

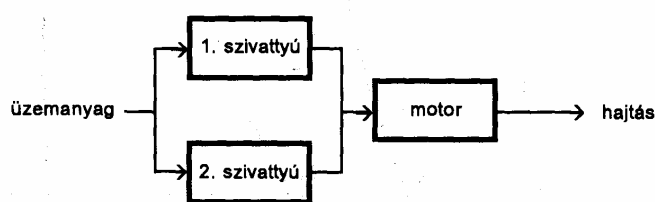
## A MEGBÍZHATÓSÁGI ELEMZŐ MÓDSZEREK

### 1. Elemző módszerek

Ebben a fejezetben röviden összefoglaljuk azokat a módszereket, amelyekkel a technikai, technológiai és üzemeltetési rendszerek megbízhatósági elemzése elvégezhető el.

#### → *Megebízhatósági blokkdiagram;*

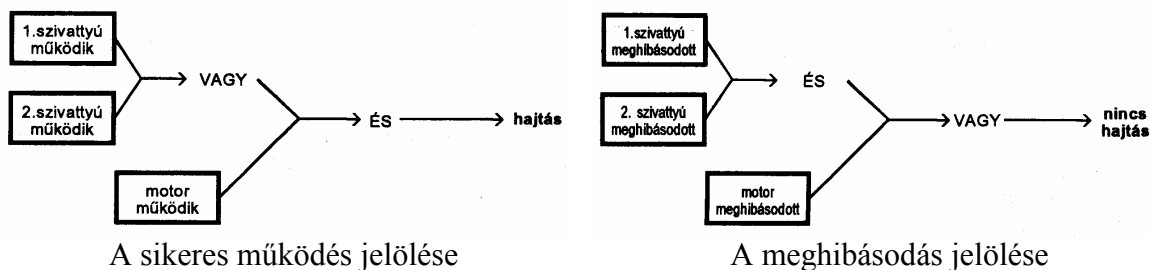
A megbízhatósági blokkdiagram a vizsgált rendszer elemeit és azok kapcsolatát ábrázolja. A 10.1 ábrán látható egy kétszivattyús rendszer megbízhatósági blokkdiagramja. A technológiai blokkdiagramból származtatható, azonban az elemek elhelyezésekor az elemeknek a rendszer működőképességére gyakorolt hatásából kell kiindulni.



1.1. ábra Megebízhatósági blokkdiagram

#### → *Megebízhatósági logikai diagram;*

A sikeres és/vagy sikertelen működéshez szükséges/elégséges állapotokat és azok logikai kapcsolatát tartalmazza. Az 1.2. ábrán látható az előző rendszer példája.



A sikeres működés jelölése

A meghibásodás jelölése

1.2. ábra Megebízhatósági logikai diagram

#### → *Hibafaelemzés;*

A hibafaelemzés során egy feltételezett rendszerhibából a főeseményből indulunk ki, és fokozatosan derítjük fel azokat az alkotóelem és részrendszer meghibásodási lehetőségeket, melyek az adott esemény bekövetkezéséhez vezetnek vagy vezethetnek. Az áttekinthető munkát fastruktúrájú gráf megjelenítés segíti, amit megbízhatósági számításokkal is ki lehet egészíteni.

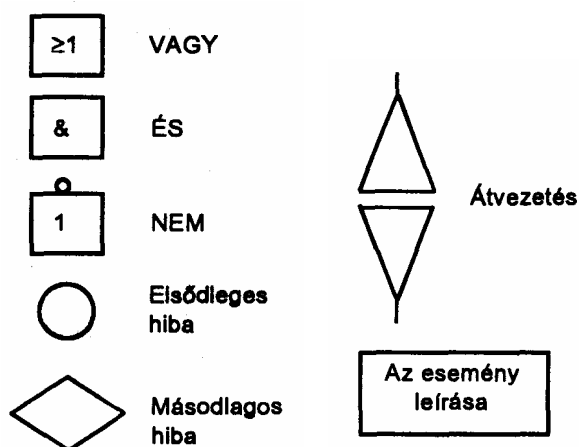
A hibafaelemzés lehetővé teszi:

- a fő-eseményhez vezető összes hiba és hibakombináció, valamint ezek okainak azonosítását;
- a különösen kritikus események és/vagy esemény-láncolatok kimutatását;
- a megbízhatósági számértékek kiszámítását a hibafa ágain végighaladva;
- a meghibásodási mechanizmusok tiszta és áttekinthető dokumentálását.

A kiinduló állapot egy rendszer, melynek állapotát a fő-esemény segítségével írjuk le. A hibafa modellje beazonosítja az összes olyan alkotóelem meghibásodást, mely ezen rendszerállapot kialakulásához vezet. Az alkotóelem meghibásodások három osztályba sorolhatók:

- Az **elsődleges hiba** egy olyan meghibásodás, mely az előírt működési körülmények között áll elő. Ennek oka az alkotóelem kialakításában vagy anyagtulajdonságaiban rejlik.
- A **másodlagos hiba** egy olyan meghibásodás, ami nem megengedett külső behatások következtében áll elő. Ezek lehetnek környezeti feltételek, alkalmazási körülmények, vagy más rendszerelemek hatásai.
- A **kezelési hibát** a nem megfelelő használat okozza.

Az 1.3 ábra mutatja be a hibafa jelölésrendszerét.



1.3. ábra A hibafa módszer jelölései

→ **Hibamód- és hatáselemzés (FMEA);**

Az angol nyelvű szakirodalomba FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) rövidítéssel bevonult hibamód és -hatás elemzést az USA-ban fejlesztették ki, a Boeing és a Martin Mariette vállalatok már 1957-ben mérnöki kézikönyvet adtak ki az általános módszerről. A módszer egy korai és sikeres gyakorlati alkalmazására az Apolló holdprogramon belül került sor. Nem meglepő, hogy a repülőgépipar és űrhajózás igényelte kezdetben ezen eljárás alkalmazását, hiszen itt a berendezéseknek nagy megbízhatósággal kell rendelkezniük, így jelentős hangsúlyt fektetnek még a gyártás megkezdése előtt minden hibalehetőség kiküszöbölésére. Ezzel egy időben, a tervezésnél — más iparterületeken megengedhetetlenül kis értékű — 1,1 ~ 1,2 körüli biztonsági tényezővel kell méretezni. A hetvenes években az éles nemzetközi verseny a világ autóiparát a megbízhatóság és a minőség növeléséért történő összpontosításra szorította. Ekkor kezdett mind szélesebb körben elterjedni a FMEA alkalmazása, sőt különböző szabványokat is kidolgoztak az eljárás leírására (például MIL-STD-1629A, DIN 25448).

Az elemzés célja az egyes hibalehetőségek felismerése a termék életciklusának minél korábbi szakaszában, a hiba előfordulásának megelőzése és az esetlegesen fellépő hibák megakadályozása, ezáltal egyrészt közvetlen költség megtakarítás elérése, másrészt a vállalat jó hírnevének megőrzése. A módszer nemcsak a gyártás megkezdése előtti, hanem már

működő rendszerek, folyamatok esetén is alkalmazható.

A vizsgált terület szempontjából az elemzésnek két típusát különböztethetjük meg, melyek:

### ***konstrukciós FMEA;***

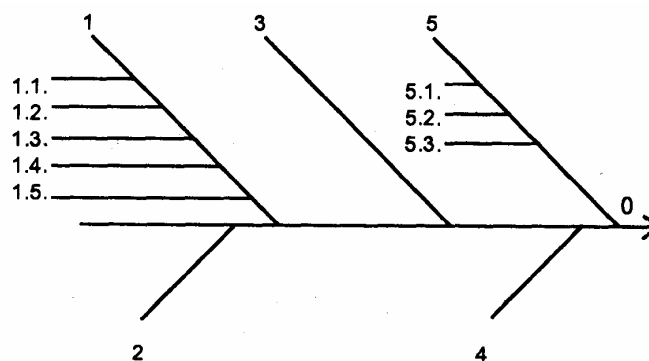
Célja a konstrukciós megoldásokból és a tervező által készített előírásokból eredő hibák és hibalehetőségek feltárása és megszüntetése.

### ***folyamat FMEA.***

Célja a gyártás során az anyagbeszerzéstől a csomagolt áru kiszállításáig a technológiai fegyelmezetlenségekből, anyag-, gép- és eszközhibákból származó hibalehetőségek és kockázati források feltárása és megelőzése.

### → ***Ishikawa diagram (halszálka diagram);***

A meghibásodási folyamat lényeges elemeinek, és azok logikai kapcsolatainak modellezésére szolgál. Elsősorban az ok-okozati kapcsolatok leírására alkalmas. Példaképpen egy tartály megbízhatóságát modellező Ishikawa diagram néhány részlete látható a 10.4. ábrán.



A számozás:

0	Tartály megbízhatósága;	1	Tervezés
1.1.	Anyag;	1.2.	Alak;
1.3.	Igénybevétel;	1.4.	Méreték;
1.5.	Konstrukció;	2.	Gyártás;
3.	Minőség-ellenőrzés;	4.	Üzemeltetés;
5.	Karbantartás;	5.1.	Stratégia;
5.2.	Eszközök, anyagok;	5.3.	Kivitelezés

1.4. ábra Ishikawa diagram tartály megbízhatóságának elemzéséhez

A tagolás mélysége természetesen fokozható. Például az anyag kiválasztásánál lehet acél, műanyag, fa, színesfém, továbbá az acélon belül ötvözött, ötvözetlen.

### → ***Pareto-elemzés (ABC analízis);***

Az 1930-as évek közgazdasági irodalmában publikált eljárás azóta sok területen bizonyította alkalmazhatóságát. Elve a lényeges kevés kiemelése. A vizsgálatok bizonyos fázisaiban döntési helyzet alakul ki, aminek során a lényegtelen elemeket elhanyagoljuk. A technológiai

rendszerek megbízhatóságának vizsgálata során a következő helyzetekben alkalmazható a módszer:

- a vizsgálat tárgyát képező berendezések kiválasztása;
- a legtöbb leállást előidéző hibaokok kiválasztása;
- a legtöbb kieséssel járó hibaokok kiválasztása.

A Pareto elemzés eredménye célszerűen oszlop-diagramon vagy a megoszlást is mutató kördiagramon ábrázolható. Az adatok értékelésénél szem előtt kell tartani, hogy a relatív és az abszolút értékek egyaránt fontosak.

#### → **Statisztikai ellenőrző kártya;**

A Shewart-féle elv alapján, — ami szerint statisztikailag szabályozott folyamat állapotjellemzői egy adott érték körül ingadoznak — szerkeszthető olyan kártya, amelyen a jellemzőket — például egy bizonyos idő során bekövetkezett meghibásodások számát — feltüntetve meghatározható, hogy az adott folyamat statisztikai szempontból stabilnak tekinthető-e, illetve az ingadozások, eltérések véletlenszerű, vagy szisztematikus hatás eredményei. Így megállapítható az, hogy például egy berendezés a meghibásodási rátát tekintve életének melyik szakaszában van. A stabil szakasz esetén a kártyán feltüntetett pontoknak egy adott érték körül kell ingadozniuk.

#### → **Gyengepont elemzés;**

A vizsgált rendszer azon elemeinek kiválasztása, amelyek a megbízhatóságának javításával a rendszer megbízhatósága leginkább fokozható. A gyengepont jelleg adódhat az

- elem alacsony megbízhatóságából;
- helyzetéből.

A gyenge pontok feltárására elvileg két lehetőség van:

- A rendszer egészét nézve azt vizsgáljuk, hogy mi okozta a kieséseket.
- A rendszer elemeinek megbízhatóságát, és kapcsolataikat vizsgálva következtetünk a gyengepontra.

A két módszer alkalmazását alapvetően a rendelkezésre álló adatok döntenek el. Az első csak már üzemelő rendszer esetén használható.

#### → **Az alapvető ok elemzés;**

Az Alapvető Ok Elemzés (**RCA — Root Cause Analysis**) egy olyan döntés-előkészítő és támogató módszertani eszköz, mely egy rendszeren belüli esemény rejtett vagy közvetlenül meg nem határozható okát vagy okait tárja fel. Ezen rejtett okokat nevezzük az alapvető okoknak. Az alapvető okok következtében fellépő eseményen természetesen nem csak egy egyedüli jelenséget kell értenünk, hanem hasonló jelenségek összességét, halmazát is. Ilyen esemény lehet egy gépparkban fellépő hasonló meghibásodások sorozata, vagy egy szervezetben jelentkező belső problémák ismétlődése is. A rendszeren egyaránt érthetünk valamilyen feladatot végrehajtó, személyekből és technikákból álló szervezetet vagy egy integrált technikai rendszer, berendezést.

Az eljárás egyik ága az Alapvető Ok Hibaelemzés (**RCFA — Root Cause Failure Analysis**), melyet valós, integrált technikai rendszerek, eszközök meghibásodásának, paraméter-eltéréseinek elemzésével foglalkozik. Az Alapvető Ok Elemzés, illetve az Alapvető

Ok Hibaelemzés eredményiként olyan javaslatok adhatók a megfelelő szinten lévő döntéshozó(k) számára, melyek segítségével a vizsgált nem kívánatos esemény akár teljes kiküszöbölése is biztosítható.

Ahhoz, hogy egy káros eseményt megelőzzük az alábbi négy dolgot kell pontosan ismernünk, birtokolnunk:

- a javítás és a megelőzés érdekében olyan módszert, mely azonosítja és értékeli a vizsgált problémát előidéző okokat;
- az azonosított okok által alkotott rendszer természetét;
- a vizsgált okozati rendszerhez kapcsolódó elveket és elméleteket;
- a szervezeten belüli részegységek belső irányítási rendszerét.

Az Alapvető Ok Elemzés az okok mindegyikének pontos azonosításával egy döntést támogató javaslatot ad az egész (esetünkben a szerelő—mérnök—menedzser) rendszer számára. Ezért ez az eljárás egy olyan módszertani eszköz, mely az elemzés szigorú logikai láncolatát biztosítja.

Az Alapvető Ok Elemzés folyamatának része az okozati összefüggések csomópontjainak meghatározása. Ez egyrészt klasszikus vagy fuzzy logikai, másrészt a vizsgált rendszerhez kapcsolódó szakmai (például karbantartói vagy alkalmazói) szempontú elemzések egyidejű elvégzését jelenti.

Az Alapvető Ok Elemzés adatok gyűjtésének, rendszerezésének és értékelésének egy szisztematikus folyamata, ami azonosítja azokat a belső okokat, melyek a vizsgált problémát előidézik vagy lehetővé teszik.

Fontos itt emlékeztetni a tisztelt olvasót arra a megfigyelésre, hogy egy repülő katasztrófa csak 3 ~ 5 kiváltó ok vagy szabálytalanság egyidejű fellépése esetén következhet be. Ez nagyban megnehezíti a domináns okok meghatározását.

#### → ***Matematikai statisztikai módszerek;***

Ide tartoznak a különböző mutatószámok és eloszlásfüggvény paraméterek becslése, továbbá a hipotézisek ellenőrzésére szolgáló módszerek. Ezek némelyikét az előző módszerek is felhasználják. Leírásuk a különböző kézikönyvekben megtalálható.

#### → ***Szakértői rendszerek;***

A mesterséges intelligenciával kapcsolatos kutatások, továbbá a programnyelvek fejlődése megteremtette az alapot arra, hogy számítógépet alkalmazzunk az eddigieknél komplexebb módon megfogalmazott problémák megoldása esetén is.

A fuzzy logika beépítése a gépi rendszerekbe lehetővé teszi, hogy a jelenség(ek)től az okokig történő eljutást gépi támogatással tegyük meg. Ebből következően a számítógépes szakértői rendszerek jelenlegi generációjának a helyes diagnózis felállításában van nagy szerepe.

Ezt a karbantartásban és a szakemberek képzésében is hasznosítani lehet.

#### → ***Szimuláció***

Amíg nem álltak rendelkezésre a jelenlegi teljesítménnyel bíró számítógépek, a megbízhatósági vizsgálatok során analitikus módszereket alkalmaztak. Ez azzal a következménnyel járt, hogy a modelleket a megoldhatóság érdekében annyira le kellett egyszerűsíteni, hogy azok analitikus módszerekkel megoldhatók legyenek. A valóságtól ilyen

módon eltávolított modellek szolgáltatása eredmények felhasználása jelentős kockázatot rejtett magában.

A problémamegoldás másik lehetséges stratégiája, amikor a vizsgált rendszereknek működtethető leképezését hozzuk létre, mind többet beépítve azok jellemzőiből. A viselkedésre jellemző logikai szabályok megfogalmazását még az alacsony szintű programnyelvek is támogatják.

Mivel a modellt nem megoldania hanem „csak” működtetni kell, ezért az elhanyagolások és megszorítások nem a szükséges, hanem az optimális mértékben alkalmazhatók. Ugyancsak kisebb problémát jelent a rendszerek mérete, mivel a rendszerszemléletű megközelítésből adódó részekre bontás (analízis) után a kapcsolódási szabályok programozhatók (szintézis).

A rendszerek matematikai modellezése lehetővé teszi, hogy a modelleket működtessük, azaz a rendszer működését szimuláljuk. Ennek segítségével képet kaphatunk a rendszer várható viselkedéséről, tervezett beavatkozásaink hatásairól. Az esetleges hibaforrásokat még azok tényleges működésbe lépése előtt megszüntethetjük.

A megbízhatósági modellek működtetése sztochasztikus szimulációval történik.

## 2. Matematikai modellek

A mérnöki gyakorlatban rendszernek nevezzük egy vagy több (adott esetben végtelen sok) elem összességét. A rendszerek (jelenségek) vizsgálatának feladata az, hogy megállapítsuk a rendszer viselkedését, azaz a behatások (input) és a reakciók (output) közti kapcsolatokat. Egy adott rendszer tudományos igényű vizsgálatának feltétele a rendszermodell megalkotása. Modellezésen értjük a valóságos rendszer lényegi tulajdonságainak felismerését, és azok valamilyen formájú leképezését.

A modell egy valóságos rendszer egyszerűsített, annak a vizsgálat szempontjából lényegi tulajdonságait kiemelő mása. A modell mindazon másodlagos jellemzőket elhanyagolja, amelyeket a kitűzött vizsgálat szempontjából nem tekintünk meghatározónak. Ezért elegendő, ha a modell a valódi rendszert csak meghatározott szempontból vagy szempontokból helyettesíti. Nincs kikötve, hogy modell csak az lehet, ami kizárólag erre a célra készült. Ez nem feltétele a modellnek. Valamilyen tárgy akkor válik modullé, ha a vizsgálatot végző személy ilyen funkciót ad neki. A modellválasztás mégsem önkényes, hiszen teljesíteni kell mindazokat a követelményeket, amelyek az eredeti rendszerrel, jelenséggel való hasonlóságát biztosítják.

A modelleket csoportosíthatjuk például aszerint, hogy milyen a modell belső természete. Ez alapján anyagi és eszmei (vagy más néven gondolati) modelleket különböztethetünk meg.

Az **eszmei modellek** az ember által megteremtett logikai kapcsolat szerint „működnek”. Módszerüket, formájukat illetően szubjektívek, de tartalmukat nézve — azaz a tárgykört, amellyel foglalkoznak — objektívek. Az eszmei modellek nélkülözhetetlen elemei a megismerés folyamatának. Természetesen a logikai törvények alapján kapott eredményeit ellenőrizni kell a fizikai valóságban. Ilyen értelemben csak utólag dönthető el, hogy valóban modelljei voltak-e a vizsgált folyamatnak.

A **fogalmi modell** a közvetlen érzéki tapasztalatok absztrakt gondolkodás segítségével történő „feldolgozása”. Feladata a kísérletek értelmezése, a kísérleti eredmények alapján a hipotézisek ellenőrzése, illetve újabb hipotézisek alkotása. Jelent ő s eszköze a gondolati kísérlet. Ennek során ismert természeti — esetleg társadalmi, gazdasági — törvények felhasználásával megalkotott fogalmi modellünket gondolatban meghatározott körülmények

közé helyezzük és levezetjük a vizsgált rendszer várható viselkedését. Az így kapott eredmények kísérleti ellenőrzése a gondolatmenet helyességének eldöntésére, illetve hiányosságainak feltárására alkalmas. Ilyen gondolati kísérletnek kell megelőznie minden tényleges kísérletet, ha el akarjuk kerülni, hogy durva hibákat kövessünk el. Egyes területeken (például az elméleti fizika vagy csillagászat) a fogalmi modellalkotás nélkül lehetetlen kutatómunkát végezni.

A **jelképes modell** az empiria (tapasztalat) adatait vagy feladatait fogalmazza meg jelrendszerek segítségével. A mérési eredmények rendszerint táblázat, grafikus ábrázolás vagy számok, esetleg jelek formájában adóttak. Ezek közvetlenül a tudományos szintű feldolgozás, általánosítás céljára alkalmatlanok. A mérnöki gyakorlatban például egy többoldalas táblázatot vagy leírást szemléletesség szempontjából helyettesíteni tud egy egyszerű grafikon.

Az **anyagmodell**ek saját, objektív törvényeik szerint működnek. Csak a működés feltételeit választhatjuk meg, de a belső törvényszerűségeket nem tudjuk irányítani. Az anyagi modelleket — a realizálási módjuk szerint — csoportosíthatjuk úgy, mint:

- homológ, vagy más néven geometriai modellek;
- analóg azaz fizikai modellek;
- matematikai modellek.

A **homológ modell** geometriailag hasonló az eredeti rendszerrel, és benne ugyanolyan fizikai jelenség játszódik le. A mindennapi életben a geometriai modelleket elsősorban tervezésben használják fel. Ekkor a bonyolult elrendezésű építmények, szerkezetek térbeli elhelyezését előbb geometriai modellen készítik el, ezért ezt térbeli tervezésnek is nevezik. A térbeli tervezés szükségtelessé teszi a szerelési mindennapi helyrajzokat, mivel ezeket az úgynevezett kisminta (makett) egyes csomópontjainak fényképe helyettesítheti. Ennek eredményeképpen fokozódik a tervezés megbízhatósága.

**Fizikai modell** esetén az eredetivel megegyező fizikai természetű modellen tanulmányozzuk a rendszerben lejátszódó jelenséget. Az eredeti és a modell hasonlóságának feltétele, hogy mindkettő matematikai leírása (azaz matematikai modellje) megegyezzen. Az analóg modell az eredeti rendszerhez viszonyítva hasonló behatásra hasonló módon válaszol. A fizikai modell semmilyen szemléletes kapcsolatban nem kell, hogy álljon az eredeti jelenséggel, csak az inputok és outputok közötti kapcsolatot adja hűen, ezért az ezt realizáló berendezést analóg számítógépnek is nevezik.

A modellek közül a mérnöki gyakorlatban legelterjedtebb a **matematikai modell**. A matematikai modell a matematika szimbólum rendszerén keresztül teremt kapcsolatot a vizsgált rendszer be- és kimenő jellemzői között. A matematikai formulák ismert, valamint ismeretlen mennyiségeket tartalmaznak, és a feladat határozottsága esetén az ismeretlen kimenő jellemzők meghatározhatók az ismert bemenő és belső jellemzők birtokában. A matematikai modell kellően definiált kezdő- és peremfeltételekkel együtt egyben az adott jelenség algoritmusát is szolgáltathatja.

A rendszer viselkedését leíró matematikai összefüggések jellege, vagy meghatározásának módszere szerint — páronként — az alábbi matematikai modelleket különböztetjük meg:

- **statikus — dinamikus**

**Statikus** a modell, ha a rendszer állapota algebrai egyenletekkel, vagy idő szerinti deriváltakat nem tartalmazó differenciálegyenletekkel írható le. Jellemzésére elterjedt még a stacionárius (vagy stacioner), állandósult, illetve egyensúlyi állapot kifejezés is.

A **dinamikus** modellek az időben is leírják a jellemzők változását. Megjelenési formájuk közönséges vagy parciális differenciálegyenletek. Lehetséges, hogy a tárgyalás nem az idő, hanem valamely célszerűen megválasztott, transzformált tartományban valósul meg.

→ **lineáris — nem-lineáris**

A **lineáris** modellekben csak a változók és deriváltjaik szerepelhetnek, általában állandó együtthatókkal szorozva. Alakjuk lineáris vagy linearizált egyenlet, illetve egyenletrendszer.

A **nem-lineáris** modellek az előző megkööttségektől mentesek. Az adott rendszerben lejátszódó folyamatot leíró egyenletek legalább egyike nem lineáris. A nem-lineáris modellek — az egyszerűbb vizsgálat érdekében — valamilyen linearizálási módon lineáris modellekké alakíthatók át.

→ **folytonos paraméterű — diszkrét paraméterű**

A **folytonos paraméterű** modellekben a változók egy adott tartományon belül bármilyen értéket felvehetnek, illetve minden idő pillanatban van egy meghatározható értékük.

**Diszkrét paraméterű** modellek esetén a változók csak meghatározott diszkrét értékeket vehetnek fel, illetve a vizsgálati idő tartományban csak kitüntetett időpontokhoz tartozhat értékük.

→ **determinisztikus — sztochasztikus**

A **determinisztikus** modellekben szereplő jellemzők, valamint maguk a változók egyértelmű függvényekkel térben és időben egyaránt megadhatók.

A **sztochasztikus** modellek ugyanezen jellemző i és változói csak bizonyos valószínűségi összefüggések felhasználásával határozhatók meg.

A bemutatott felsorolás természetesen nem teljes, mivel egy konkrét, gyakorlatban megvalósított matematikai modell általában a fenti jellegek szintézisét jelenti. Egy rendszer matematikai modelljének megalkotásához alapvetően két út kínálkozik:

→ **white-box eljárás;**

Ekkor általános természettudományos ismeretekre támaszkodva, fizikai megfontolások alapján analitikus formájú közvetlen matematikai modellt állítunk fel.

→ **black-box eljárás.**

A modellt megfigyelési, illetve kísérleti információk, azaz a be- és kimenő jellemzők ismeretében, azok elemzésével kapjuk meg. A fizikai megfontolások alapján történő matematikai modellalkotás folyamatában döntő az absztrahált modell megalkotása. Ehhez ismernünk és elemeznünk kell a rendszerben lejátszódó folyamat belső, a vizsgálat szempontjából lényegi tulajdonságait.