsapágya zsírkenésű.

A szerszám főorsóbeli rögzítéséhez és oldásához szükséges, a főorsóhoz csatlakozó, működtető rendszer újszerű megoldását az indokolja, hogy a magas főorsó fordulatszámok és nagy forgácsoló erők miatt megnövelték a szerszámrögzítő erőt. A gyakori szerszámrögzítés és oldáskor fellépő, a főorsó csapágyakat a munkatér irányába terhelő nagy axiális erő elkerülésére szétválik a 13 tányérrúgó köteg szorításának oldása és a szerszámtestbe csavarozott 14 behúzó gomba elengedése, illetve megfogása. A 15 hidraulikus henger dugattyúi az alsó csatlakozóról működtetve-, a geometriai méretekből adódóan-, a 13 rúgóköteg összenyomásával egyidejűen, de ellentétes irányban a 4 főorsó húzás alá kerül, ezért az erőfolyam a 4 főorsón zárul.

Ezután a 16 pneumatikus henger működtetésével, a 9 rudazat balra mozdításával a 14 behúzó gombát a 9 rudazatra szerelt 17 patron elengedi. Szerszámcsere után a 16 pneumatikus, majd a 15 hidraulikus hengerek ellentétes működésére kerül sor. A 15 hidraulikus henger működése csak a 9 rúd visszahúzott (szerszám behúzott), jobboldali helyzetét érzékelő 18 jeladó jele után lehetséges. A 4 főorsó pozicionálására szolgál az 1:1 hajtóviszonyú 19 fogazott szíjhajtáson keresztül hajtott 20 forgó szöghelyzet adó.

## **6.7 Síkköszörű gép**

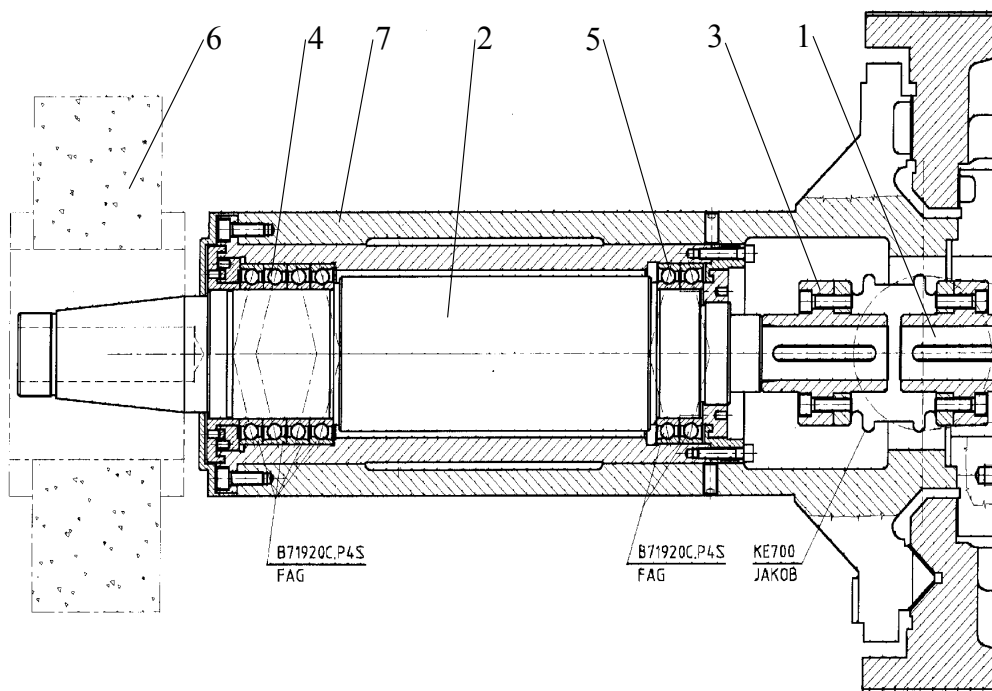
A síkköszörű gépeket a nagy alak- és méretpontosságú, jó felületi minőségű párhuzamos sík felületek előállítására használják. A megmunkálás a szerszám palástjával, vagy homlokával történik. A számjegyvezérlés a síkköszörű gépek strukturális és szerkezeti kialakítását megváltoztatta, technológiai lehetőségeit kiterjesztette [25]. A síkköszörű gépeken ma már különböző alakú beszúró műveletek is végezhetők. Ebben az esetben mind a *pontossági*, mind a *nagy anyagleválasztási teljesítmény* követelményt egyaránt ki kell elégíteni. Ez utóbbi a főhajtás teljesítményének jelentős növeléséhez vezetett. A beszúrás profiljának negatívját a köszörűkorong hordozza, a korongprofilozást NC lehúzókkal végzik.

### **6.7.1 A síkköszörű gép főhajtása**

A 45. ábrán a Szerszámgépek Tanszéken a Geibel & Hotz GmbH megbízásából fejlesztett síkköszörű gép főhajtás látható, amely tisztán villamos főhajtás. Az 1

fordulatszám szabályozott aszinkronmotorról a hajtást a koaxiális 2 főorsóra a nagy torziós merevségű 3 rugalmas tengelykapcsoló közvetíti.

A főorsó csapágyazása nagy radiális merevségű 15°-os hatásszögű ferde hatásvonalú, O elrendezésű és közepesen előfeszített FAG golyós csapágyakkal történt. A mellső 4 csapágyazás a főorsó helyzetét radiálisan és axiálisan is meghatározza., az ún. tandem kialakítás a nagy terhelések felvételét szolgálja. A hátsó 5 csapágyazás a tengelynek radiális irányú megtámasztást biztosít. A főorsó csapágyak zsírkenésűek. A nagy tömegű 6 köszörűkorong a mellső csapágyazáshoz a lehető legközelebb nyert elhelyezést. A főorsó csapágyazása technológiai céllal az előrenyúló 7 hüvelyben kapott helyet.



45. ábra Síkköszörű gép főhajtása

## 7. FŐHAJTÓMŰVEKBEN ALKALMAZOTT GÉPELEMEK

A szerszámgépekkel szemben támasztott követelmények kielégítése céljából mindig a legkorszerűbb gépelemeket, építőelemeket alkalmazzák a gép egyes szerkezeti egységeiben. Az elemek nagy részét, a hajtóelem párokat méretező, ellenőrző számításokkal nyert adatok alapján választják ki, vagy tervezik meg legyártás céljából. A számításokat meghatározott metódusok szerint végzik, amelyek szakirodalmakban, szabványokban megtalálhatók. Számos gyártó katalógusaiban közli a méretezési, kiválasztási lépéseket. A főhajtóművekben alkalmazott gépelemek nagy része hazai szabványokban megtalálható, esetleg ágazati, vállalati szabvány, vagy ajánlás. A főhajtómű és elemeinek méretezéséhez, tervezéséhez pl. a [12, 27÷43] irodalmak használhatók fel.

## Irodalom

- [1] Tajnafői, J.: *Szerszámgéptervezés I.*  
Kézirat, Tankönyvkiadó, Bp., 1973
- [2] Takács, E.: *Szerszámgépek I.*  
Kézirat, Tankönyvkiadó, Bp., 1976
- [3] Mádai, F.: *Villamos hajtások*, Oktatási segédlet, Kézirat, Miskolc 1999
- [4] Mádai, F.: *Egyenáramú és aszinkron motoros négynegyedes hajtás vizsgálata*, Mérési ismertető, Miskolc 1995
- [5] Horváth, M. - Markos, S.: *Gépgyártástechnológia*  
Műegyetemi Kiadó, 1995
- [6] Milberg, J.: *Werkzeugmaschinen-Grundlagen*  
Springer-Verlag Berlin Heidelberg New-York, 1992
- [7] Spur, G.: *Werkzeugmaschinen I.-II.*  
Vorlesungen WS 94/95, IWF/IPK, TU Berlin
- [8] Spur, G.: *Vom Wandel der industriellen Welt durch Werkzeugmaschinen*  
Carl Hanser Verlag München Wien, 1991
- [9] Rácz, I.: *Villamos hajtások*  
Tankönyvkiadó, Budapest, 1971]
- [10] Halász, S.: *Villamos hajtások*,  
Egyetemi tankönyv, ROTEL KFT. 1993
- [11] Halász, S. - Hunyár, M. - Schmidt, I.: *Automatizált villamos hajtások II:*  
Műegyetemi Kiadó, 1998
- [12] Tochtermann, W. - Bodenstein, F.: *Gépelemek 2.*  
Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986
- [13] Fortuna-Werke: *Schnellfrequenz-spindeln*, Katalog
- [14] GMN, Georg Müller Nürnberg AG: *GMN Schnellfrequenz- Fräs- und Bohrspindeln-, Schleifspindeln* Kataloge
- [15] Retter, Gy.: *Villamosenergia-átalakítók I.* Műszaki könyvkiadó, Bp 1986
- [16] Csepeli Szerszámgyártó: *FK 326 fogaskerék köszörűgép*  
Gépkönyv, Bp. 1983
- [17] Jakab, E-Zsiga, Z.: *Üzemeltetés gyakorlati programja*, Excel Csepel Szerszámgyártó Kft. PHARE.HU-94.05-0101-Lo23/61
- [18] Mádai, F.: *A motorok kiválasztásának szempontjai*  
Oktatási segédlet, Miskolc 1983
- [19] EVIG: *Gyártmányjegyzék*, Budapest, 1982
- [20] Tajnafői, J. - Velezdi, Gy. - Leszkóczi, I. -Kralovánszki, P. - Páger, S. - Horacsek, G. - Jakkel, O.: *Többorsós megmunkáló berendezés*  
Szabadalom, Lajstromszám 190 754, A megadás napja 1984. 02.14.
- [21] Szerszámgépipari Művek: *MC 403 Háromorsós megmunkáló központ*  
Katalógus, Budapest

- [22] SZIM: *Gépkönyv az EPA 320/01 esztergához*, Bp. 1988
- [23] Tajnafői, J.: *Szerszámgéptervezés II.*  
Kézirat, Tankönyvkiadó, Bp. 1990
- [24] Tajnafői, J - Gaál, J. - Kertész, J.: *Kraftspannfutter mit automatischer  
Backeneinstellung und Fliehkraftausgleich*,  
Nemzetközi találmányi bejelentés, P 9701629 (Danubia), 1998. ápr. 30.
- [25] Takács, Gy.: *Köszörű központok morfológiai tervezése strukturális  
adatbázisokkal*  
XIII. Szerszámgép Konferencia, Miskolc, 1998. október 26-27. B, D, E,  
F szekciók kiadványa, pp. 34-39.
- [26] Weck, M.: *Werkzeugmaschinen, Band 2*  
VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1979
- [27] Terplán, Z. - Lévai, I.: *Gépelemek IV.*  
Kézirat, Tankönyvkiadó, Budapest, 1963
- [28] Döbröczöni, Á.: *Gépszerkezettan I.*  
Miskolci Egyetemi Kiadó, 1999
- [29] Zsáry, Á.: *Gépelemek II.*  
Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1990
- [30] Siegling GmbH: *Extramultus 85/81/80 Hochleistung-Flachriemen*,  
Katalog
- [31] Habasit GmbH: *Nagyteljesítményű laposszíjak*, Katalógus
- [32] Hutchinson Industrie-Produkte GmbH: *Berechnung eines industrielles  
Antriebes mit POLY-V Riemen*, Katalog
- [33] Terplán, Z. - Nagy, G. - Herczeg, I.: *Mechanikus tengelykapcsolók*  
Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1976
- [34] Jakob GmbH&Co. Antriebstechnik KG: *Gesamtkatalog*
- [35] Ringfeder GmbH: *Spannelemente Ringfeder RfN 8006*, Katalog
- [36] Tochtermann, W. - Bodenstein, F.: *Gépelemek I.*  
Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986
- [37] Nagy, G.: *Gépszerkezeti atlasz*, Budapest 1991
- [38] Fortuna-Polygon-Verbindungen nach DIN 32711, DIN 32712
- [39] FAG Aircraft/Super Precision Bearings GmbH: SPICAS 2.0
- [40] FAG: Hochgenauigkeitslager Publ.-Nr. AC 41 130/3 DA
- [41] FAG: Gördülőcsapágyak, Főkatalógus WL 41 520/2 HA
- [42] SKF: Főkatalógus 4000 H. sz.
- [43] SKF: Genauigkeitslager, Katalog 3700 T