

RENDSZERTECHNIKA*

— HELYZETKÉP —

JÁNDY GÉZA**

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

Jelen tanulmány a rendszertechnika létrejöttének körülményeit, a rendszerfogalom, a kibernetika, az operációkutatás és az általános rendszerelmélet itteni szerepét, a rendszertechnika főbb vonásait, munkafázisait és rendszertípusait (vagyis a dologi, a cselekvési és a célrendszereket) tárgyalja.

I. Bevezetés

Az utóbbi évtizedekben a műszaki feladatok és a mérnöki munka sok új vonással gazdagodtak. Közismertek az olyan változások, mint pl.

- a műszaki fejlődés gyorsulása,
- a műszaki alkotások, termékek összetettebbé, bonyolultabbá válása,
- új alkalmazási területek megjelenése,
- az automatizálás és az elektronika terjedése,
- az ökológiai-műszaki és a társadalmi-műszaki kölcsönhatások kikerülhetetlensége,
- a nagy, heterogén műszaki komponensekből összetevődő rendszerek tervezése, működtetése, irányítása,
- az egyre mélyülő szakosodás és az interdiszciplináris együttműködés szükségessége,
- a tudomány fokozódó behatolása a műszaki munkába,
- a cél és az értékelés gondjainak előtérbe kerülése,
- a munka tervezésével és irányításával, általában a műszaki vezetéssel és szervezéssel szemben támasztott növekvő követelmények
- stb.

Mind gyakrabban hozunk létre olyan komplex műszaki rendszereket, amelyek különböző szakterületekről származó alkotórészekből, vagyis heterogén komponensekből állnak. Ezért a műszaki rendszerképzésnek egyik kulcsproblémájává vált a kompatibilitás, az összeállítás, ami szükségszerűvé teszi a különböző funkciókat ellátó szakmák interdiszciplináris együttműkö-

* Elhangzott a Műszaki Tudományok Osztályának 1977. november 21-i felolvasó ülésén.

** Prof. Dr. Jándy Géza, 1111, Budapest, Lágymányosi u. 28.

dését. A megoldandó feladatok gyakran teljesen újszerűek és a hiányzó tapasztalatokat a rendelkezésre álló idő rövidege miatt tudatos módszerekkel kell pótolni.

Minél kiterjedtebb és bonyolultabb a megvalósítandó műszaki rendszer, minél erősebbek a társadalommal és a természeti környezettel való kölcsönhatásai, annál inkább van szükség már az objektum alkotásának folyamatában is a tervezés mellett az organizációra és a működés szervezésének és irányításának (vagyis az orgware*-nek) a tervezésére. Így a mérnöki munka már nem korlátozódhat csupán a műszaki alkotásra (a hardware-re és a software-re), hanem előtérbe kerül az ugyancsak műszaki szakértelmen alapuló szervezés és irányítás.

A műszaki feladatokban és a mérnöki munka módszereiben kialakult eme változások és új vonások kezdték kikényszeríteni egy új műszaki elméleti és gyakorlati terület létrejöttét, amelynek kifejlődését számos tényező is segítette, így a 40-es évek végéig elsősorban a műszaki management vagy más néven a szervezéstechnikának (industrial engineering, project management) a mérnöki munkaerőt egyre növekvő mértékben lekötő gyakorlata, majd a rendszerfogalom és a kibernetikai szemlélet térhódítása, valamint új lehetőségek és eszközök (mint pl. a műszaki prognosztika, a számítógépes szimuláció, az operációkutatás módszerei és ezen belül a hálótechnika stb.) megteremtése. A változások, köztük az új követelmények növekvő mennyisége új minőséget hozott létre. A kezdetben különálló, de nagyrészt azonos problémamegközelítési módszerekre támaszkodó és rokon vonásokat felmutató követelmények és funkciók összeötvöződéséből az új műszaki terület valóban létrejött. Korai formájában — a műszaki kutatás és fejlesztés célkitűzéseinek és koordinálásának konkrét kérdéseivel kapcsolatosan — a Bell Telephon Laboratories-ben már a 40-es években felismerték jelentőségét és megjelölésére a *rendszer-technika* elnevezést kezdték használni.

1962-ben megjelent könyvében HALL a rendszertechnika fő törekvését abban látja, hogy csökkentse az időközt a tudományos felfedezések, az igények jelentkezése, valamint az igényeket kielégítő rendszerek megvalósítása és használatba vétele között. Így a rendszertechnika először az összetartozó és egymáshoz kapcsolódó műszaki fejlesztésnek, az általános és az előzetes tervezés, valamint a megvalósítás koordinációjának, ellenőrzésének és irányításának tudatos módszertanává lett.

E fő funkciójának a rendszertechnika a következő munkafázisokban tesz eleget:

1. feladatelemzés (rendszerelemzés),

* Lásd Prof. G. M. DOBROV „Systems Assessment of New Technology Decision-making in Government and Industry” című előadását, amely a MTESZ Tudományok Tudománya Körének a rendezésében 1977. szeptember 8-án hangzott el.

2. rendszertervezés: a) előzetes tervezés,
b) részletes tervezés,

3. a rendszer felhasználásának (bevezetésének, alkalmazásának, fenntartásának) és működése irányításának tervezése,

4. a teljes rendszertechnikai folyamatra kiterjedő rendszerszervezés.

SZADOVSZKIJ, az ismert szovjet rendszerteoretikus magyarul is megjelent könyvében így ír a rendszertechnikáról: újabban „a műszaki rendszert olyan rendkívül bonyolult alkotásként jellemezzük, amely tartalmazza a létrehozandó gépi komponenseket, az azokat működtető embert, továbbá a kialakított konstrukció létezéséhez nélkülözhetetlenül szükséges külső feltételek sokaságát, és végül bizonyos mértékig az ilyen bonyolult komplexum létrehozásának megtervezését is. Ilyen formán a modern technika a nagyrendszerek technikájaként jelenik meg. Ami pedig ennek elméleti leírását illeti, ma a rendszertechnika és a vele összefüggő tudományágak keretében a fő figyelmet a következő problémákra összpontosítják: az irányítás, az optimalás, a rendszer gépi és emberi összetevői között a funkciók elosztása, a műszaki megoldás megválasztása, a rendszerek dinamikájának leírása stb.”

2. Rendszerfogalom, kibernetika és operációkutatás a rendszertechnikában

A kutatók, tervezők mindig jól tudták, hogy a feladatukat világosan el kell határolni, mert hiszen csaknem minden mindennel összefügg, és a világ egészével nem küzdhetnek meg. Az összetartozónak tekintett vizsgált elemek, tulajdonságok és relációk számát azért korlátozni kell. Az *elhatárolás* és ugyanakkor a vizsgált elemek aggregációs fokának, a probléma megfogalmazásában a tovább már nem osztandó egységeknek a megállapítása végső soron a kutatás-fejlesztés céljaitól és az elemzést végző vagy irányító ember érdeklődésétől függ.

A konstruktőr, különösen a terméket intézeti, nagyüzemi keretek között tervező és megvalósító mérnök számára az elhatárolást már a műszaki cél meghatározza. A vizsgált rendszer itt önmagában a műszaki objektum. Azonban ez az objektum felhasználása során kapcsolódik más műszaki objektumokhoz, megvalósításában, működtetésében, fenntartásában, karbantartásában, fejlesztésében, felhasználásában emberek vesznek részt, megvalósítása, bevezetése, élettartama a gazdasági körülményektől függ, és mind e mellett kölcsönhatásba kerül a társadalommal, valamint a természeti környezettel. Ha ezeket figyelmen kívül hagyjuk, abból sok meglepetés, kényelmetlenség, kudarc, kár, sőt katasztrófa is következhetik. Ha viszont figyelembe vesszük az ilyen kapcsolódásokat, kölcsönhatásokat, akkor a vizsgált rendszer bővülni kezd. Ilyenkor beszélhetünk a feladat *rendszermegközelítéséről*. Az objektummal összetartozó emberi tényezők átgondolt számbavételének eredményeként az 50-es évek

közepén megjelent a „komplex ember–gép rendszer” fogalma, amelynek határait azonban továbbra is a kívülről adott rendszercél határozta meg. A 60-as évek közepétől a rendszertechnikai módszereket már a műszaki projektek kifejlesztési, megvalósítási munkálataira kezdték átvinni. Ezeknek rendszercélját pedig egyértelmű műszaki követelmények helyett, előzetesen csak lazábban megfogalmazott társadalmi célelképzelésekkel írják körül, és a feladat elemzése (a rendszerelemzés) során kell azt konkretizálni és pontosítani. Itt jelentkezik a rendszerfogalom igazi problémája: a rendszer és a környezete, valamint a releváns és a nem releváns környezet között a határvonalak meghúzása, ehhez a környezet alapos elemzésének szükségessége, és a kívánatos, valamint a nem kívánatos mellékhatások (ill. az aktív és passzív hatások) felismerésével a rendszer releváns környezetének fokozatos kitágítása. A környezetelemzésből nyert információk befolyásolják a műszaki elképzeléseket, vagyis a feladat értelmezését, az időtervet, az alternatívák megítélését és egyebeket, így sok szempontból visszahatnak a projektekre.

A rendszertechnika alkalmazásának a kezdeti fázisában a rendszerformálás hagyományos kiinduló feltételei a következők:

- a rendszer célja, értelme adott és állandó,
- e változatlan rendszerértelmezés következményeként állandóak a rendszer határai is,
- a rendszerelemzés feladata, hogy a rendszer célját (az elvárásokat) konkretizálja és pontosítsa, struktúráját megtervezze és a — rendszerelemzés során fokozatosan bővülő — releváns környezettel való kölcsönhatásait felismerje és figyelembe vegye.

Ezt nevezik *célorientációjú rendszerfogalomnak*.

Azonban az alkalmazások fejlettebb fázisában a rendszertechnikának már egyre gyakrabban szembe kell néznie olyan feladatokkal is, amikor csupán a műszaki újdonság, a műszaki fejlesztési probléma, a keresleti-kínálati szituáció vagy a társadalmi-műszaki funkció adott. Ilyenkor a műszaki és gazdasági prognosztika fontos szerephez jut. Ugyanis meglehetősen bizonytalanul megfogalmazott problémából és célelképzelésekből kiindulva kell a rendszert fokozatosan elhatárolni és felépíteni vagy a döntéshozatalt előkészíteni. Ezt nevezik *problémaorientációjú rendszerfogalomnak*.

A *kibernetika* a 40-es, 50-es években a közlésnek és az irányításnak a gépekre és az élő szervezetekre egyaránt érvényes, egységes elméletét jelentette. Lényeges összetevői: az információ, a vezérlés és a szabályozás, a dinamika (ami itt a vizsgált rendszerek időfüggőségét, változékonyságát és viselkedését, vagyis az ok-okozati áramlatokat, összefüggéseket jelenti) és a dinamikával együtt a tehetetlenség és a késés. Jellemzőségei: az interdiszciplinaritás, a modellezés és a szimuláció, a grafikai és a matematikai formalizálás, valamint a kapcsolatteremtésre törekvés az elmélet és a gyakorlat között. A kibernetikai szemlélet sajátossága az, hogy a vezérlési láncra és a szabályozási körre vonat-

kozó elképzeléseket általánosítja, így alkalmazhatóvá teszi azokat a műszaki projekteket kifejlesztő, megvalósító, együttműködő vezetett szervezetekre is.

A 60-as évek kibernetikája — elsősorban a Szovjetunióban — már a bonyolult dinamikus rendszer egyes elemei között az információs kapcsolatokat, az információfeldolgozás folyamatait, az irányítási rendszereket, azok szerkezetét, az irányítás különböző törvényszerűségeit, így entrópiacsökkentő hatását, az irányítási rendszerek felépítésének és tervezésének elveit és a hasonlókát tanulmányozza.

Az *operációkutatás* néven elterjedt és kifejlődött tudományos irányzat vizsgálódásának tárgya a meghatározott céllal szervezett és irányított, integrált (ember-gép) rendszerek struktúrája és jellegzetes viselkedése, vagyis a konkrét szituációban megkívánt eredmény eléréséhez szükséges (tervezett vagy várható) és egymástól kölcsönösen függő ténykedéseknek (aktusoknak) összessége. Ez utóbbit, vagyis az ember-gép rendszernek egy meghatározott és ismétlődhető feladat elvégzésére irányuló cselekvésmódját nevezik itt *operáció*-nak. Az operációkutatás célja a döntéshozatal segítése, tudatosabbá tétele, a szervezett rendszer operációinak — többnyire szimbolikus — *modellben* elvégzett elemzése, optimum-meghatározása vagy (számítógépes) szimulációja útján. Azonban az „operációkutatás” mint kulcsszó nemcsak az ilyen irányú cselekvést fémjelzi, hanem ezt a címet használják a *döntési, irányítási* problémák megoldását szolgáló sajátos matematikai modellek, módszerek, diszciplínák (a lineáris és a nem-lineáris programozás; az egészértékű programozás; a sorrendprogramozás; a játékelmélet; a dinamikus programozás és a folyamatirányítási elmélet; a gráfelmélet és a hálózati áramlások elmélete; a szervezési hálózatok és a hálós irányítási rendszerek elemzése; a sztochasztikus folyamatok elmélete; a tömegkiszolgálási elmélet; a készletgazdálkodás; valamint — mindezekre kiterjedően — heurisztikus módszerek és a rendszer-szimuláció) gyűjtőneveként is.

Mind e módszerek, mind az operációkutatás rendszerszemléletű probléma-megközelítési gyakorlata szerves alkotóeleme lett a rendszertechnikának, sőt Hall arról ír, hogy az operációkutatás olyan közeli kapcsolatban áll a rendszertechnikával, hogy néha össze is tévesztik vele. Mindenesetre az 50-es évek vége felé az USA több vezető egyetemén meghirdették az „Operációkutatás és rendszertechnika” c. tantárgyat.

Az *általános rendszerelmélet* fogalmazta meg szabatosan az olyan fogalmakat, mint a rendszer környezete; az attribútumai (különösen a rendszer és a környezete közötti input és output kapcsolatok és a rendszerállapotok); a rendszer általánosan értelmezett függvénykapcsolatai (két vagy több attribútum közötti összefüggések kifejezései); a rendszer funkcionális aspektusa (az attribútumok és a függvények halmaza); az alrendszerek és a közöttük levő relációk; a rendszerleírás strukturális aspektusa (amely kifejezi, hogy az egész a relációkkal több mint a részek összege); a rendszerhierarchia (vagyis ha

újabb alrendszerek attribútumait kapcsoljuk a rendszerhez, akkor egy magasabb rangú rendszert kapunk); valamint a rendszerfogalom relativitása.

A rendszerleírás a halmazalgebra eszközeivel formalizálható. A funkcionális aspektusban a rendszert még „fekete doboz”-nak tekintjük és elsősorban viselkedési módjait vizsgáljuk. Csak ezután térünk át a strukturális aspektusra, a rendszer összetettségének, az alrendszerek közötti relációknak a vizsgálatára. Az alrendszerek éppen a közöttük felismert relációk, vagyis attribútumaik egymáshoz kapcsolódásai révén képezhetők, egyesíthetők rendszerré.

A rendszer tehát magában foglalja:

- a) az attribútumok halmazát,
- b) a kölcsönhatásban levő attribútumok mutatóit (mérőszámait, logikai értékeit) egymáshoz rendelő függvények halmazát,
- c) a környezettől elhatárolt alrendszerek halmazát és
- d) az alrendszerek között fennálló és a rendszer struktúráját kifejező relációk halmazát.

A kibernetika, az operációkutatás és a rendszerelmélet elsősorban az időben létező, *dinamikus* rendszerekkel foglalkoznak, amelyhez egy T rendezett időhalmaz, attribútumaikhoz pedig a t időparaméter is társul.

A rendszerek morfológiai rendszerezésének lehetőségei

Ismérvek	Ismertető jelek		
A rendszer önmagában Keletkezésének módja Környezetéhez való viszonya Az időtényező figyelembevétele Állapotváltozásának időérzékenysége Attribútumainak értékészlete Függvénytípusa Attribútumainak meghatározottsága Struktúrájának alkalmazkodóképessége Alrendszereinek száma Relációinak sokasága	konkrét természetes zárt statikus idő-független folytonos lineáris determinisztikus mérv kevés egyszerű	absztrakt mesterséges viszonylag izolált dinamikus idő-függő diszkrét nem-lineáris sztochasztikus rugalmas sok komplex	nyitott bizonytalan nagyon sok nagyon komplex
...			

A matematikai (vagy más néven általános) rendszerelmélet dinamikus, nem zárt rendszerekkel foglalkozik, amelyek folyamatosan a $t \in T$ időpillanatban az $z(t) \in Z$ állapotban vannak, az $u(t) \in U$ inputot veszik fel és az $y(t) \in X$ outputot bocsátják ki. Anélkül, hogy a részletekbe belemennék, az ilyen rendszerek az alábbi axiómákkal határozhatók meg:

1. adott a T időhalmaz, amely valós számoknak rendezett részhalmaza;

2. adott az *input értékek* U halmaza és a megengedett *input függvények* Ω halmaza, ahol $\Omega = \{ \omega : T \rightarrow U \}$;

3. adott az Z *állapothalmaz* és az *állapotátmenet* φ függvénye: $\varphi : T \times T \times Z \times \Omega \rightarrow Z$, amelynek értéke a $z = z(\tau) \in Z$ *kezdeti állapotból* (ahol a $\tau \in T$ a *kezdet időpontja*) az $\omega \in \Omega$ input hatására a $t \in T$ időpontban bekövetkező $z(t) = \varphi(t; \tau, z, \omega) \in Z$ állapot;

4. adott az *output értékek* Y halmaza és az *output függvények* Γ halmaza, ahol $\Gamma = \{ \gamma : T \rightarrow Y \}$, valamint az $\eta : T \times Z \rightarrow Y$ *kiolvasó leképezés*, amely meghatározza az $y(t) = \eta(t, z(t))$ outputot.

Ezt a rendszerfogalmat a rendszertechnikában még ki kell egészítenünk a rendszer irányításának a fogalmával és a céllal, pontosabban — általában — a célokkal, hiszen a mérnöki tevékenység mindig bizonyos célok kitűzésére, ill. elérésére irányul.

Az irányításelmélet BELLMANTÓL származó alapelve szerint az *irányítási szabály* egy

$$k : T \times Z \rightarrow U$$

leképezés, amely a t időpontban a $z(t)$ állapothoz hozzárendeli az input

$$u(t) = k(t, z(t))$$

értékét, vagyis valamely pillanatban az input értéke csak az időponttól és az akkori állapottól függ. A rendszer többi paramétere a k függvény szerkezetében érvényesül. Ez egyben a *viszacsatolás* alapgondolata is.

Az *irányítás döntési problémája* a következő: egy adott $[0, T]$ időintervallumban az állapot folyamatát kifejező $z(t)$ irányított változó értékét úgy tervezzük módosítani az $x(t)$ irányítási változóval, hogy a pillanatnyi $q(t)$ eredmények összege, vagyis a célfüggvény, pontosabban funkcionál értéke optimális, tehát maximum vagy minimum, általánosabb esetben szupremum vagy infimum legyen. Ennek általános modellje:

$$\begin{aligned} z(0) &= a \\ \frac{dz(t)}{dt} &= f(z(t), x(t)) \quad 0 \leq t \leq T \\ x(t) \in I_x &= \{ x(t) : x_j(t)_{\min} \leq x_j(t) \leq x_j(t)_{\max} \} \\ & \quad j = 1, \dots, n \\ \int_0^T q(z(t), x(t), t) dt &\rightarrow \sup, \end{aligned}$$

ahol az $x(t)$ irányítási, vagyis döntési változó n -dimenziós vektor és a téglalakban rendezhető I_x függvényhalmaz egy intervallum. A dz/dt differenciál-

egyenlet a kiinduló állapot figyelembevételével az alábbi integrálegyenletben is leírható:

$$z(t) = z(0) + \int_0^t f(z(\tau), x(\tau)) d\tau.$$

A rendszertechnika feladataiban az $x(t)$ néha részben vagy teljesen az $u(t)$ inputtal azonos. A zárt hatásláncú, vagyis visszacsatolásos irányítás esetében alapjelként adott lehet a $w(t)$, a *kívánt állapot vektora*. Ekkor

$$x(t) = x(z, w, t).$$

Meg kell jegyezni, hogy a jelenség észlelésének és a beavatkozásnak az az elméleti egyidejűsége, amely az irányításnak ezekben az alapmodelljeiben megfigyelhető, elhanyagolja az irányítás folyamatában bekövetkező késleltetéseket, amelyeket konkrét esetekben külön be kell illeszteni a modellbe. Vagyis a késleltetés miatt

$$x(t) = x(z(t - \Delta), w(t - \Delta)),$$

és bonyolultabb esetben az irányítási változó még a folyamat közelmúltjának valamilyen kifejezésétől is függhet. Egyszerűbb struktúrájú zárt, dinamikus rendszerekben éppen a késleltetésnek hatását képes elemezni a differenciaegyenleteken alapuló és FORRESTER nevéhez fűződő *ipari dinamika*, amely mint minden rendszerszimuláció a kezdeti állapotból kiindulva az összes további állapotváltozás nyomonkövetésével határozza meg a rendszerre jellemző információkat.

Még tovább lépve elérkezünk a *tanuló rendszerek*, ill. a *tanulási folyamatok* fogalmához. Ezen azt értjük, hogy a nem teljesen ismert környezetben a rendszer maga szerzi meg működése közben a döntésekhez szükséges információkat és ezek felhasználásával javítja saját teljesítményét. Ehhez — a matematikai statisztika módszereinek a segítségével — meg kell oldani egy funkcionál ismeretlen mennyiségeinek becslési vagy szukcesszív approximálási problémáját, ahol a funkcionált a tervező (vagy maga a tanuló rendszer) választja meg a tanulmányozott folyamat reprezentálására.

Eddigi jelöléseinket alkalmazva a szukcesszív approximáció célja a várhatóan leghatékonyabb beavatkozás, az x^* meghatározása:

$$f(z, x^*) = \max_x \{f(z, x); x \in I_x\},$$

ahol az $f(z, x)$ pl. a beavatkozás hatékonyságának a várható értéke, vagyis

$$f(z, x) = E [q | z, x] = \int_{-\infty}^{+\infty} qp(q | z, x) dq.$$

3. A rendszertechnika főbb vonásai

A mérnöki munka végső soron és alapvetően a műszaki alkotások, vagyis szerszámok, készülékek, műszerek, berendezések, gépek, járművek, robotok, erőművek, műtárgyak, építmények, közlekedési pályák, települések, ipari létesítmények, irányítási rendszerek, információrendszerek, számítástechnikai hálózatok, távközlési hálózatok és hasonlók létrehozására irányul. Ezek a dolgok, objektumok (pl. németül: Sachsysteme) képezik a rendszertechnikai rendszerek egyik osztályát. Azt is mondhatjuk, hogy ez a rendszertechnika tárgya. Azonban a műszaki alkotások komplex szervezetek keretei között, ún. cselekvési rendszerekben (pl. németül: Handlungssysteme) jönnek létre, ezek képezik a rendszertechnika második rendszerosztályát, más szóval alanyát. A mérnököknek egy jelentős része ez utóbbival van elfoglalva.

A rendszertechnika irányait, vizsgálódási területeit a következő két nagy osztályba is összefoglalhatjuk

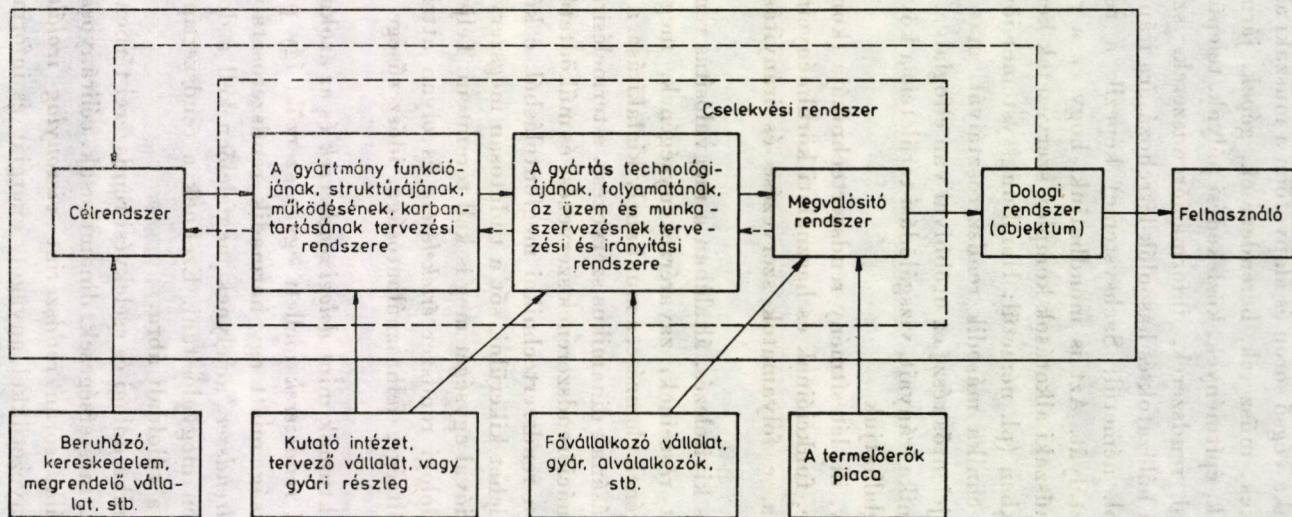
I. a gyártmány, ill. létesítmény rendszertechnikája (komplex tervezése, értékelése, fejlesztése, funkcióinak és használati körülményeinek elemzése, új megoldások kutatása, e folyamatok szervezése és irányítása, informatikai bázisa stb.);

II. a gyártás és kivitelezés, általában a megvalósítás rendszertechnikája (a termelő folyamat részeinek, zavarérzékenységének, megbízhatóságának, ráfordítás-igényességének elemzése, a munkahely kialakítása, a termelőrendszer anyagi-műszaki ellátásának dinamikus szervezése, a termelésirányítás, a tervezés és irányítás információrendszerének szervezése és működtetése és hasonlók).

Azonban, éppen rendszertechnikai megfontolásból, e két ág dinamikus kölcsönhatását nem lehet kikerülni, sőt a tudatosan megszervezett kommunikációval és kooperációval egységét meg is kell teremteni. Teljesen nyilvánvaló ez akkor, amikor a dologi rendszer *értékelésére* és olyan attribútumaira gondolunk, mint pl. költsége, felhasználhatósága, időszerűsége vagy értékesíthetősége.

A műszaki objektumok mint *dologi rendszerek* és az azokat létrehozó vagy működtető *cselekvési rendszerek* mellett egyes szerzők, így pl. РОПОHL, fontossága és bonyolultság miatt egy harmadik rendszerosztályt is megkülönböztetnek és ez a *célrendszer*, amelynek megfelelően kell a dologi rendszert a cselekvési rendszerben megvalósítani. Ezeknek a rendszertípusoknak a kapcsolódásait mutatja a túloldali ábra.

A rendszertechnika dologi és cselekvési rendszerei térben és időben léteznek, tehát konkrétak, mesterségesek, dinamikusak, célirányosak és alapvetően nyíltak, de a vizsgálat során rendszerint *viszonylag izolált* rendszereknek tekintjük őket. Környezetükkel anyagot, energiát és információt cserélnek. Így input-, output- és állapotattribútumaik jellegzetes kategóriái az anyag, az energia, az információ, a tér és az idő. Ezeken kívül a cselekvési rendszerek

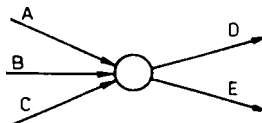


A rendszerteknika rendszertípusainak kapcsolódási vázlatja

inputkategóriái még a munkaerő, a pénz és az állóeszközök (amelyek szintén dologi rendszerek), outputkategóriái közé pedig odatartozik az új dologi rendszer (a termék) vagy valamilyen teljesítmény (szolgáltatás). Konkrét esetben a cél szempontjából lényeges input, állapot és output attribútumokat és függvénykapcsolataikat kell kiemelni, minőségi és mennyiségi specifikációkkal pontosítani.

A *rendszerelemzés* dolga, hogy a probléma és a rendszercélok ismeretében (vagy meghatározásuk után) a rendszert és környezetét elhatárolja, ehhez vizsgálja meg a felhasználó követelményeit és körülményeit, mérlegelje a korlátozó feltételek hatását, majd elemezze a rendszer funkcióit és a hozzájuk tartozó attribútumokat. A cselekvési rendszerek elemzésekor a funkcióelemzés az elvégzendő részfeladatoknak, tevékenységeknek, azok inputjainak, outputjainak és kapcsolódásaiuknak felismerését, felsorolását jelenti. Hasznos segéd-eszközök ebben a folyamatábrák, kapcsolódási vázlatok és a tevékenységi hálók. Az operációkutató hálóknak a funkciók, részfolyamatok, tevékenységek kapcsolódásai logikai műveletekkel* modellezhetők. A jól ismert PERT, CPM és egyéb tevékenységélű munkaszervezési hálóknak például az egy csomópontban befutó (pl. *A*, *B*, *C*) és abból kiinduló (pl. *D*, *E*) élek ábrarészlete azt jelenti, hogy

$$(A \wedge B \wedge C) \Leftarrow (D \wedge E),$$



vagyis csak az *A*, *B*, és *C* tevékenységek befejezése után kezdhető meg a *D* és *E*. De leírhatók más szituációk is, pl.

$$(A \vee B \vee C) \Leftarrow (D \wedge E)$$

(jelentése: ha az *A*, *B* és *C* részfolyamat közül legalább az egyik befejeződik, akkor a *D* és *E* részfolyamatot meg lehet kezdeni);

$$(A \vee B) \Leftarrow (D \neq E)$$

(jelentése: ha az *A* vagy *B* befejeződött, akkor a *D* és az *E* közül az egyik megkezdődhet).

Az ún. GERT** típusú, sztochasztikus hálószerkesztés többféle csomóponti szimbólum alkalmazásával már lehetővé teszi a különböző logikai

* A példákban alkalmazott logikai műveletek: \wedge : „és” művelet, logikai szorzás, konjunkció; \vee : megengedhető „vagy”, logikai összeadás, diszjunkció; \neq „vagy *a*, vagy *b*” művelet, kizáró „vagy”, tagadott ekvivalencia; \Leftarrow : az implikáció („ha *a*, akkor *b*”) fordított irányú jelével itt logikai relációt, pontosabban lehetőséget fejezünk ki. „*b* csak akkor lehet igaz, ha *a* igaz”, vagyis a bal oldal igazságának meg kell előznie a jobb oldal igazságát. Ez tehát itt *megelőzési relációt*, sorrendiséget jelent.

** Graphical Evaluation and Review Technique.

kapcsolódásokat, sőt a hálón belüli visszacsatolásokat, korlátokat, így a matematikai kifejezések változói közötti összefüggések ábrázolását is.

A rendszerelemzés körébe tartozik még a rendszer tényleges jellemzőinek, vagyis használhatósági mutatóinak kialakítása, a használható alternatívák leírása és a struktúra részleteire is kiterjedő értékelése.

Az elemzést követő *rendszertervezés* legfontosabb feladata, hogy a funkciók, így az attribútumok és függvénykapcsolataik ismeretében azonosítsa az alrendszereket és relációikat. A relációk között különösen fontosak a kapcsolatok, csatlakozások, amikor az egyik alrendszer outputja egyidejűleg inputja egy másik alrendszernek, de lényeges szerepet játszanak a térbeli és időbeli viszonyok is. A rendszertervezésnek különösen nagy a jelentősége a dologi rendszerek megalkotásában.

A rendszerkutatás és -tervezés két útja a kívülről befelé haladás (angolul: *giant-step-approach*), vagy a részekből való kiindulás (*piecemeal-approach*). Az utóbbi esetben pl. egy gyártórendszer kialakításának kiindulópontját az egyedi szerszámgépek adottságai képezik, majd lépésenként, kiegészítő illesztési szabályok segítségével haladnak a gyártórendszer felé. A kívülről befelé haladás esetében viszont a rendszertervezés elsőrendű tárgya a magasabb rangú rendszer struktúrája és abból vezeti le az alrendszerek szükséges specifikációit. Ehhez hozták létre a jól bevált *építőköckaelvet*. A mai rendszertechnikának egyik figyelemre méltó törekvése az, hogy az építőköckaelv segítségével a dologi rendszert *dinamikus struktúrájúvá*, flexibilissé alakítsa ki.

Bonyolultabb rendszerek esetében a többszörös visszacsatolású tervezésre a *rendszer-szimuláció* kínál reális lehetőséget. De egyébként is megvan a jelentősége az operációkutatásnak ebben a fázisban is a preferált megoldások kiválasztásánál, a működési folyamat fenntartásának, irányításának tervezésénél.

A cselekvési rendszer már ember-gép rendszer vagy újabban találóbbr elnevezéssel társadalmi-műszaki rendszer. A rendszertechnika természetesen csak az olyan cselekvési rendszerekkel foglalkozik, amelyeknek feladata műszaki dologi rendszerek tervezése, megalkotása, bár néha tágabb értelmezésekkel is találkozunk. Előállításuk és felhasználásuk összefüggéseiben már a dologi rendszerek is cselekvési rendszerek alrendszereivé válnak. A rendszertechnika harmadik munkafázisát jelentő *üzemléstervezés*, vagyis az üzembehelyezés tervezése, a javíthatóság és karbantarthatóság elemzése, gondoskodás a meghibásodások közléséről és az alkatrészellátásról, hibakereső eljárások kidolgozása és hasonlók, újabb szóval az *orgware*, a dologi rendszert már a cselekvési rendszerbe illeszti be.

A cselekvési rendszerek a már említett tulajdonságaikon kívül erősebben függenek a véletlentől, ezért mindig sztochasztikusak és többé-kevésbé önirányítók és önszervezők is. A *műszaki* és a *természeti* környezet mellett a *társadalmi* és a *gazdasági* környezetnek itt fokozott jelentősége van.

A *rendszer-szervezés* nem a negyedik munkafázisa a rendszertechnikának, hanem a dologi rendszer teljes életpályájának folyamatára — a rendszerelemzésre, a tervezésre, a megvalósításra, a bevezetésre, a működtetésre, a fenntartásra, a módosításra stb. — kiterjedő és a cselekvési rendszerben megvalósuló szervező, irányító tevékenység. A rendszer-szervezés leggazdagabb területe a *termelésirányítás*. Ide tartozik a „project-management” fogalma is. Mindez jellegzetes tevékenysége az „industrial engineering”-nek vagy nálunk, a szocialista országokban a szervező és a gazdasági mérnöki szakmáknak.

Külön kell szólni a *célokról*, a rendszertechnika irányítási jeleiről, támpontjairól, amelyeket mindig bizonyos — általában véges — időhorizonton értelmezünk és figyelembe vesszük időállandóságukat, időfüggőségüket is. Itt meg kell különböztetnünk a rendszerrel szemben támasztott külső követelményeket, elvárásokat, előírásokat mint környezeti adottságokat, ezek keretei között a rendszer által pontosított vagy a maga számára kialakított célokat és esetleg az ezek közül kiemelt *optimum-kritériumot*, az operációkutatás cél-függvényét.

A rendszertechnikai munkában, a tervezésben, irányításban, rendszer-optimalásban konkrét esetben különböző, részben egymással kölcsönhatásban álló célokat kell érvényesíteni. Ezek rendezett halmazát szokták *célrendszernek* nevezni, amely az előzőekkel ellentétben absztrakt rendszer, de szintén mesterséges és dinamikus is, hiszen a cél- és az eszköz-, valamint a környezetelemzés előrehaladtával terjedelmében és tartalmában újra és újra változik. A célrendszernek szintén van saját környezete, amely az e célrendszeren kívül maradt célokat tartalmazza. A célrendszer egyes tételei elvárt tárgyi tulajdonságokat írnak le és ahhoz követelményt rendelnek. A célelemzés feladata az is, hogy a célok közötti hierarchiát feltárja. Amint a célhierarchiában lefelé haladunk, a kívánt dologi viselkedésnek mindig pontosabb leírásához jutunk. A legalsóbb rangú célrendszerek egyes tételei már az operatív irányítás mérhető támpontjai. A *célérték* lehet kvalitatív vagy kvantitatív, diszkrét vagy bizonyos tartományban folytonos. A követelmény a célértéknek alsó és felső korlátot szabhat.

A rendszertechnika négy környezettípusának megfelelően osztályozva a célokat beszélhetünk *műszaki* célokról, *gazdasági* célokról, *társadalmi* és *ökológiai* célokról. A célnak mint szónak itt nagyon általános jelentése van, lehet norma, valamilyen számérték alsó, ill. felső korlátja, a tárgy vagy a folyamat jellegzetes tulajdonsága, leírással alátámasztott követelmény stb. A műszaki tervezésben és irányításban oly gyakran hiányolt *ökonómiai* szemlélet érvényesítése helyesen, a többi célosztállyal összehangoltan a rendszertechnika keretei között valósulhat meg. Az egyoldalú ökonómiai szemléletnek megvan az a veszélye, hogy az árak objektivitását túlbecsüli és figyelmen kívül hagyja, hogy gyakran a legfontosabb társadalmi és emberi célokat nem lehet pénzben kifejezni. Azonkívül a gazdasági optimum mindig nagyon érzékeny a vizsgált rendszer elhatárolására. Az olyan — kétségkívül igen fontos — gazdasági célok,

mint a költségminimálás, a nyereségmaximálás, a forgalommaximálás és hasonló a teljes célhierarchiában rendszerint nem a legmagasabb rangú alcélok. De ha a magasabb rangúak követelményeit alsó, ill. felső korláttal már előírtuk, akkor az alrendszerek tervezendő, releváns attribútumait, operációit joggal optimalhatjuk ilyen optimumkritériumok szerint.

A célrendszeren belül különböző relációk lehetségesek. Ezek közül a legfontosabbak a következő struktúrátípusokat hozzák létre:

- indifferens célok,
- egymásnak ellentmondó, konkurráló célok,
- egymást kiegészítő vagy erősítő célok,
- és a sorrendiség, vagyis a preferencia-relációk.

A *legjobb megoldás matematikai meghatározása* akkor jöhet szóba, ha a lehetséges megoldások halmazának számossága igen nagy, pontjainak felsorolása és értékelése gyakorlatilag nem is kivihető, de ez a halmaz matematikai feltételrendszerrel leírható, és a cél, vagyis a halmaz pontjainak (a lehetséges megoldásvektoroknak) értékelése egy függvényben kifejezhető. A feltételes szélsőérték egzakt meghatározásának lehetősége vagy megközelítésének módja ezután már elsősorban a feltételrendszer és a célfüggvény struktúrájától függ.

Az optimális (matematikai) programozás absztrakt megfogalmazása:

$$\text{opt } Q(\mathbf{x}), \quad \mathbf{x} \in L \subseteq R^n,$$

vagyis itt egy n dimenziós L konvex tartományon értelmezett egyetlen Q célfüggvénynek a globális szélsőértékét (maximumát vagy minimumát) és azzal együtt szélsőérték helyét, az ún. optimális megoldást kell meghatározunk. Az \mathbf{x} vektor komponensei az egyes tevékenységekre, a tervezendő attribútumokra vonatkozó döntési, ill. irányítási változók, amelyeknek számértékei a kívánt tevékenységi szintet mutatják. A kiemelt céltétel, vagyis az optimumkritérium kivételével az összes többi cél most követelményként az L konvex tartomány leírásában vesz részt. Azonban a célrendszer minden egyes céltételéhez nem mindig tudunk előre adott számértékkel követelményt rendelni, különösen nem akkor, amikor azok között egymásnak ellentmondó célok is vannak és a követelmények megadásával a feltételrendszer könnyen ellentmondásossá válhat.

Ha viszont a célrendszer tételei, köztük az egymásnak ellentmondó célok összefoglalhatók egy *vektorcélfüggvényben*, akkor a célérték egy skalár helyett egy vektor, és a szélsőérték hely nem az optimális megoldás, hanem az ún. *efficiens megoldáshalmaz*. Ilyenkor a célrendszer elemzése, a követelmények összehangolása a *többcélú programozással* válik lehetségessé.

A többcélú programozás absztrakt megfogalmazása (maximumfeladat esetében):

$$v\text{-max } \mathbf{q}(\mathbf{x}), \quad \mathbf{x} \in L \subseteq R^n,$$

ahol $\mathbf{q}(\mathbf{x}) = (Q_1(\mathbf{x}), Q_2(\mathbf{x}), \dots, Q_k(\mathbf{x}))$ a vektorértékű célfüggvény, más szóval célvektor.

Tehát keressük a \mathbf{q} vektor maximumát, elterjedt elnevezéssel *Pareto-maximumát* az L halmaz felett. A $\mathbf{q}(\mathbf{x})$ egy vektorértékű célfüggvény és az L a lehetséges \mathbf{x} megoldások konvex halmaza. A feladat a Pareto-optimális pontoknak, ill. az E efficiens halmaznak a meghatározása. Ez a *vektormaximum-probléma*, amelynek alap gondolata az, hogy egy $\mathbf{x}^0 \in E \subset L$ pont akkor Pareto-optimális (efficiens), ha nincs olyan $\mathbf{x} \in L$ pont, amelyben

$$\mathbf{q}(\mathbf{x}) \geq \mathbf{q}(\mathbf{x}^0), \quad \mathbf{q}(\mathbf{x}) \neq \mathbf{q}(\mathbf{x}^0),$$

vagyis bármely összetevő célérték már csak úgy lenne növelhető, ha azáltal legalább egy másik célérték csökkenne. Ilyenkor az irányításnak az a feladata, hogy az irányított tevékenységi szinteket az E halmazban tartsa.

Azonban a *különböző célok kielégítésének* összehangolásában az optimális programozás is sokat segíthet, ha a kérdéses, ellentmondó követelményeket szisztematikusan, egyenként kiemelt céltételként vizsgáljuk, majd ennek alapján egy korláttal visszahelyezzük a feltételrendszerbe és a következőre térünk át. A követelmények elemzése még alaposabbá tehető a megoldások érzékenységének vizsgálatával és a parametrikus programozással.

Sztochasztikus döntési-irányítási szituációkban az optimális stratégiát, ill. a lehetséges stratégiák efficiens halmazát, vagyis egy esetleges, alkalmazkodóképes döntési tervet kell kidolgozni.

Az operációkutatás előre kidolgozott modelljei és algoritmusai önmagukban a levegőben lógnak. Gyakorlati sikerük nagyrészt azon múlik, hogy jól ismerjük-e a tényleges problémát, meg tudjuk-e ragadni releváns attribútumait és relációit egy alkalmas és használható modellben anélkül, hogy az absztrakció károsan torzítaná a vizsgált valóságot, és hogy jól ismerjük-e a modellnek és az azt kezelő módszernek a képességbeli korlátait, de azt a tervezési és irányítási rendszert is, amelyben a modellt felhasználjuk. Ugyanis a mi esetünkben a legtöbbször nagyon fontos kérdés, hogy a rendszer ritmusával összehangoltan, a változásokat figyelembe véve dinamikusan tudjuk-e az operációkutatás modelljét működtetni, vagyis szervesen be tudjuk-e illeszteni a modellt az irányítási rendszerbe úgy, amint egy számítógépi szubrutint a főprogramba illesztünk. Természetesen az egészen kis méretű feladatokról eltekintve az irányítási vektor rendszeres újraszámításához, ill. a dinamikus tervezéshez közvetlenül hozzáférésű, párbeszédéses üzemmódban használható számítógépre van szükség.

Az optimumszámítási modellekben gyakran célszerű egy egyetlen optimum helyett a „mi lesz akkor, ha” kérdésekre választ keresni, vagyis azok az elemzés fázisában is jól használhatók. Az egzakt módszerek elméleti és gyakorlati korlátai miatt pedig gyakran heurisztikus algoritmusok kifejlesztésével kell a problémát megközelítenünk.

A tényleges rendszer vizsgált viselkedésének valósághű megragadására, absztrakt rendszerbe történő leképezésére gyakran egy olyan folyamatábraszerű, számítógépi *algoritmikus modell* megszerkesztése a legcélszerűbb, amely lehetővé teszi a kezdeti állapotból kiindulva a valóság eseményeinek, vagyis az összes további állapotváltozásnak a megfelelő pontosságú nyomonkövetését. (Az ilyen numerikus eljárást nevezik *rendszer-szimulációnak*.) Bonyolultabb esetekben az adekvát absztrakt rendszer számítógépi modelljét *tanuló algoritmusok* segítségével próbálhatjuk meg kifejleszteni. *De nagyon sok gyakran ismétlődő esetben, döntési szituációban a jóval egyszerűbb (pl. grafikai) eszközök célravezetőbbek.*

Ha a megoldási alternatívák, pl. a műszaki objektum tervváltozatai vagy a cselekvési rendszer folyamatait irányító beavatkozás lehetőségei ismertek és felsorolhatók, akkor a *többcélú*, más szóval a többdimenziójú *értékelés* (vagyis a komplex hatékonyságelemzés) a különböző minősítési, ill. értékmérő skálájú céltételek súlyozott összegeként kapott szintetizált célértékek összehasonlításával végezhető el. A különböző skálán mért célértékek súlyozásában a szubjektív megítélés a céltételek érzékenységvizsgálatával és a delphi-módszerrel (vagyis a szakértői vélemények módszeres szintézisével) ellensúlyozható.

Mi hát a rendszertechika? Összefoglalóan erre a kérdésre ma a következő választ adhatjuk:

A rendszertechika mint elmélet kiterjed az összetettebb műszaki tárgyi és megvalósítási rendszerek, valamint a műszaki létesítményeken, alkotásokon, ill. folyamatokon alapuló *nagy* (termelési, szolgáltatási, környezeti, irányítási) *rendszerek* funkciói, struktúrája, dinamikája, értékelési szempontjai előretekintő elemzésének, tervezésének, működtetésének és rendszerszervezésének (ezen belül a vállalkozás szervezésének-irányításának és a termelésirányításnak) *összetartozó elméletére és diszciplínáira*. Mindebben érvényesíti a rendszerszemléletet és felhasználja a *kibernetika* problémamegközelítését, az *operációkutatás* módszertanát, a szervezéselméletet, az informatikát, a műszaki prognosztikát, a komplex értékelemzést és más tudományos elméleteket. Ilyen értelemben *műszaki rendszerelméletnek* is szokták nevezni. Mint ennek az elméletnek *gyakorlati alkalmazása*, az anyagi tevékenységet megelőző, kísérő és követő szellemi folyamatként, a rendszertechika — az ökológiai-műszaki és társadalmi-műszaki összefüggéseket szem előtt tartva — modellekkel, módszerekkel és szervezeti formákkal segíti az ilyen rendszerek tervezését, megalkotását, üzemeltetését, fejlesztését vagy legalábbis az elért körülmények és tulajdonságok fenntartását. Törekvéseiben különös hangsúlyt kap az idővel való jobb gazdálkodás. Elterjedésében az egyes gyártmányoktól a bonyolultabb objektumokon keresztül az egyre komplexebb létesítmények és gyártórendszerek, a sok ember-gép alrendszerből összefonódó társadalmi-műszaki rendszerek felé haladás a jellemző.

IRODALOM

1. AFANASZJEV, V. G.: Irányítás, képzés. A tudományos-technikai forradalom; Kossuth Kiadó, Budapest, 1973
2. BELLMANN, R.—KALABA, R.: Dynamic Programming and Modern Control Theory, Academic Press, New York 1965
3. BUSZLENKO, N. P.: Bonyolult rendszerek szimulációja; Műszaki Kiadó, Budapest, 1972
4. CHESTNUT, H.: Systems Engineering Methods; John Wiley, New York, 1967
5. CLELAND, D. I.—KING, W. R.: Systems Analysis and Project Management; McGraw-Hill Book Company, New York, 1975 (1968)
6. CSÁKI F.: Bevezetés az automatikába; Akadémiai Kiadó, Budapest 1973
7. FORRESTER, J. W.: Industrial Dynamics; The M. I. T. Press, Massachusetts, 1961
8. HALL, A. D.: A Methodology for Systems Engineering; D. Van Nostrand Comp., Princeton 1962
9. JÁNDY G.: Műszaki-gazdasági rendszertechnika, Helyzetkép; *Műszaki Tudomány* 47, 1973
10. JÁNDY G.: A számítógépes termelésirányítás elméleti és módszertani bázisa; *Magyar Tudomány*, 1975. 2. sz.
11. JÁNDY G.: Rendszerelemzés és irányítás, Statisztikai Kiadó, V., Budapest 1975
12. JÁNDY G.: A termelés tervezésének és irányításának számítógépes rendszere; *Műszaki Tudomány* 51 (1976), 301—323
13. JÁNDY G.: A szervező szakmérnök képzés; *Felsőoktatási Szemle*, (1976) 151—155
14. KALMAN, R.—FALB, P.—ARBIB, M.: Topics in Mathematical System Theory, McGraw-Hill, New York 1969
15. KARGER, D. W.—MURDICK, R. G.: New Product Venture Management; Gordon and Breach, New York 1972
16. KREKÓ B.: Optimumszámítás, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest 1972
17. MAYNARD, H. B. (editor): Industrial Engineering Handbook; McGraw-Hill, New York 1971
18. RINZA, P.: Projektmanagement, VDI, Düsseldorf 1976
19. ROPOHL, G.: Systemtechnik — Grundlagen und Anwendung; Carl Hanser Verlag, München, Wien 1975
20. SCSERDIN, N. I.: A gazdasági kibernetika alapjai, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest 1971
21. SZADOVSZKIJ, V. N.: Az általános rendszerelmélet alapjai; Statisztikai Kiadó V., Budapest 1976
22. VAMOS T.: Nagy ipari folyamatok irányítása. A számítógépes irányítás kezdő lépései. Akadémiai Kiadó, Budapest 1970
23. WHITEHOUSE, G. A.: Systems Analysis and Design Using Network Techniques; Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1973
24. ZADEH, L. A.—POLAK, E.: Rendszerelmélet, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1972
25. MTA Műszaki Tudományok Osztálya 1974. évi termelésirányítási ankétjának előadásai, MTESZ, Budapest, 1975 (sokszorosított kiadvány)
26. MTA Műszaki Tudományok Osztálya 1975. évi Számítógépes Rendszerszimuláció szimpózium előadásai, Budapest, 1975 (sokszorosított kiadvány)
27. Technische Prognosen in der Praxis, VDI-Verlag, Düsseldorf 1972

Systems Engineering. — The present paper deals with the circumstances for creating the systems engineering, the role of the concept of system, the cybernetics, the operation research and the general system theory, the main characteristics of systems engineering, its work phases and the types of systems (i.e. the system of object, the system of action and the system of goals).

Systemtechnik. — Die vorliegende Arbeit behandelt die Umstände des Zustandekommens der Systemtechnik, die einheimische Rolle des Begriffs System, der Kybernetik, der Operationsforschung und der allgemeinen Systemtheorie, die hauptsächlichsten Züge und Arbeitsphasen und Systemtypen der Systemtechnik (d. h. die Sach-, Handlungs- und Zielsysteme).