

**MISKOLCI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR
Robert Bosch Mechatronikai Tanszék**

**FOKOZATNÉLKÜLI TELJESÍTMÉNY
HAJTÓMŰVEK
(Forgácsoló szerszámgépek fokozat nélküli főhajtóművei)**

Oktatási segédlet

Dr. Jakab Endre
egyetemi docens

Miskolc, 2010

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 számjegyzérlés 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 nyomatékok növelése leggazdaságosabban ma is fogaskerék-hajtásokkal oldhatók 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 szerepeltek. 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.

Tajnafoői 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 Dr. Takács György és Dr. Vizi Gábor kollégák 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 összeállításhoz felhasználtuk mindazon tapasztalatokat és eredményeket, amelyek a tanszék oktató, kutató és ipari megbízásos munkái kapcsán e témakörben összegyűltek.

Miskolc, 2010. március

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, műveletek közbeni leállításkor munkadarab cseréhez, mérés-ellenőrzéshez, szerszámcserehez, vagy a fordulatszámok 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 szerszámcserenél 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.

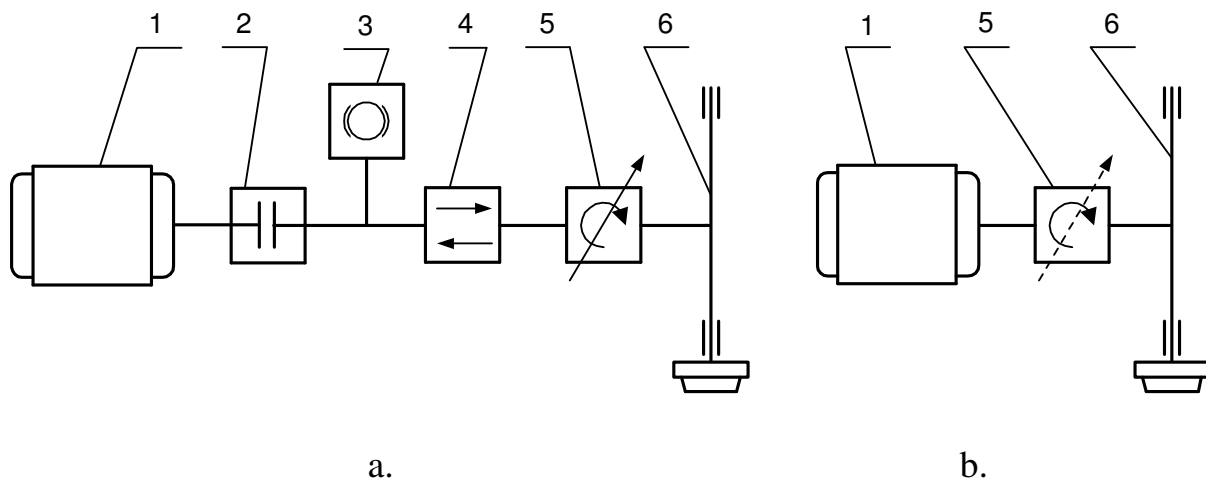
Fokozatos, vagy fokozat nélküli mechanikus hajtómű alatt olyan hajtóművet értünk, amelynél az egyes fordulatoknak megfelelő kinematikai viszonyok *kapcsolással* hozhatók létre.

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.



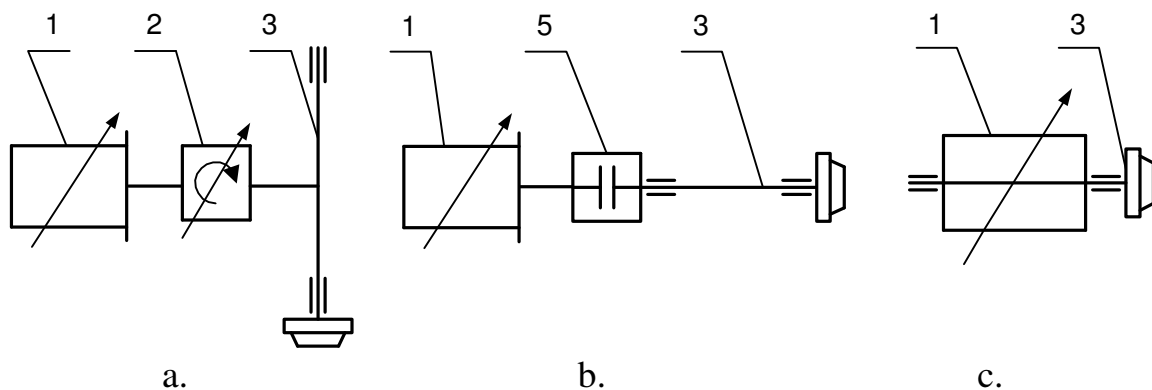
1. ábra Forgó főmozgású, fokozatos főhajtóművek funkcióvázlata

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 finomfűrő, 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 nélkül 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.



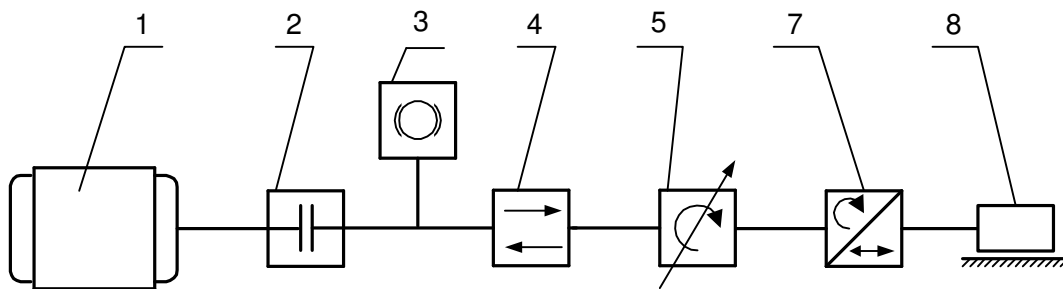
2. ábra Forgó főmozgású, fokozat nélküli hajtóművek funkcióvázlatai

A 2.a ábra szerinti elektromechanikus hajtásban a motor és a kis fokozatszámú hajtómű között rendszerint Poly-V szíjhajtás (esztergák), fogaskerék áttétel, rugalmas tengelykapcsoló (fűrő- 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 ún. tokos, amelynél 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.

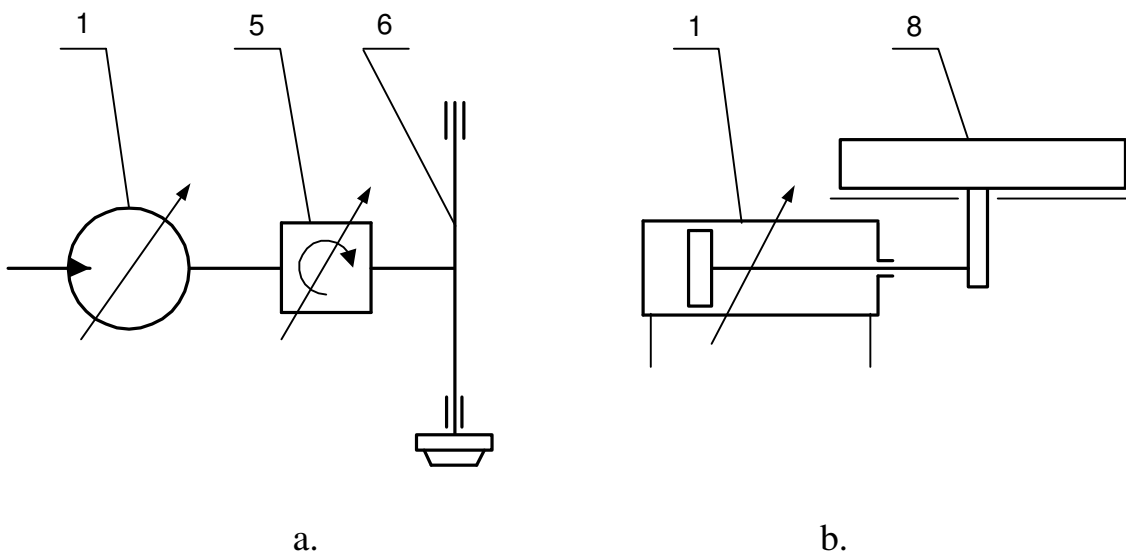
A 3. ábra a haladó főmozgású mechanikus hajtóművek blokkvázlatát szemlélteti. Ha az alternáló mozgást olyan 7 önirányváltó szerkezet hozza létre-, mint amilyenek a különböző forgattyús mechanizmusok-, a 4 irányváltó szerkezet elmarad. A haladó főmozgás létrehozásában a jövőben számítani lehet a mozgás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

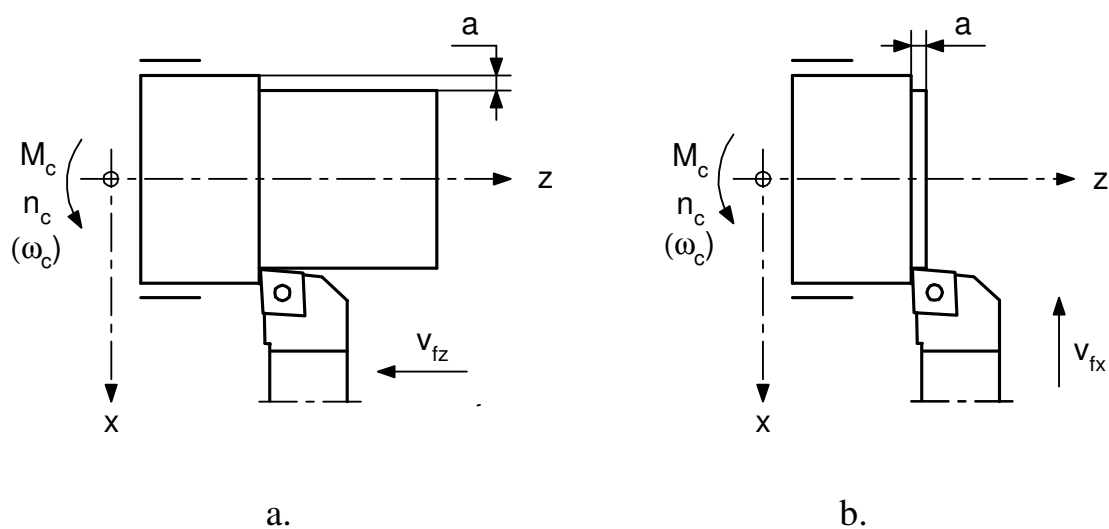
A mechanikus és elektromechanikus hajtásoknál mindig forgó mozgású hajtóművekkel dolgozunk. Ez egyrészt azzal magyarázható, hogy a forgó mozgások előállítása villamos forgó motorokkal egyszerű. Továbbá az egyenes vonalú mozgásokhoz is forgó mozgású hajtóműveket célszerű alkalmazni és csak a kinematikai 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, amelynek egyelőre, határozott élgeometriájú szerszáma van [5, 6].

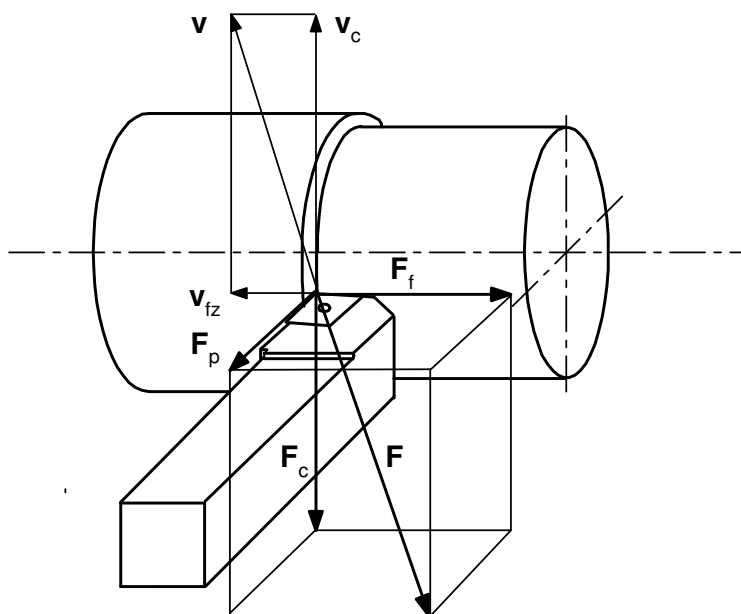


5. ábra Hossz- és keresztesztergálás

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

- n_c , ω_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 mélység, vagy szélesség.

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.

$$A P_f \text{ előtolási hasznos teljesítmény: } P_f = F_f v_f. \quad (3)$$

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 pozícionálási 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 főajtással kinematikailag összefügg-, főajtásról levezetett mechanikus kinematikai lánc biztosítja az előtolást-, a főmotort az összes szükséges teljesítmény alapján kell kiválasztani. Ilyen gépek pl. a hagyományos esztergagépek, a fúrógépek. A kinematikailag független fő- és mellékajtással rendelkező gépeknél, mint pl. az egytetemes marógépeknél, köszörűgépeknél, vagy a CNC gépeknél a motorok teljesítményét a fő- és mellékajtásokhoz külön- külön kell meghatározni.

A hajtóművek η_{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 egytetemes szerszámgépek főajtóműveinek 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 főajtóművek 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 főajtóművek kialakítását is nagymértékben befolyásolta, a szerszámgépek forgácsolási és teljesítmény paramétereit jelentősen megnöveltek.

A hagyományos egytetemes 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 röpítő 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: ~15÷50 m/perc
- Öntött keményfém: ~30÷70 m/perc
- Zsugorított keményfém: ~80÷300 m/perc
- Oxid és más kerámiák: ~100÷2000 m/perc
- Bevonatos keményfémek: ~300÷450 m/perc

Ennek megfelelően más határozott élgeometriájú szerszámok 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, nyomatókokhoz 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 szerszámok gépeknél egyidejűleg csökkentették az alkalmazott szerszámok átmérőjét. Géptípustól függően 4000÷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 φ szorzótényezőjű (fokozati tényezőjű) geometriai sort alkotnak. Fokozatos hajtóműveknél a $\varphi = \varphi(\Delta v)$ fokozati tényezőt a szerszám gazdaságos vágósebességétől megengedett százalékos sebességcsökkenés mértéke, a Δv 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 nyomatékra 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} fordulatszám ($n_{kr} > n_1$) 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:

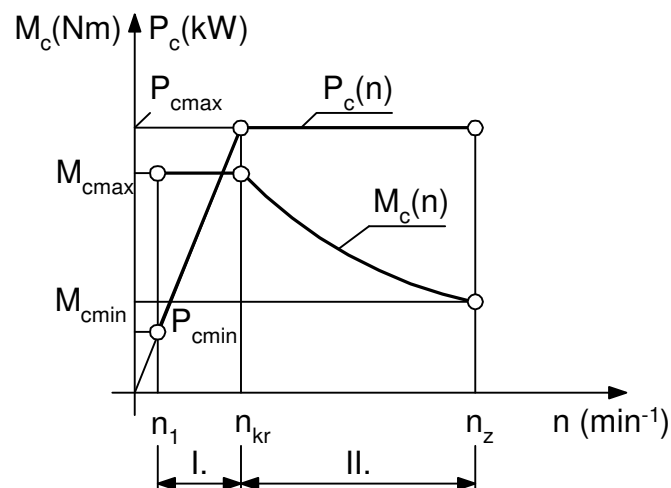
$$P_m \geq P_{csz} = \frac{P_{c \max}}{\eta_{mech}}.$$

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.

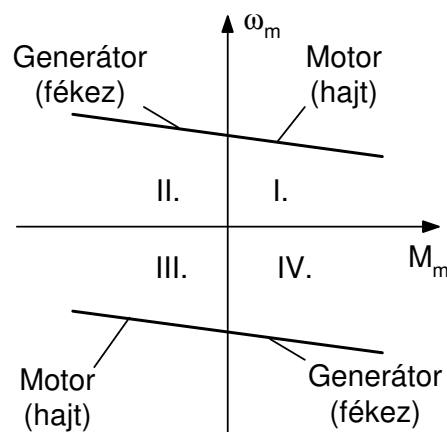
1. táblázat

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 φ 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 Φ fluxus, az I áram előállítási módja és a β 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 Φ fluxusa, a motor n_m fordulatszáma és s szlipje:

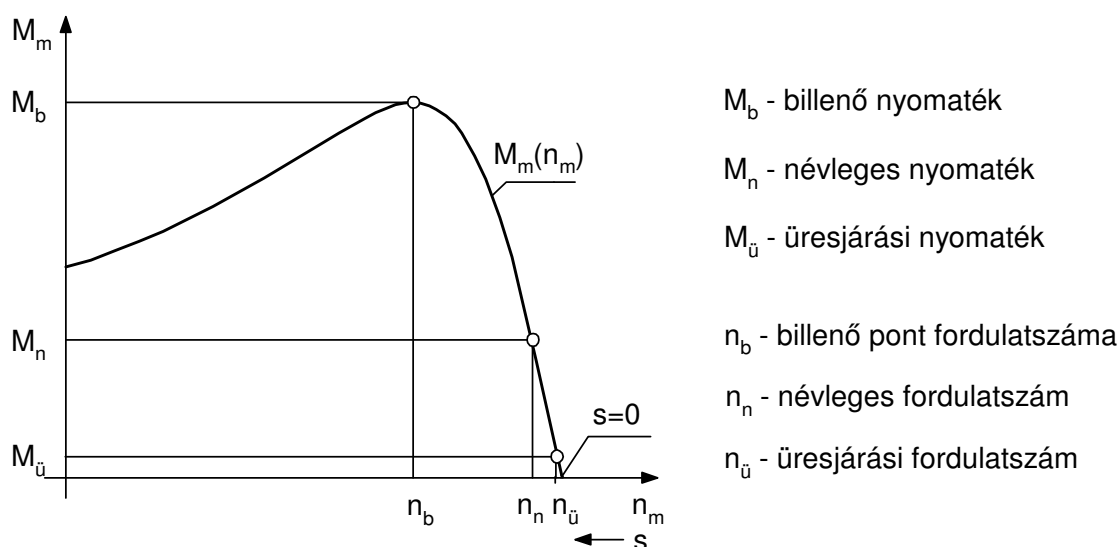
$$\Phi = K \frac{U_1}{f_1}, \quad n_m = \frac{60 \cdot f_1}{p} (1 - s), \quad s = \frac{n_1 - n}{n_1}, \quad (9)$$

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 fordulatszámjai: 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 paraméterei miatt elterjedten használják a mai korszerű főhajtóművekben.



9. ábra Aszinkronmotor nyomaték - fordulatszám jelleggörbéje

Egyenáramú motoros főhajtások

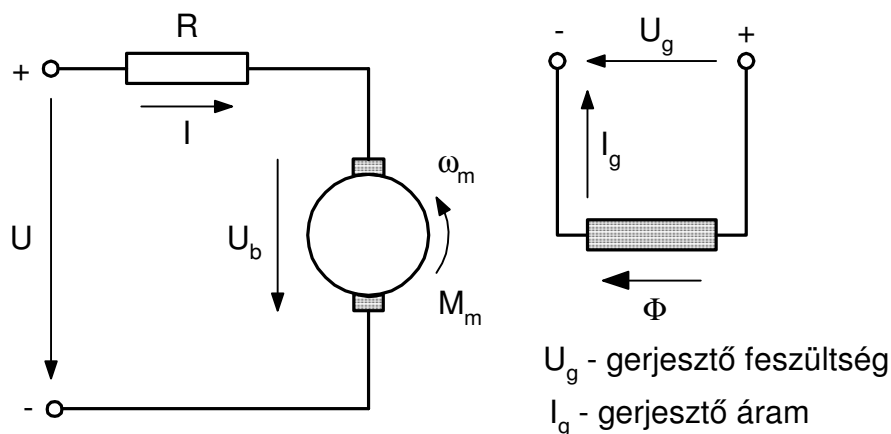
Szerszámgép főhajtásokban ma igen gyakran a hagyományos, kefések egyenáramú motorokat használják [3, 4, 6, 9, 10, 11]. Ehhez kapcsolódó ismeretek részletesebb tárgyalását az indokolja, hogy azok egy része további, fokozatmentesen állítható fordulatszámú motoroknál is felhasználhatók.

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 Φ fluxusa által indukált U_b belső feszültség ω_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 Φ 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 ω_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 fordulatig is szabályozható. A feszültséget a legkisebb (U_{\min}) és legnagyobb névleges (U_n) érték között állítják, miközben a fluxust a Φ_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 *fordulatszám* (*szögsebessége*) a Φ 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} fordulatra elérésére használt állítási mód, amelynél az armatúra áramot csökkentik, ezáltal a Φ_{\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:

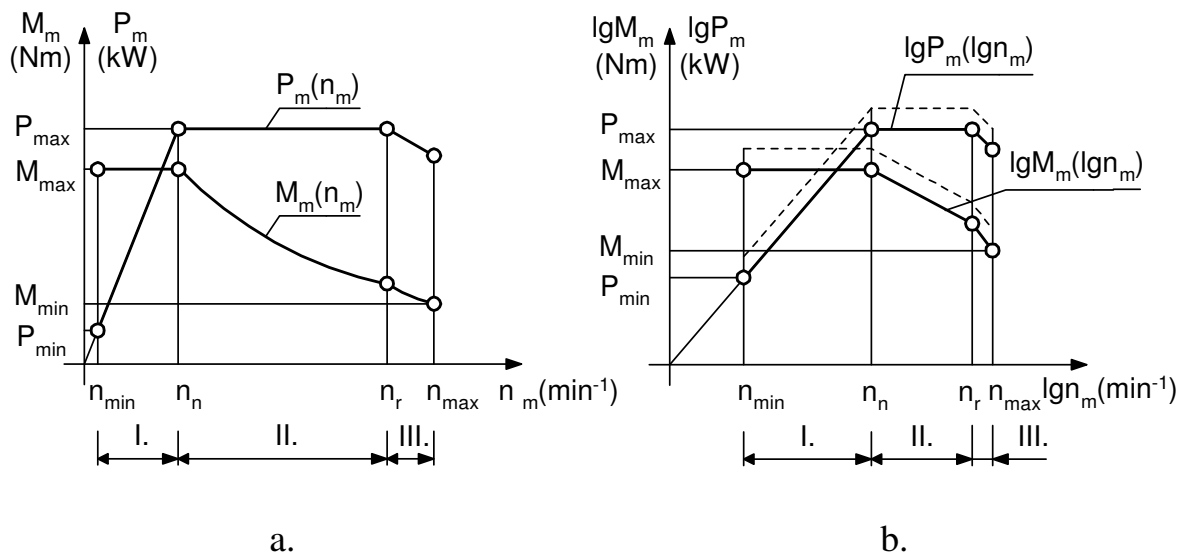
$$Sz_m = Sz_{mk} Sz_{mfl} Sz_{mv}, \text{ vagy } Sz_m = Sz_{mk} Sz_{mfl}, \text{ vagy } Sz_m = Sz_{mk}. \quad (15)$$

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

A 11.b ábra logaritmikus léptékű, ami egyszerűbb ábrázolást tesz lehetővé. Itt szaggatott vonallal megrajzoltuk valamilyen százalékos bekapcsolási idejű (pl. $bi\% = 60\%$, 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:

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



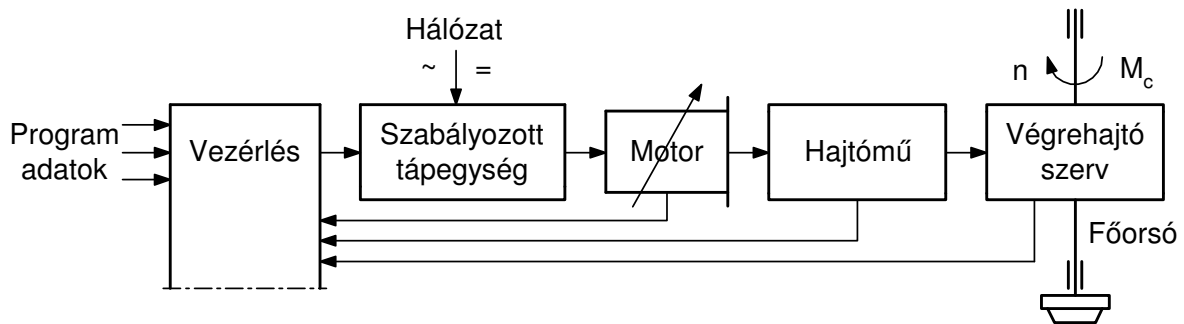
11. ábra Az egyenáramú motor teljesítmény- és nyomaték határdiagramjai

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 fordulatszám: 12000÷14000 f/perc. A fogaskerekeket a szilárdsági méretezés, ellenőrzés mellett a pontossági osztálytól függően megengedett legnagyobb kerületi sebességre is vizsgálni kell. Értéke pl. az 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 négynegyedes hajtásoknál generátoros fékezéssel állítják meg, mivel ezzel a móddal igen nagy féknyomaték érhető el. A leállítást gyakran technológiai okokból fordulattípus 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 szabályozóköri, 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 félvezető, 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 (fúró-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 forgórészűek 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, kapcsolófeszültsége 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 tranzisztorok (kommutáló tranzisztorok) 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 kapcsolófeszültségének 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:

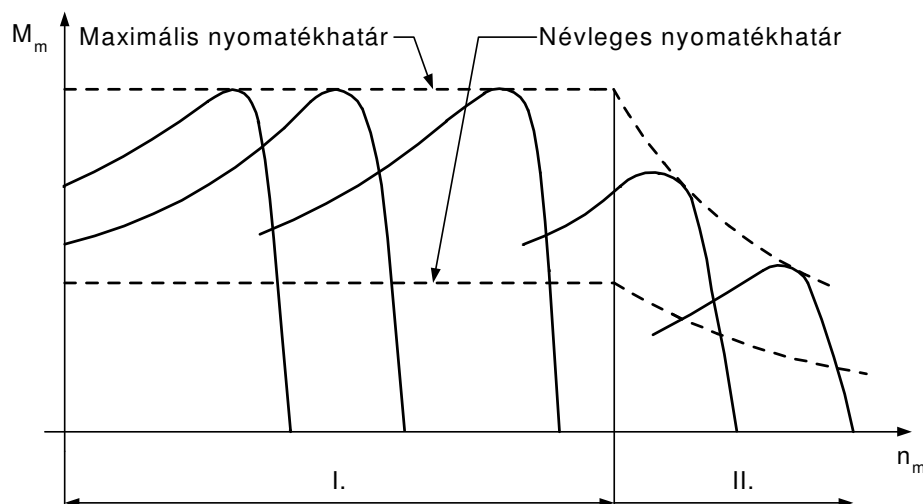
- A nagy választékú motorok viszonylag egyszerű felépítésűek, kis karbantartás igényűek.

- A kis tehetetlenségi nyomatékok következtében nagy gyorsítások (lassítások) érhetőek 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 fordulatu.
- 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 szerszámgepeken 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.

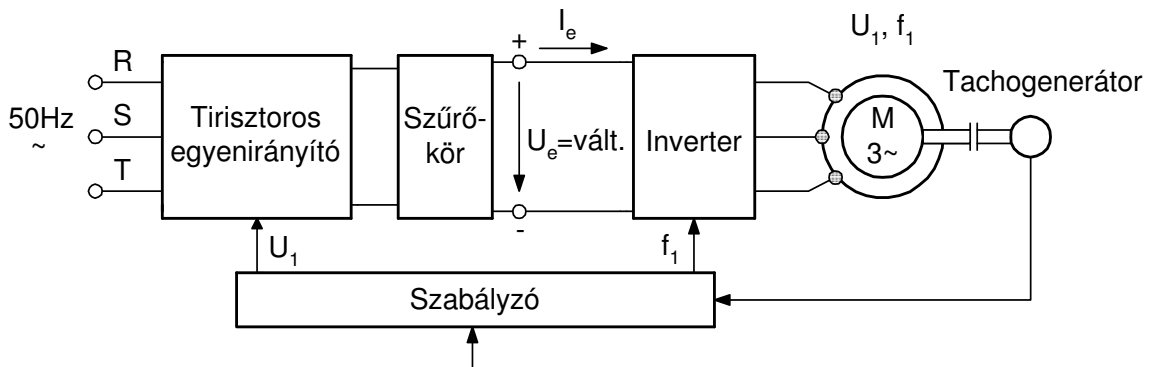
- III. Magas fordulatoknál és nagyobb teljesítményeknél III. tartomány is létrehozható. A frekvencia növekedése miatti vasvesztés már túl nagy lenne, ezért U_1 csökkentésével a fluxust jobban kell csökkenteni. A nyomaték határgörbe esése meredekebb lesz a II. tartományhoz viszonyítva.

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 aszinkron-motorok 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:

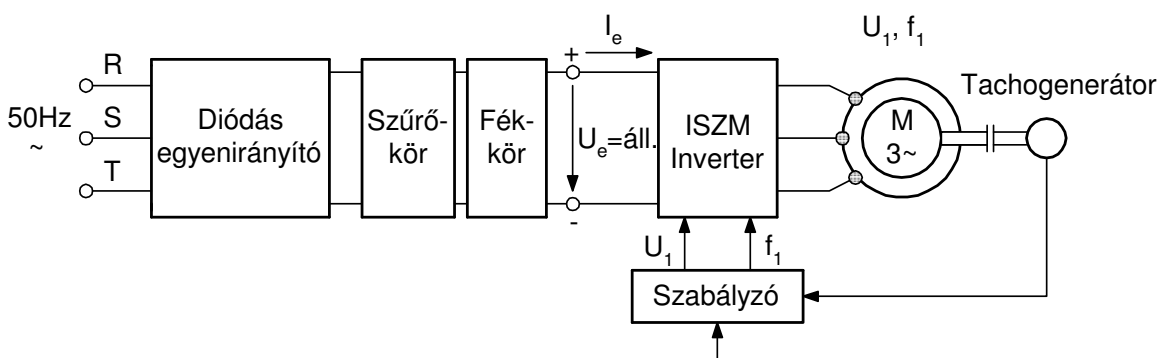
- egyenirányító (váltóáramból egyenáramot képez) és az
- inverter.



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 α 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

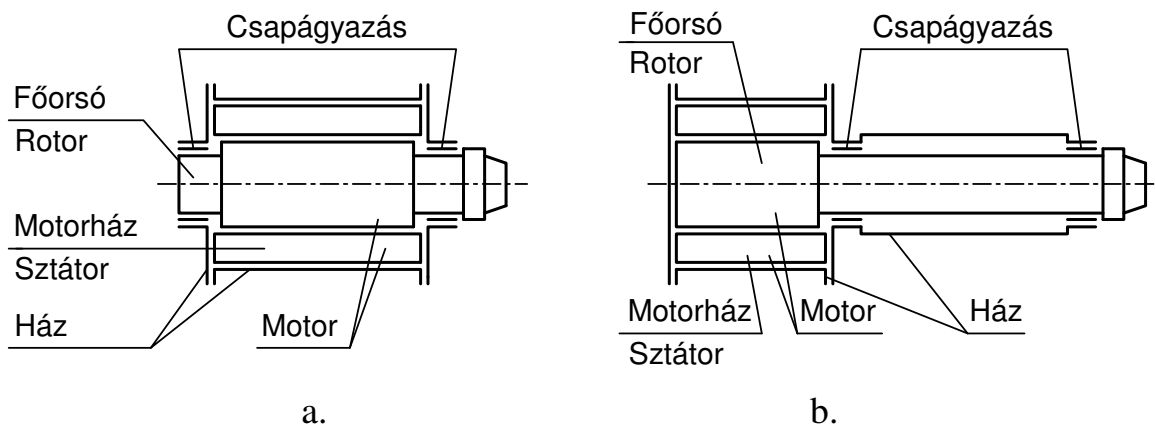
Diódás híd és egyszerű inverter közé iktatott egyenáramú szaggatóval (chopperrel) a bemenő feszültség ugyancsak változtatható, a frekvencia változtatása az inverterben történik.

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 szerszámefogás jellemezte. Percenkénti fordulatszámuk nagyságrendtől és technológiai feladattól függően 10 és 180 ezer között található.



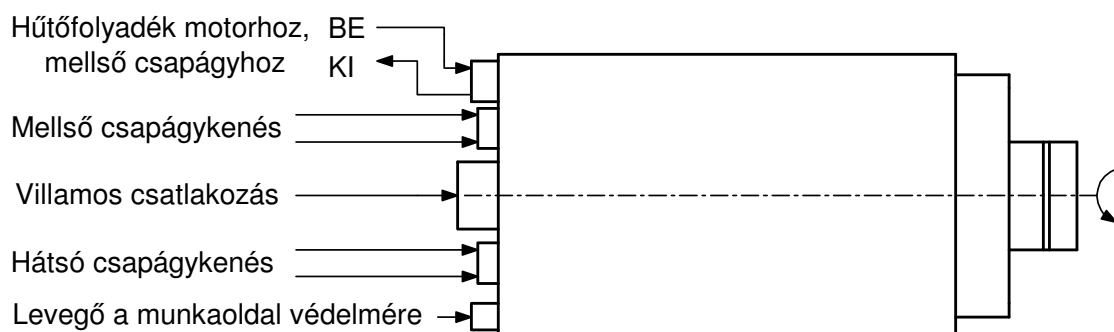
16. ábra Motororsó elrendezések

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.

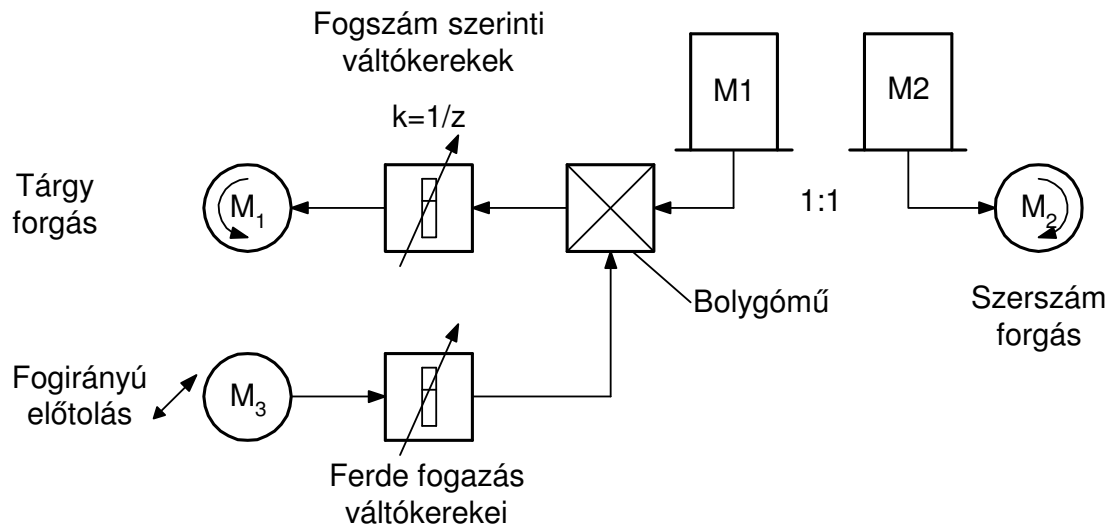
- A *hiszterézis motorokat* a finommechanikában használják, teljesítményük kicsi: (50÷100 W).
- Az *állandó mágnesű* szinkron motorok elsősorban szerszámgépek előtoló hajtásaiban, robothajtásokban (szervohajtásokban) használják, de van példa főhajtásra is. A forgórész vastestét állandó mágnessel kombinálják. Fordulatszám tartásuk jó, teljesítményük: 0.5÷10 kW.
- A *reluktancia motorok* is fordulatszám tartók, további előnyük a pontos pozicionálás és több hajtás együttlátása 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 β 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 fordulatszámait 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_1 a munkadarab, M_2 a szerszám forgás, M_3 a fogirányú előtolás, amelyet hidraulikus henger valósít meg. A fogazandó fogszámnak megfelelő hajtóviszony a fogszám 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 melegeedésére 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_{ii} 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_{ii} 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_{ii} üzemidőt és a t_c ciklusidőt figyelembe véve határozzák meg a $b_i\% = t_{ii}/t_c$ 100% százalékos, vagy viszonylagos bekapcsolási időt, amelynek szabványos értékei: 15%, 25%, 40%, 60%. Szakaszos üzemű gépnél a t_c ciklusidőt általában 10 percben korlátozzák. Állandó üzemű gép szakaszos üzemre való felhasználásakor a ciklusidő $t_c \geq 10$ 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 kapocsfeszültség (főáramköri) és mezőgyengítéses szabályozási tartománnyal rendelkező motor esetére mutatjuk be, amelyből az egyszerűbb (csak kapocsfeszültség szabályozású), vagy az összetettebb (vegyes szabályozással is bíró) esetek is levezethetők.

5.1 Kiindulás, kifejtés

A technológiailag megkívánt hajtó, n_{\min} legkisebb és n_{\max} legnagyobb, fordulatszámok gyakran a motor szélső, $n_{m,\max}$ és $n_{m,\min}$ 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 kinematikai vizsgálatokban a már fokozatos hajtóműveknél megismert k hajtóviszonyt használjuk, amelyet a kapcsolódó hajtó és hajtott fogaskerekek fogszám hányadosaként, vagy a hajtó és hajtott szíjtárcsák átmérő hányadosaként fejezhetünk ki:

$$k = \frac{1}{i} = \frac{z_{\text{hajtó}}}{z_{\text{bhajtott}}} = \frac{D_{\text{hajtó}}}{D_{\text{hajtott}}} \quad (17)$$

A leírtak alapján adódik, hogy a k hajtóviszony az i módosítás reciprokaként határozható meg. A k hajtóviszonyok használatának előnye a kinematikai elemzéseknél egyértelműen kitűnik, segítségével a fordulatszámok közvetlenül meghatározhatók.

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 motor és a hajtómű ($k_{m,h}$), vagy/és a hajtómű és főorsó ($k_{h,fo}$) között helyezkedik el.

Kedvező tulajdonságaik miatt a fokozatos hajtóműveknél alkalmazott előtéttengelyes, vagy 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]:

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

$$S_z = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}, \quad S_{z_m} = \frac{n_{m,\max}}{n_{m,\min}}, \quad S_{z_f} = \frac{S_z}{S_{z_m}}. \quad (18)$$

Ismert, hogy a fokozatos főhajtóműveknél a hajtómű szabályozhatóság a φ fokozati tényezővel és a z fokozatszámmal fejezhető ki:

$$S_{z_f} = \varphi^{z-1}, \text{ illetve } S_{z_f} = \varphi^{*(z-1)}. \quad (19)$$

$$(n_1, n_2 = n_1\varphi, \quad n_3 = n_2\varphi = n_1\varphi^2, \dots, n_z = \varphi^{z-1}, B_{St} = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} = \frac{n_z}{n_1} = \varphi^{z-1})$$

A z fokozatszám és a φ (φ^*) fokozati tényező a (18) egyenletből:

$$z = \frac{\lg S_{z_f}}{\lg \varphi} + 1, \text{ illetve. } z \geq \frac{\lg S_{z_f}}{\lg \varphi^*} + 1,$$

$$\varphi = \sqrt[z-1]{S_{z_f}}, \text{ illetve. } \varphi^* = \sqrt[z-1]{S_{z_f}}. \quad (20)$$

Az egyenletekben szereplő jelölések:

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

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

S_{z_f} - a fokozatos hajtómű szabályozhatósága, ami a hajtómű és a motor szabályozhatóságok hányadosa, vagy másként a fokozatos hajtómű szélső, eredő hajtóviszonyainak hányadosa (k_z/k_1).

z - a fokozatos hajtómű fordulatközlésainek ($n_1 \div n_z$) száma,

φ, φ^* - a fokozatos hajtómű egymás melletti nagyobb és kisebb hajtóviszonyainak (kihajtó fordulatszámainak) hányadosa.

A (19) és (20) egyenletekben az első kifejezések a hagyományos fokozatos hajtóművekre, míg a második kifejezések az elektromechanikus fokozat nélküli főhajtóművek fokozatos főhajtómű részére vonatkoznak.

FONTOS! A (20) egyenletben a z fokozatszámot egész számra kell kerekíteni! Azt, hogy a kerekítést felfelé, vagy lefelé kell-e megtenni, vizsgálatokkal kell eldönteni. Első lépésben célszerű az általános kerekítés szabályai szerint eljárni, és ekkor megvizsgálni, hogy a hajtómű kinematikailag, szerkezetileg előnyösen alakítható ki. Ha pl. a $z=2,23$ -ra adódott, a $z=2$ hajtómű esetet vizsgáljuk. Ekkor kismértékű túlfedés adódik, és esetenként nem kerülhető el a gyorsítás alkalmazása. Ugyanakkor felfelé kerekítéssel ($z=3$) jelentős túlfedések adódhatnak, és a kinematikai határok betartása is nehezebb. A döntés végül is a gép technológiai rendeltetése alapján tehető meg.

A fokozatnélküli hajtóműveknél azzal a feltételezéssel élhetünk, hogy a fokozati tényező, azaz az egymásután következő fordulatszámok hányadosa $\varphi \rightarrow 0$. A $\varphi = \varphi (\Delta v\%) = \text{áll.}$ fokozati tényező a fokozatos hajtómű geometriai fordulatszámSORÁNAK szorzótényezője, amit a szerszám élén megengedett $\Delta v\%$ százalékos vágósebesség csökkenés mértéke határoz meg.

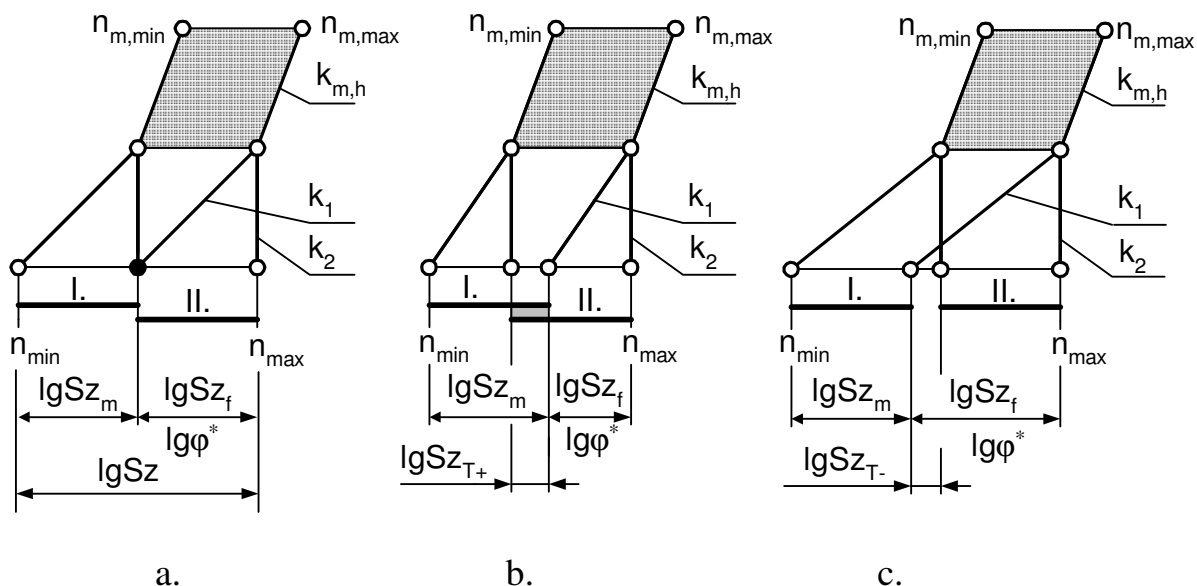
Alapvető jellegzetesség, hogy a fokozat nélküli hajtóműveknél nem követjük a fokozatos hajtóművek törvényszerűségeit, nincs szükség a szabványos φ fokozati tényezők betartására, ami a motorok fokozat nélkül állítható fordulatszámából következik. A fokozatnélküli elektromechanikus főhajtómű fokozatos hajtóművénel a fokozati tényezőt, eltérő jelentése miatt a továbbiakban φ^* -al jelöljük. A φ^* fokozati tényező ekkor a fokozatos hajtóműrészen az egymás melletti magasabb és alacsonyabb fordulatszámok hajtóviszonyainak hányadosa, amelyek értékei azonosak, vagy eltérőek lehetnek. A főhajtóművekben szerkezeti okokból korlátozott $2 \geq k \geq 0,25$ hajtóviszony határértékek egyben kijelölik a φ^* fokozati tényező maximális határértékeit is:

$$\varphi_{\max} \leq \frac{k_{\max}}{k_{\min}} = 4, \text{ illetve } \varphi_{\max} \leq \frac{k_{\max}}{k_{\min}} = 8. \quad (21)$$

A $\varphi_{\max}^* = 4$ esetben a $k_{\max} = 1/1$, $k_{\min} = 1/4$ és $\varphi_{\max}^* = 8$ esetben a $k_{\max} = 2/1$, $k_{\min} = 1/4$ hajtóviszony határértékeket vesszük figyelembe. A $\varphi_{\max}^* = 4$ fokozati tényezővel akkor számolunk, ha a legnagyobb motorfordulatszám magasabb, vagy azonos, mint a legnagyobb technológiai fordulatszám ($n_{m,\max} \geq n_{\max}$). Ha $n_{m,\max} < n_{\max}$, akkor a $\varphi_{\max}^* = 8$ értékkel számolunk. A φ_{\max}^* határértékei egyben a kéttengelyes elemi hajtóművek fordulatszám tartományát is jelentik, azaz $1 < \varphi^* \leq 4$, oder $1 < \varphi^* \leq 8$ lehet.

5.2 Tülfedés(ek)

A fent leírtak jól követhetők a fordulatszámábrákon. A 19. ábra kétfokozatú fokozatos hajtóművel kombinált fokozatnélküli elektromechanikus főhajtómű fordulatszámábráit szemlélteti logaritmusos léptékben. A fordulatszámábrák szerint a motor és a vele sorba kapcsolt fokozatos hajtómű között különböző tülfedett tartományok lehetnek.



19. ábra Kétfokozatú hajtóművel kombinált fokozatnélküli hajtóművek fordulatszámábrái

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, $k_{m,h}$ lassító hajtóviszonyt is feltüntettük.

Az Sz_T túlfedés a fokozat nélkül állítható fordulatszámú motor Sz_m szabályozhatóságának (fordulatszám tartománya) és a fokozatos hajtómű, itt kétfokozatú hajtómű, Sz_f szabályozhatóságának hányadosaként határozható meg, ami egyben a túlfedett tartomány szabályozhatóságát fejezi ki, és ami ugyancsak fokozatnélküli tartomány lehet:

$$Sz_T = \frac{Sz_m}{Sz_f} = \frac{Sz/Sz_f}{Sz_f} = \frac{Sz}{Sz_f^2}, \text{ vagy } Sz_T = \frac{Sz_m}{Sz_f} = \frac{Sz_m}{Sz/Sz_m} = \frac{Sz_m^2}{Sz}. \quad (22)$$

Az $Sz_T=0$ túlfedésnél az Sz_m motor és az Sz_f fokozatos hajtómű szabályozhatóságai azonosak ($Sz_m=Sz_f$). A hajtómű kihagyás- és túlfedés nélkül valósítható meg (19.a ábra).

Sz_{T+} pozitív túlfedésnél (19.b ábra) az $Sz_{T+}>0$ és $Sz_m>Sz_f$, azaz az Sz_{T+} fordulatrésztartomány a fokozatos hajtómű mindkét kapcsolt állásában megvalósítható. 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. A pozitív túlfedési tartomány a fokozatos hajtómű alkalmazásával és a (19) egyenlet alapján meghatározott z fokozatszám felfelé, egész számra való kerekítésével függ össze.

Sz_T . negatív túlfedésnél (19.c ábra) az $Sz_T < 0$ és $Sz_m < Sz_f$, a technológiai fordulatszám tartomány egy része hiányzik. 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. Már itt jelezzük, hogy $z > 2$ fokozatszámú hajtóműnél, negatív hajtómű túlfedés esetén is lehetséges a teljes fordulatszám tartomány megvalósíthatása, az *egymás melletti fordulatszámfokozatok* kapcsolásakor a túlfedés, ami ekkor az alábbi összefüggéssel fejezhető ki:

$$Sz_T = \frac{Sz_m}{Sz_f} = \frac{Sz_m}{\varphi^{z-1}}, \quad Sz_T = \frac{Sz_m}{\varphi}. \quad (23)$$

A második kifejezés $z=2$ -nél adódik, ami az egymás melletti fordulatszámfokozatok kapcsolásakor érvényes. *Fontos megjegyezni*, hogy a φ^* fokozati tényezők értékei többfokozatú hajtóműben, elsősorban technológiai céllal, különbözőek is lehetnek. A túlfedés mértékét adott Sz , Sz_m és számított Sz_f esetén a z fokozatszám és a φ^* fokozati tényező variálásával, igények szerint változtatni lehet. Tehát az egymás melletti fordulatszámfokozatok kapcsolásakor eltérő túlfedési tartományok is létrehozhatók. A kinematikai tervezés alapvető célja az, hogy a fokozatos hajtómű minél kisebb z fokozatszámúval valósuljon meg.

A hajtómű szabályozhatóságaira a 19.a, b, c ábra alapján írható:

$$Sz_m = Sz_f = \frac{k_2}{k_1} = \varphi^*, \quad Sz_m > Sz_f = \frac{k_2}{k_1} = \varphi^*, \quad \text{illetve} \quad Sz_m < Sz_f = \frac{k_2}{k_1} = \varphi^*.$$

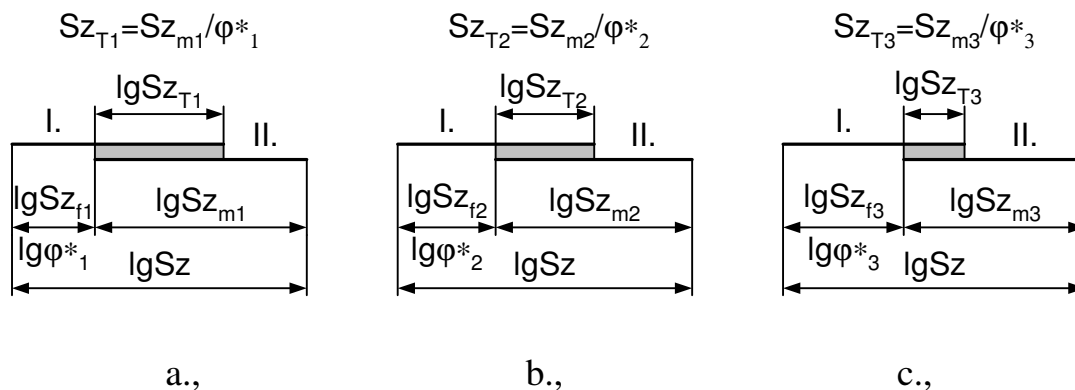
A kétfokozatú hajtóművet ehelyütt a k_1 lassító és a $k_2=1/1$ hajtóviszony jellemzi, ez utóbbi gyorsító hajtóviszony is lehet.

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 túlfedésekre vonatkozó elemzések az alábbiakkal egészíthetők ki.

Adott Sz hajtómű szabályozhatóságnál és z fokozatszámú csökkenő Sz_m motor szabályozhatóságok esetén a fokozatos hajtómű Sz_f szabályozhatósága és φ^* 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 fordulatszámúra adódik.



20. ábra A túlfedés mértékének változása a szabályozhatóságok arányában

A gondolatmenet és vizsgálatok Sz_f változtatása esetén hasonlóan vihetők végig.

Ugyanolyan Sz , Sz_m és Sz_f -nél a z fokozatszám növelése kisebb φ 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 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.

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.

5.3 Fokozatnélküli elektromechanikus főhajtóművek kinematikai tervezése

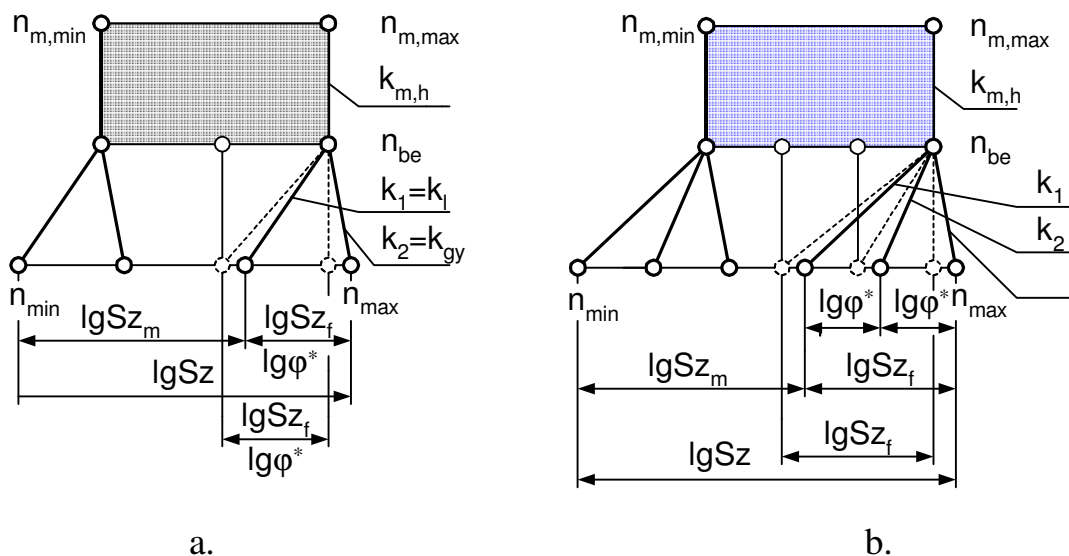
A kinematikai tervezés kiinduló alapadatai a főorsón szükséges fordulatszámok $n_{min} \div n_{max}$ (az Sz fordulatszám tartomány szabályozhatóság) és a kiválasztott motor fordulatszám adatai $n_{m,min} \div n_{m,max}$ (az Sz_m fordulatszám tartomány

szabályozhatósága). Ezekből az adatokból meghatározhatók az Sz_f , z és a φ^* értékei. A kinematikai felépítési lehetőségeket, a fokozatos hajtómű kiválasztását az Sz_f értékei alapján célszerű áttekinteni, figyelembe véve, hogy $2 \geq k \geq 0,25$ és a technológiai, konstrukciós előírásokat. Az Sz , Sz_m szabályozhatóságokból kiindulva megállapítható, hogy az Sz_f a legtöbb esetben viszonylag kis érték, mivel általában $Sz_m > Sz_f$. A ma használt motorok fordulatszám szabályozhatóságát és a főhajtóművek megkívánt fordulatszám szabályozhatóságát figyelembe véve a hajtómű z fokozatszám 2, 3, 4. 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 fordulhatnak elő a megengedett határokon belül, amit a fordulatszámábrák (21. 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 fordulatszfokozatoknál levehető fokozat nélküli fordulatszám tartományokat és az egymás melletti tartományok túlfedését is (I.-II., II.-III.), amelyek a 21.b ábrán egyformák. Az ábrából az is látható, hogy a motor fokozatmentes tartományai az I.-ről a III. fordulatszfokozatra kapcsoláskor is túlfedik egymást. Megjegyzés: az ábrákon a motorfordulatszám szabályozhatósága nem léptékhelyes a fokozatos hajtómű szabályozhatóságához képest! A motor és hajtómű között itt $k_{m,h}=1/1$ állandó hajtóviszony található. A fokozatos elemi hajtóművek szabályozhatósága, a 19. ábra kapcsán leírtaknak megfelelően, a hajtóviszonyokkal kifejezhető:

$$Sz_f = \frac{k_2}{k_1} \text{ (21.a ábra), illetve } Sz_f = \frac{k_3}{k_1} \text{ (21.b ábra).}$$



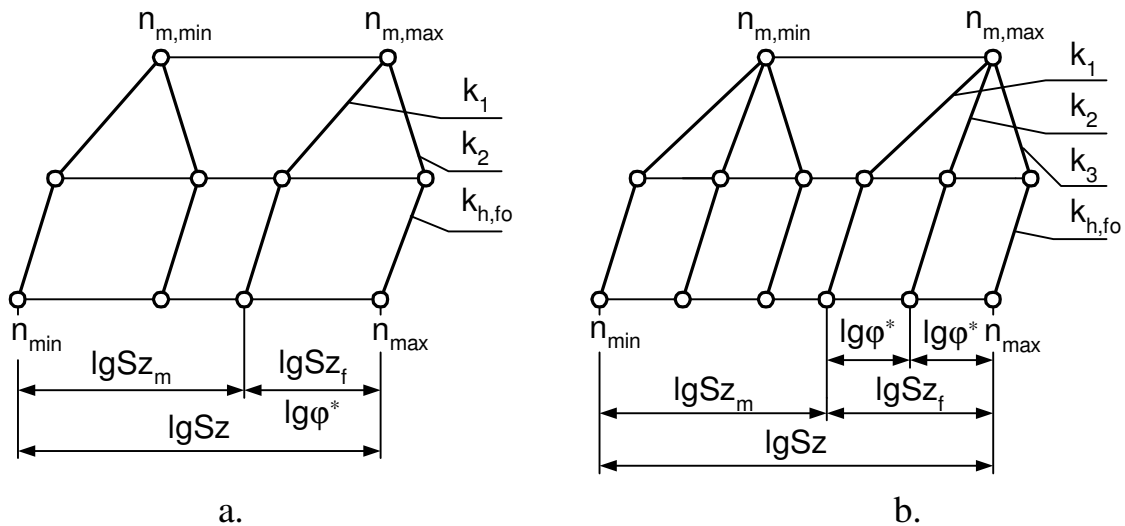
21. ábra Fordulatszámábrák lassító és gyorsító hajtóviszonyokkal

A túlfedések száma és mértéke a túlfedéseknél leírtak szerint, technológiai céllal szabadon megválasztható.

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

A hajtóművek kinematikai kialakítására többféle lehetőség kínálkozik.

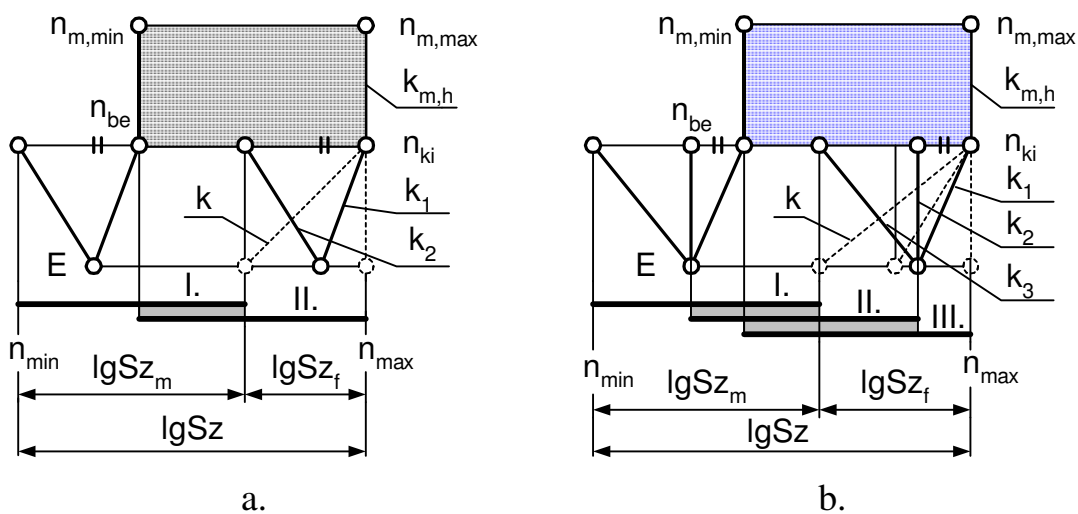
- a., A feladatok egy része szabályos elemi hajtóművel megoldható (21. ábra). A k_1 , k_2 , k_3 hajtóviszonyok a megengedett határok között, továbbá az állandó hajtóviszony szabadon változtatható
- b., A technológiailag indokolt gyorsítások mellett a túlzott mértékű lassítások elkerülésére növeljük a gyorsítás mértékét a megadott korlátan belül, amelyet azután valamely, a hajtómű és a főorsó közé épített $k_{h,fo}$ állandó hajtóviszonnyal (fogaskerekes, szíj) kompenzálunk. A 22. ábra az így kialakított fokozatos hajtómű fordulatszámábráját szemlélteti. A motor és a hajtómű első tengelye egytengelyű (koaxiális). A fokozatos elemi hajtóművek szabályozhatósága az előzőek szerint írható fel.



22. ábra Fordulatszámábrák végfokozati lassítással

c., A kényszerből alkalmazott gyorsítások és lassítások E előtétengelyes megoldással elkerülhetők, és a nagy lassítások megoszthatók. A megosztás mértéke a fokozatos hajtóművektől eltérően tetszőleges lehet. Az egyszerű és kettős előtétengelyes megoldások fordulatszámábrái a 23. ábrán, kinematikai vázlateik a 24. ábrán láthatók. Az eredeti, $k < 1/4$ meg nem engedett mértékű lassító hajtóviszony két lassító hajtóviszonyra osztható, amelyek k_1 és k_2 (23.a ábra), illetve k_1 és k_3 (23.b ábra). A kiinduló fordulatszámábrákat szaggatott vonalakkal ábrázoltuk.

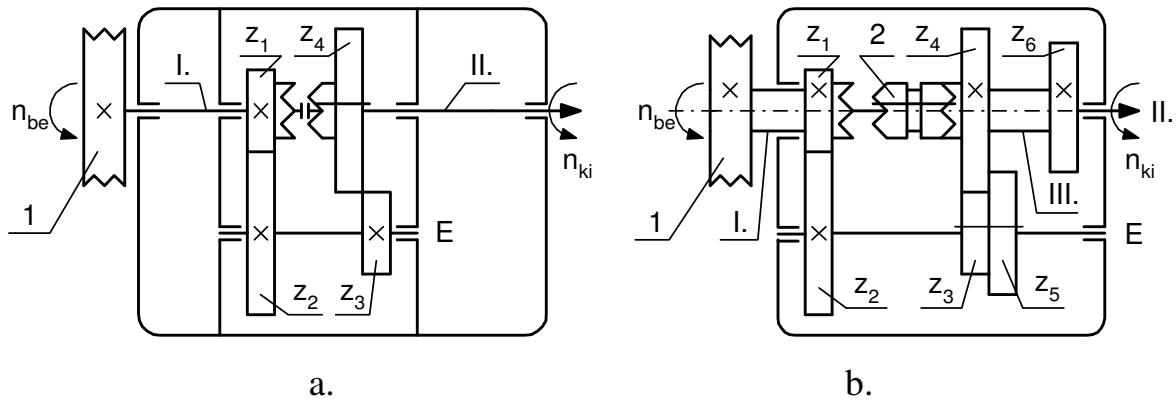
A kinematikai vázlat a főhajtómű (szerszámgép) kinematikai felépítését szemléltető egyszerűsített, síkba terített vonalás ábra, amellyel a hajtómű kinematikája-, nem léptékhelyesen-, jelképekkel szemléltethető.



23. ábra Fordulatszámábrák előtétengelyes hajtóműegységek alkalmazásánál

Az egyszerű előtétengelyes hajtóműegység kétfokozatú, a kettős előtétengelyes 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 Előtétengelyes hajtóműegységek kinematikai vázlatai

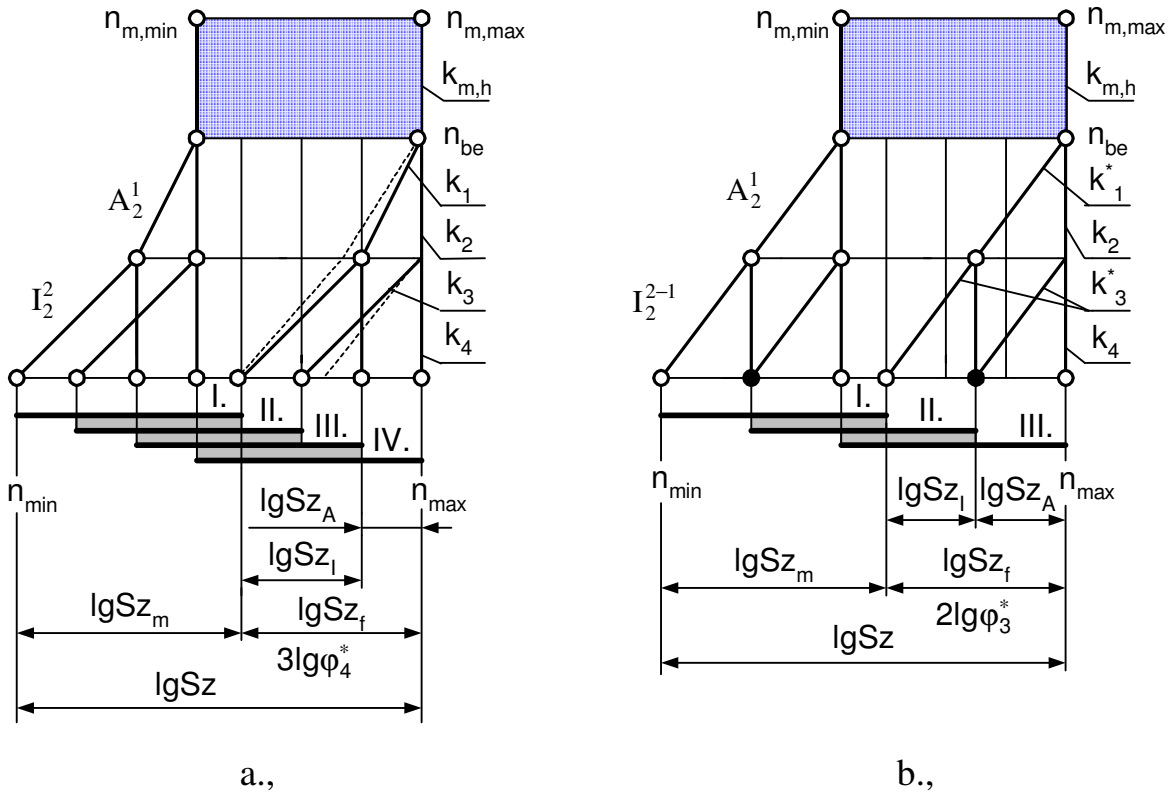
Az egyszerű előtétengelyes megoldás felrajzolt kinematikai vázlatánál (24.a ábra) a magasabb fordulatszám tartomány az 1 szíjtárcsa, az I. behajtó tengely és arra ékelt z_1 fogaskerék-tengelykapcsolófél, a tolókeréknek kiképzett és baloldali állásba kapcsolt z_4 fogaskerék-tengelykapcsolófél kinematikai 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 előtétengelyes 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 tolóömb helyzetétől függően vehető le.

Megjegyzés: az előtétengelyes megoldások részletesen az [1] irodalomban találhatóak.

- d., Legyen a kiinduló fordulatszámára a 21.b ábra. . Tekintsünk úgy, hogy gyorsítás nem szükséges. A $z=3$ fokozatszámot növelve például $2 \times 2 = 4$ fokozatra, olyan összetett hajtóművet kapunk, amelynél $\varphi_3^* > \varphi_4^*$ (25.a ábra). A második hajtóműegységnél a túlzott mértékű lassítást el kell kerülni, ami azáltal érhető el, ha a k_1 és k_3 hajtóviszonyok azonos értékűek ($k_1^* = k_3^*$).

Ebben az esetben egy 4 fokozatról 3 fokozatra túlfedett hajtóművet (25.b ábra) kapunk eredményül, amelynek a fokozati tényezője az eredeti φ_3^* lesz, ugyanakkor a túlzott mértékű lassítást kiküszöböltük. Részletesebb magyarázat a túlfedésről a d., pont alatt található. A $k_1 \div k_4$ hajtóviszonyok értékei szabadon változtathatók a megengedett határértékek között és különböző megoldások kereshetők például a 25.a ábra szaggatott vonallal jelölt hajtóviszonyai szerint.



25. ábra A lassító hajtóviszonyok azonos értékűre választása

A leírtak igazolására vizsgáljuk a hajtóviszonyokat:

$$k_1^* = k_3^* = \sqrt{k_1 k_3} = \sqrt{\frac{1}{\varphi_4^*} \frac{1}{\varphi_4^{*2}}} = \frac{1}{\sqrt{\varphi_4^{*3}}} = \frac{1}{\sqrt{S_{z_f}}}, \quad (24)$$

figyelembe véve, hogy:

$$\varphi_4^* = \sqrt[4]{S_{z_f}} = \sqrt[3]{S_{z_f}} \rightarrow S_{z_f} = \varphi_4^{*3}. \quad (25)$$

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

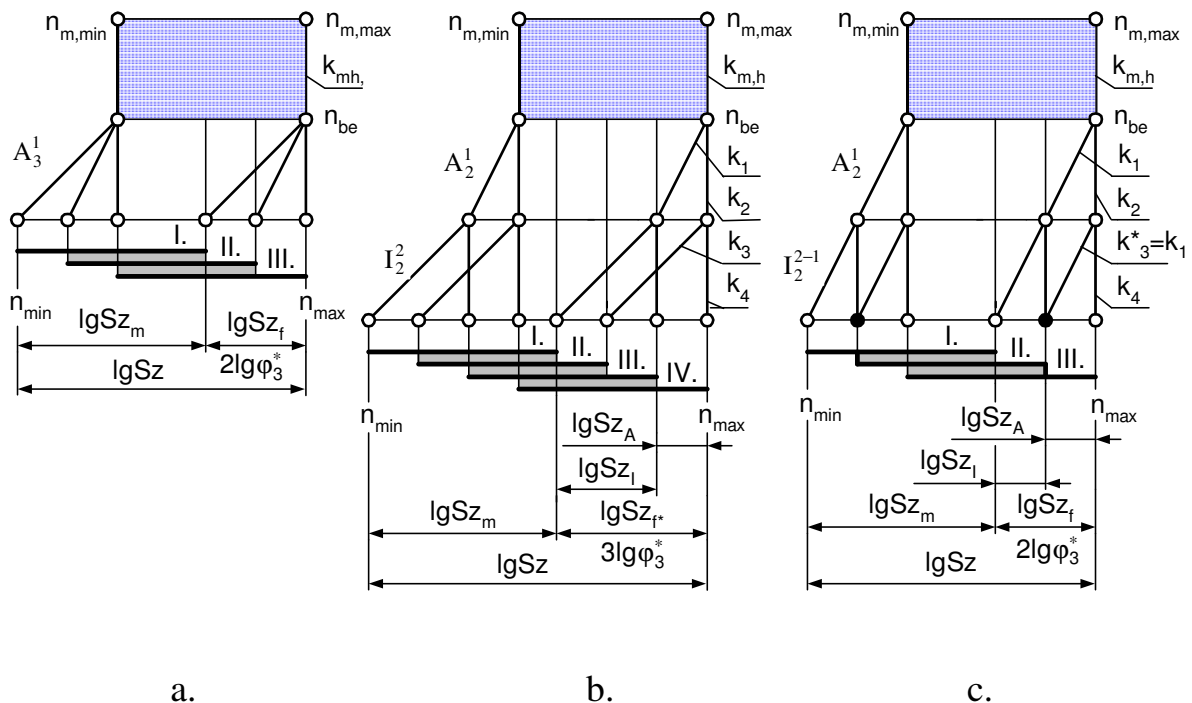
$$k_1^* k_3^* = \frac{1}{\sqrt{S_{z_f}}} \frac{1}{\sqrt{S_{z_f}}} = \frac{1}{S_{z_f}} = \frac{1}{\varphi_3^{*2}} = \frac{1}{\varphi_3^* \varphi_3^*}. \quad (26)$$

A fentiekhez hasonlóan:

$$\varphi_3^* = \sqrt[3]{S_{z_f}} = \sqrt[2]{S_{z_f}} \rightarrow S_{z_f} = \varphi_3^{*2}, \text{ azaz } \varphi_3^{*2} = \varphi_4^{*3}. \quad (27)$$

e., A tagszámot $z=3$ -ról $z=4$ -re növelve, a φ_3^* fokozati tényező értékét nem változtatva, 4-ről 3 fokozatra túlfedett fokozatos hajtóművet kell képeznünk azért, hogy a fokozatos hajtómű S_{z_f} szabályozhatósága ne változzon (26. ábra). A túlfedett fokozatos hajtóművek előnye a nagymértékű szabályozhatóságok megvalósításában van! A túlfedés itt azt jelenti, hogy ugyanazon diszkrét fordulaton 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.

Összehasonlítás céljából az összetett, túlfedett háromfokozatú hajtómű fordulatszámábrája (26.c ábra) mellett feltüntettük a kiinduló háromfokozatú elemi hajtómű (26.a ábra) és a nem túlfedett négy fokozatú (négy fordulatszámú) közbenső hajtómű (26.b ábra) fordulatszámábráit is. A 26.a és 26.c ábrákon a fokozatos hajtóművek szabályozhatóságai és így a teljes szabályozhatóság is megegyezik. A 26.b és 26.c ábrákon a szabályosról a túlfedett hajtóműre átalakítás metodikája látszik.



26. ábra Túlfedett háromfokozatú hajtómű fordulatszámábrája

A $2 \times 2 = 4$ fokozatú, egy túlfedéssel kivitelezett hajtómű egyenlete a [1, 2] szerint:

$$A_3^1 = E_3^1, \quad A_2^1 I_2^{2-1} = E_{4-1}^1. \quad (28)$$

Az $A_3^1 = E_3^1$ hajtóműegyenlet a 3 fokozatú (lábindex) elemi hajtóművet jellemzi, amely 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 $\varphi_3^{*1} = \varphi_3^*$ 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 kapcsoltunk sorba. Mindkét részhajtómű rendűsége 1. Ezt a másodikonál (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 φ_3^* szorzótényezővel különböznek. Az egymás melletti fokozat nélküli fordulatszám tartományok (I.-II., II.-III.) itt azonos mértékben túlfedettek.

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

Megoldások az a.+e. pontok alapján kereshetők

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

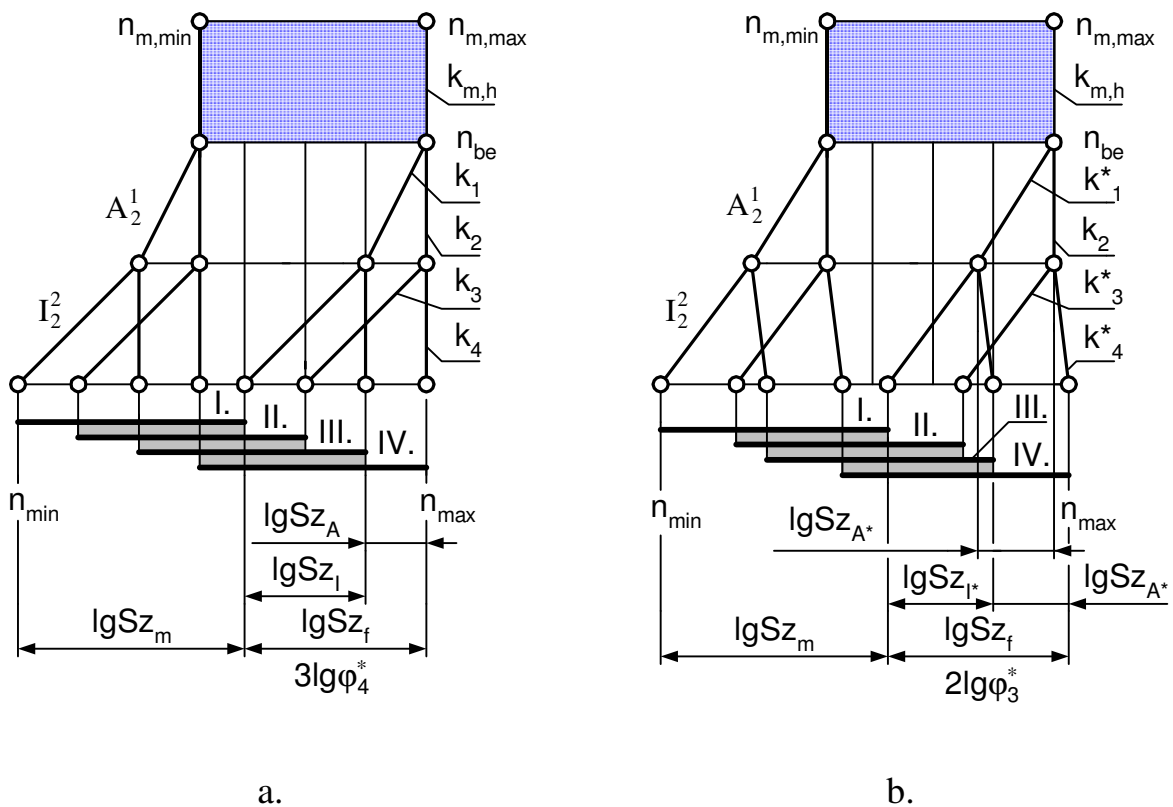
Az előzőekben bemutatott esetekben felhasználtuk a fokozatos hajtóművek egyenleteit és a fordulatszámára szerkesztés szabályait, ami a kiindulási alapot szolgáltatott a végső fordulatszámára szerkesztéséhez, a hajtóviszonyok meghatározásához. Szükség esetén még a fentiekben követett szabályok is átléphetők. Az összetett hajtóműveknél nem szükséges biztosítani azt sem, hogy a fokozatos hajtómű fordulatszámjai azonos φ^* 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.a ábra szerinti szabályos fordulatszámábrája szolgált alapul (27.a ábra), amelynek φ_4^* fokozati tényezőjét a $z=4$ alapján határoztuk meg. Az 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 fordulatszámok megfelelő fokozatnélküli 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 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:

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



27. ábra Részhajtómű szabályozhatóságok módosítása

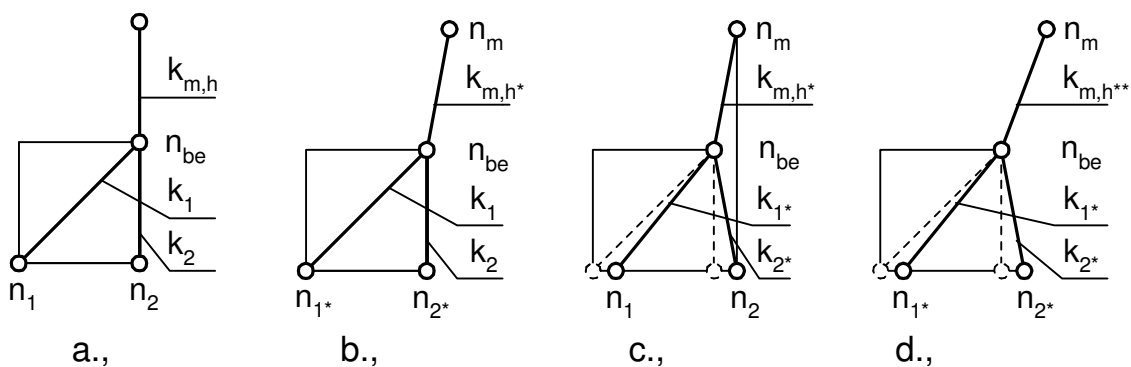
A leírtakat a 27.a,b ábrák szemléltetik A 27.a ábra hasonló, de nem azonos a 25.b ábra szerinti fordulatszámábrával A 27.b ábra a k_1^* és k_3^* azonosságát mutatja φ_3^* fokozati tényezőnél, a φ_3^* megegyezik a 25.b ábrával.

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 $k_{m,h}$ 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. ábrán 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 beépítés esetén a feladatok szétoszthatók. 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 fordulatszámábráit.



28. ábra Állandó hajtóviszony alkalmazása

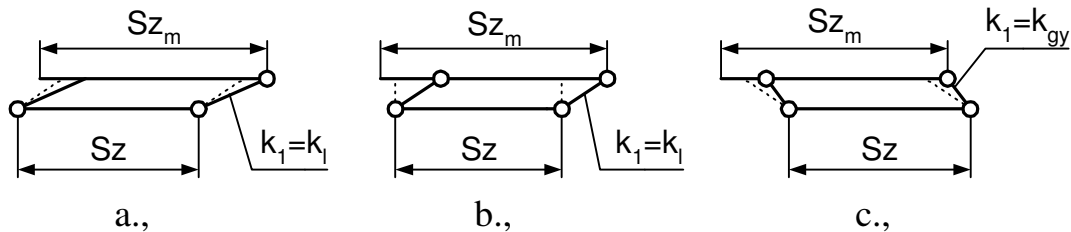
A 28.a a kiinduló fordulatszámábrát mutatja. A 28.b ábrán a $k_{m,h}^*$ lassító hajtóviszonnyal biztosítjuk a megfelelő technológiai fordulatszám tartomány kijelölését. A fordulatszámokat balra az alacsonyabb fordulatok irányába toltuk el. A 28.c szerinti megoldásban a $k_{m,h}^*$ lassítás a kétfokozatú 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 $k_{m,h}^*$ 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 $k_{m,h}^{**}$ 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, speciális eset

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

$$Sz_m \geq Sz.$$

Ekkor $Sz_f \leq 1$ adódik a számításoknál 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 fordulatszámait 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 kiszámításához 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:

$$n_n^* = n_{min} Sz_{mk} \cdot \quad (29)$$

A teljesítmények:

$$P_{c \max} \approx \frac{M_{c \max} n_n^*}{9.55}, \quad P_{csz} = \frac{P_{c \max}}{\eta_{\text{mech}}}, \quad P_m \geq P_{csz}. \quad (30)$$

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.

5.3.1 A 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:

$$\varphi = \sqrt[z]{Sz_f} = \sqrt[2]{3,55} = 1,88.$$

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.

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

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

A fogszámok 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 φ 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 φ 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 *fogszámok* meghatározását az alábbiak szerint végezzük [1, 2].

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

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

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

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

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

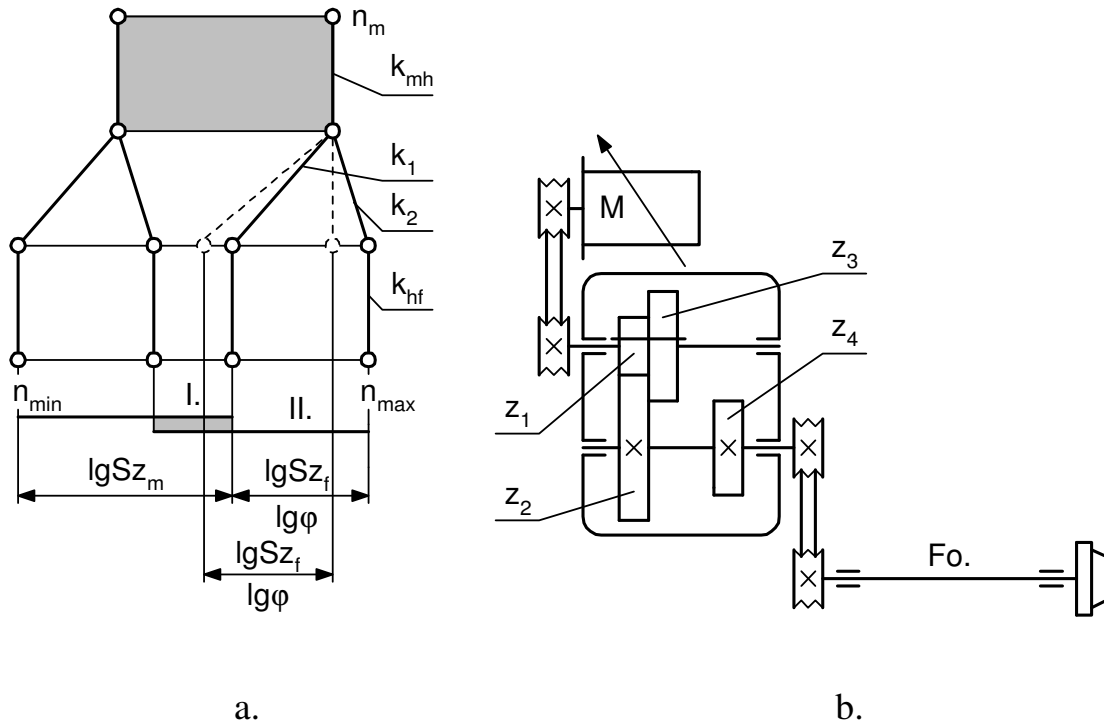
Ellenőrzés

A fogszámokkal 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:

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

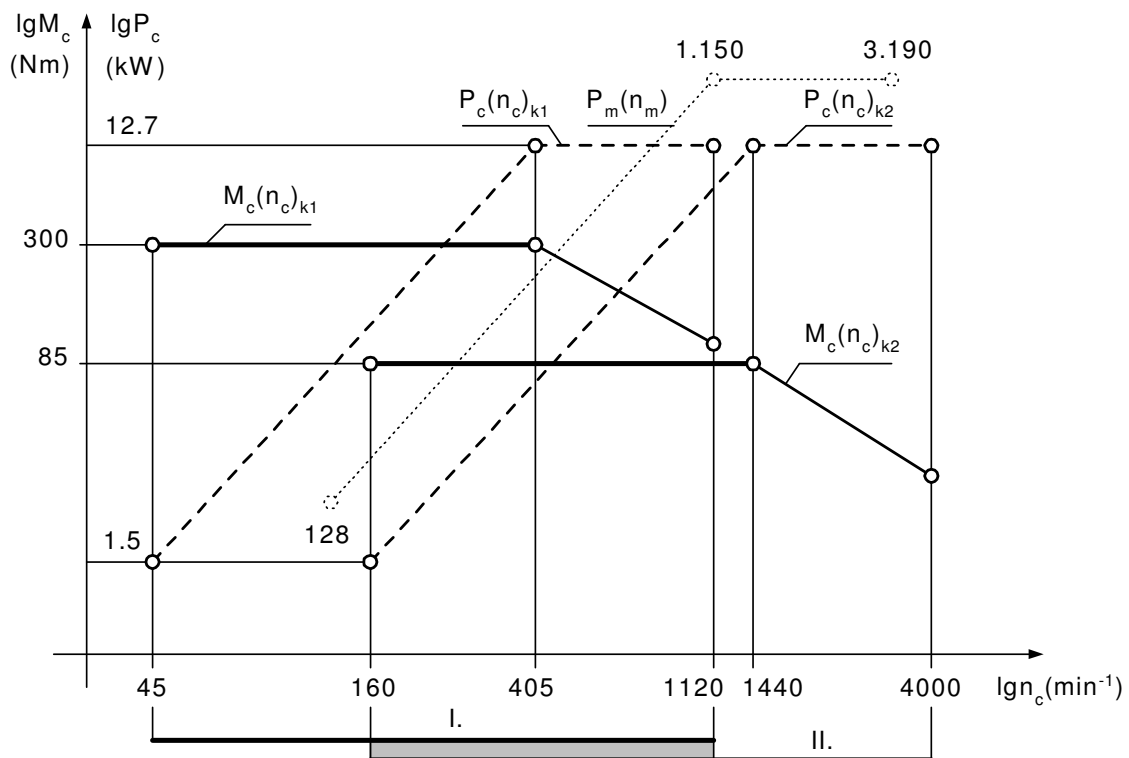
Az összefüggésbe a nyomatékot Nm, a fordulatszámot f/perc mértékegységekkel helyettesítettük be. A szükséges névleges motorteljesítmény:

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

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 logaritmikusan felrajzoltuk a hajtómű állandó üzemre jellemző $P_c(n)$ és $M_c(n)$ teljesítmény és nyomaték határgörbét 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

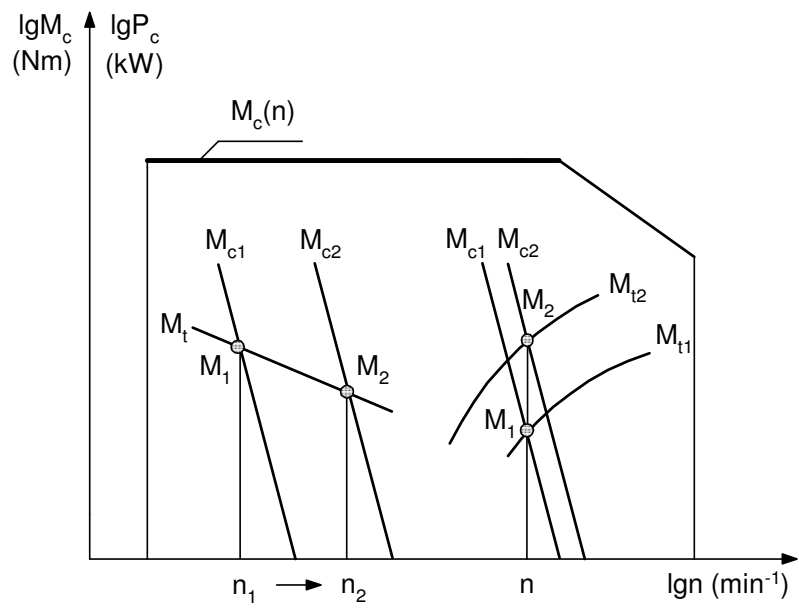
Az ábrából levonható következtetések:

- 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 sarok-

pontjainak nyomaték- és fordulatszámértékei a teljesítmény határgörbék sarokpontjaiból határozhatók meg. Ha a fokozatos hajtómű egymás melletti fordulatai egységesen φ fokozati tényezővel követik egymást, akkor a nyomaték határgörbék mezőgyengítéses tartományai a logaritmikus ábrázolásban egy negatív iránytangensű egyenes mentén helyezkednek el.

Munkapontok

A 29. ábrán valamely motor kapocsfeszültség 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_1 munkapontot [3]. Állandósult fordulatszámnál $M_{t1}=M_{c1}$, 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 keresztesztergálásnál 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.

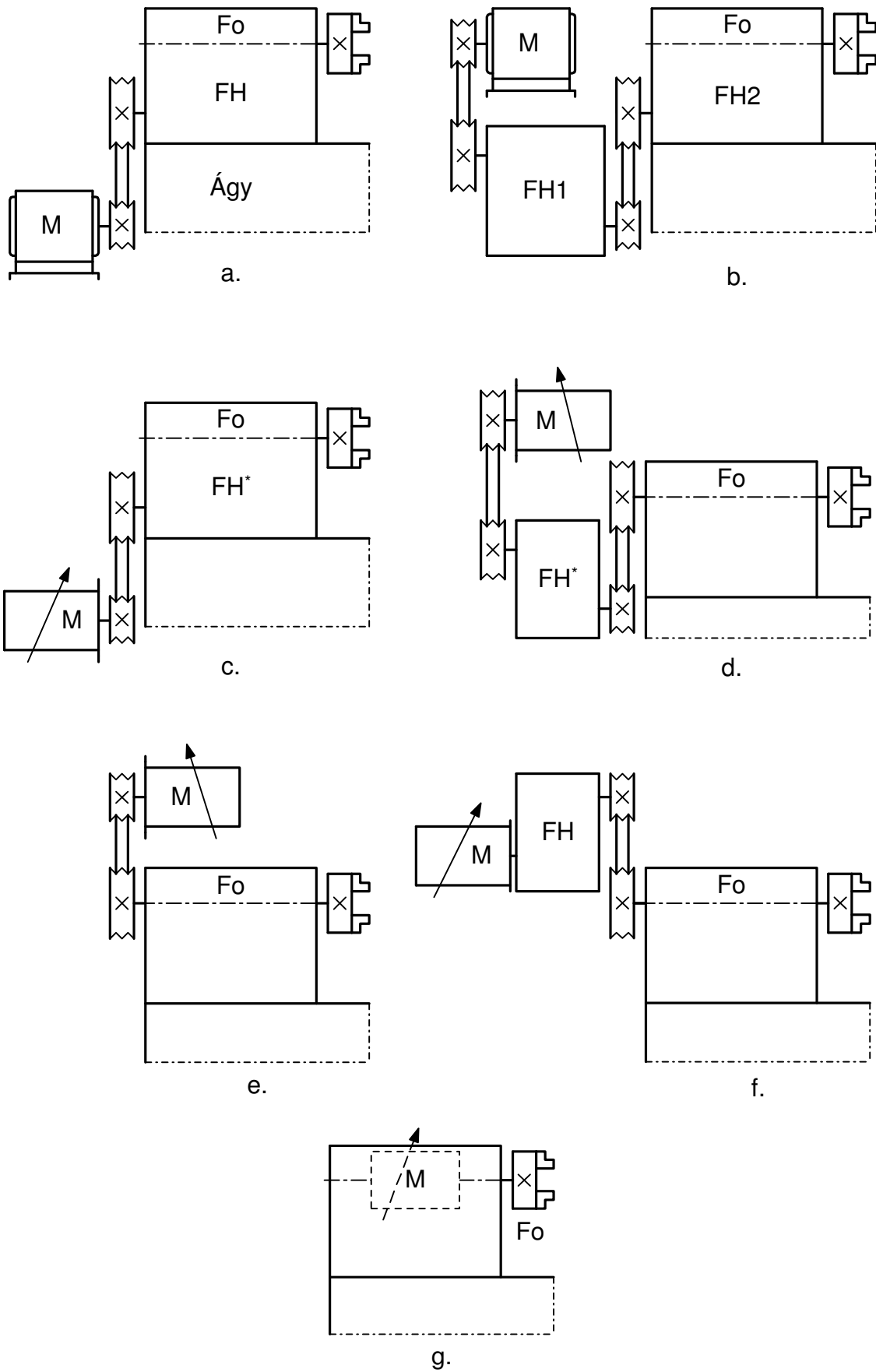
A 30.a ábrán a klasszikus, sokfokozatú hajtómű az esztergagép ágyán foglal helyet, bázisa lehet a szegnyereg- vagy az ágyvezeték. A főorsó a hajtóműházban foglal helyet. A fordulatfokozatok kapcsolása először az összevont fogaskerekek (tolótömb) kézi átkapcsolásával történt. A mechanikus automata és 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, fokozatszámra 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

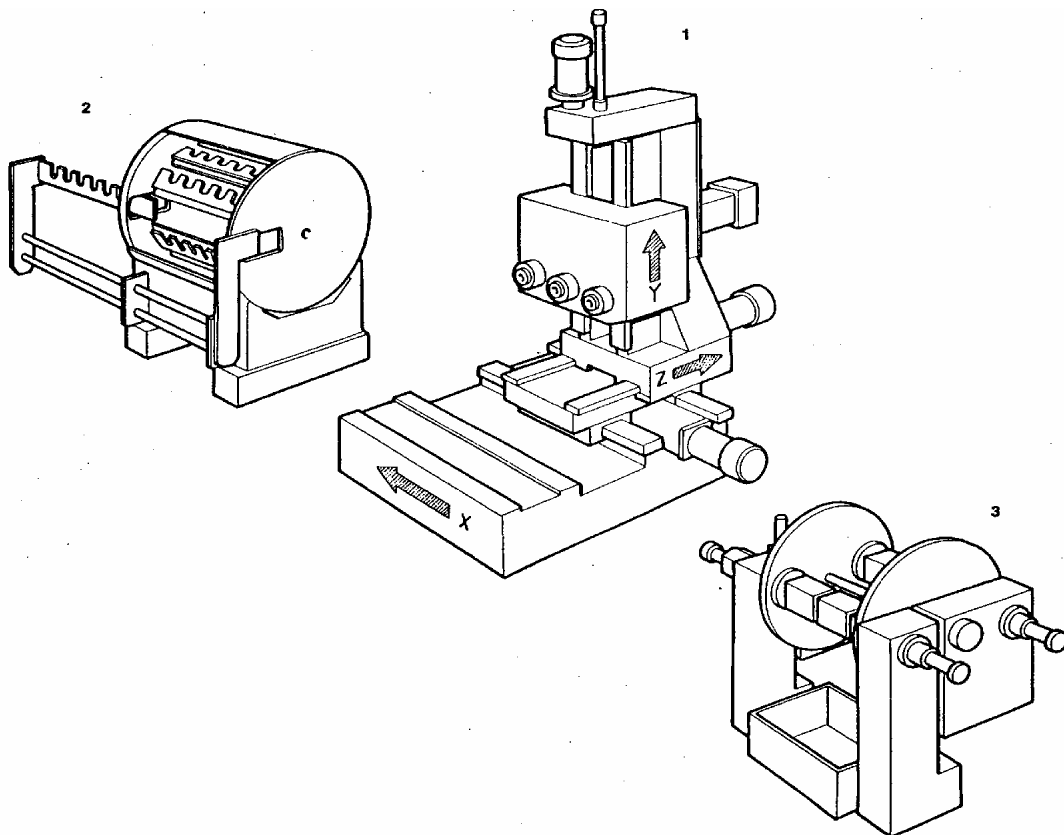
- A kazettás rendszerű szerszámtárba 24 kazetta és 24x3 szerszám fogható be.
- A szerszámbefogó V peremes, ISO 40 (International Standard Organisation - Nemzetközi Szabványosítási Szervezet) meredek kúpos.
- A szerszámok max. súlya 7 kg, max. átmérője 125 mm, max. hossza 290 mm.

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 cseréhelyzetben. A paletták 180°-os elfordításával gyors palettacsere végezhető.
- A paletták mérete 140x140x840 mm.

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



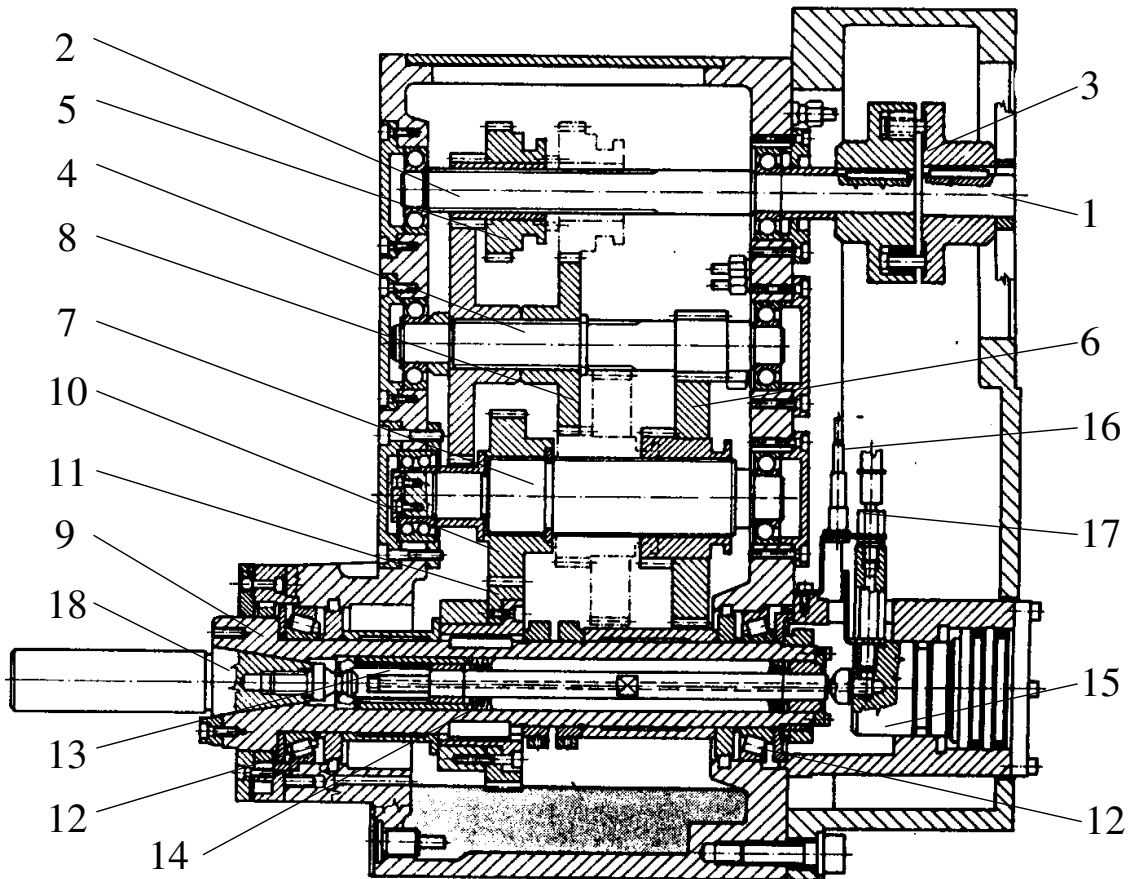
31. ábra MC 403 fúró-maró megmunkáló központ

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.



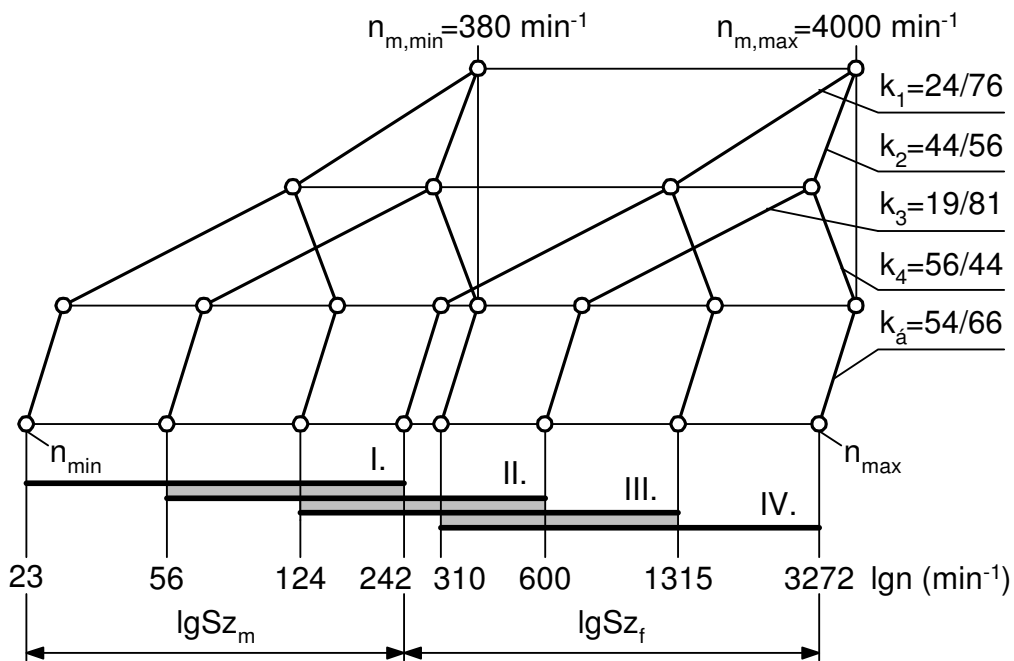
32. ábra Az MC 403 fúró-maró megmunkáló központ főhajtóműve

A főhajtó motor egyenáramú gép, amely a főhajtómű szekrényéből felül, hátrafelé az állvány jobboldali fala mellé nyúlik ki. A motor fordulatszámok fokozat nélküli 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 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 ϕ 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 egyetemes esztergagépet [22] a *SZIM (Szerszámgépipari Művek) Budapesti Szerszámgyárában* 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 egyetemes jellegnek megfelelően a gépen tengely (a felfogható legnagyobb munkadarab átmérő és hossz 160x650 mm) és tárcsaszerű (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:

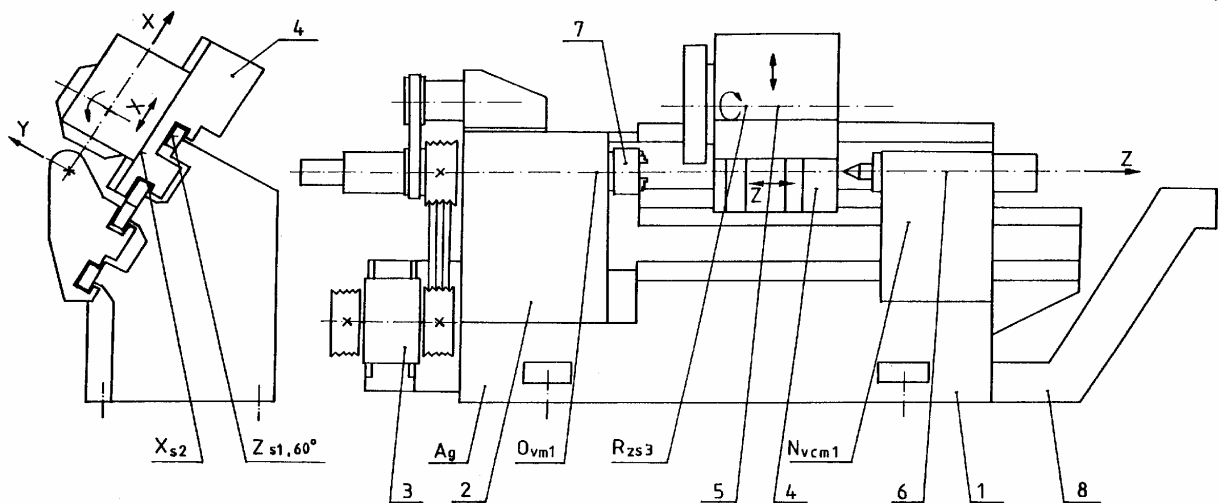
- 1 - Ágy
- 2 - Orsóház, főorsó
- 3 - Főhajtás
- 4 - Mellékhajtások, szánrendszer
- 5 - Revolverfej, szerszámozás
- 6 - Szegnyereg
- 7 - Tokmány (ajánlott tokmányátmérő: 200 mm)
- 8 - Forgácskihordó

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

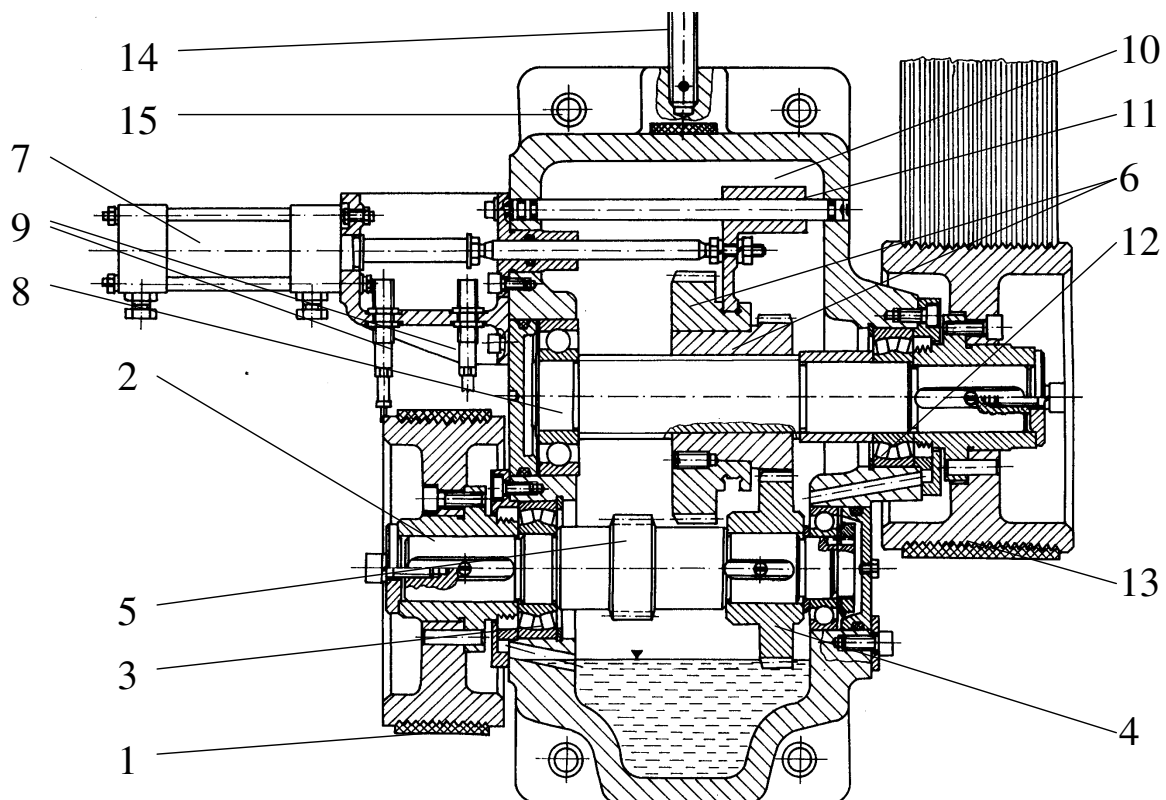
A főhajtómű adatai

- 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.

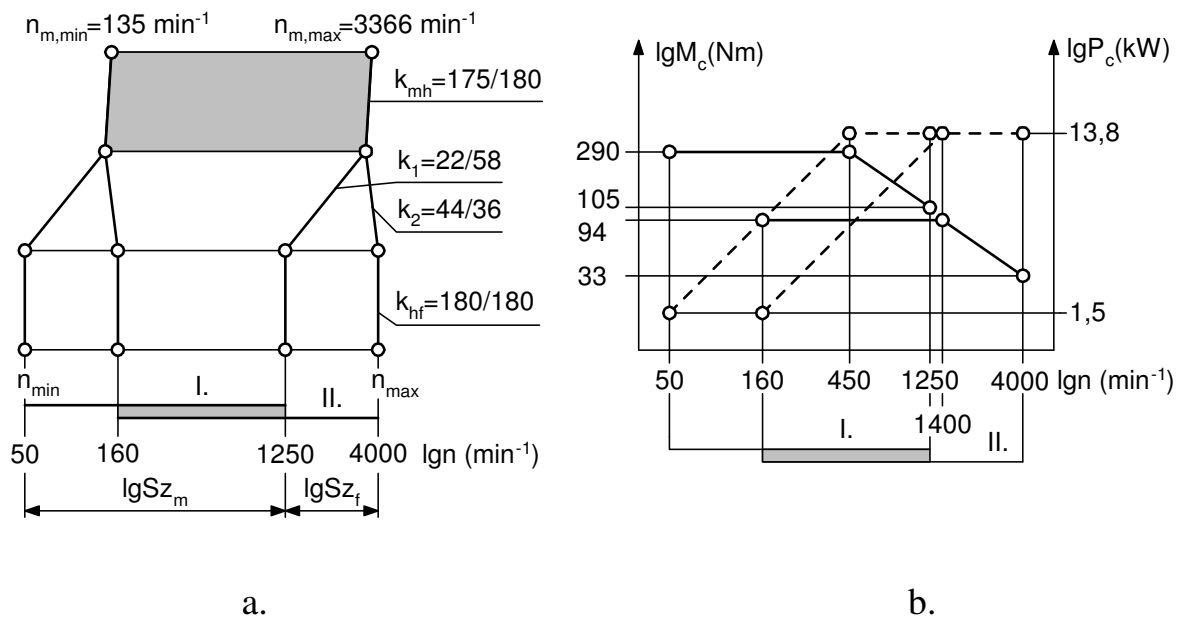
A 6 tolótömb a 8 hajtott bordás tengelyre ül fel. A tolótömb és egyúttal a henger véghelyezeteit a 9 érintés nélküli jeladók érzékelik. A befeszülések elkerülését szolgálja a 10 tolóvillát megvezető 11 rúd. A 8 tengelyt egyik végén mélyhornyú golyóscsapágy támasztja meg, a kihajtó oldalon a 12 beálló 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 fogaskerekkenéséhez 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 ábráit hasonlóan 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 fogszámok, 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 pofaállítósú 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.

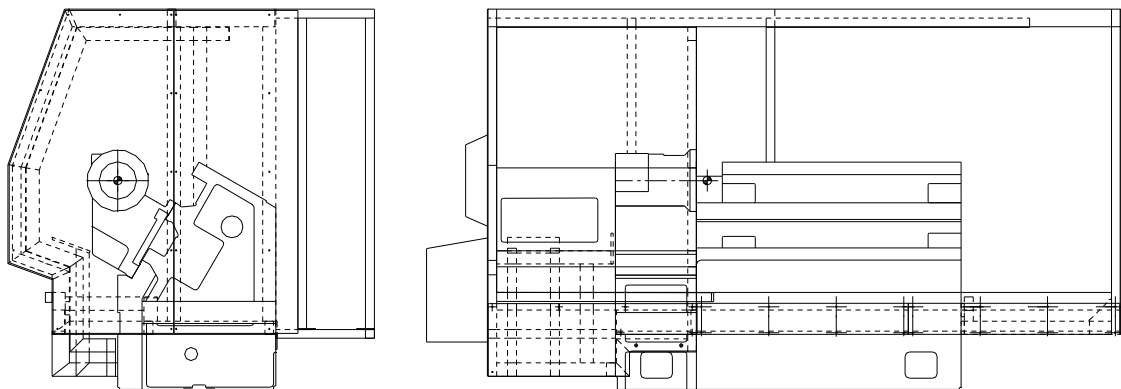
Az egytetemes jellegű esztergagépen egyedi, kis és középsorozatban állítanak elő tengely és tárcsaszerű alkatrészeket, amelyek anyaga öntöttva, acél, színes- és könnyűfém lehet. Ezen túlmenően megfelelő szerszámozással pl. műanyag munkadarabok is megmunkálhatók.

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-

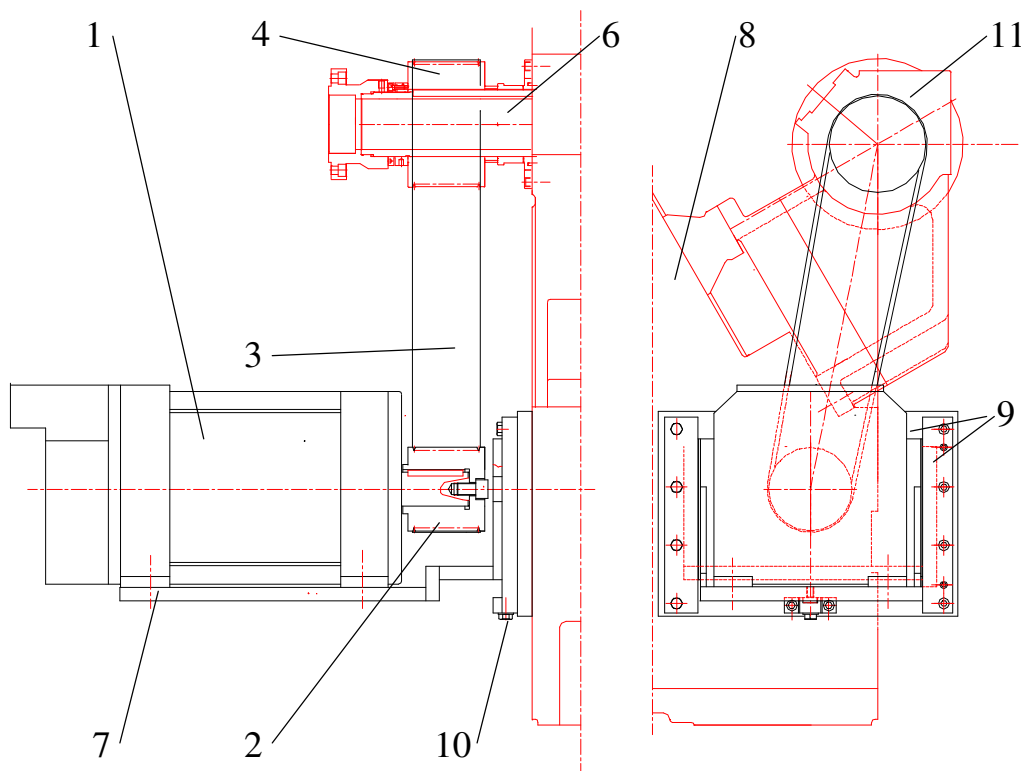
kenő folyadékellátó rendszer önálló egységként kerül az ágy mellé. A gép alapkivitelében azonnal alkalmas a legalapvetőbb megmunkálások elvégzésére.

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.

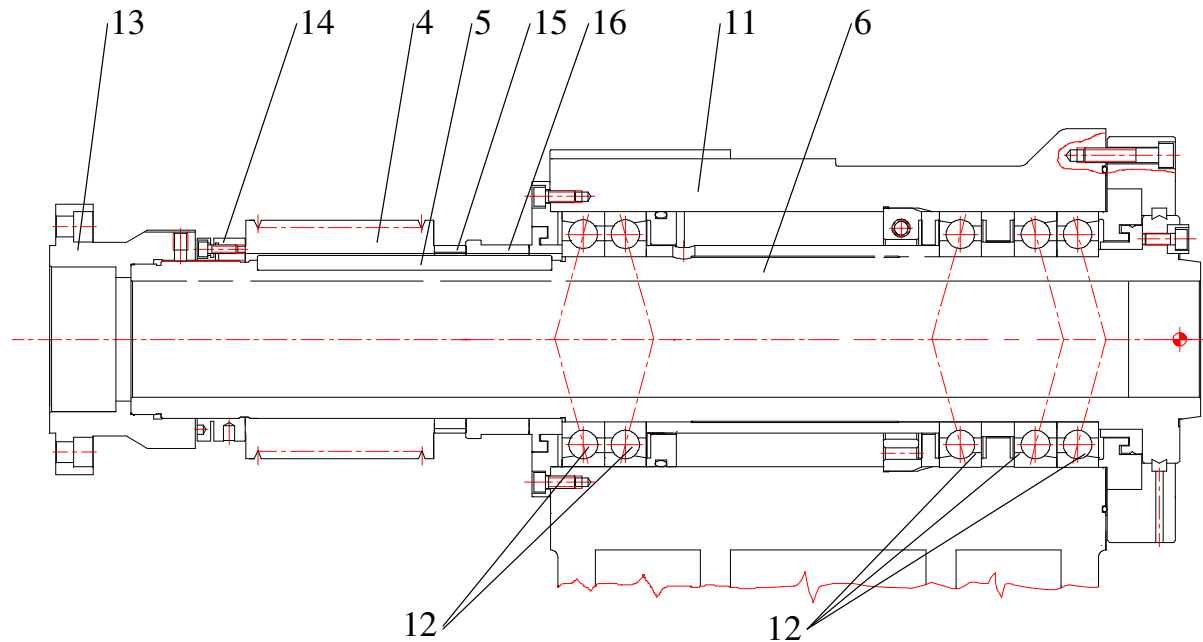


38. ábra Az SL 320 HS CNC esztergagép főhajtása

Az 1 talpas motort a 7 tartóelemre csavarozták. A 7 tartóelem az 1 motorral együtt függőleges irányban a 8 esztergagágy 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 szíj feszítés 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 vezetékeinek is bázisa

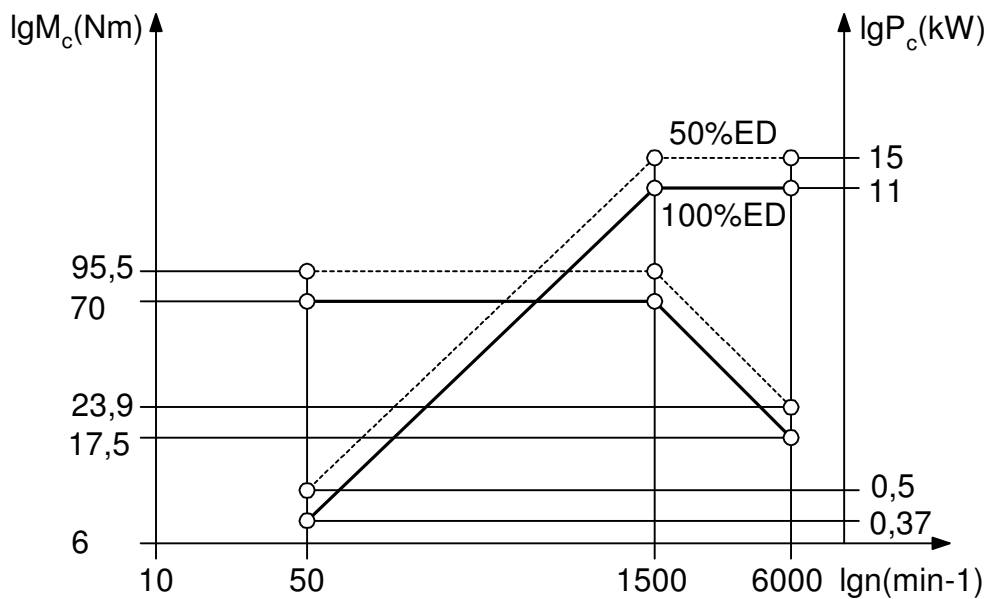


39. ábra Az SL 320 HS CNC esztergagép főorsója

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 eltekinttünk.



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 szerszámcsereelő 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

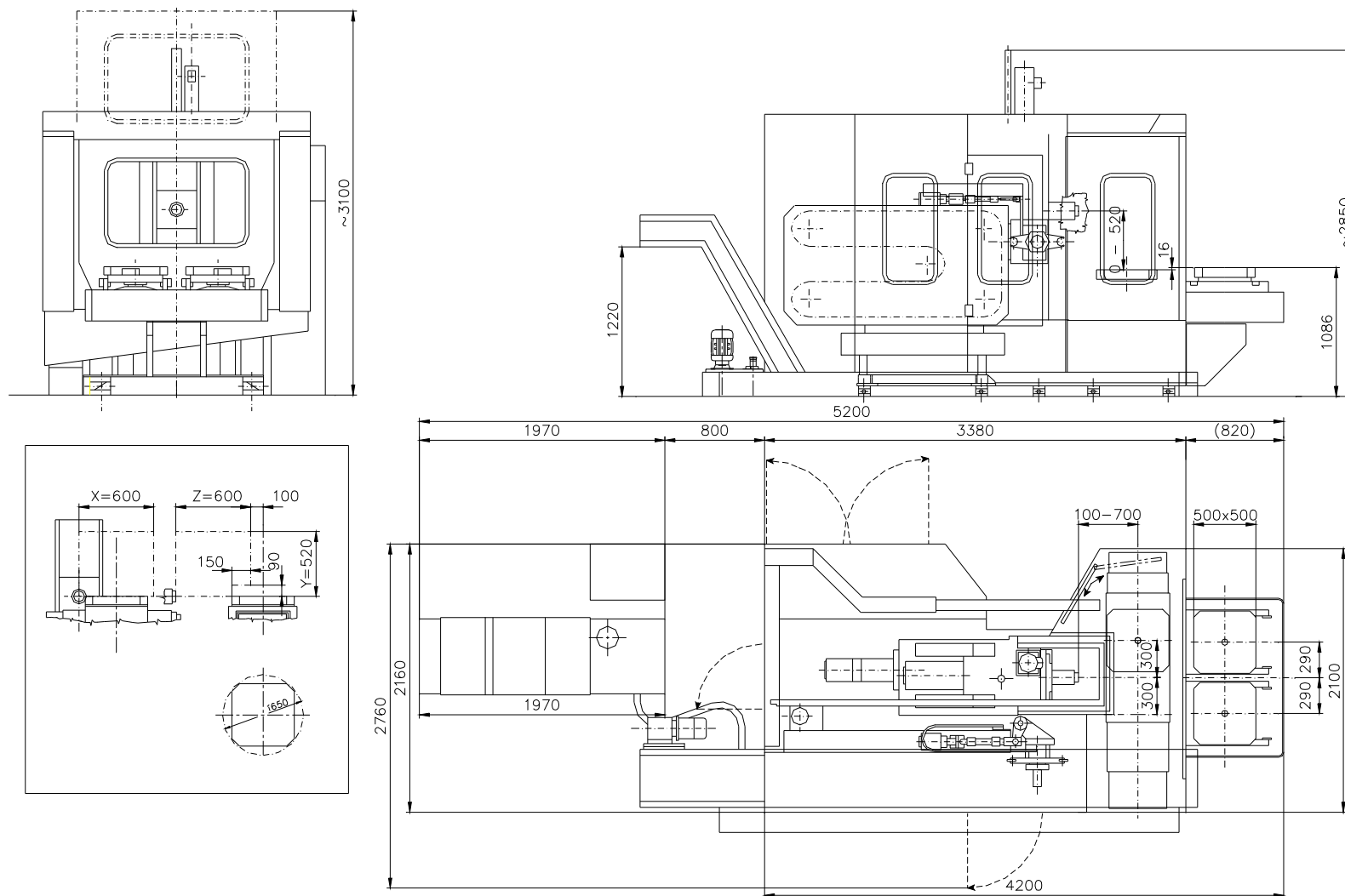
- Az aszinkron főmotor teljesítménye: 15/18,5 kW.
- A fordulatszám tartomány: 60÷6.000 f/perc, (50÷5000 f/perc MK 500).
- A főorsó legnagyobb nyomatéka: 283 Nm.

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.

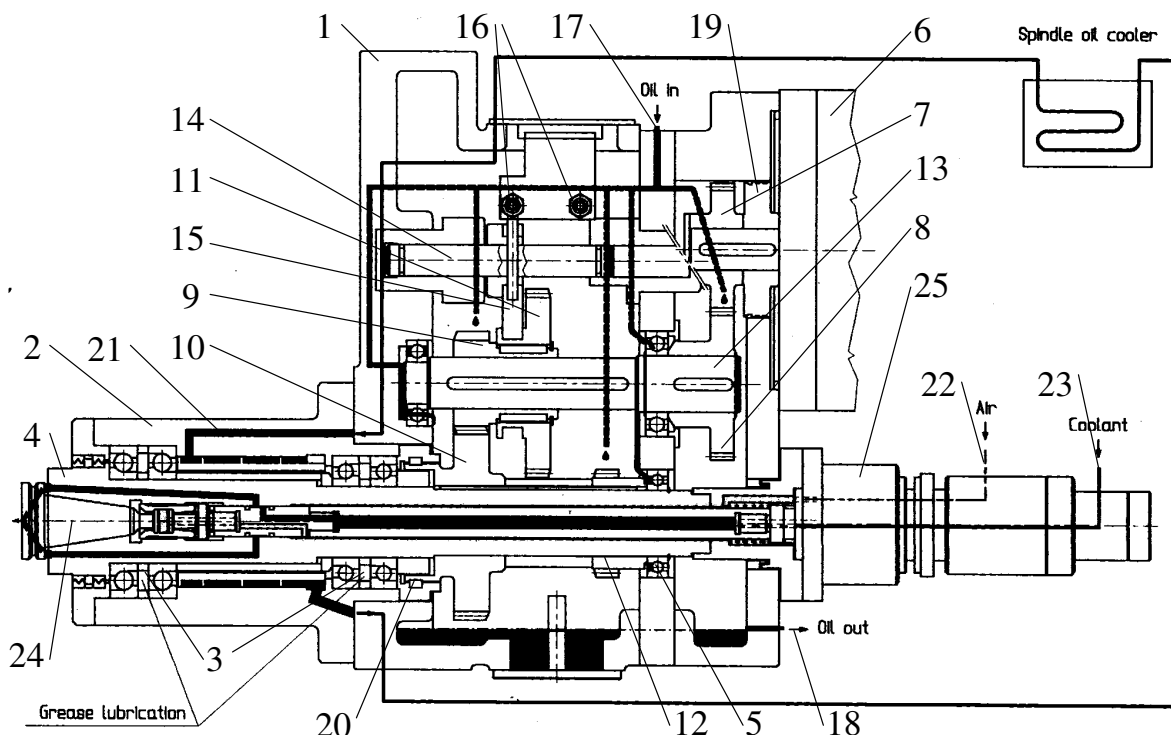
Az 1 házba szerelt 2 hüvelyben a 3 O elrendezésű két-két ferde-hatásvonalú golyóscsapággal csapágyazott a 4 főorsó, amelyet jobboldali végén még az 5 golyóscsapágy is megtámaszt. A 4 főorsó (2 hüvely) kinyúlása egyrészt a megmunkálási feladatok, másrészt a szerszámcsereelő manipulátor szempontjából szükséges

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 vezetéseken 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. Automatikusszerszámcserehez a 4 főorsó tájolt helyzetű, a szerszám tányérrugó köteg ellenében való lazításához szükséges erőt és mozgást a 25 hidraulikus henger szolgáltatja.

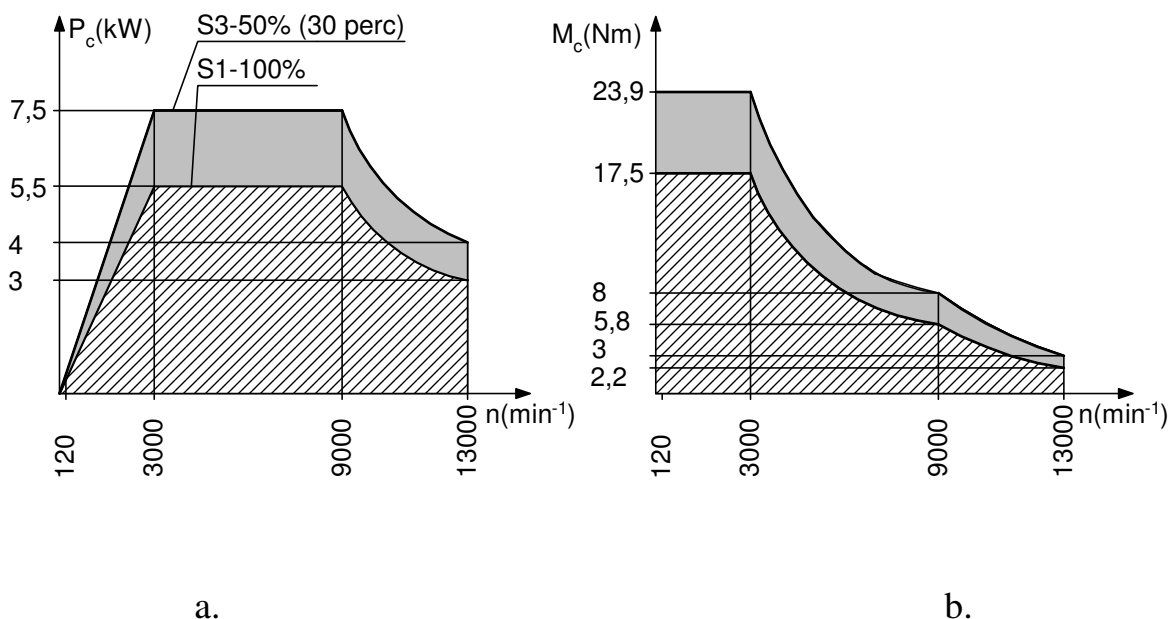
6.6 HMC 400 fúró-maró megmunkáló központ

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 megrajoltuk az AC motoros főhajtásra jellemző és a főorsón levehető teljesítmény (43.a ábra) és nyomaték (43.b ábra) határgörbéket, 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 ($120\div 13000$ min^{-1}) megvalósítása érdekében a motor mindhárom szabályozási tartományát kihasználják.

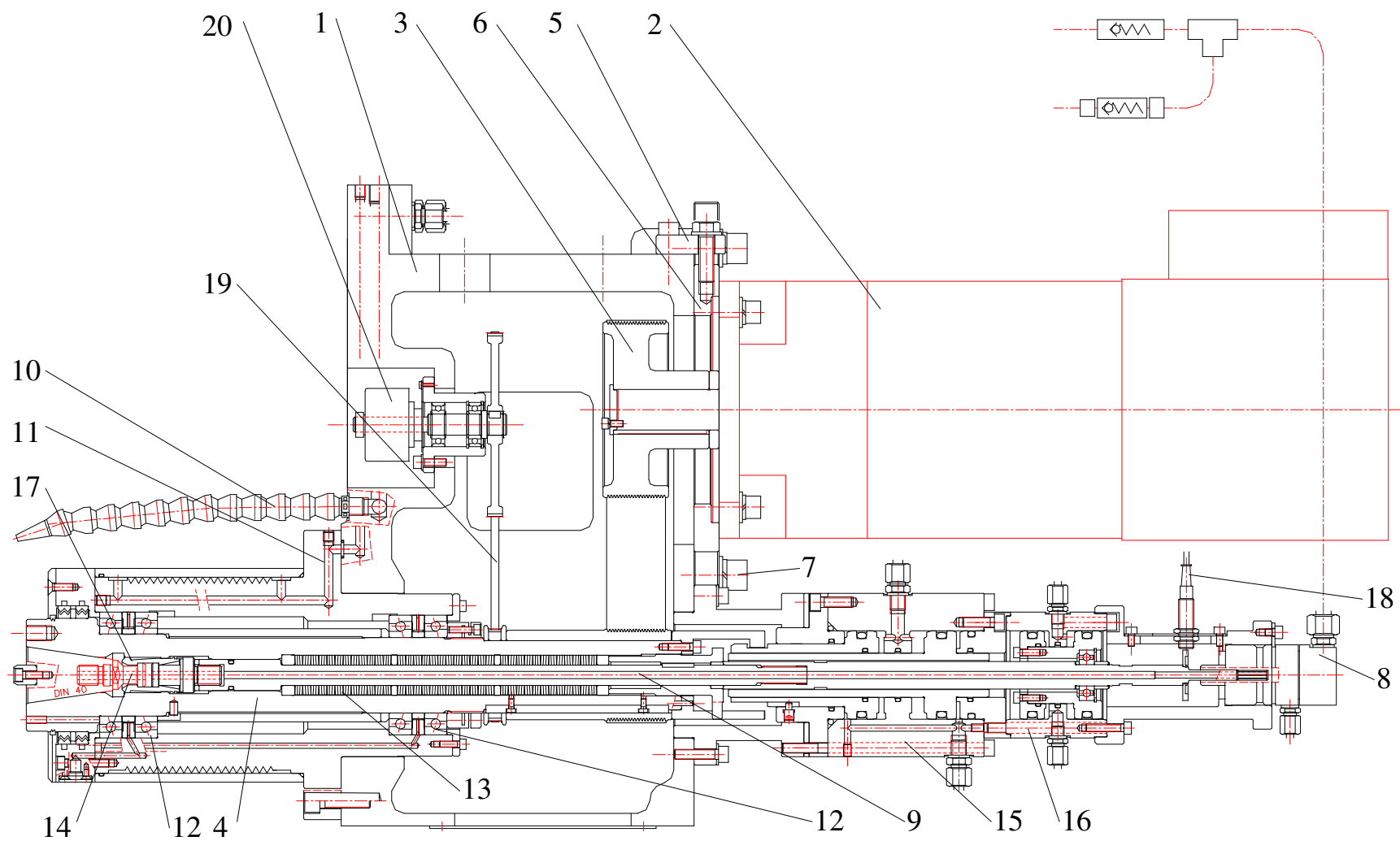


43. ábra A HMC 400 főhajtómű teljesítmény és nyomaték határdiagramjai

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 fokozatnélküli állítása frekvenciaszabályozással történik. A 2 motor a 3 Poly-V szíjhajtáson keresztül hajtja meg a 4 főorsót. A szíjfesztetés

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 szétváltik 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 pozícionálására szolgál az 1:1 hajtóviszonyú 19 fogazott szíjhajtáson keresztül hajtott 20 forgó szöghelyzet adó.

6.7 Síkköszörű gép

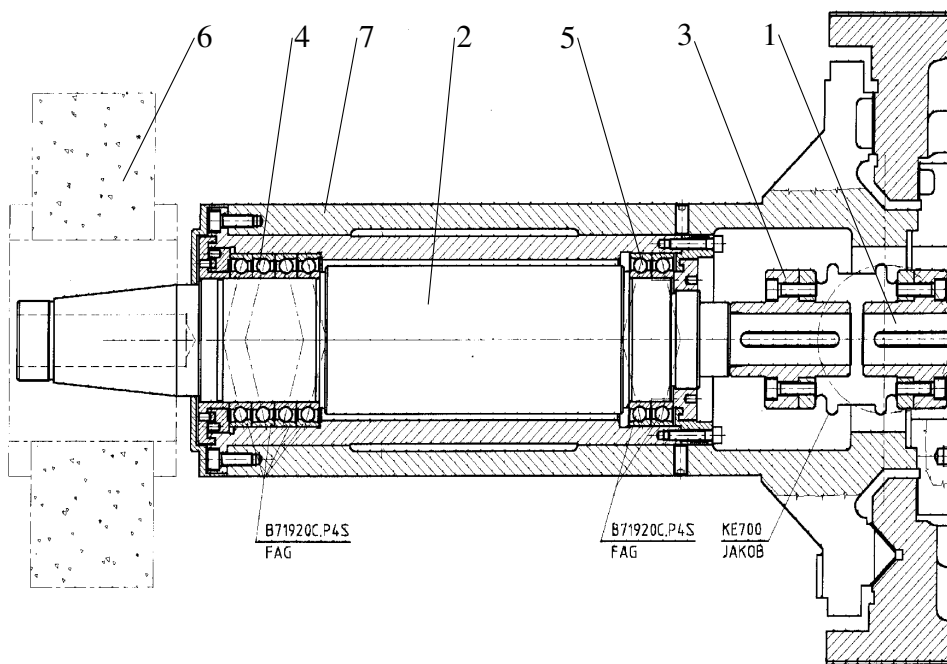
A síkköszörű gépeket a nagy alak- és méretpontosságú, jó felületi minőségű párhuzamos sík felületek előállítására használják. A megmunkálás a szerszám palástjával, vagy homlokával történik. A számjegyevezérlés a síkköszörű gépek strukturális és szerkezeti kialakítását megváltoztatta, technológiai lehetőségeit 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 beszúrási 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 nagytömegű 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] Má dai, F.: *Villamos hajtások*, Oktatási segédlet, Kézirat, Miskolc 1999
- [4] Má dai, F.: *Egyenáramú és aszinkron motoros négynegyed-es 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 Bohrspindel-, Schleifspindel* Kataloge
- [15] Retter, Gy.: *Villamosenergia-átalakítók1.* Műszaki könyvkiadó, Bp 1986
- [16] Csepeli Szerszámgyártó: *FK 326 fogaskerék köszörűgép*
Gépkönyv, Bp. 1983
- [17] Jakab, E-Zsiga, Z.: *Üzemlátogatás gyakorlati programja*, Excel Csepel Szerszámgyártó Kft. PHARE.HU-94.05-0101-Lo23/61
- [18] Má dai, 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.: *Többsörös megmunkáló berendezés*
Szabadalom, Lajstromszám 190 754, A megadás napja 1984. 02.14.
- [21] Szerszámgyépipari Művek: *MC 403 Háromörös 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. Szerszám gép Konferencia, Miskolc, 1998. október 26-27. B, D, E,
F szekciók kiadványa, pp. 34-39.
- [26] Weck, M.: *Werkzeugmaschinen Fertigungssystemen Band 2.* VDI-
Verlag GmbH, 1991
- [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.: *Gépszerkesztési 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