

2. TERMÉSZETTUDOMÁNYOS ÉS MŰSZAKI ALAPFOGALMAK

A termelési rendszerek és folyamatok minél általánosabb, ugyanakkor kellően szabatos tárgyalása nem nélkülözheti néhány alapfogalom meghatározását. Ilyen alapfogalmak például a *rendszer*, a *folyamat* és a *modell*, a *termelés* és a *gyártás*, de említhetnénk az *optimalizálás* fogalmát is. Ezek széles körben használatosak, a szakirodalomban általánosan elterjedtek, de nagyon kevés bevezető mű (tankönyv vagy monográfia) kísérli meg, hogy a lehetőség szerint pontos meghatározások felsorolása mellett a kulcsfogalmak kölcsönkapcsolatait, valamint a különböző megközelítési módok esetleges ellentmondásait is feltárja. Könyvünkben megkíséreljük a szakirodalomban található, tárgyunk szempontjából fontos fogalmak definícióit, körülírásait kritikailag elemezni és a legjobbnak vélt meghatározásokat közreadni, majd ezeket a tananyag felépítésében következetesen alkalmazni.

Tárgykerünk interdiszciplináris jellege indokoltá teszi, hogy először a *tudomány*, a *technika* és a *technológia* fogalmát határozzuk meg.

2.1. Tudomány és tudományos módszer

Az egyik ismert definíció szerint „*tudományon a természet, a társadalom és a gondolkodás objektív összefüggéseiről szerzett, igazolható ismeretek rendszerét értjük.*” Az Oxford Értelmező Szótár azt emeli ki, hogy a tudomány „szervezett tudás, amelyhez főként megfigyeléssel és a tények vizsgálatával juthatunk a fizikai világról, a természettörvényekről és a társadalomról ...”[214]. Más megfogalmazásban ez azt jelenti, hogy a tudomány *elsősorban* azokkal a dolgokkal foglalkozik, amelyek az öt érzékszervünkkel megfigyelhetők vagy megmérhetők. A tudomány ezért egy mindenkor törekvés arra, hogy folyamatosan összegyűjtsük és megmagyarázzuk a tényeket, amelyek a minket körülvevő Univerzumból származnak.

A történelmileg létrejött társadalmi tudatformák közül a következő specifikus kritériumok emelik ki a tudományokat [1]:

- (1) rendelkeznek olyan, nagyhorderejű fogalmakkal és logikai eszközökkel, amelyekkel széles, általános vagy egyetemes érvényű elveket, illetve törvényeket fogalmaznak meg;
- (2) rendelkeznek olyan gondolati eszközökkel és algoritmusokkal, amelyekkel az ismert törvények alapján, az új feltételek között lehetséges vagy várható eredmények tényszerűen előre láthatók, illetve megvalósíthatóan tervezhetők;

- (3) rendszerezetten írják le azokat az objektív feltételeket, amelyek között az elvek vagy törvények *igazoltn*, illetve *bizonyítottan** érvényesülnek.

E három kritérium alapján bármelyik tudományos problémát besorolhatjuk a megfelelő legáltalánosabb problémacsoport valamelyikébe. A csoportok a következők:

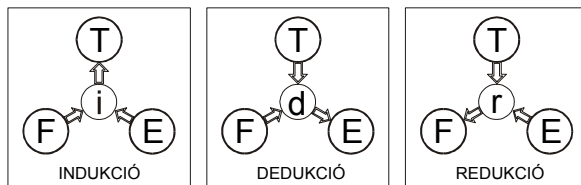
- (1) Ismeretesek a tárgyi feltételek, valamint a megvalósult eredmények és keressük az általános törvényt. Ez például a klasszikus kísérleti fizika feladattípusa. Korábban a törvények felfedezésének ezt az *induktív* útját a tudományos intuíció uralta. Ma ezt modellek módszeres szintézise váltja fel.
- (2) Ismeretesek az általános törvények, valamint a tárgyi feltételek és keressük a várható eredményt. Ez például az elméleti fizika tipikus feladata. A differenciál-egyenletek által megadott törvénynek a különböző kezdeti-, határ-, perem-, stb. feltételekre vonatkozó megoldását nevezik *dedukciónak*.
- (3) Ismeretesek az általános törvények, valamint a célul kitűzött eredmények és keressük azokat az objektív feltételeket, amelyek között a célok megvalósulhatnak. Az ilyen típusú feladatok a műszaki tudományokra jellemzőek. A megoldás azonban a természettörvények alapján már nem invertálható egyértelműen, vagyis ismeretlen (meghatározhatatlan) azon feltételrendszereknek (megoldásoknak) a száma, amelyek a törvény hatálya alá esnek és szolgáltatják a célul kitűzött eredményeket. Ilyenkor meg kell elégednünk néhány (gyakran egyetlen) megoldással, amelyhez heurisztikus úton jutunk el. Ezért szokás az ilyen megoldást *redukciónak* nevezni.

A tudomány néhány előfeltevésen alapszik. A tudós előre feltételez bizonyos dolgokat, amelyek nem igényelnek szigorú bizonyítást és a gyakorlati józan ész által beláthatók. Leggyakrabban a következő *öt* alapfeltevést sorolják fel: (1) A természet megérthető; létezik egy reális világ; (2) A természet egésze ugyanazoknak a törvényeknek van alávetve (egyöntetűség); (3) A mérhető dolgok alapul szolgálnak megfigyelhető hatásokhoz; (4) A legegyszerűbb magyarázat

* A *bizonyítás* szigorúbb fogalom, mint az *igazolás*. A *bizonyítás* kifejezést főként az egzakt tudományokban (leginkább a matematikában) használják, amikor egy tétel teljes körű, hiánytalan érvényességét, vagy valamilyen állítás lehetetlenségét szemléltetik meghatározott feltételek között, de a jogtudományok egyes területein (pl. a bünyügyi tudományokban) is a szaknyelv része. A természettudományok tételei tetszőleges véges sokszor igazolhatók tapasztalati úton, de zárt alakban nem bizonyíthatók; itt mindig valamilyen modellek közbeiktatása szükséges. (Megjegyzés: a természettudományokban inkább a *törvény* kifejezést használják a *tétel* helyett. Kivétel például a termodinamika, ahol a szakirodalomban egyértelműen az első és második *főtétel* szakkifejezés használatos a két legalapvetőbb természettörvény esetében).

valószínűleg a helyes [a "takarékoság elve", amely "Occam borotvája" néven is ismert]. Az elvnek megfelelően a tudományos közvélemény azokat a magyarázatokat, elméleteket részesíti előnyben, amelyek kevesebb önkényes feltételezést tartalmaznak; (5) Az ismeretlen megmagyarázható az ismert dolgok segítségével, analógiákon keresztül.

Albert Einstein hívta fel a figyelmet arra, hogy egy tudományos elmélet axiómái vagy alaptörvényei feltételezések, amelyek tapasztalatok vagy megfigyelések alapján nem vezethetők le és induktív úton sem tárhatók fel. Szerinte a tudományos elméletnek olyannak kell lennie, hogy kísérletileg ellenőrizhető tételre lehessen belőle levezetni és ebben rejlik az értéke. A természettudomány például *három* emberi tevékenység magas szintű és összehangolt művelését követeli meg, ezek: (1) feltalálás és feltételezés, (2) megfigyelés és kísérlet, (3) logikai-matematikai következtetés.



1. ábra: Az elemi tudományos problémák alaptípusai és a nekik megfelelő megoldási módok (F = Feltételek; E = Eredmények; T = Törvény; i, d, r = induktív, deduktív, ill. reduktív következtetés-sorozat)

A tudományokat célszerűen különféle kategóriákba sorolják. Az egyik leggyakoribb osztályozási mód szerint megkülönböztetnek: (1) élettelen-természettudományokat, (2) élőtermészettudományokat és (3) társadalomtudományokat. Ebben az osztályozási módban kifogásolható, hogy a műszaki tudományokat – hallgatólagosan – az élettelen-természettudományokhoz sorolják, holott a műszaki tudományoknak saját specifikumaik is vannak. Közülük a legnyilvánvalóbb az, hogy *közvetlenül* társadalmilag hasznos cél elérésére irányulnak; az élettelen-természettudományoknál a közvetlen hasznosíthatóság nem kritérium. Ezért az utóbbi időben a magyar tudományos fórumok – helyesen – az „élettelen-természettudományok és műszaki tudományok” elnevezést használják a fenti (1) kategória helyett. Az angol anyanyelvű országokban némileg eltérő kategorizálás szokásos. Például: (a) *formális tudományok* (matematika, logika, informatika); (b) *természettudományok* (fizika, biológia, pszichológia, stb.); (c) *társadalomtudományok* (szociológia, politológia, gazdaságtudományok, stb.).

A tudományosság kritériumaival a *tudományelmélet* foglalkozik. A tudományosság kérdése jelentősen eltér a természettudományok és a

társadalomtudományok esetében. A legszigorúbb tudományossági kritériumok a matematikában, illetve a matematikát alkalmazó élettelen természettudományok területén használatosak.

A tudományos eredmények elérésére alkalmas elméleti és kísérleti megközelítési módokat és a hozzájuk kapcsolódó tevékenységeket összefoglalóan *tudományos módszerek* nevezzük.

A tudományos módszer tekintetében a természettudományok és a műszaki tudományok területén használt általános módszert tárgyaljuk részletesen, amely: (1) megfigyelhető; (2) modellezhető; (3) megismételhető; (4) reprodukálható és (5) tapasztalati úton, a gyakorlatban ellenőrizhető jelenségekkel, eseményekkel foglalkozik. A történelmi szemléletű tudományok esetében ez a módszer nem is értelmezhető, hiszen a múltbeli eseményeket nem lehet megfigyelni, megismételni, tapasztalati úton ellenőrizni.

A természettudományok és a műszaki tudományok területén alkalmazható tudományos módszer főbb lépései a következők [261]:

- (1) **Megfigyelés.** A tudósok egyetértenek abban, hogy a tudományos gondolkodás elsődleges bázisa a megfigyelés. Természetesen, ez behatárolja a tudományos területet; amit nem lehet megfigyelni, az tudományosan nem vizsgálható.
- (2) **A probléma meghatározása.** A tudós felismer egy problémát, amely megfigyelésen alapszik, majd azt oly módon fogalmazza meg, hogy kiindulásul szolgáljon a további kutatásokhoz.
- (3) **Hipotézis vagy elmélet felállítása.** A megoldás valószínűsíthető irányát a tudós *hipotézis* – vagy szélesebb, nagyobb problémakör esetén *elmélet* – segítségével jelöli ki. Egy hipotézis csak akkor tekinthető tudományosnak, ha a tapasztalat által ellenőrizhető. Azt a hipotézist vagy elméletet, amely – legalábbis elvben – nem vethető alá tapasztalati megfigyeléseknek és kísérleteknek (tudományos szakkifejezéssel élve: nem falszifikálható), a tudományos világ nem fogadja el. *Karl Popper*, neves tudománytörténész nem az igazolhatóságot, hanem a megcáfolhatóságot javasolja kritériumként: „Egy empirikus tudományos rendszernek lehetővé kell tennie azt, hogy tapasztalatok alapján csődöt mondhasson” [225].

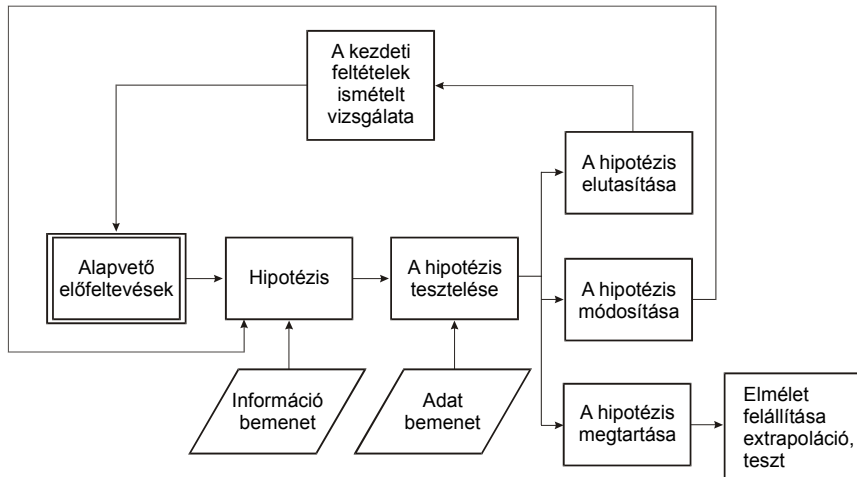
Ahhoz, hogy egy tudományos hipotézis vagy elmélet eljuthasson a gyakorlati ellenőrzés stádiumáig, tudományos *modellek* és hozzájuk rendelhető *megoldási módszerek* sokaságára lehet szükség. A tudomány valamilyen működő rendszer vizsgálatára vagy ilyen rendszer létrehozására irányul és ehhez modelleket kell megalkotnia. A modell a valóságos rendszer egyszerűsített, annak a vizsgálat szempontjából lényegi tulajdonságait kiemelő leképezése, amely elhanyagolja mindazokat a jellemzőket, amelyek a kitézött tudományos vizsgálat szempontjából nem meghatározóak. A

tudományos modelleket a szakirodalom sokféle módon osztályozza. Természettudományos szempontból a mennyiségi és formális logikai jellemzőkre felírható matematikai modellnek van a legnagyobb jelentősége. A megoldási módszerek a *matematikai modellek* esetében nagymértékben függetlenek a konkrét (alkalmazó) tudományterülettől és ma már elválaszthatatlanok a számítástechnikától.

- (4) **Előrejelzés a hipotézis vagy elmélet alapján (dedukció).** „A tudományos módszer szíve – írja *John N. Moore* professzor – a *probléma – hipotézis – ellenőrzés* folyamat [8]. Emellett a tudományos módszer szükségszerűen maga után von előrejelzéseket is. Ezeket az előrejelzéseket, amelyek hasznosak a tudományos módszertanban, alá kell vetni a tapasztalati ellenőrzésnek”. *Duane T. Gish*, amerikai biokémikus hozzáteszi: „... ahhoz, hogy egy elmélet tudományos elmélet rangjára emelkedjen, olyan eseményeknek, folyamatoknak vagy tulajdonságoknak kell azt támogatniuk, amelyek megfigyelhetők, továbbá az elméletnek hasznosnak kell lennie jövőbeli természeti jelenségek vagy laboratóriumi tapasztalatok előrejelzésében.” *Paul Weiß* felhívja a figyelmet a következőkre: „A deduktív logikát a tudósok széleskörűen felhasználják arra, hogy a hipotézisekből előrejelzésekhez jussanak ... A legtöbb tudós olymértékben hozzászokik a deduktív indokláshoz, hogy az olyan formális szerkezetek, mint 'ha ... akkor', szükségtelenek a kísérletek megtervezéséhez.”
- Fontos megemlíteni itt azt a tényt is, hogy a deduktív logika feltételez nagymennyiségű olyan tudományos eredményt, amelyhez korábban induktív úton jutottak el. Más szavakkal: miután egyes tudósok induktív okfejtéssel eljutottak a specifikustól az általánosig (vagyis az egyedi tényezőktől az általános kijelentésekig), másoknak meg kell fordítaniuk a vizsgálatot; deduktív indoklással el kell jutniuk az általánostól a specifikusig.
- (5) **Kísérleti-tapasztalati ellenőrzés.** A tudományos tevékenység szerves része olyan tények felkutatása, amelyek megfigyelhetők vagy szemléltethetők (ez utóbbi érvényes pl. a matematikára), továbbá olyan törvények megkeresése, felismerése, amelyek a felfedezés hiteles módszereivel szemléltethetők. A tudományos módszer lényegéhez tartozik a *megismételhetőség* és a *reprodukálhatóság* is. A kísérleti-tapasztalati reprodukálhatóság például azt jelenti, hogy azonos okok – bizonyos tűréshatáron belül – azonos hatásokat váltanak ki.
- (6) **Elmélet vagy törvény megfogalmazása.** Az elmélet egy széleskörűen megalapozott és elfogadott hipotézis, amelyet legalább néhány meggyőző tapasztalati bizonyíték támogat. Egy jó elméletnek ki kell elégítenie az alábbi kritériumokat: (a) Rendszeresen azonosítania kell különböző és szerteágazó megfigyelések összefüggéseit; (b) Előre kell jeleznie jövőbeli

következményeket; (c) Módosíthatónak kell lennie; (d) Felhasználhatónak kell lennie arra, hogy kapcsolódó kutatási területeken új irányokban a továbblépés bázisa legyen, végül (e) Nyitottnak kell lennie a cáfolatra, azaz falszifikálhatónak kell lennie. Ha birtokában vagyunk egy olyan elméletnek, amely mindezeknek a kritériumoknak megfelel, *jó* elméletünk van, amelynek gyakorlati hasznosíthatósága is garantált. Ide kívánczok a híres fizikus, *Ludwig Boltzmann* szállóigévé vált mondása: „Nincs gyakorlatibb, mint egy jó elmélet.” Ami pedig a tudományos **törvény** fogalmát illeti, annak a természet aktuális (mindenkori) szabályszerűségeit kell megfelelő pontossággal visszatükröznie. Nincsenek ismert kivételek a tudományos törvények alól – egyébként nem lennének törvények (pl. a termodinamika törvényei, az oksági törvény, Newton törvényei).

A tudományos módszer működését szemlélteti a 2.2. ábra.



2.2. ábra: A tudományos módszer legfontosabb lépései a visszacsatolások feltüntetésével

2.2. Technológia és technika

A *technológia* kifejezés, mint ismert, a görög „tekhné” és „logosz” szavak egyesítéséből alakult ki, amelyek közül az elsőnek „mesterség”, a másodiknak „tan” a jelentése. Szó szerinti fordításban a technológia tehát a mesterségről (főként a *kézműves* mesterségről) szóló tant jelent.

A technológia fogalmát a mai nemzetközi szakirodalom *két*, egymástól lényegesen eltérő értelemben használja. Az angol anyanyelvű országokban a technológiának megfelelő *technology* kifejezést főként azoknak a módszereknek,

eljárásoknak az összefoglaló megjelölésére használják, amelyek a tudomány eredményeit célszerűen, hatékonyan és megbízhatóan gyakorlati alkalmazásra érett formába transzformálják, például fogyasztásra alkalmas, előírt minőségi követelményeket kielégítő termék tervszerű és sokszorozott előállítására irányulnak.

Ezt az értelmezést fogadja el *Pál Lénárd* is, amikor a technológiát tágabb értelemben a következőképpen határozza meg: „a technológia a társadalom szükségleteinek kielégítésére szolgáló anyagi javak előállításához, termeléséhez és sok esetben felhasználásához is szükséges ismeretek, módszerek, eljárások és eszközök egymásra épülő, szervezett rendszere, amely a tudomány eredményeit hasznosítva, állandó megújulásban van és visszahat magára a tudomány fejlődésére is” [215].

A technológia ebben az értelemben tehát módszertani jellegű, és fő feladata a tudomány eredményeinek a gyakorlatba való átültetése.

A másik szokásos értelmezés a technológiát a műszaki tudományok egyik fő ágának tekinti. Ennek a szemléletnek például a következő definíció feleltethető meg:

A technológia azoknak a gyártási erőforrásokban és eljárásokban meglévő feltételeknek gyakorlati elvek szerint rendszerezett tana, amelyek között a természeti törvények által meghatározott folyamatok társadalmi szempontból hasznos eredményre vezethetnek.

A definíció „feltételek rendszerezett tanáról” beszél, amely a *reduktív* típusú tudományok, így alapvetően a műszaki tudományok jellemzője. *Bálint Lajos* a technológia tartalmát a következőképpen adja meg:

„A technológia az ipari technikai tudományoknak az a része, amely a nyersanyagok sajátjaival, továbbá azoknak az elveknek, törvényszerűségeknek, eljárásoknak, eszközöknek és gépeknek ismertetésével foglalkozik, amelyek a nyersanyagok átalakításához, feldolgozásához szükségesek. Az anyagok feldolgozásának átalakításának természete szerint a technológia lehet mechanikai vagy kémiai. Ha a technológia a nyersanyagok gyári feldolgozására vonatkozik, *gyártástechnológiáról* beszélünk” [17]. Ez a definíció az alapja a *gépgyártástechnológia* kifejezés tartalmának is: a gépgyártástechnológia a műszaki tudományoknak az az ága, amely a gépek és alkatrészek előállításával foglalkozik. Tágabb értelemben ide soroljuk a *szereles* technológiáját is, továbbá mindazokat az eljárásokat, amelyek az egyes anyagok, félkész- vagy késztermékek alakjának, felületeinek vagy fizikai tulajdonságainak megváltoztatását eredményezik (pl. hőkezelés).

A technológia módszertani értelmezését tükrözi a *szoftvertechnológia* kifejezés, amely azoknak a módszereknek, eljárásoknak a mindenkori hardver- és szoftverkönyezeti színvonalát, fejlettségét tükröző összességét jelenti, amelyek

segítségével tervszerűen és hatékonyan lehet szoftvereket készíteni. Érdekes módon az *információtechnológia* szóösszetétel tartalmilag egyesíti a módszertani és a tudományos aspektust: az információ szerzésével/létrehozásával, tárolásával/ábrázolásával, feldolgozásával (átalakításával/értékelésével) és továbbításával kapcsolatos technikai eszközök/módszerek tudományát szokás információtechnológiának (Information Technology = IT) nevezni. Mivel az információtechnológia az információt nagymértékben és tartalmi vonatkozástól függetlenül, szakmasemlegesen kezeli, a módszertani oldal olyan erős, hogy az információval, mint sajátos értéket képviselő erőforrással való gazdálkodás gyakorlatát is az IT gyűjtőnévvel jelölik.

A különböző mérnöki tevékenységek számítógépes támogatására kifejlesztett alkalmazásokat az angol nyelvű szakirodalomban CAxx rendszernek nevezik, ahol a CA prefixum a Computer Aided (számítógéppel segített) kifejezés rövidítése, az xx helyére pedig az alkalmazást jellemző angol szó rövidítése kerül (pl. D = Design, E = Engineering, PP = Process Planning, M = Manufacturing). Érdekes megfigyelni, hogy az utóbbi években egyre elfogadottabbá válik CAxx-technológiákról beszélni, amikor is a megfelelő számítógépes módszertan értelemszerű behelyettesítéséről van szó.

A **technika** kifejezést – a technológiához hasonlóan – általában szintén két, eltérő értelemben használják. A technika szó egyik jelentése az elméleti alapon vagy gyakorlat útján elsajátítható készség, ügyesség, amely például valamely műalkotás kivitelezéséhez szükséges, vagy mondjuk, magasszintű sportteljesítmény tartós elérését teszi lehetővé. Teljesen jogos beszélni a differenciálszámítás technikájáról éppúgy, mint egy kiváló diszkoszvető technikájáról, vagy egy élvonalbeli labdarúgó technikájáról: mindegyik esetben készségről, ügyességről, gyakorlottságról van szó. A technika kifejezés másik, ugyancsak szokásos értelmezése jobban kapcsolódik a termelési rendszerekhez és folyamatokhoz: a technika jelenti mindazon eljárásoknak és szabályoknak, szellemi és tárgyi eszközöknek az összességét, amelyekkel gazdasági javakat hozunk létre. Szűkebb értelemben a gépekből, szerkezetekből, berendezésekből, illetve ezek meghatározott összességéből álló eszközrendszer is technikának szokás nevezni. Speciális szűkítéssel a hadászati és harcászati eszközök összességét *haditechnikának* nevezik. Bizonyos szóösszetételekben a technika további szűkítéssel vonatkozik speciális eszközökre (például: *rakétatechnika*).

2.3. Rendszer, folyamat, modell

A *rendszer* fogalma kitüntetett szerepet játszik a tudomány, a technika és a technológia legkülönbözőbb területein. Mindennapjaink társadalmi, gazdasági és politikai híreiben a "rendszer" kifejezést szintén rendkívül gyakran használják,

valamilyen jelzős szerkezettel korlátozva az önmagában túlságosan elvont eredeti fogalom hatókörét. Így például beszélhetünk kommunikációs rendszerekről, oktatási rendszerekről, politikai rendszerekről, fegyverrendszerekről, társadalombiztosítási rendszerekről, de osztályozási rendszerekről és filozófiai rendszerekről is. Ezek egy része fogalmi konstrukció, más részük fizikailag létező entitás*.

A szakirodalomban található nagyszámú meghatározás egyike sem lép fel a teljesség igényével, ellenkezőleg, inkább a meghatározás ideiglenes, tág és nyers jellegét hangsúlyozzák. Például *Russel L. Ackoff* a következő meghatározást adja: a rendszer "bármilyen - fogalmi vagy fizikai - entitás, amely egymástól függő részekből áll" [3]. Az Oxford Dictionary által javasolt meghatározások közül az alábbiakat emeljük ki.

A rendszer

- "dolgok vagy részek csoportja, amelyek egészként dolgoznak együtt";
- "elképzelések, elméletek, elvek halmaza, amelyek alapján valami megtehető" [213].

Egy további ismert definíció: a rendszer "egynemű vagy összetartozó dolgoknak, jelenségeknek bizonyos törvényszerűségeket mutató rendezett egésze" [186].

A modern termelési rendszerek és folyamatok analízise és szintézise szempontjából a *kibernetika* tudománya jelenti az egyik legkorábbi elméleti forrást [304]. Mint ismert, *Norbert Wiener* nyomán a "kibernetika" elnevezést használják világszerte az *irányítás és a kommunikáció* azon törvényszerűségeit kutató tudományterületek összefoglaló elnevezésére, amelyek egyformán érvényesek a gépekre, az élő szervezetekre, a gondolkodó emberre, sőt, az emberek gazdasági és egyéb szervezeteire is. A kibernetika volt az első, a hagyományos tudományágakat mintegy keresztbemetsző *interdiszciplína*, amely alkalmat nyújtott a különféle tudományágak közötti szerves kapcsolatok megteremtésére, és - legalábbis eredeti formájában - példát adott arra, hogyan lehet általános rendszerfogalmakat kifejleszteni a fizikában megkövetelt szigorúság normáitól való eltávolodás nélkül [231].

A kibernetika tágabb értelmezését, amely a kibernetikát minden rendszerközpontú, rendszerszemléletű irányzat gyűjtőfogalmaként, sőt, valamennyi modern interdiszciplináris kísérlet gyűjtőfogalmaként deklarálja, a szakemberek többsége nem fogadta el. Figyelemreméltó, hogy az USA-ban, *Norbert Wiener* hazájában terjedt el legkevésbé a "kibernetika" elnevezés, helyette az egyes szűkebb részterületeken például a *Bionics* (biológia+elektronika=bionika), *Artificial Intelligence*

* Entitás: megkülönböztethető ismertetőjegyekkel rendelkező, létező dolog, „lényeg”.

(mesterséges intelligencia), *Operations Research* (operációkutatás), *Management Science* (vezetéstudomány) elnevezéseket használták.

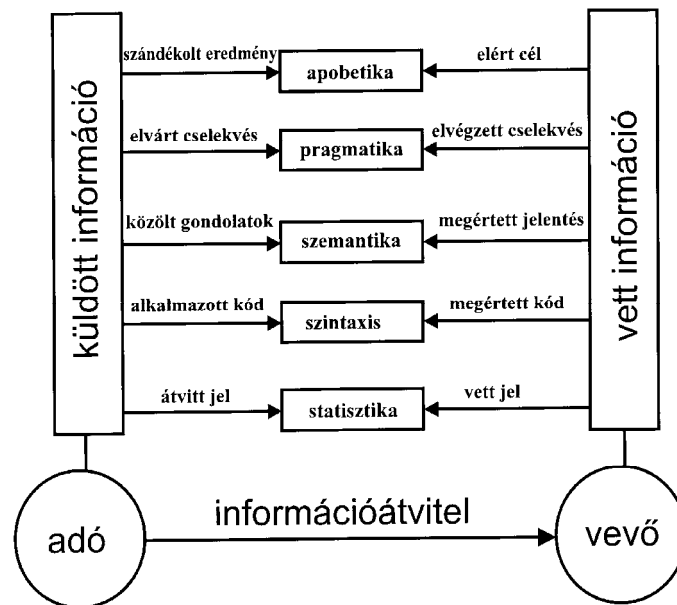
A kibernetika tudományos területvesztésében közrejátszó számos tényező közül *kettőt* érdemes kiemelni. Az *egyik* azzal függ össze, hogy a matematika befolyására, nagyjából a kibernetika létrejöttével párhuzamosan egy új kutatási irányzat jelent meg az USA-ban, az *általános rendszerelmélet* (General Systems Theory = GST). Az általános rendszerelmélet egy folyamatos kísérlet a matematika eszköztudományának támogatásával arra, hogy egységes alapra hozza a különböző tudományágakat. Ezt oly módon teszi, hogy a tudomány legkülönbözőbb területeinek elemei, egyes részei között olyan összefüggéseket keres, amelyek az egészszel, a *rendszerrel* hasonlíthatók össze. Csak struktúrákat vizsgál, vagyis azt a módot, ahogy a kölcsönkapcsolatban lévő elemek horizontálisan és vertikálisan egymáshoz rendeződnek, hogy egy adott célú rendezett egészet alkossanak [231]. A kibernetikával való átfedések nyilvánvalóak. A *másik* tényezőt az információ-feldolgozáshoz kapcsolódó tudományterületek differenciálódása, önmagukban is jelentős fejlődése, majd egy új, magasabb szintű integrációja, az *informatika* jelenti.

A CIM rendszerek elméleti háttere elválaszthatatlanul összefonódik az informatikával. Az *informatika* az információ rendszeres és automatikus - elsősorban számítógépek segítségével történő - gyűjtésével, tárolásával, feldolgozásával és továbbításával foglalkozó tudomány. Mint ismert, más tudományágak (matematika, logika, irányítástechnika, elektrotechnika, elektronika) részterületeiből fejlődött ki, a hatvanas évek óta tekintik önálló szakterületnek és a hetvenes évek közepe óta, a matematikához hasonlóan, *strukturális tudományként* az alaptudományok közé sorolják [33], [115]. Az informatikát sokan a kibernetika egyik "jogutódjának" tekintik, mégpedig főként két okból. Egyrészt azért, mert mindkét tudomány nélkülözhetetlen, közös alapfogalma az *információ*. Másrészt a hírközlélmélet, tágabban a kommunikáció elmélete, amely annakidején beolvadt a kibernetikába, ma - éppen a számítógépes hálózatok minden előzetes elképzelést meghaladó fejlődésének eredményeként - egyre inkább az informatikába integrálódik. Az informatika egyik átfogó prognózisa ennek jelentőségét méltatja: "A két óriás, a számítógépes és hírközlő technológia egyesítése korszakváltást jelent az emberiség történetében" - mondja *Michael Dertouzos*, az MIT professzora [63].

Az informatika tudományterületének körülhatárolását nehezíti, hogy az *információ* fogalma, jóllehet alapfogalomról van szó, rendkívül nehezen definiálható a szabotosság igényével. Az információval minduntalan szembetaláljuk magunkat, a technológiai és természeti rendszerekben egyaránt: a

számítógépes adatfeldolgozásban és kommunikációs rendszerekben, a szabályozás-technikában, a természetes nyelvekben, a biológiai kommunikációs rendszerekben és az élő sejtek információs folyamataiban. Nem túlzás azt állítani, hogy a tömeggel rendelkező *anyag* és az *energia* mellett a tudomány, a technika és a technológia harmadik egyetemes alapmennyiségének az *információt* kell tekintenünk.

Egy érdekes új megközelítés szerint az információ hierarchikus szerkezetű alapfogalom, amelynek öt szintjét célszerű megkülönböztetni. Ezek a szintek, alulról-felfelé haladva, a következők: (1) *statisztikai*, (2) *szintaktikai*, (3) *szemantikai*, (4) *pragmatikai* és (5) *apobetikai* szint (Werner Gitt [115]). A 2.3 ábra alapján bármely információra érvényes, hogy azt valaki elküldi (adó) másvalakinek (vevő). A legfelső szinten (apobetikai szint) az információ *céljáról*, ill. *eredményéről* van szó. Az alatta lévő, pragmatikai szint a *szándékolt*, ill. *elvégzett* cselekvéssel foglalkozik. Egy szinttel lejjebb az *elgondolt*, ill. *megértett* jelentésről van szó (szemantika). Az utolsó előtti szint (szintaxis) a gondolatok nyelvi *kódolásával*, ill. *dekódolásával* foglalkozik, a legalsó pedig az átvitel technikai részleteivel, minden azzal kapcsolatos *statisztikai* adattal. Mind az öt aspektusnak megvan a maga specifikus jellege mind az adónál, mind a vevőnél. Az egyes szintek egymást feltételezik. Az információ nem éri el a célját, ha az átvitel bármelyik szinten megszakad.



2.3 ábra: Az információ öt hierarchiai szintje (Werner Gitt nyomán [115])

Az elmondottak megerősíteni látszanak *Breuer*-nek - bizonyára szakmai elfogultságtól sem mentes - azon véleményét, hogy "az információs társadalom korában élünk, azonban az információáradat leküzdésére rendkívül nagy erőfeszítésekre van szükség. Az ezredfordulóra az informatika alkalmazása válhat a legfontosabb tudománnyá - de ez a fordulat talán már be is következett".

A *rendszerelmélet* (Systems Theory) kifejezést a szakirodalom az "általános rendszerelmélet" elnevezés helyett, azonos tartalommal, a praktikus rövideg kedvéért használja. A *rendszertechnika* (Systems Engineering) a rendszerelmélethez szorosan kapcsolódó diszciplína. Kapcsolatukat *G. F. Franklin* tömören és pontosan fogalmazza meg: "A rendszertechnika a rendszerek tervezésére szolgáló módszerek összessége. A rendszerelmélet a rendszertechnikát megalapozó, többé-kevésbé absztrakt törvényeknek és fogalmaknak együttese" [231].

A kibernetika és az általános rendszerelmélet elsősorban olyan rendszerek tudományos vizsgálatához szolgáltat elveket és módszereket, amelyek bonyolultak és különleges megközelítést (például horizontális és/vagy vertikális dekompozíciót, a feltételek és célok prioritásainak igen gondos mérlegelését) igényelnek. A CIM rendszerek, mint a későbbiekben látni fogjuk, kifejezetten ebbe a kategóriába sorolható, komplex rendszerek.

Johnson, Kast és *Rosenzweig* egy olyan meghatározást ad a rendszer fogalmára, amely tovább pontosítja a rendszerről eddig kialakult képünket. Szerintük a rendszer "szervezett vagy összetett egész: egy komplexumot vagy egységes egészet alkotó dolgok vagy részek együttese vagy kombinációja" [268]. A "szervezett" jelző itt arra utal, hogy a rendszerek egy részének létrehozásában az embernek, mint alkotónak, valamilyen szerepe van. Erdemes végiggondolni azt is, hogy a szervezett rendszerek bizonyos osztályait teljes mértékben az ember hozza létre. Ezeket *mesterséges* úton létrehozott rendszereknek tekinthetjük, amelyekhez egyfajta *homogenitás* társulhat, pl. abban az értelemben, hogy minden komponens emberi munka útján jön létre (példaként a különféle járművek, gépek, berendezések hozhatók fel). Ugyanakkor a szervezett rendszerek egy részében *maga* az ember is alrendszerként, komponensként működik. Tipikus példa erre az *iparvállalat*, amely *inhomogén* összetevőkből szervezett rendszer abban az értelemben, hogy személyek és eszközök integrálódnak benne.

A szervezett rendszerek lényegére utaló egyik klasszikus definíció *C. West Churchman*-tól származik: "A rendszer kitűzött célok elérésére koordinált elemek halmaza" [303]. A rendszerek tudományos vizsgálatában alkalmazott elméleti megközelítés módszereit összefoglalóan *rendszer szemléletnek* nevezik. Úgy tűnik, hogy ez a kifejezés hazai szakirodalmunkban visszavonhatatlanul elterjedt, jóllehet nem tükrözi igazán az eredeti angol kifejezés fokozatosságát és dinamizmusát (Systems Approach \equiv rendszer-megközelítés).

A rendszerszemlélet legfontosabb szempontjait C. West Churchman a következőkben foglalja össze:

- (1) Az egész (komplex) rendszer célja és részletesebben az egész rendszer működésének értékmérője;
- (2) a rendszer környezete: a meg nem változtatható korlátok;
- (3) a rendszer erőforrásai;
- (4) a rendszer alkotóelemei; tevékenységeik, céljaik, értékmérőik;
- (5) a rendszer vezetése (irányítása).

Mint ismert, a *hierarchia* valamilyen rendező elv(ek) szerint megszabott alá- és fölérendeltségi viszonyt fejez ki. Kézenfekvő, hogy a rendszerek hierarchikusan rendezhetők, vagyis kialakíthatók a rendszerek rendszerei és a rendszerek rendszereinek rendszerei. Hangsúlyozni kell, hogy a hierarchikus szemléletmód kifejezetten az emberi gondolkodás sajátos szellemi segédeszköze, s mint ilyen, teljes mértékben az emberhez kötődő, az emberi megismerést szolgálja.

Az ember például, célszerűen, a Világegyetemet égitestek rendszereként tekinti, amely óriási számú, csillagokból, bolygókól és más égitestekből álló alrendszert, galaktikát foglal magába. Naprendszerünk, sok más naprendszerrel együtt, egy ilyen galaktikának, a Tejútrendszernek része. Hasonlóan, egy élő szervezet egymástól kölcsönösen függő, ún. kooperatív alrendszerek rendszere, ahol minden alrendszer további al-(rész-) rendszerekre bontható. Az élő szervezet mikroorganizmusokból áll, amelyek nagyobb rendszerekké kapcsolódnak össze, ez utóbbiak viszont az organizmusnak mint egésznek az al-(rész-)rendszerei.

Fontos rámutatni, hogy a "rendszer" *rekurzív* fogalom abban az értelemben, hogy minden rendszer alrendszere (részrendszere, eleme) egy nálánál nagyobb rendszernek; a rendszer határait célszerűen az ember választja meg.

Néhány rendszerelméleti alapelv

A valóságnak minden, térben elhatárolt részét, anyagi struktúrájának néhány, a külvilággal fennálló - lényegesnek tekintett - viszonyával *konkrét rendszernek* nevezzük. A konkrét rendszernek és környezetének kölcsönhatását *fizikai mennyiségek* közvetítik, amelyek *információkat* hordoznak. A számunkra lényegtelen fizikai mennyiségektől elvonatkoztatunk. A konkrét rendszerek lényeges mennyiségei nem függetlenek egymástól; bizonyos összefüggések állnak fenn közöttük, amelyek az *időtől* és a *rendszer* előéletétől függhetnek. Ezek az összefüggések meghatározzák a konkrét rendszer viselkedését.

Azonos viselkedésű konkrét rendszerek, legalábbis időlegesen, hatásmódjukat tekintve kölcsönösen helyettesíthetők egymással. Ez elvezet az *absztrakt* rendszer fogalmához, egyben az azonos viselkedésű konkrét rendszerek osztályához. Absztrakt rendszernek tekinthető például az ún. *átviteli tag* (AT), amelynek valamennyi működési állapota meghatározza az x_i bemeneti mennyiségeknek az y_j kimeneti mennyiségekké történő feldolgozási módját. Ilyen átviteli tag az *automata*, amely *bemenő mennyiségeivel, kimenő mennyiségeivel és állapotparamétereivel* jellemezhető.

Csoportosan működő AT-k ún. bemeneti/kimeneti (input/output = I/O) hatásláncot alkotnak. Így jutunk el a *struktúra* fogalmához: struktúrán egyértelmű funkcionális összeköttetésekkel rendelkező átviteli tagok hálózatát értjük. Ha egy megállapodászerűen rögzített építőelem-készletből, mint részrendszerekből álló rendszer viselkedését a struktúrában összekapcsolt tagok viselkedéséből és az összekapcsolás módjából magyarázzuk meg, *struktúra analízisről* beszélünk. Ha viszont egy előírt viselkedésű rendszert adott építőelemkészlet átviteli tagjaival kell megvalósítani, *struktúra szintézisről* van szó.

Detzky igen tömör és didaktikus összefoglalót ad a korszerű termelési rendszerekben jól alkalmazható rendszerelméleti alapfogalmakról. Gondolatai ma is korszerűek, semmilyen módosítást nem igényelnek. Álláspontja a következő [67], [69].

Megkülönböztetjük a *valóságosan* (tárgyilag) létező rendszert és annak elvont, gondolati, fizikai vagy más tudományos *modelljét* (képét). Ettől is elválasztjuk a mennyiségi és formális logikai jellemzőkre felírható *matematikai modellt*. Ismét másnak tekintjük azt a logikai-matematikai tervezői gondolatsort, amely valamely anyagi rendszer vagy folyamat *megvalósítására* irányul. Ez is *rendszer*, ha a jól felépített fogalmak és algoritmikus kapcsolatok - mint gondolati eszközök - ismételten felhasználhatók. Ennek lényege azonban a gondolkodó emberi agy működési modellje és nem azé a tárgyé, amelyre a gondolkodás irányul. (Megjegyzés: ilyen jellegűek például a számítógépes tervezőrendszerek, amelyekről a későbbiekben részletesen lesz szó.).

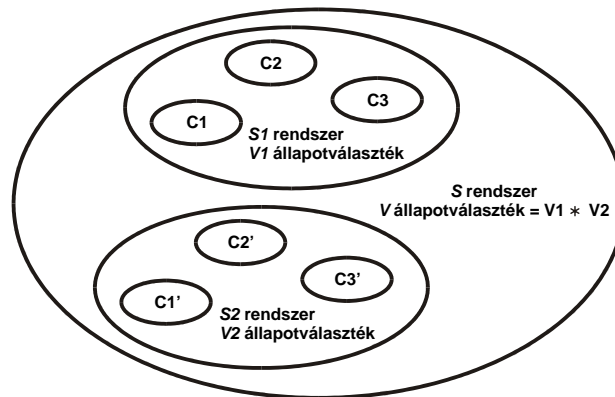
A felsorolt változatok közös jellemzője, hogy a rendszert valamilyen módon el lehet különíteni a *környezetétől*, amelyhez *kölcsönhatások* kapcsolják. Ha ilyen nincs, *elszigetelt rendszerről* van szó. A rendszer ugyanakkor maga is hatáskapcsolatban álló *részrendszerekből* áll. Ezek szintén felbonthatók további alkotókra. A részek egymásra épülését vagy alárendelési viszonyait nevezzük *hierarchiának*. Szűkebb értelmezés szerint a rendszernek egy adott hierarchikus szinten lévő, egymás melletti részeit és a köztük lévő kapcsolatokat nevezzük *struktúrának*. Bővebb értelmezés szerint a struktúra magában foglalja a hierarchia fogalmát is.

A rendszernek és részeinek vannak aritmetikai és formális logikai eszközökkel vizsgálható *tulajdonságai*. A tulajdonságok egy része az egész rendszernek *jellemzője*, vagyis változatlan. Szokás ezeket a rendszer *állandóinak* is nevezni. Más részük pedig változó és ezeket nevezzük *jelzőknek* vagy *határozóknak*. A jelzők (határozók) valamely együttesét nevezzük *állapotnak*. A rendszer és a környezet közötti kölcsönhatásokon vizsgálható jelzők a rendszer *külső állapotát* szabják meg. A rendszer részei közötti hatáskapcsolatokon a *belső állapotok* vizsgálhatók.

Az *állapotváltozásokat* a rendszer *lényegét* jelentő belső relációk szabják meg. Ezek törvényszerűen kapcsolják össze a rendszer részeinek jellemzőit és meghatározzák az egész rendszer viselkedését a külső hatásokra.

A *rendszer* fogalma matematikai értelemben bármilyen folyamathoz, így fizikai, gazdasági vagy társadalmi folyamatokhoz egyaránt használható. Ezért *bármely vállalat vagy annak alkotórészei* (gyár, üzem, műhely, stb.) *rendszernek tekinthetők*.

A rendszer komplexitása azoknak a különböző állapotoknak a *választékával* (változatosságával) modellezhető, amelyeket a rendszer képes sajátjaként elfogadni. Amikor több rendszer kombinálása útján jön létre új rendszer, állapotválasztékaik (vagyis komplexitásaik) nem összegeződnek, hanem *szorzódnak* (2.4. ábra) [295].



2.4. ábra: Rendszerek kombinálásával létrehozott új rendszer (S) állapotválasztéka. Az S1 rendszernek három komponense van: C1, C2 és C3, amelyek rendre a, b és c számú különböző állapotban lehetnek. Az S1 rendszer állapotválasztéka: $V1 = a * b * c$. Hasonlóan, ha az S2 rendszernek V2 állapotválasztéka van, a teljes rendszer állapotválasztéka: $V = V1 * V2$.

Egy adott rendszer irányításához szükség van egy másik rendszerrel való együttműködésre, amelynek szerepe az, hogy az eredmények vagy célok választéka tartósan a *lehetséges legkisebb* legyen. Például, ha a vizsgálandó rendszer egy autó és irányító rendszere a gépkocsivezető, a cél az, hogy a jármű és az úttest széle közötti távolság gyakorlatilag állandó legyen a teljes utazás során.

Az eredmények vagy célok választéka (V_0) nem lehet kisebb, mint

$$V_0 = \frac{V}{V_c}, \quad (2.4)$$

ahol: V - az irányítandó rendszer állapotválasztéka,
 V_c - az irányító rendszer állapotválasztéka.

Mivel az eredmények választéka *minimum* szinten van, ez csak akkor csökkenhet tovább, ha az irányító rendszer állapotválasztéka növekszik.

Ez a szükséges *állapotválaszték* (a nélkülözhetetlen komplexitás) törvénye, amely kimondja, hogy az irányítórendszer állapotválasztéka csak az irányítandó folyamat által megengedett mértékig csökkenhet és azt is, hogy csak komplexitás képes komplexitást lerombolni.

Ez az alapelv más megfogalmazásban úgy hangzik, hogy *egy rendszer szabályozása szigorúan megkövetel egy olyan irányító rendszert, amelynek komplexitása azonos vagy nagyobb, mint az irányítandó rendszeré.*

E törvény alapján könnyen belátható annak fontossága, hogy egy vállalat funkcióit azok integrálása előtt a lehetséges mértékig egyszerűsíteni kell még akkor is, ha olyan hatékony eszközök állnak rendelkezésre, mint amelyeket a legmodernebb informatikai infrastruktúra képes nyújtani. Ez a lépés lényegi előfeltétele a későbbiekben részletesen kifejtett CIM rendszerek bevezetésére irányuló projektek sikerének is.

A kibernetika általános rendszerfogalma lehetővé teszi, hogy a termelő vagy szolgáltató vállalatot egy olyan élőlényel hasonlítsuk össze, amely, hogy biztosítsa saját túlélését, kénytelen választ adni a következő kihívásra: "*Hogyan lehetünk versenyképesek a piacon a versenytársakkal szemben?*"

A technológia megújulásának egyre gyorsuló üteme, a szolgáltató-beszállító tevékenységek részarányának növekedése a termelési oldal rovására, a termeléssel és a szolgáltatással szemben támasztott minőségi igények fokozódása, a véges nyersanyag-készletek és a környezetrombolás okozta problémák begyűrzése a globalizálandó piacra arra ösztönzik a vállalatok vezetőit, hogy szélesítsék látókörüket és egyre megbízhatóbb információt szerezzenek mindazokról a

kényszerítő hatásokról, amelyek vállalatuk stratégiai és taktikai terveit befolyásolják. A végső célja minden vállalatnak az, hogy a legjobb teljesítményt érje el a rendelkezésre álló feltételek között a költségek, az időráfordítások, a keresletnek megfelelő minőség és rugalmasság szempontjából.

Közismert, hogy a világ legfejlettebb országainak menedzserei a versenyképesség legfontosabb tényezőinek a költségek csökkentését (mind közvetett, mind közvetlen összetevőket illetően), a kiváló minőségű termelést, illetve szolgáltatást, valamint az igények teljesítése iránt mutatott fokozódó érzékenységet (rugalmasságot, gyors és pontos reagálási képességet) tartják.

Az általános cél a jelenlegi világpiacon az egész termelő és szolgáltató iparra nézve az, hogy *jó minőségű terméket (szolgáltatást) nyújtson az éppen megfelelő időben.*

Folyamatok

A rendszerben bekövetkező állapotváltozások időbeli sorozatait folyamatoknak nevezzük. Az állandó sebességű folyamatokat statikusnak, a gyorsuló folyamatokat dinamikusnak mondjuk. A külső hatásokra bekövetkező folyamatokat reakcióknak nevezzük. Az állandósult reakció: stacioner, az átmeneti: tranziens. A determinisztikus relációkból meghatározott folyamatok, a sztochasztikus relációkból statisztikus folyamatok következnek.

Az állapotváltozásban mindaddig eltekinthetünk az időbeliségtől, amíg a rendszer *egyensúlyi állapotokban* van, vagyis elegendő egy átmenet *kezdeti és végállapotát* számbavenni. Az olyan rendszerekben, ahol az átmenetekben *megfordíthatatlan* (irreverzibilis) változások is vannak és dinamikus hatások is fellépnek, az időbeli változást is vizsgálnunk kell. Ilyenek a *termelési folyamatok* is.

A gépgyártás *anyagi folyamatainak* egyik lényegi vonása, hogy rendkívül nagy számú *diszkrét* mozzanatból, valamint azok még nagyobb számú és ráadásul állandóan változó kombinációiból tevődik össze. A CIM rendszerek megvalósított változataira szintén az ilyen jellegű diszkrét (diszkontinuus, szakaszos) folyamatok jellemzőek. A *folytonos* folyamatok (például kémiai, műanyag-technológiai, öntészeti folyamatok) kívül esnek a CIM hatókörén.

Modell, modellezés

A modellek az objektív valóság többé-kevésbé hű leképezéseinek tekinthetők. A *rendszermodell* a valóságos rendszer egyszerűsített, annak a vizsgálat szempontjából lényegi tulajdonságait kiemelő leképezése, amely elhanyagolja mindazokat a jellemzőket, amelyek a kitűzött tudományos vizsgálat szempontjából

nem meghatározóak. A rendszermodellhez hasonlóan, értelemszerűen *folyamatmodell* is megalkotható.

A tudományos igényű modelleket a szakirodalom többféle, egymással csak részben vagy egyáltalán nem kompatibilis módon osztályozza.

Az egyik megközelítés a modellezés folyamatából indul ki [55]. A *modellezés* a valóságos rendszer lényegi tulajdonságainak felismerését és azok valamilyen formájú leképezését jelenti, létrehozva az emberi tudatban az absztrakció eszközeivel az *absztrahált modellt*. Az absztrahált modell többnyire verbális megfogalmazású, esetleg grafikus vázlattal kiegészítve.

Ez a megközelítés az absztrahált modellt további három modellre javasolja leképezni, ezek: *homológ*, *analóg* és *matematikai modell*.

A *homológ modell* geometriailag hasonló az eredeti rendszerhez és benne ugyanolyan jelenség játszódik le. Mivel gyakran az anyagi hasonlóság (vagy azonosság) is fennáll, "kisminta" is készíthető. A homológ modellen végzett kísérletek eredményeinek az eredeti rendszerre való visszazármaztatását a *hasonlóságelmélet* kritériumai szigorúan szabályozzák. A homológia a hasonlóság legszorosabb esete, amikor ugyanaz a jelenség, geometriai szempontból hasonló rendszerekben, hasonló behatásra, de különböző paraméterértékek mellett megy végbe.

Az *analóg modell* esetében az eredeti rendszer és a modell között nem áll fenn geometriai hasonlóság, a fizikai jelenség sem azonos, mégis a benne lejátszódó folyamatokat azonos törvényszerűségek határozzák meg. Az analóg modell az eredeti rendszerhez viszonyítva hasonló behatásra hasonló módon válaszol (pl. hidraulikus jelenség villamos modellen való tanulmányozása, mechanikai rezgőkörök és villamos rezgőkörök analógiája).

A természettudományok és a műszaki tudományok szempontjából a mennyiségi és formális logikai jellemzőkre felírható *matematikai modellnek* van a legnagyobb jelentősége. A matematikai formulák ismert és ismeretlen mennyiségeket tartalmaznak és jól definiált feladat esetén az ismeretlen kimeneti mennyiségek meghatározhatók a matematikai összefüggések és az ismert bemeneti mennyiségek birtokában. A megoldási módszerek a matematikai modellek esetében nagymértékben függetlenek a konkrét (alkalmazó) tudományterülettől és ma már elválaszthatatlanok a számítástechnikától.

Fontos megjegyezni, hogy a homológ és analóg modellek megalkotása legtöbbször indirekt úton, a matematikai modellen keresztül megy végbe. Ezeket *másodlagos* (szekunder) leképezéseknek nevezik. Ilyenkor a jelenség lényegét tükröző absztrahált modellhez először a matematikai modellt alkotjuk meg, majd felhasználva a hasonlóságelmélet azon törvényszerűségét, hogy a hasonló jelenségeket leíró matematikai összefüggések *formálisan* azonosak, vagy azonos alakra transzformálhatók, létrehozuk a matematikai modellnek megfelelő, az

eredeti jelenséggel homológ vagy analóg modellt. *A szekunder modell már semmilyen szemléletes kapcsolatban nem áll az eredeti jelenséggel, csak a be- és kimenetek közötti kapcsolatot adja hűen.* A szekunder modellek analóg számítógépen realizálhatók.

Egy másik osztályozás szerint *képszerű, analóg és szimbolikus* modelleket célszerű megkülönböztetni [56].

A *képszerű modellek* a valóság modellezendő területét, az adott rendszert képszerűen jelenítik meg, statikus módon (pl. fénykép, házmakett, menetrend, földgömb, stb.).

Az *analóg modellek* a megfigyelt valóságot az eredeti- és a modell-jellemzők közötti szoros, jól definiált kapcsolatok alapján jelenítik meg. Analóg modellek pl. a grafikonok, térképek, a szervezési-számítástechnikai folyamatábrák. Ezek viszonylag könnyen változtathatók és dinamikus összefüggések vizsgálatára is alkalmasak.

A *szimbolikus modellek* esetében a vizsgált folyamat egyes tényezőit és a közöttük lévő kapcsolatokat matematikai és logikai szimbólumokkal fejezzük ki.

Léteznek ún. *kombinált modellek* is. Ilyenek például a *szimulációs modellek*, amelyek részben analóg, részben szimbolikus modellek. A számítógéppel integrált gyártás területén főként szimbolikus modelleket alkalmazunk. Ezek más szóhasználattal *matematikai modellek*, amelyekkel szemben két, egymásnak ellentmondó fő követelményt támasztunk:

- (1) minél hűebben tükrözzék a valóságot;
- (2) minél egyszerűbbek legyenek.

A valósághűsége való törekvés bonyolítja a matematikai struktúrát és növeli a számításigényességet. Következésképpen a matematikai módszerek használatát végső soron a matematika, a számítógép-tudomány és a szoftver-technológia mindenkori fejlettsége korlátozza.

2.4. Algoritmus, algoritmizálás

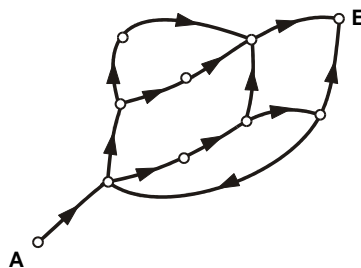
Az *algoritmus* valamely kitűzött feladat megoldására szolgáló olyan eljárás, amelynek lényege az, hogy a feladatot jól (egyértelműen) definiált elemi lépések sorozatára bontjuk. Azt, hogy mit értünk elemi lépésen, a feladat természete (típusa) és az egyes lépések interpretálását végző objektum (pl. a lépések leírására alkalmas nyelv) tulajdonságai határozzák meg. Tárgyunk keretében a továbbiakban az algoritmust egy feladat *számítógépen való megoldására szolgáló eljárásnak* tekintjük.

A feladat megoldásának lépésekre történő bontását *algoritmizálásnak* nevezzük. A termelési rendszerekhez kapcsolódó tervezési feladatokban egyaránt előfordulnak az úgynevezett "kemény", jól algoritmizálható feladatok és a "lágy",

erősen összetett, nehezen vagy egyáltalán nem algoritmizálható problémák; ezekhez erősen eltérő rendszertechnikai módszerek szükségesek. Az első típusú feladatkörben a nehézséget a HOGYAN jelenti, ezen problémák modelljei egyértelműen definiált, jól strukturált matematikai modellek: leíró nyelvük a matematika nyelve. A második típusú problémakörben a MIT és HOGYAN egyaránt kérdéses lehet és a megoldásban jelentősek a szubjektív tényezők is, pl. az egyéni tehetség, kreativitás. Jelentősen befolyásolja a feladatok megoldásának menetét és minőségét a tervező szakemberek agyában kialakult "kép" és ennek a képnek sajátos, szubjektív "organizációja". Ilyenkor szinte nélkülözhetetlen a tanulás és újratanulás folyamata és a heurisztika. A lágy, erősen összetett problémakör megoldásának kulcsa a hierarchikus szemléletmód, az eltalált strukturálás és a tipizálás [287].

Mint ismert, a korszerű digitális számítógépek teljes egészében algoritmusok alapján működnek. Egy algoritmus megvalósítása automatával - mint *M. Peschel* szellemesen rámutat - nem más, mint *egy automata modellezése egy másik automatával*. A korszerű számítógépek valójában maguk is *szabadon programozható, rendkívül flexibilis automaták* [220].

Az algoritmusok egyik dokumentálási (megjelenítési) formája a *folyamatábra* (Flussdiagram, Process chart). A folyamatábrák általános tulajdonságait az ún. *Kaloujnine-gráfok* segítségével tanulmányozhatjuk. A *Kaloujnine-gráf* csomópontokból és ágakból álló háló (2.5. ábra).



2.5. ábra: *Kaloujnine-gráf*

A hálóban *egy* "bemeneti csomópont" van: *A*. Ebbe ág nem torkollik és ebből *egy* ág indul ki és halad a háló egy következő csomópontjához.

A hálónak *egy* "kimeneti csomópontja" van: *E*. Ebbe tetszőleges számú ág torkollik, de ebből ág nem indul ki. A háló valamennyi csomópontjának *egy operátor* felel meg, kivéve a be- és kimeneti csomópontokat. Az operátorok két csoportra oszthatók:

hatásátalakítókra és *hatásátkapcsolókra*. Egy hatásátalakító csomópontból *egy* irányított ág, egy hatásátkapcsoló csomópontból *két* további ág indul ki. A hatásátalakító működése során az x bemenő mennyiséget meghatározott módon egy φ operátorral y hatássá számítja át, azaz az $y = \varphi x$ a matematikai műveletet végzi.

A hatásátkapcsoló az x bemenő információra vonatkozólag megvizsgál egy feltételt. Ha ez a feltétel teljesül, a rendszer az egyik kimenetet választja és a bemenő információt transzformáció nélkül ebbe az irányba továbbítja. Ha a feltétel nem teljesül, a jel a másik irányba halad változatlanul.

A csomópontokból és ágakból álló hálónak összefüggőnek kell lennie, azaz, ha nem vesszük figyelembe az ágak irányítását, az ágakból összetett úton minden csomópontnak elérhetőnek kell lennie mindegyik más csomópontból.

2.5. Optimalizálás és heurisztikus módszerek

Az *optimalizálás*^{*} a szó legáltalánosabb értelmében azt jelenti, hogy egy rendszerben olyan intézkedéseket teszünk, amelyekkel *maximális hatást* érünk el. Az optimalizálást tehát mindig a hatásra vonatkozó *értékelési kritériumhoz* kell viszonyítani [220].

Ha egy rendszernek olyan tulajdonságai vannak, amelyek néhány, szabadon választható z_1, z_2, \dots, z_n paramétertől függenek, a rendszer akkor viselkedik optimálisan, ha a paramétereket úgy állítjuk be, hogy egy bizonyos, a paramétereiktől függő $f(z_1, z_2, \dots, z_n)$ jósági kritérium értéke például maximális legyen.

Alapvetően két optimalizálási módot különböztetünk meg: *statikus* és *dinamikus* optimalizálást.

Ha egy rendszernek z_1, z_2, \dots, z_n beállítható értékeit, paramétereit keressük úgy, hogy az $f(z_1, z_2, \dots, z_n)$ jósági függvény maximális legyen, akkor statikus optimalizálásról beszélünk.

Ha egy rendszernek $z_1(t), z_2(t), \dots, z_n(t)$ változó dinamikus paramétereit keressük úgy, hogy az ezektől függő

* Korábban az MTA az „*optimálás*” kifejezést használta, számos szakkönyvben, értekezésben és szakcikkekben ezért ez szerepel. Újabban – matematikus szakemberek javaslatára – az *optimalizálást* fogadták el az angol „*optimization*” (optimisation) szó hivatalos szakmai fordításának és minden magyar nyelvű közlemény számára ezt ajánlják.

$$f[z_1(t), z_2(t); \dots, z_n(t)]$$

jósági függvény, például funkcionál, értéke maximális legyen, akkor dinamikus optimalizálásról van szó.

Az optimalizálási feladat legnagyobb nehézségét rendszerint a *jósági kritérium* olyan megválasztása okozza, hogy az valamennyi igénynek megfeleljen. Megválasztása a szaktudományos diszciplínán kívül is eshet, akár ideológiai kérdés is lehet. "Abszolút jószág" természetesen nem létezik, e kritérium mindig csak meghatározott felhasználási módokhoz kapcsolva értelmezhető.

A statikus optimalizálási feladatok *két* fő összetevőből állnak: a megengedett megoldások halmazát meghatározó feltételekből, azaz az *optimalizálási tartományból* és az ezen értelmezett *célfüggvényből*. Az optimalizálandó változók azon függvényét, amelynek szélsőértéke megvalósítja az optimumkritériumot, *célfüggvénynek* szokás nevezni.

Az optimalizálási tartomány az n-dimenziós paraméter-vektorok halmazának része. Alakja és megadási módja igen sokféle lehet. Határolhatják lineáris vagy nemlineáris feltételek, a változók lehetnek folytonosak vagy egészértékűek. A tartomány megadható algebrai alakban, algoritmusokkal, logikai feltételekkel vagy bármilyen más módon (pl. egyszerűbb esetekben grafikusán). Az egyes feltételek teljesülését előírhatjuk *determinisztikusan* vagy - ha véletlentől függő, valószínűségi változók is vannak benne, - előre *megadott valószínűséggel*. Az utóbbi esetben ezt a valószínűséget megadhatjuk feltételként, vagy együtt az egész rendszerre. A célfüggvényt a *megoldások számszerű értékelésére* használjuk. Több cél esetén célfüggvények súlyozása vagy azok kombinálása szokásos.

A számítógéppel támogatott termelési rendszerek tervezési moduljaiban végrehajtott komplex feladatok (például a termelésirányítás és a technológiai tervezés) sajátossága a *többszintes, hierarchikus felépítés*. Az összes szint feladatait egy modellben megfogalmazni és megoldani lehetetlen, mind a feladat méretei, mind a bonyolult kapcsolatrendszer miatt. Ezért általános elvként a *szintenkénti optimalizálást* alkalmazzuk. Ennek lényege, hogy tisztázzuk az aktuális szint kapcsolatát az alulról és felülről csatlakozó szintekkel; a magasabb szint általában kijelöli az optimumkeresés korlátait, a felülről begyűrűző zavarásokat és a célfüggvényeket. Ezek a megoldás során kiegészülnek a szint saját feltételrendszerével, zavarásaival. Az eredeti, legmagasabb szinten megfogalmazott célfüggvények - a cél megőrzése mellett - az egyes szintek sajátosságainak, lehetőségeinek megfelelően átalakulhatnak. Az alsóbb szintek visszacsatolással hatnak a magasabb szintekre.

Az optimalizálási feladatok matematikai módszerekkel történő megoldásának három alapfeltétele van:

- (1) a probléma numerikus formában is felírható legyen;
- (2) az elérendő cél kifejezhető legyen jól definiált célfüggvényként;
- (3) álljon rendelkezésre valamilyen számítási eljárás (algoritmus), amelynek számításgényessége nem lépi túl a rendelkezésre álló számítógép kapacitását, továbbá elfogadható időn belül elvezet a probléma megoldásához.

Ha a feladat a fenti feltételeknek *nem tesz eleget*, akkor az ún. *heurisztikus módszerek* alkalmazása válik szükségessé.

A heurisztikus módszer az adott probléma megoldását egy terv konstruálása útján keresi. Ez a konstruálási folyamat *lépésről-lépésre dönt a következő tervezési elemről*. Minél gondosabban, célszerűbben készítjük el előrehaladási stratégiánkat, annál jobb megoldást kapunk, de ezek a matematikai eljárásokkal szemben az esetek többségében csak *szuboptimális* (vagy ún. kvázioptimális) megoldásokhoz vezetnek.

A heurisztikus eljárások sokkal egyszerűbbek és kevésbé igényesek, mint a matematikai optimalizálások. Jelentőségük gyakorlati alkalmazhatóságukban van. Mindegyik heurisztikus eljárással az emberi tervezési mechanizmust utánozzuk, amelynél a tervezés folyamata a gondos körültekintés ellenére is sokszor megakad. Ezekben az esetekben a tervező a tervkonstrukció egy részét lebontja, majd kijavítva újra felépíti. Sokszor az eredeti feltételeken, korlátokon is változtatva alakul ki a végleges terv.

A heurisztikus eljárás *mindig tartalmaz szubjektív tényezőt*, ezért az eljárás jóságát kizárólag gyakorlati alkalmazhatóságán lehet lemérni.

A heurisztikus módszereket sok változót tartalmazó, bonyolult problémák megoldására alkalmazzuk, amikor az eljárás kiépítése magában foglalja a számítógépes program elkészítését is. Ehhez a manuális tervezési technikát addig kell módosítani, ameddig a terv automatikus felépítése lehetségessé nem válik, másképp szólva: amíg ki nem elégül az algoritmizálhatósági feltétel.

A heurisztikus megoldó módszereknek olyan változatai is ismeretesek, amelyek jól kombinálhatók egzakt eljárásokkal. Ennek eredményeként létrehozható olyan eszköz, amely nagyobb számítógépi időigénnyel pontosabb eredményt szolgáltat. Ennek a megközelítésnek az az előnye is megvan, hogy egy gyors első megoldás rossz adatokat vagy bizonyos koncepcionális hibákat is kiszűrhet.