

OTDK-dolgozat

Németh Anikó

MA

2012

Berendezések karbantartásának mátrixos projekttervezése

MATRIX-BASED PLANNING OF MAINTENANCE PROJECTS

Kézirat lezárása: 2012. április 08.

Berendezések karbantartásának mátrixos projekttervezése

Matrix-based planning of maintenance projects

A vállalatok karbantartás tervezői a rendelkezésre álló információk, adatok figyelembevételével igyekeznek a legjobb döntést hozni. Ezek a döntések nem biztos, hogy a vállalat számára megfelelő eredményt fogják elérni, de az is előfordulhat, hogy nem áll majd rendelkezésre elegendő idő, költség vagy munkaerő a tervek kivitelezéséhez. Egyszerűnek tűnhet a megoldás. Olyan projektet kell tervezni, ami minden igényt kielégít és a lehető legtöbb információt feldolgozza és a tervezés során figyelembe veszi.

„Ha a lehetőség nem kopogtat be hozzád, csinálj magadnak egy ajtót!” - hangzott el Milton Berte tollából, amelyet én úgy értelmezek a mai napon, hogy az eddig ismert és a gyakorlatban bevált tervezési és elemzési eljárásokat össze kell dolgozni, hogy a vállalatok lehetőséget lássanak az új megközelítésekben, az új tervezési eljárásokban. „Vagy találunk ott utat, vagy építünk egyet.” – mondta Hannibál. Több utat is találtam, de egyen mehettem tovább. Ezt viszont átépíttem magamnak, hogy minden lehetőséget és szükséges módszert tartalmazzon.

Célom az volt, hogy a korábban már kidolgozott projekttervezési – kiválasztási módszert tovább fejlesszem, amely a karbantartási területen alkalmazhatóvá válik. A projekttervezés során a tervezés módszer/ eljárás bemeneti adatként a berendezésekre vonatkozó megbízhatósági, illetve kockázati adatokkal dolgozik. Amelyek alapján egy beavatkozási prioritási sorrend állapítható majd meg, mely segítséget nyújt a karbantartási terv összeállításában. Fontos szempont, hogy a tervezés során nemcsak a berendezések megbízhatósági illetve kockázati adatait veszi figyelembe, hanem ezen túl a terv kialakítása során a rendelkezésre álló idő-, költség- és erőforráskorlátot is.

Dolgozatomban rávilágítok, hogy milyen módon lehet rendszerelemeket rangsorolni megbízhatóságainak figyelembevételével, majd ezek alapján karbantartási tervet összeállítani, amely valamennyi kritikusnak ítélt, magas meghibásodási valószínűséggel rendelkező rendszerelemet tartalmaz, de az adott idő- és költségkorlátba belefér, ezek mellett pedig még a lehetséges legmagasabb rendszer-megbízhatóságot éri el a karbantartás befejeztével.

A kidolgozott módszer kisebb terjedelmű karbantartási projekt tervezése során manuálisan alkalmazható, viszont, nagyobb komplexebb projektek esetében szoftveres támogatást igényel. Reményeim szerint a javasolt módszert széles körben lehet majd alkalmazni nemcsak a karbantartási projektek tervezése esetén.

MATRIX-BASED PLANNING OF MAINTENANCE PROJECTS

Berendezések karbantartásának mátrixos projekttervezése

A famous quote from the movie *Wedding Crashers* says that: „We have no way of knowing what lays ahead for us in the future. All we can do is to use the information at hand to make the best decision possible.”. Maintenance planners of companies endeavor to do the same based on the available data, however, this strategy may not lead to adequate results for the company, moreover, shortage for some resources, e.g., manpower, equipment, funds, can also balk the execution of the plan. One could say, that the solution to these issues is simple: a plan satisfying all the demands should be prepared.

The known and well tested planning and analysis methods should be integrated in order for the companies to see opportunities in the new planning approaches. This is my interpretation of the thoughts of Milton Berte: “If opportunity doesn't knock, build a door.” Following the quote from Hannibal: “We will either find a way, or make one”, I have selected a way from the ones I found, and modified it to fulfill the aforementioned purposes.

The total project time/ duration time (TPT), total project cost (TPC), and total project human resources (TPR) of a project are identified in the planning phase. Matrix representation is a clear and simple way to plan and schedule projects and their processes. The Design Structure Matrix (DSM) and the Stochastic Network Planning Method (SNPM) are applied to the sequencing of tasks. The parameters of the SNPM can be altered, moreover it takes into consideration the weight of task connections, thus, it has a wider range of applications. As an extension of SNPM, the Project Expert Matrix (PEM) contains all the information about the probability of occurrence, price, time, and resource demand of each task as well next to all the possible task connections.

The aim of my work was to develop a project planning and selection method, that can be applied not only at maintenance field. The proposed method considers the reliability and risk data of equipments as its input, that is used to establish a priority list of interventions to help in the preparation of a maintenance plan. An important aspect is the quantitative analysis of cyclic processes for the equipments to be repaired or upgraded, since the re-execution of a cyclic task can influence the time, cost, and resource demands of the project. The proposed approach takes into account the a-priori given limits on time, cost and resources.

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETŐ	1
1 KARBANTARTÁS KIEMELT FONTOSSÁGA ÉS VÁLTOZÓ SZEREPE	2
1.1 A KARBANTARTÁS FOGALMÁNAK MEGHATÁROZÁSA	2
1.2 KARBANTARTÁS SZÜKSÉGESSÉGE	3
1.3 KARBANTARTÁSI STRATÉGIÁK ÖSSZEHASONLÍTÁSA	4
1.3.1 A karbantartási stratégiák több szempont szerinti osztályozása	5
1.3.2 Karbantartási alapstratégiák	6
1.3.3 A karbantartási stratégiák döntéshozatal alapú csoportosítása	7
1.3.4 Megbízhatóság Központú Karbantartás	10
1.3.5 Kockázat Alapú Karbantartás	10
2 MEGBÍZHATÓSÁG ÉS KOCKÁZAT.....	11
2.1 AZ ELEM MEGBÍZHATÓSÁGA	12
2.1.1 Nem javítható elemek	12
2.1.2 Azonnal javítható elemek megbízhatósága	12
2.2 A RENDSZER MEGBÍZHATÓSÁGA.....	13
2.2.1 A független megbízhatóságú elemekből felépülő rendszerek megbízhatósága	13
2.2.2 A nem független megbízhatóságú elemekből felépülő rendszer megbízhatósága	15
2.3 A KARBANTARTÁSI TEVÉKENYSÉGEK MEGBÍZHATÓSÁGI ÉS KOCKÁZATI BESOROLÁSA	16
2.4 MÉRÉSI BIZONYTALANSÁG FIGYELEMBE VÉTELE A MEGBÍZHATÓSÁG- ÉS A KOCKÁZATKEZELÉS TERÜLETÉN	17
3 A KARBANTARTÁSI PROJEKTEK ÉS TERVEZÉSÜK FEJLESZTÉSE	19
3.1.1 Projektütemezési, hálótervezési módszerek	21
3.1.2 Karbantartási terv, karbantartási projekt összeállítása	23
3.1.3 Logikai tervezés mátrixok segítségével	24
4 MEGBÍZHATÓSÁG KÖZPONTÚ MÁTRIXOS PROJEKTTERVEZÉSI MÓDSZER A KARBANTARTÁS TERÜLETÉN	29
4.1 AZ ALGORITMIKUS MÓDSZERHEZ KAPCSOLÓDÓ FOGALMAK ISMERTETÉSE	29
4.2 A MÓDSZER(EK) GYAKORLATI HASZNÁLHATÓSÁGA EGY PÉLDÁN KERESZTÜL	34
5 ESETPÉLDA – MEGBÍZHATÓSÁG KÖZPONTÚ KARBANTARTÁS TERVEZÉS ALKALMAZÁSÁRA	43
ÖSSZEFOGLALÓ.....	49
IRODALOMJEGYZÉK.....	50
FELHASZNÁLT MAGYAR NYELVŰ IRODALOM	50
FELHASZNÁLT IDEGEN NYELVŰ IRODALOM	52

TÁBLÁZATJEGYZÉK

1. táblázat: A karbantartási stratégiák és azok összehasonlításai	9
2. táblázat: Döntési kimenetek a mért értékre alapozva	17
3. Táblázat: A projektmegvalósítás folyamata	19
4. táblázat: A projekttervezési és ábrázolási módszerek összehasonlítása	22
5. táblázat: Elemi tevékenységkapcsolatok	24
6. táblázat: Tevékenységek (topologikus) sorba rendezése	25
7. táblázat: Legenerálható projektváltozatok	26
8. táblázat: A projekt szakértői mátrix által meghatározható projektváltozatok	27
9. táblázat: Négy berendezésből álló rendszer és azok megbízhatósági értékeik	34
10. táblázat: Egy négy elemből álló rendszer megbízhatóságainak változása a karbantartást követően	35
11. táblázat: Rendszer-megbízhatóságok változásainak prioritás érték szerint rendezett összefoglalása	36
12. táblázat: A rendszer karbantartására vonatkozó adatok és korlátok (1)	37
13. táblázat: A rendszer karbantartására vonatkozó adatok és korlátok (2)	37
14. táblázat: A rendszer karbantartásának megfeleltetése idő- és költségkorlátnak	37
15. táblázat: A berendezések karbantartásának blokk-diagrammja és reprezentációs gráfjai	38
16. táblázat: Kiindulási és a redukált projektek mátrixos megjelenítése	40
17. táblázat: Lehetséges karbantartási projektstruktúrák	40
18. táblázat: Körök figyelembe vétele projekt átfutási idő számítása során	41
19. táblázat: Körök figyelembe vétele projektköltség számítása során	42
20. táblázat: A vizsgált gyártóberendezés felépítettsége r^2 PEM mátrixba foglalva	43
21. táblázat: A felújításra szánt berendezésegyeségekre vonatkozó adatok	44
22. táblázat: A vizsgált gyártóberendezés azon egységei, amelyeknek karbantartása szükségessé vált (kiemelve a köröket)	45
23. táblázat: Körök figyelembe vétele projekt átfutási idő számítása során	46
24. táblázat: Körök figyelembe vétele projektköltség számítása során	46

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra: A karbantartás elhelyezkedése a gépélet-ciklus folyamatai között	4
2. ábra: Soros kapcsolású rendszer	14
3. ábra: Párhuzamos kapcsolású rendszer	14
4. ábra: Meghibásodások kockázatai besorolása	16
5. ábra: A degradáció miatt az idő előrehaladtával a minimális összes kockázathoz tartozó beavatkozási határ is változik	18
6. ábra: Tevékenységek átrendezése, körfolyamatok detektálása.....	25
7. ábra: Összevont kapcsolati mátrix létrehozása	31
8. ábra: r^2 PEM létrehozása.....	32
9. ábra: Öt berendezésegységből álló gyártósor és a megjelölt három karbantartásra szánt egység	39
10. ábra: Elemzéseket követően kiválasztott három egység és annak megbízhatósági értéke.....	39
11. ábra: A kiválasztott három egység és annak karbantartási idő és költségvonzatai...	39
12. ábra: A vizsgált gyártórendszer felépítettsége	44
13. ábra: A vizsgált gyártórendszer felépítettsége a karbantartásra beütemezhető berendezésségekkel kiemelve	44
14. ábra: A kiválasztott egységek egyszeri karbantartását követően a módosult berendezésegységek megbízhatóságai r^2 PEM-ba foglalva	47
15. ábra: A kiválasztott egységek kétszeri karbantartását követően a módosult berendezésegységek megbízhatóságai r^2 PEM-ba foglalva	48
16. ábra: A kiválasztott egységek három körös karbantartását követően a módosult berendezésegységek megbízhatóságai r^2 PEM-ba foglalva	48

BEVEZETŐ

„Sohasem tudhatjuk, hogy mit hoz számunkra a jövő. Egyet tehetünk: a rendelkezésre álló információk alapján meghozzuk a legjobb döntést.” – hallható az Ünneprontók Ünnepe című filmben. A vállalatok karbantartás tervezői is pontosan ezt próbálják megvalósítani. A rendelkezésre álló információk, adatok figyelembevételével igyekeznek a legjobb döntést hozni. Az a döntés nem biztos, hogy a vállalat számára megfelelő eredményt fogja elérni, de az is előfordulhat, hogy nem áll majd rendelkezésre elegendő idő, költség vagy munkaerő a tervek kivitelezéséhez. Egyszerűnek tűnhet a megoldás. Olyan projektet kell tervezni, ami minden igényt kielégít. Tesszük fel a kérdést – ez lehetséges?

Egy projekt átfutási idejét, költség- és erőforrásigényét a tervezési fázis során határozzuk meg. A projektek, folyamatok tervezésének és ütemezésének egyszerű és átlátható módja a mátrixban való ábrázolás. A függőségi mátrix (DSM), vagy akár a sztochasztikus hálótervezési módszer (SNPM) a tevékenységek sorrendjének tervezésére szolgál. A DSM és az SNPM is a tevékenységek végrehajtási sorrendjének megállapítására szolgál, de az SNPM a tevékenységek közötti kapcsolatok erősségét is figyelembe veszi, valamint paraméterei változtathatóak, tehát szélesebb körben alkalmazható. Ennek a módszernek továbbfejlesztése a projekt szakértői mátrix (PEM), amely a tevékenységek közötti összes lehetséges kapcsolat mellett tartalmazza a tevékenységek előfordulásának valószínűségeit, illetve tartalmazhatja költség-, erőforrás-, és időigényeit.

Célom az volt, hogy olyan projekttervezési módszert dolgozzak ki, amely a karbantartási területen alkalmazható. A projekttervezés során bemeneti adatként a berendezésekre vonatkozó megbízhatósági, illetve kockázati adatokkal dolgozok. Amelyek alapján egy beavatkozási prioritási sorrend állapítható majd meg, mely segítséget nyújt a karbantartási terv összeállításában. Fontos szempont, hogy a tervezés során nemcsak a berendezések megbízhatósági, illetve kockázati adatait veszi figyelembe, hanem ezen túl a terv kialakítása során a rendelkezésre álló idő-, költség- és erőforráskorlátot is.

A dolgozatomban ismertetem a karbantartás fontosságát és annak kiemelt szerepét. Kitérek a kockázatok és a megbízhatóság jelentőségére. A hagyományos projekttervezési eljárások illetve az eddig alkalmazható mátrixos tervezési módszerek hiányosságait taglalom, majd ezt követően térek át kutatásom jelentős részére, a megbízhatóság alapú mátrixos karbantartás tervezésre. A módszerhez szorosan kapcsolódó fogalmakat is összefoglaltam és példákkal illusztráltam a könnyebb érthetőség kedvéért. Fontosnak tartottam, hogy a kidolgozott módszer gyakorlati jelentőségét is szemléltessem, így a legutolsó fejezetben egy gyakorlati példán keresztül szemléltettem kutatásom eredményeit.

1 KARBANTARTÁS KIEMELT FONTOSSÁGA ÉS VÁLTOZÓ SZEREPE

Minden munkát végző ember tevékenységei során eszközt vagy eszközöket használ, amelyek elromolhatnak, tönkremehetnek, így megállapítható, hogy a karbantartás problematikája már azóta jelen van életünkben, mióta eszközöket használunk. Ezen munkavégzési eszközök javíttatásáról gondoskodni kell, hogy a további értékteremtés céljait ki tudják szolgálni. Így következtethetünk arra, hogy a karbantartás azoknak a tevékenységeknek az összessége, amelyeket el kell végezni az állóeszközök üzemképessége és rendeltetésszerű használata érdekében. Másképp megfogalmazva, a karbantartás mindazoknak a műszaki és adminisztratív tevékenységeknek a kombinációja, amelyek célja az, hogy a terméket előírt funkciójának teljesítésére alkalmas állapotban megtartsák, illetve ebbe az állapotba visszaállítsák. (Gaál-Kovács, 2010)(Gaál, 2007)

1.1 A karbantartás fogalmának meghatározása

A karbantartást nevezhetjük akár ápolásnak vagy gondozásnak is. Gondoskodni kell arról, hogy berendezések, elemek elhasználódási szakasza minél kisebb legyen. A karbantartással az amortizációt kívánják mérsékelni az elhasználódási tartalékok változatlansága mellett. Ebbe a kategóriába sorolhatjuk a pótlás tevékenységét, amikor is elhasznált segédanyagok és kisebb alkatrészek eltávolítása vagy kiszerezése és pótlása a működőképesség megszakításával megy végbe. Beszélhetünk még ebben a csoportban fertőtlenítés felületvédelem, tisztántartás, tisztítási munkálatokról. Az utánállítási műveletek sorozata alatt az erre a célra szolgáló szabályozó berendezések segítségével az eltéréseket szeretnék kiküszöbölni. (Gaál, 2007), (Gaál 2003), (Kovács, 2008)

A karbantartás takarhatja akár az *ellenőrzés* vagy az *állapotvizsgálat*, *állapotfelügyelet* tevékenységét is. Ezek az intézkedések a tényleges állapot megállapítására és annak értékelésére szolgálnak. Az ellenőrzés (állapotvizsgálat, állapotfigyelés) során az elhasználódási tartalék, állapot nem változik meg, csupán a mérhető jellemzők alapján lehetősége nyílik a szakembereknek a tényleges állapot megismerésére és értékelésére. Az ellenőrzés, az állapotvizsgálat és állapotfigyelés tevékenységek közé is sorolhatók, pl. a vizsgálat annak folyamata és értékelése, amikor is az állapot tervszerű ellenőrzése közvetlenül a berendezésen hajtódik végre, és az értékelés során a mért adatokat a tényleges állapotnak megfeleltethető, előírt állapot adataival összevetik. (Gaál 2007), (Gaál 2003)

A karbantartás, mint *helyreállítás*, azaz *felújítás*, *javítás*. Ennek során új elhasználódási tartalékot hozunk létre technológiai műveletek segítségével. Ennek eredményeként az elhasználódási tartalék szintje visszaáll az eredeti értékre, de lehet az eredetinél magasabb, vagy alacsonyabb is. A helyreállítási tevékenységek alatt megmunkálást, cserét és beállítást értünk. A megmunkálás során az előírt állapot helyreállítása alkatrészek, vagy alkatrészcsoporthoz megmunkálásával megy végbe. Ebben az esetben a megmunkálást széleskörűen értelmezhetjük. Legyen szó bármilyen jellegű alak-, vagy tulajdonságvál-

tozást eredményező beavatkozásról, azok is e csoport alá tartoznak. Abban az esetben, mikor az előírt állapot helyreállítása elemek vagy csoportok eltávolításával, és helyükre újak beszerelésével történik, akkor cseréről beszélünk. A javítást követően, mikor is a kívánt állapot helyreállítását az erre a célra szolgáló szabályozó berendezéssel próbáljuk hangolni, akkor a beállítási karbantartási tevékenységet értjük alatta. (Gaál, 2007), (Gaál 2003)

Egy terméken életciklusa során számos változás következhet be annak működési környezetében, működési állapotában. A menedzsmentnek és magának a karbantartás-menedzsmentnek is kellően rugalmasnak kell lennie, hogy alkalmazkodni tudjon e változásokhoz, mert a karbantartási metódusok függenek a tényezőktől. (Gaál, 2007), (Kovács, 2008)

Tökéletes terméket nem lehet tervezni, ezért a karbantartási tevékenységnek magában kell foglalnia a termék folyamatos tökéletesítését. Egy hatékony karbantartás elvégzése érdekében a karbantartással kapcsolatos információknak a termék életciklusának minden fázisában rendelkezésre kell állnia.

Régen maga a karbantartás alatt mindenki a javító munkákat értette. A gépeket meghibásodásig használták, üzemeltették, és a hibák előrejelzésére nem volt mód. Majd megalkották a különböző karbantartási stratégiákat. Ezen stratégiák részletezése előtt célszerű kitérni a karbantartás céljára és szükségességére.

1.2 Karbantartás szükségessége

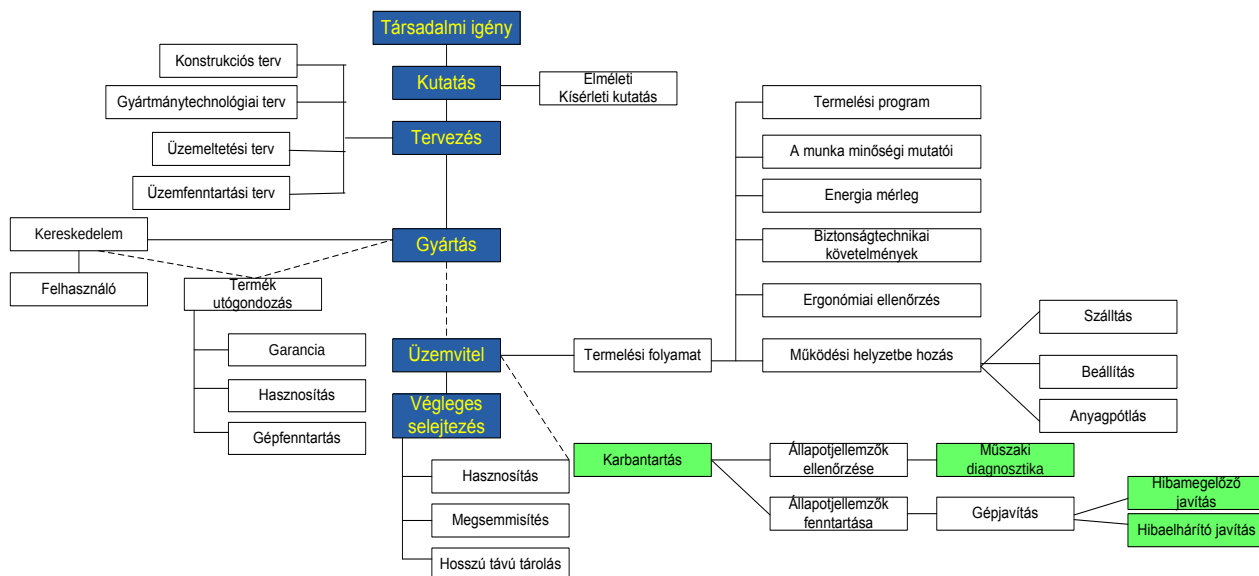
Valamely gép (berendezés, készülék, épület stb.) üzemképességének biztosítása különböző állapotjavító intézkedések sorozata révén valósulhat meg. Az állapotjavító tevékenységeket lehetőleg úgy kell ütemezni, hogy azok ne akadályozzák pl. a termelés folyamatosságát.

A karbantartás szükségességét elsősorban a gazdaságos termelési folyamat fenntartásával lehet indokolni. Ez azzal a ténnyel magyarázható, hogy a szerkezet alapanyagok szilárdsági jellemzői és a nem azonos igénybevételnek kitett alkatrészek elhasználódási idői az egyen-élettartamú berendezések tervezését még nem teszik lehetővé. Ezért egy gép életciklusa alatt egy-egy alkatrész vagy részegység egyszer vagy többször is javításra vagy cserére szorul a gazdaságos üzemben tartás céljából. (Janik et al 2000a), (Gaál-Kovács 2010)

A karbantartás tervezése és gyakorlati végrehajtása (pl. a javítástechnológiákat és a javítási időpontokat, időtartamokat meghatározó tervezési módszerek) jobb, de rosszabb irányban is befolyásolhatja a gépek üzemeltetését. A konstrukciós és az üzemviteli tervek gépfenntartás alatti felülvizsgálata természetesen az összes gépjavítási szempontból számításba vehető alkatrészt érinti, de elsősorban a gépek munkavégző szerveihez, szerkezeteihez kapcsolódik. A gépek, berendezések javítása során megváltoznak, javulnak

az üzemelésre, használatra vonatkozó egyes műszaki állapotjelző értékei. (Gaál-Kovács 2010), (Janik et al 2000a)

A karbantartás szervezeti formáit tekintve kapcsolódhat direkt úton valamely gyártó céghez vagy a termelő vállalathoz, de képezhet teljesen önálló üzemi tevékenységet folytató vállalkozást is.



Forrás: Janik et al., 2000a alapján saját szerkesztés

1. ábra: A karbantartás elhelyezkedése a gépélet-ciklus folyamatai között

A karbantartással elérni kívánt cél

Gondoskodnunk kell berendezéseink megfelelő állapotáról, rendelkezésre állásáról. Amennyiben tehetjük, a meghibásodást meg nem várva megelőző karbantartásokat kell előre meghatározott időközönként, vagy előre megadott kritériumok alapján végeznünk. A karbantartói munkák célja a termék, berendezés meghibásodási valószínűségének, illetve működésének romlásának csökkentése. Amennyiben a hiba már bekövetkezett, javító karbantartást kell alkalmazni. Ez esetben a hiba felismerését követően végezzük majd el a tevékenységeket azért, hogy a terméket visszaállítsuk az előírt funkciójának ellátására alkalmas állapotába. A kitűzött célokat megfelelő stratégia hiányában nehezebben fogjuk elérni, ezért sem utolsó szempont annak kiválasztása egy jó karbantartás elvégzéséhez.

1.3 Karbantartási stratégiák összehasonlítása

A piaci követelmények függvényében a karbantartás jelentősége időről-időre gyakran változott. A változások eredményeképpen a továbbiakban azt a gépet becsülték többre, amelyik minél kisebb hibával minél nagyobb gyártási teljesítményt eredményezett. Ez a szemlélet már elavultnak tekinthető, hiszen ma már újabb követelmények kerültek előtérbe, pl.: a használhatóság, a kezelhetőség, a gazdaságos energia-felhasználás, az ala-

csony zajszint, a megbízhatóság, a hosszú élettartam, a karbantarthatóság, a környezeti biztonság stb. A vevők érdeklődése a rövid életű és utána eldobható berendezésektől a hosszú életű és nagyobb megbízhatóságú gyártmányok felé mozdult el. (Gaál 2003)

Korábban lebecsülték a karbantartás fontosságát, ez megváltozott, egyre inkább reflektorfénybe kerül. A felismerést erősítette a gépi berendezések komplexitása, automatizáltsága, amihez hozzájárult új szakterületek fokozatos belépése, amilyen pl. az mikro/elektronika új szakterületei, irányítástechnika, összekapcsolt berendezések, a termelő-szervezetek integrációja stb. Emiatt az üzemzavarok nemcsak közvetlen, hanem közvetett hatása is jelentős. (Gaál 2003), (Kovács, 2008)

1.3.1 A karbantartási stratégiák több szempont szerinti osztályozása

A karbantartási stratégia szembeállítja a meghibásodások (üzemzavarok) gazdasági kihatásait a karbantartási tevékenység költségeivel mért és számított (becsült) adatok alapján. A stratégia legfontosabb eleme a választás, döntés. A karbantartási stratégia a karbantartás célrendszerének és a célrendszer hosszútávú, folyamatos és gazdaságos kielégítésének módja. Azaz a karbantartási stratégia egy meghatározott időtartamon belüli karbantartási teendők és műveletek sorrendjének, tartalmának és a végrehajtás módjának a rögzítése. (Gaál-Kovács 2010)

- | | |
|---|--|
| <p>a) A karbantartási stratégiákat több szempont szerint lehet osztályozni: Tevékenység idősorai alapján lehet:</p> <ul style="list-style-type: none">• periodikus (időszakos)• szekvenciális <p>b) A berendezés, gépcsoport helyzetének, állapotának ismeretében:</p> <ul style="list-style-type: none">• vizsgálati• ellenőrzési• készenléti | <p>c) A gépcsoportok kölcsönös függőségi kapcsolatainak figyelembevételével:</p> <ul style="list-style-type: none">• egyszerű• opportunisztikus <p>d) Lehetséges állapotok számossága szerint:</p> <ul style="list-style-type: none">• egyszakaszos• többszakaszos <p>e) A hibaelhárításra vonatkozó információ megbízhatóságát tekintve:</p> <ul style="list-style-type: none">• Minimax• adaptációs karbantartási stratégia |
|---|--|

A megelőző intézkedések alkalmazására egymásra következésük szempontjából bizonyos időközönként, vagy szekvenciálisan kerülhet sor. A periodikus stratégia arra támaszkodik, hogy a gép élettartama alatt a megelőző tevékenységek, akciók időpontjait szabályszerű időközönként kell megismételni. A másik esetben eltérően kialakított időszakok egymásutániságát adja meg, vagy ezeket a gép használatának időtartama alatt számítja ki. A fő különbség a megelőzés szempontjából az irányadó időtartam kialakításában rejlik. (Gaál-Kovács 2010)

A rendszerek komplexitása hozta magával, hogy a karbantartások esetében a gépek, azok csoportjain belül a kapcsolataikra is szükséges gondolni. A gépek egyre fokozódó kölcsönös függőségi kapcsolata szükségessé teszi annak vizsgálatát, hogy valamely gépnek a tapasztalatokhoz igazodó karbantartásra történő leállítása vagy egyéb tevékenységek nem teszik-e indokolttá más berendezések megelőző karbantartását, hogy elkerülhetők legyenek a további leállítások, vagy üzemzavarok. (Gaál-Kovács 2010)

A valóság kevés olyan adattal tud szolgálni, amelyek szükségesek a hibaeloszlás megállapításához. A bizonytalansággal kapcsolatos stratégiák pontosabb vizsgálata azt mutatja, hogy a szó szorosabb értelmében véve, itt nem újabb típusú stratégiáról van szó, hanem inkább olyan számítási módszerekről, hogy miképpen lehet bizonytalan információkból a hibaeloszlási értékeket meghatározni.

A minimax stratégia célja, hogy minimális szinten alakítsák ki a költségeket bármilyen stratégia alkalmazása esetén is. Az adaptációs, átalakításos stratégia esetén a hibaeloszlás típusából kiindulva, abban az esetben, ha ismert, a paraméterek becslése kevés értékből történik. Minthogy üzemelés során mód nyílik új adatok és tapasztalatok gyűjtésére, nyilvánvaló, hogy ezeket felhasználhatjuk a mutatószámok javítására. Ez az eljárás jobban tükrözi a költségcsökkentés szempontjából lényeges és tényleges adatokat és feltételeket, mint bármiféle becslés. (Gaál-Kovács 2010)

Ezek a bemutatott osztályozási módszerek nehezen kezelhetők, és nem általánosíthatók.

1.3.2 Karbantartási alapstratégiák

Kutatások és tanulmányok során a felsoroltaktól eltérően három fő alapstratégiát különböztet meg. A *bázis alapú stratégia*, amelyre meghibásodás bevétele a jellemző. Ebben a felmerülő hiba kijavítása mindig eseti, egyedi tevékenység, a javítások és előző évek meghibásodási statisztikája alapján történik. A másik, a *megelőzésen alapuló stratégia*, amelyre üzemelő környezetben megfigyelések útján rendszeresen feltárt, későbbi meghibásodásra utaló hibajelenségeknek üzemzavar bekövetkezése előtti, programozott megszüntetése a jellemző. Tervezése az állóeszközhöz kapcsolódóan időszakosan felülvizsgálat tartalmú szemlefeladatokon és felülvizsgálat szemleciklusokon nyugszik. Ez a kéttípusú stratégia kombinációja, az *intenzív karbantartási stratégia*, amelynél a nyilvántartott állóeszköz-állományban a termelési biztonság és a termékminőség garantálása érdekében különbséget kell tenni, hogy kockázatok nélkül megengedhető vagy nem a meghibásodás bevétele. (Gaál-Kovács 2010)

Az utóbbiakban megnevezett stratégia alkalmazásához elengedhetetlen a berendezések műszaki és funkcionális paramétereinek, igénybevételének körültekintő ismerete és értékelése.

1.3.3 A karbantartási stratégiák döntésmélet alapú csoportosítása

Ebben a megközelítésben a karbantartási stratégia az adott cél elérése érdekében hozott döntések láncolata. Ezek alapján leírható egy újabb osztályozási lehetősége a karbantartási stratégiáknak:

- *Esetszerű:* ebben az esetben a döntéssorozat kiindulópontja a meghibásodás maga
- *Ciklusidő szerinti javítási stratégia:* a döntéssorozat alapja egy előre rögzített javítási időstruktúra, amely merev és rugalmas rendszerben egyaránt kialakítható
- *Diagnosztikán alapuló:* ilyenkor a döntéssorozat kiindulópontja a megfigyelés, mérésértékelés és ezek összehasonlítása egy kívánatos állapottal. Ezt nevezhetjük akár felügyeleti stratégiának is.
- *Karbantartás megelőzés és kiküszöbölés*

Az *esetszerű stratégia* tehát bevárja a meghibásodásokat, míg az utóbbi kettő megelőzési stratégiának minősül. Vállalatoknál az így értelmezett karbantartási stratégiák akár egymás mellett is élhetnek, hiszen biztosan lesznek berendezések, amelyeken esetszerűen, míg másokon megelőzési stratégiák alapján végzik majd a karbantartást. (Gaál-Kovács 2010)

Az elsőként feltüntetett stratégia célszerű alkalmazási területe az olyan meghibásodások elhárítása, amelyek megelőzése nagyobb ráfordításokkal járna, mint a javítás. Olyan beavatkozásokat sorolunk ide, amelyek nem igényelnek karbantartó szakembert, hanem elegendő, ha éppen a gépbeállító elhárítja az éppen felmerült hibát. Esetszerű intézkedéseket végezhetnek még olyan berendezéseken, amelyek kevésbé érzékenyek az ápolásra, gondozásra. Ezen gépek ciklusideje tág intervallumban mozoghat. (Gaál-Kovács 2010)

Az *eseti* stratégia magáról a folyamatról kevés információt igényel. Nagyon lényeges ezzel szemben a reagálás az éppen felmerült meghibásodásra, azaz a gyors reakció. Fontos, hogy amíg a folyamatokról nem, addig a rendelkezésre álló erőforrásokról (anyag, munkaerő stb.) mindig pontos, aktuális adatokra van szüksége. (Gaál 2003)

A *ciklusidőn alapuló stratégia* esetén a meghibásodások megelőzésére koncentrálnak. Bizonyos időközönként (ciklusidő) elvégezzük a berendezés felülvizsgálatát és a szükséges beavatkozásokat. Az olyan jellegű meghibásodásokat célszerű ilyen módon megelőzni, amelyek ha váratlanul bekövetkeznének, nagyobb termelés kieséssel járnának. A jelentős előkészületeket igénylő javításokat, felújításokat is célszerű ebben a formában végezni.

A ciklusidők meghatározásakor elengedhetetlenek az információk a folyamatról. Ezek a berendezés működtetése során készített matematikai-statisztikai elemzésekből nyerhetők ki. Az eredmények alapján meghatározhatók lesznek adott berendezésként a ciklusidők, illetve maguk a beavatkozási módok is. (Gaál 2003), (Kovács, 2008)

A harmadik kategória alá soroltuk az *állapottól függő karbantartási stratégiát*. Ez esetén a berendezés működtetése szempontjából fontos paramétereket folyamatosan figyelemmel kísérjük, ezek alapján következtetünk annak üzemképességére, illetve az elhasználódás mértékére. Ezek alapján a leállási idők minimumra csökkenthetők.

Műszaki diagnosztikai alkalmazások segítségével folyamatos információátadás történik a berendezések állapotáról. Az előre beállított kritikus határ túllépésekor fel lehet már előre készülni a szükséges beavatkozásokra. Ez a fajta stratégia, az állapot szerinti, a rendelkezésre álló információk mindenkor aktualitásának köszönheti a rugalmasságát és nagyfokú biztonságát. Mint minden egyéb fejlesztés, újítás, kialakítás természetesen ez a fajta stratégia alkalmazása is befektetést igényel, és a szükséges források hiánya miatt gyakran le kell mondani a műszaki diagnosztikai alkalmazásokról.

Ennek a stratégiának az alkalmazása nem mindig a legjobb módja a karbantartásnak a költséghatékonyság szempontjából vizsgálva. Ha a gépek vagy az alkatrészek hibája nem kritikus, akkor megengedett lehet hibaelhárító karbantartás, mely alkalmazása esetében akkor avatkozunk be, ha a hibát észleltük. Ha a gépek és alkatrészek élete pontosan becsülhető, akkor a merev ciklusidő karbantartás a leghatékonyabb módja a karbantartásnak. A Megbízhatóság Központú Karbantartás (RCM¹) és a Kockázat Alapú Karbantartás (RBM²) a legismertebb módszerek erre. (Gaál-Kovács 2010), (Kovács, 2008)

A karbantartás megelőzése és kiküszöbölése során cél az eszközök hatékonyabbá tétele. Az eszközök, berendezések, különösen a termelő berendezések élettartam szemléletű tervezésére és üzemeltetésére térnek át a vállalatok, termelőüzemek. A tervezést módosítják úgy, hogy a további célok közül már több is elérhető legyen, pl.: jobb megbízhatóság, karbantarthatóság. A tervezés során törekszenek arra, hogy olyan berendezéseket alkossanak, amelyek szervizigénye alacsony, vagy egyáltalán nincs is. A valódi karbantartás-megelőzés a hibamentes konstrukción alapul, és sok területen csak a jövőben várható az elterjedése. (Gaál, 2007), (Gaál 2003)

A ciklusidő szerinti stratégia során az elvégzendő munkák egy része előre tervezhető és ütemezhető is, másik részüket a váratlan meghibásodások elhárítása teszi ki. Így magának az adott szervezetnek kell rendelkeznie tervezhető apparátussal, amely megállapítja és karbantartja a ciklusidőket, és ütemezi a megelőző karbantartásokat. Kisebb létszá-

¹ RCM = Reliability Centered Maintenance

² RBM = Risk Based Maintenance

mot igényel a váratlan meghibásodások kisebb aránya miatt. Amennyiben mégis felmerülne hibák, akkor szükség esetén bevonhatók az előre tervezett munkákra kijelöltek is. Külső, megbízott munkaerő, meghatározott időben történő igénybevételét lehetővé teszi ez a fajta stratégia, ami az állandó karbantartó létszám további csökkentését eredményezheti. Hátránya azonban, hogy gyakran kerül sor felesleges beavatkozásokra, vagy indokolatlanul használnak fel anyagokat és alkatrészeket. (Gaál, 2003)

A váratlan meghibásodások aránya az állapotfüggő stratégia esetén még kisebb, így a karbantartás során felhasználni kívánt erőforrások felhasználása előre tervezhető és programozható. A korszerű diagnosztikai berendezések kezelése és karbantartása azonban képzett szakemberek alkalmazását igényli. (Gaál, 2003)

Mint minden alkalmazni kívánt stratégia esetén, ebben az esetben is meg kell határozni, hogy a döntési helyek mely hierarchiaszintekhez lesznek közelebb vagy távolabb.

Az esetszerű stratégia esetében a döntések nagy része alacsony szinten van, a javítással kapcsolatos döntéseket az operatív irányítás, a munkában pedig gyakran maga a munkás hozza meg. Már a tervezés fázisában meghozzák a ciklusidő szerinti stratégia alkalmazására jellemző döntéseket. Itt magasabb hierarchiaszint figyelhető meg. A legutolsóként megnevezett stratégia esetében már a vezetés dönt a karbantartással kapcsolatos kérdésekről. (Gaál-Kovács, 2010)

Összefoglalva a következő táblázat mutatja be az egyes stratégiák különböző szempontok szerinti jellemzését:

1. táblázat: A karbantartási stratégiák és azok összehasonlításai

Stratégia Jellemző	Eseti	Ciklikus	Állapotfüggő	Karbantartás megelőzés
Alkalmazási terület	kis kár kiesés esetén a hibamentes működési időnek nagy a szórása	a kiesés nagy kockázattal jár állandó élettartamú elemek előkészíthető	lehetőség van mérésre, adatgyűjtésre a meghibásodás nagy kockázattal jár gazdaságosság	a meghibásodás, műszakilag megoldható
Információigény	gyors azonnali	pontos információ kell előzetes	állandó, vagy ciklikus információszolgáltatás az állapotról	üzemeltetés közben nincs
Szervezés	gyors beavatkozás esetleg csomagterv	tervezett ütemezett	van idő a felkészülésre, az állapotvizsgálatot meg kell szervezni	üzemeltetés közben nincs
Szervezet	helyi univerzális szakképzett kreatív	központosított külsők bevonása	központosított külsők bevonása	üzemeltetés közben nincs
Vezetés	gyors döntések	tervezés	stratégiai vezetés	üzemeltetés közben nincs

Forrás: Gaál, 2003 és Kovács 2008 alapján saját szerkesztés

1.3.4 Megbízhatóság Központú Karbantartás

„Az RCM egy folyamat, amely célja a fizikai eszköz karbantartási szükségleteinek meghatározása.” (Gaál, 2003 63.o.)

A RCM olyan egység, mely a berendezés megelőző karbantartási programját meghatározza. Ezen egységen belül a megbízhatósági mérnökség egy olyan csoport, amelynek hosszú távú célja, hogy lecsökkentse a telephelyen előírt karbantartás mennyiségét. A berendezés helyes beállításával és a megfelelő működtetéssel a berendezés hosszabb életűvé válhat, mint korábban.

Az adott időtartam kiterjesztésével a karbantartási költségvetést le lehet csökkenteni, a magas számú helyettesítések miatt korábban használt erőforrás felszabadítható, és az üzem általános eszközhatékonysága (OEE³) megnövekedhet a kevésbé gyakori beavatkozások miatt. (Péczy-Pék, 2003), (Péczy, 2009), (Garbatov-Guedes, 2009), (Selvik-Aven, 2010)

1.3.5 Kockázat Alapú Karbantartás

A Kockázat alapú karbantartás (RBM) segítségével a karbantartási költségek és állásidők csökkentése mellett optimalizálható a rendszerek és berendezések hatékonysága. Minden tevékenységben vannak kockázati elemek, és bármely tevékenység sikere vagy bukása a kockázatkezelés módjától, eredményétől függ. A kockázatkezelés lényegében egy döntéshozatali folyamat.

A kockázatra alapozott karbantartás-menedzsment a korszerű karbantartás-tervezés alapvető filozófiája. Ez – a megnevezéséből is következően – a tervezés, a kivitelezés és az üzemeltetés során a pozitív és negatív kockázatokat egyaránt vizsgálja, és ennek alapján hozza meg a szükséges döntéseit. A statisztikai adatgyűjtés, feldolgozás és a matematikai statisztika a valószínűség-számítás és a kockázatelemzés módszereivel értékeli a lezajlott hibabekövetkezési és karbantartási eseményeket, az elvégzett beavatkozások végeredményeit, az okozott veszteségeket, a tevékenysége által elért nyereséget, hogy a következőkben ezek figyelembevételével hozzon még jobb döntéseket, amelyeket beépít a kockázat-elhárítási tervekbe. (Garbatov-Guedes, 2009), (Selvik-Aven, 2010), (Eisinger-Rakowsky, 2001)

A későbbiekben bemutatott módszer az állapotfüggő karbantartási stratégiát, de leginkább a megbízhatóság központú stratégiát, illetve a kockázat alapú stratégiát támogatja, és teszi hatékonyabbá tervezésüket. Mielőtt rátérnénk ennek tárgyalására, elengedhetetlen a stratégiák során alkalmazott eszközök és szoftverek ismertetése, hiszen, ha megfelelő tervet szeretnénk létrehozni, a bemeneti adatokhoz mérések sorozataként jutunk hozzá.

³ OEE = Overall Equipment Effectiveness

2 MEGBÍZHATÓSÁG ÉS KOCKÁZAT

A megbízhatóság-elmélet az a tudományág, amely meghatározza a berendezésekben fellépő meghibásodások keletkezésének törvényszerűségeit, ezek előrejelzésének módjait, a megbízhatóság növelésének lehetőségeit a tervezés, a tárolás és felhasználás időszakában, továbbá a megbízhatóság ellenőrzésének módszereit. A megbízhatóság fogalma a terméknek csak egy működési tulajdonságára, a hibamentességre vonatkozik. A hibamentesség – pl.: a elektronikai termékek esetében – a legfontosabb megbízhatósági jellemző. Lényegében ez a helyzet tovább nem javítható, első meghibásodásig működő termékek, készülékek esetében sem.

Olyan termékek esetében, amelyek már javíthatók, ez a meghatározás már nem kielégítő, mert a karbantartási tevékenységet és a karbantartási időt nem veszi figyelembe. Ezeknek a termékek esetében a karbantarthatóság mellett a tartósság is fontos tényező, amely a termék eredő megbízhatóságát befolyásolja. A megbízhatóság definíciójának fejlesztése az ipari berendezések, technológiai rendszerek szempontjából is alapvető jelentőségű, hiszen az ipar, mezőgazdaság által használt berendezések is általában javítható termékeknek minősülnek. (Janik et al. 2000a), (Gaál-Kovács, 2010)

Tehát a *megbízhatóságon a hibamentes működés valószínűségét* értjük. Egy olyan tulajdonság, amely 0 és 1 közötti számértékkel megadható. A karbantarthatóság, a javíthatóság, a termék tartóssága, szállíthatósága, tárolási lehetőségei is befolyásolják a hibamentességet.

A terméknek azon képességét, hogy meghatározott használati feltételek között olyan állapotban tartható, illetve olyan állapotba állítható vissza, amelyben előírt funkcióját teljesíteni tudja, ha a karbantartását adott feltételek között és előírt eljárások, valamint erőforrások felhasználásával végzik, nevezzük *karbantarthatóságnak* (fenntarthatóságnak).

Ehhez kapcsolódik a szervezetnek azon tulajdonsága, hogy adott körülmények között rendelkezésre bocsájtja azokat az erőforrásokat és eszközöket, amelyek az adott karbantartási politika mellett a termék karbantartásához szükségesek. Ezt *karbantartás-ellátás képességnek* (fenntartás-támogatás képesség) nevezzük. A leírt két tényező befolyásolja a terméknek azt a *használhatóság* képességét, hogy adott időpontban vagy időszakban, adott feltételek között ellátja előírt funkcióját, feltéve, hogy a szükséges külső erőforrások rendelkezésre állnak. A *meghibásodás* egy esemény, amelynek során a termék elveszíti azt a képességét, hogy előírt funkcióját ellássa, illetve ennek során a termék hibaállapotba kerül. (Janik et al., 2000a), (Gaál-Kovács, 2010)

2.1 Az elem megbízhatósága

Az előzőekben olvasható volt a megbízhatóság definíciójának tárgyalása során a termék elnevezés. A termék azonban lehet akár egy elem, de akár egy rendszer, vagy berendezés is. A megbízhatóság vizsgálatoknál nemcsak a rendszer tovább nem osztható részét értjük elemen, hanem minden olyan berendezést, terméket, amelynek megbízhatóságát alkotórészeinek megbízhatóságától függetlenül tanulmányozzák. Ez azt jelenti, hogy a megbízhatósági vizsgálat egy eleme rendszerteknikai szempontból több elemből összeálltnak tekinthető. Az elemek három fő csoportba sorolhatók megbízhatósági tulajdonságuk alapján:

- nem javíthatók (első meghibásodásig működik)
- azonnal javíthatók és
- számottevő javítási időt igénylők. (Gaál-Kovács, 2010)

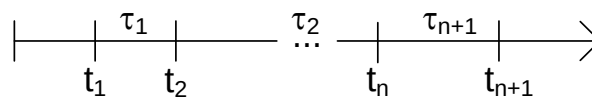
2.1.1 Nem javítható elemek

Ezeknek az elemeknek a működése az első meghibásodás bekövetkezéséig tart. Ezeknek az elemeknek a javítása vagy műszakilag nem lehetséges, vagy nem gazdaságos, ezért is határozza meg a megbízhatóságot a hibamentességük. Tartósságuk pedig hibamentességükkel azonosítható, hiszen az első meghibásodásig működnek. (Janik et al., 2000a), (Gaál-Kovács., 2010)

2.1.2 Azonnal javítható elemek megbízhatósága

Ezek az elemek általában tipizált elemek és nagy sorozatban készülnek. Az azonnal történő javítás során az elemet a meghibásodás pillanatában az újjal kicserélik, vagy a felújítják. Feltételezzük, hogy a kicserélési idő a működési időhöz képest kicsi. Ezért úgy tekintjük, hogy a felújítás rövid idő alatt történik. (Janik et al., 2000a), (Gaál-Kovács 2010)

Az elem a 0. időpontban kezd működni és t_1 működési idő után meghibásodik. A meghibásodási pillanatban egy másik elemmel cserélik ki, amely a t_2 ideig lesz működőképessé, s ezt egy harmadik váltja fel.



Ennek alapján a felújítás vagy csere időpontjai nagyon könnyen számíthatók:

$$t_1 = \tau_1; \quad t_2 = \tau_1 + \tau_2$$

a helyreállítási sűrűségfüggvény $h(t) = \frac{\partial H(t)}{\partial t}$ megadja minden t időpontra a következő egységnyi idő alatt fellépő meghibásodások számát. (Gaál-Kovács [2010])

A javítható elem meghibásodásai közötti tényleges működés átlagos értékét nevezzük a meghibásodások közötti átlagos működés idejének. Összefüggésszerűen (t_1, t_2) időintervallumra vonatkozóan:

$$T = \frac{t_2 - t_1}{H(t_2) - H(t_1)}$$

Az ilyen, azonnal javítható elemek általában standardizált vagy nagy sorozatban készülnek

2.2 A rendszer megbízhatósága

Rendszeren megbízhatósági vizsgálatok során az egymással kapcsolatban lévő elemek egy, a célnak megfelelően körülhatárolt csoportját értjük. Az elemeiből felépített rendszer megbízhatóságát alapvetően (nem kizárólagosan) az elemek megbízhatósága határozza meg. Amennyiben ismert a rendszert felépítő elemek megbízhatósága akkor számszerűsíteni tudjuk a rendszer megbízhatóságát is. (Gaál-Kovács, 2010)

Amikor a rendszer megbízhatóságát szeretnénk meghatározni, két nagyon fontos tényezőt figyelembe kell venni. Először is, hogy az elemek egymástól függetlenül hibásodnak-e meg vagy sem, azaz bármely elem meghibásodása befolyásolja-e a többi elem megbízhatóságát. A másik nagyon fontos tényező, hogy a rendszer struktúrájának és működésének ismeretében el kell döntenünk, hogy mi idézi elő a rendszer meghibásodását. (Gaál-Kovács, 2010)

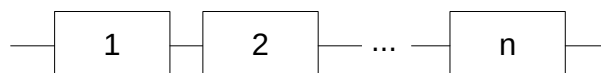
A rendszereket két alapvető csoportba sorolhatjuk. Vannak független megbízhatóságú elemekből és nem független megbízhatóságú elemekből felépülő rendszerek.

2.2.1 A független megbízhatóságú elemekből felépülő rendszerek megbízhatósága

Ezek a rendszerek olyan elemekből épülnek fel, amelyeknek a meghibásodása nem vonja maga után a rendszert felépítő többi elem meghibásodását, vagyis egymás megbízhatóságát nem fogják befolyásolni.

Alapvető szempont az elemek megbízhatósága mellett a rendszer megbízhatósági struktúrája. Ennek ismerete azt jelenti, hogy a bármely eleméről meg tudjuk mondani, hogy meghibásodása eredményezi-e a rendszer meghibásodását. A struktúra meghatározásakor keressük a rendszer elemeit, az elemek hatásait a rendszer működésére és az elemek összefüggését. (Gaál-Kovács, 2010)

Abban az esetben, ha az egyes elemek elrendezése a rendszerben olyan, hogy bármelyik hibásodik is meg, az maga után vonja az egész rendszer meghibásodását, ebben az esetben a rendszer elemei megbízhatósági szempontból sorosan kapcsoltak.



Forrás: Gaál-Kovács, 2010 alapján saját szerkesztés

2. ábra: Soros kapcsolású rendszer

Soros kapcsolású rendszer megbízhatóságának meghatározása érdekében tételezzük fel, hogy S egy tetszőleges működési változó, amelyik azt az eseményt jelenti, amikor a rendszer meghibásodás nélkül működik. A soros rendszer definícióját figyelembe véve S akkor fordulhat elő, ha az összes s_i is előfordul (s_i a rendszert alkotó egyes elemek működési változója $i = 1, 2, \dots, n$)

Az elemek megbízhatósági függetlenségét kihasználva a következő összefüggésekhez jutunk:

$$P(S) = \prod_{i=1}^n P(s_i)$$

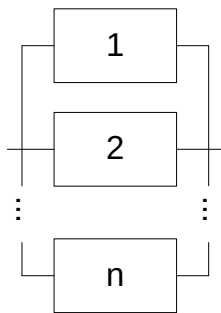
Áttérve a megbízhatóság-elméleti írásmódra:

$R(t) = \prod_{i=1}^n r_i(t)$, ahol $R(t)$ a rendszer, $r_i(t) = 1, 2, \dots, n$ pedig a rendszert felépítő független

megbízhatóságú elemek megbízhatósági függvénye. (Gaál-Kovács, 2010)

Soros kapcsolási rendszerben a rendszer meghibásodási rátája az összekapcsolt elemek meghibásodási rátáinak az összege. Ez lényegében azt jelenti, hogy a rendszer eredő megbízhatósága a benne szereplő elemek megbízhatóságához képest csökken.

Az elemek elrendezésének strukturális kapcsolódásának másik alapvető lehetősége a párhuzamos kapcsolás. Párhuzamos kapcsolás esetén a rendszer leállását csak a rendszert felépítő valamennyi elem azonos időben bekövetkező meghibásodása idézi elő.



Forrás: Gaál-Kovács, 2010 alapján saját szerkesztés

3. ábra: Párhuzamos kapcsolású rendszer

Az elemek függetlenségének felhasználásával, a soros kapcsolású rendszerhez hasonló elvek alapján levezethető a rendszer megbízhatósági függvénye, mely ebben az esetben a nem működés (meghibásodás) tényére írható fel.

$F(t) = \prod_{i=1}^n f_i(t)$, ahol $F(t)$ a rendszer, $f_i(t) = 1, 2, \dots, n$ pedig az egyes elemek meghibásodási

függvénye. (Gaál-Kovács [2010])

A megbízhatóság és a meghibásodás komplementer tulajdonságát felhasználva a következő összefüggést kapjuk a párhuzamos kapcsolású rendszer eredő megbízhatóságának meghatározására:

$$R(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - r_i(t)]$$

Ilyen esetben az elemek kapcsolása lehetővé teszi a rendszer megbízhatóságának tetszés szerinti növelését, s így elérhető a nagyobb megbízhatóságú rendszerek felépítése. Ha például egy adott funkció ellátására párhuzamosan kapcsolunk két darab 0,5 megbízhatóságú elemet, akkor az elempár megbízhatósága 0,75 lesz. Többszörözéssel a megbízhatóság még tovább javítható. A többszörözés mértéke, a párhuzamos ágak száma gazdasági számítások alapján kerül meghatározásra. Az azonos funkció ellátására képes elemek közül az alacsonyabb megbízhatóságúnak általában alacsonyabb az ára is, az elemek számának növelése viszont az üzemeltetési és karbantartási költségek növekedését eredményezi. (Janik et al., 2000a), (Gaál-Kovács, 2010)

A soros és párhuzamos kapcsolási elv alkalmazásával, kombinálásával általános kapcsolású rendszereket tudunk kialakítani. Az ilyen bonyolult struktúrájú rendszerek megbízhatóságának meghatározására elvileg két lehetőség áll rendelkezésre. Az egyik lehetséges megoldás, hogy a rendszert megpróbáljuk soros, párhuzamos kapcsolású alrendszerekre, azaz részrendszerekre bontani, s ezek megbízhatóságának meghatározásán keresztül jutunk az eredő megbízhatóságának számértékéhez. A másik lehetőség szerint a rendszer $R(t)$ megbízhatósági függvényét az elemek $r_i(t)$ megbízhatósági függvényének polinomjaként állítjuk elő.

2.2.2 A nem független megbízhatóságú elemekből felépülő rendszer megbízhatósága

Az előző pontban részleteztem a rendszerelemek függetlenségét a megbízhatóság szempontjából, és azok hatását az egész rendszerre. Ez azonban megkötöttségnek számít és a valóságos körülmények között nem is teljesül.

Tekintsünk egy egyszerű példát ennek megértése érdekében. Adott technológiai funkció ellátására párhuzamosan kapcsoltuk a C és D elemeket. Amennyiben C meghibásodik, akkor D terhelése megnő, amin feltételezhetően nagyobb meghibásodási valószínűségeket eredményez a továbbiakban D elemre vonatkozóan. Az elemek terhelésén ez esetben a különböző mechanikai, hő, elektromos és vegyi hatások által okozott igénybevételt értjük az elemek terhelésén. (Gaál-Kovács, 2010)

Az egyes elemek megbízhatósági függvényének ismerete ebben az esetben még nem elégséges a rendszer $R(t)$ megbízhatósági függvényének a meghatározásához. Szükséges lenne még ismerni az elemek működésének feltételes valószínűségeit, a többi elem meghibásodására vonatkozóan a különböző lehetséges feltételek mellett. Az ilyen rendszerek megbízhatóságának számszerűsítésére közelítési módszerek szolgálnak.

Az egyik lehetséges megoldás szerint a rendszert olyan alrendszerekre bontjuk fel, amelyek bizonyos megfontolások alapján független elemekből felépülnek tekinthetők.

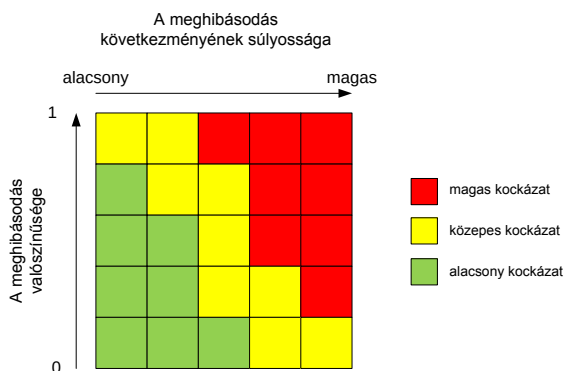
Amennyiben ezeknek az alrendszereknek, mint elemeknek a megbízhatósága meghatározható, akkor az egész rendszer megbízhatósága már könnyen kiszámítható.

A független megbízhatóság feltételezése a technológiai rendszereket alkotó elemek esetében nagyon gyakran nem megalapozott. A rendszerek üzemeltetési tapasztalatait rögzítő dokumentumokat áttanulmányozva megállapíthatjuk, hogy a rendszerelemek egymásra hatással vannak. (Gaál-Kovács [2010])

2.3 A karbantartási tevékenységek megbízhatósági és kockázati besorolása

Az RCM (Reliability-Centered Maintenance), azaz megbízhatóság központú karbantartási stratégia szerint a karbantartási tevékenységeket az alapján rangsoroljuk, hogy mekkora a valószínűsége az egyes berendezések meghibásodásának a karbantartás tervezési időtávján belül. Azok a karbantartási tevékenységek kapnak magasabb prioritást, és azokat végezzük el hamarabb, amelyeknél a berendezések magasabb meghibásodási valószínűséggel, és ezért alacsonyabb várható meghibásodás nélküli üzemidővel rendelkeznek. Tovább árnyalható a prioritási sorrend, ha a meghibásodás előtti diagnosztizálás, karbantartás költségeit és időszükségletét a tönkremenetel utáni javítás vagy csere költségeivel és időszükségleteivel, valamint a tönkremenetel miatt keletkező anyagi és nem anyagi károkkal vetjük össze. A meghibásodás következményét súlyozzuk a bekövetkezés valószínűségével, azaz kockázat alapon hozzuk meg döntéseinket (RBM – Risk-Based Maintenance). (Rausand, 1998), (Khan-Haddara 2003), (Garbatov-Guedes, 2009), (Selvik-Aven, 2010), (Eisinger-Rakowsky, 2001)

A besorolási osztályok száma és határai rendszerenként különbözőek, az alkalmazható megelőző és javító tevékenységek számától és a hozzájuk kapcsolódó költségektől is függenek. A kockázatok alapján eldönthető, mely eszközökre alkalmazunk eseti, ciklikus vagy állapotfüggő karbantartási stratégiát. (Kovács et al., 2007), (Nagy, 2010), (Garbatov-Guedes, 2001), (Selvik-Aven, 2010), (Eisinger-Rakowsky, 2001)



Forrás: Kovács et al., 2007 és Nagy 2010 alapján saját szerkesztés

4. ábra: Meghibásodások kockázatai besorolása

Az állapotfüggő stratégiával karbantartott berendezések között ismét meg kell határoz-
nunk a prioritásokat. A meghibásodás következményeit már felmértük a karbantartási
stratégia meghatározásakor, a bekövetkezés valószínűségét pedig az állapotok vizsgálá-
tából becsülhetjük. Azonban figyelembe kell vennünk, hogy állapotjellemzők mérése-
kor becslési hibákat véthetünk, ezen hibák kezelését a következő részben részletezem.
(Carazas – Souza, 2010)

2.4 Mérési bizonytalanság figyelembe vétele a megbízhatóság- és a kockázatkezelés területén

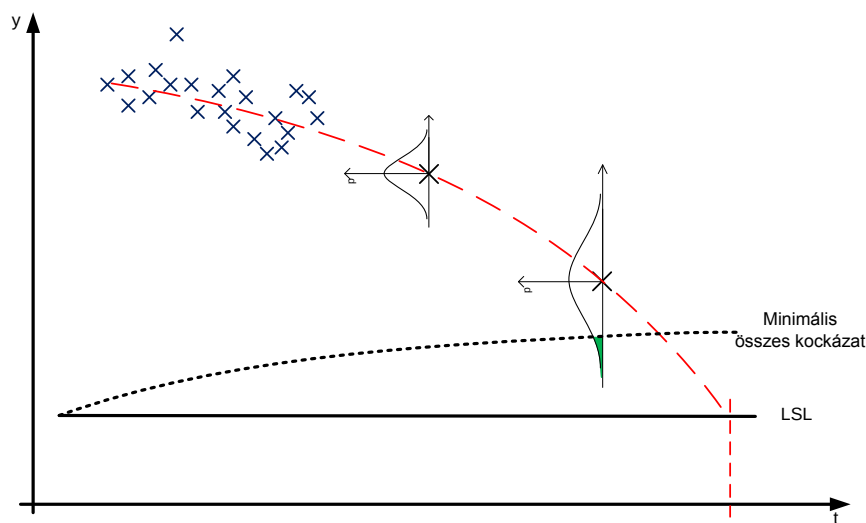
A mérésből, mintavételezésből adódó bizonytalanság figyelembevételével kapcsolatban
már számos publikációban foglalkoztak. Rámutattak, hogy a mérési bizonytalanság fi-
gyelembe vétele szükséges a helyes döntéshozatal érdekében. Egy mérés mindig bi-
zonytalansággal terhelt. Bizonytalanságot okoz a mérőműszer pontatlansága, a leolvasá-
si hibák, illetve a mintavételezésből adódó becslések. Az 2. táblázat mutatja, hogy mi-
lyen mintavételezésből, illetve mérési hibából adódó döntési hibákat véthetünk egy
olyan berendezés esetén, amelynek a kopását diagnosztizáljuk. (Kosztyán et al., 2009 és
2010), (Faber et al. 1996), Bashiri et al., 2011)

2. táblázat: Döntési kimenetek a mért értékre alapozva

Költségek		Döntés	
		Továbbengedjük a folyamatot	Karbantartunk
Tény	Az előrejelzési idő- szak alatt nem megy tönkre	Helyes továbbengedés c_{11}	Felesleges karbantartás (első- fajú hiba) c_{10}
	Az előrejelzési idő- szakon belül tönkre- megy	Elmaradt karbantartás (má- sodfajú hiba) c_{01}	Helyes karbantartás c_{00}

Forrás: Kosztyán et al., (2010) alapján saját szerkesztés

A vizsgált jellemző lefutását, a mérési eredményeinket kezelhetjük idősorként, és a
megfelelő dekompozíció után sztochasztikus folyamatmodellekkel előre jelezhetjük a
következő időszakokra a várható értékeket. A korábbi mérési eredményekből meghatá-
rozhatjuk az idősor struktúráját, és becsülhetjük a paramétereit. Azonban ez a becslés is
tartalmaz bizonytalanságot, így az idősor alatt és felett megjelenik a konfidencia inter-
vallum alsó és felső határa. Az utolsó mért pontot követően ez az intervallum fog kiszé-
lesedni az előrejelzés során a predikciós időtáv növekedésével. Minél távolabbra jel-
zünk előre, annál nagyobb bizonytalansággal kell számolnunk. (Hársfa-Hegedűs, 2008)



Forrás: Kosztyán et al., 2010 alapján saját szerkesztés

5. ábra: A degradáció miatt az idő előrehaladtával a minimális összes kockázathoz tartozó beavatkozási határ is változik

Meg kell határoznunk a hibás döntések következményeinek költségét is. Ha korábban avatkozunk be a kelleténél, akkor kihasználatlan teljesítményünk keletkezik, ennek mértéke - így költsége - az idő előrehaladtával csökken. Ezzel szemben, ha nincs időben karbantartás, és meghibásodik a berendezés, akkor a tönkremenetel mellett egyéb járulékos költségeink (egészségügyi, környezeti, gazdasági) is lehetnek. Ezek a költségek azonban nem függenek a bekövetkezés idejétől. A minimális összes kockázathoz tartozó beavatkozási határ így minden időpillanatra kiszámítható vagy szimulációval meghatározható a költségekből és a döntési kimenetek valószínűségéből.

Ha ismert a minimális összes kockázathoz tartozó beavatkozási határ az előrejelzésekből megadható, hogy adott megbízhatósági szint mellett mikor éri el a vizsgált folyamatunk ezt a határt. Így rögzített kockázati szint mellett az egyes folyamatokat vagy berendezéseket összehasonlíthatjuk az alapján, hogy melyik mennyi idő múlva éri el ezt a szintet.

A rangsorolást másik nézőpontból is elvégezhetjük. Rögzíthetjük az időtávot, amin belül tervezni szeretnénk a karbantartási tevékenységeket, és az egyes berendezéseknél azt a konfidencia szintet számítjuk ki (vagy szimulációval meghatározzuk), amelynél éppen eléri a vizsgált jellemző a minimális összes kockázat görbét. Ezzel a megközelítéssel a berendezésekhez valószínűségeket rendelhetünk, a tervezési időtávon belüli működés valószínűségét, vagy épp ellenkezőleg a meghibásodás valószínűségét. Ezen valószínűségek figyelembevételével a karbantartási terv optimalizálható. (Mészáros-Erdei, 2010)

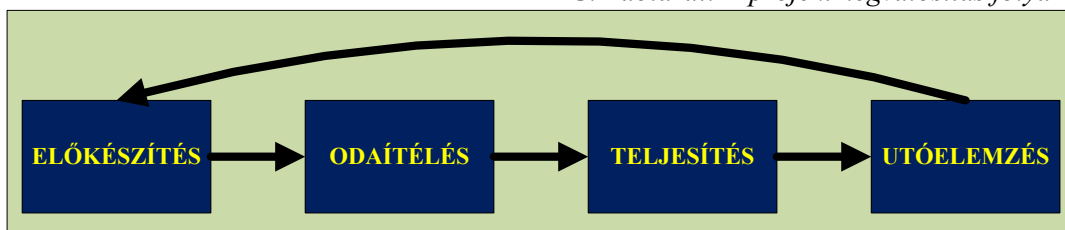
3 A KARBANTARTÁSI PROJEKTEK ÉS TERVEZÉSÜK FEJLESZTÉSE

A projekt minden olyan egyszeri, összetett tevékenységek sorozatából álló feladat, melyeket meghatározott cél elérése érdekében hajtanak végre, előre definiált műszaki paraméterek, valamint meghatározott idő- és költségtényezők megtartása mellett.

- Projekt = célmegvalósítási folyamat
- Projektmenedzsment = folyamat vezetése és szervezése + megvalósításhoz szükséges módszertani és technikai eszközök

A létesítménymegvalósítási projekt életciklus négy fázisból áll, melyek úgynevezett döntési pontokkal kapcsolódnak egymáshoz. Az egész életciklus működőképességét a beruházó fejlesztési stratégia indukálja. (Görög, 2001)

3. Táblázat: A projektmegvalósítás folyamata



Előkészítés Projektkialakítás	Odaítélés	Teljesítés	Utóelemzés
Itt kell leszögezni a létesítménnyel kapcsolatos elképzeléseket, a stratégiai célt, valamint az egész projekt megvalósíthatóságának feltételeit, amely az egyes változatok közötti döntés fontos előkészítő eleme.	Itt történik a projektstratégia kialakítása, melynek alapvető célja a fizikai megvalósításban résztvevők felelősségeinek definiálása mellett olyan körülmények tisztázása, amelyet a teljes kivitelezési folyamat során figyelembe kell venni. Itt kell meghatározni azt a modellt, melynek teljesítésével az adott projektet megvalósítani kívánjuk.	Megvalósul az elkészült projekteredmény, melynek módosítására már nincs lehetőség, legfeljebb egy újabb projekt keretében.	Próbaüzemmel zárul a projektmegvalósítási folyamat, melynek vizsgálati eredményei egyfajta visszacsatolásként kerülnek felhasználásra. Amennyiben a visszacsatolás negatív, a hibafeltárást követően azok negatív hatását a megfelelő fázisban szükséges semlegesíteni.

Forrás: Görög 2001a, és Görög 2001b alapján saját szerkesztés

Eredményesebb teljesítéshez vezetne, ha már a korábbi fázisok során is kapnának visszajelzéseket a megrendelők, a paraméterek betartását illetően. Valamint fontos lenne, hogy a kivitelezési, teljesítési fázist is nyomon tudják követni, így ha bármi kérdés me-

rülne fel, azonnal közbe tudnának avatkozni. Minden projekt egyik sajátossága az egyedisége, azonban különböző feladatok tartalmazhatnak ismétlődő lépéseket. Tehát, ha egy lépéssor végrehajtására már van egy jól alkalmazható eljárás, akkor az a következőkben is felhasználható másik projekthez. (Kosztyán-Fejes, 2007)

„Egy projekt időterve tulajdonképpen nem más, mint a projekteredményt létrehozó tevékenységfolyamat elemeinek időbeli összefüggéseit grafikai úton is megjelenítő teljesítési programja.” (Görög, 2001a)

Az elvégzendő folyamat összes komponensére elkészített modell segítségével a teljes folyamat megismerése lehetővé válik. A teljes folyamat megértéséhez nélkülözhetetlen a vezetés és az alkalmazottak támogatása. Végző soron pedig különösen összetett projektek esetén egy támogató szoftver nagymértékben segíteni tudja a tervezési szakasz hatékonyságát. (Raffai, 2003)

A célkitűzést követően a projekt életciklus első fontos és meghatározó lépése a tervezés, Egy itt felmerülő probléma (például statikai kivitelezhetetlenség, beépíthetetlen terület stb.) súlyos negatív hatásokat okozhat a későbbi szakaszokat illetően, veszélybe sodorva akár a projekt megvalósítását is. Olyan jellemzők kerülnek meghatározásra, amelyeket az egész életciklus folyamán figyelembe kell venni, ezen jellemzők pontatlan meghatározása szintén kockázati tényezőként jelentkezik. A teljes terv tartalmazza az összes feladatot, határidőket, a szükséges erőforrásokat, felelőségeket és hatásköröket, a feladatok egymással való kapcsolatait és minden információt, amely a projekt sikeres kivitelezéséhez szükséges.

A tervezési szakaszban nagyon nagy jelentőségük van a projekttervezési technikáknak, azon belül is a leggyakrabban használt a hálótervezési módszereknek és technikáknak, illetve az ezeket támogató számítástechnikai eszközöknek.

Nagy figyelmet kell fordítani a feladatok ütemezésénél, illetve a szükséges erőforrások meghatározásánál, hogy a projekt kivitelezése a munkavállalók napi tevékenységeivel összeférhető legyen. Eddigi munkájukat nem hanyagolhatják el, nem hátráltathatja a projektmegvalósítás munkájuk elvégzésében sem. (Tanács-Kupás, 2004))

A tervezési folyamat egyik alapvető, sok mai projekttervezést támogató szoftver alapjául is szolgáló eszköze a logikai háló. A logikai háló létrehozásához a tevékenységek, valamint a közöttük lévő rákövetkezések, relációk ismerete szükséges. A jó logikai háló tükrözi a folyamat tevékenységeinek logikai, technológiai, idő és gazdasági összefüggéseit. A logikai háló a feladatok kapcsolatának és esetenként időtartamának meghatározására szolgál. Komplex tevékenységek (rész)feladatokra bontása során nagy hangsúlyt kell fentetni a követő, megelőző illetve párhuzamosan végezhető feladatokra. A logikai háló még konkrét időadatokat nem tartalmaz, egyszerűen a hálótervezés során felmért és felismert kapcsolatokra épül. Logikai hálók használatával a teljes tevékenység jól átlátható, ezáltal kezelhetőbbé válik, elősegíti a koordinációt, a megvalósítás jobban

nyomon követhető, ellenőrizhető. Számítógépes szoftverek igénybevételeivel gyorsítja a tervezési, ellenőrzési folyamatokat. (Kosztján-Fejes, 2007))

Napjainkban a karbantartás feladata már jóval túlmutat a vállalati működés támogatásán, hiszen e terület fontos szerepet játszik a termelő- és szolgáltató folyamatok hatékonyságának növelésében, ezáltal pedig a szervezetek fennmaradásában és fejlődésében. Ennek megfelelően a karbantartás ma már összetett komplex tevékenység.

A karbantartási feladatok nagy részét ma már projektek keretében realizálják, ahol a műszaki, technikai paraméterek mellett azon menedzsment módszerek és technikák kerülnek a középpontba, melyek támogatják a feladatok hatékony és eredményes végrehajtását. A projektszemléletű karbantartási tevékenység során olyan területekre helyeződik a hangsúly, mind a projekt kialakítása, a projekt résztvevők kiválasztása, irányítása és motiválása; a projekt részletes tervezése és nyomon követése stb. Megállapíthatjuk, hogy a karbantartási projektek esetében a rendszerorientált projektszemlélet elengedhetetlen.

3.1.1 Projektütemezési, hálótervezési módszerek

A projektmenedzsment ma már széles szakirodalmi háttérrel rendelkezik. A projekttervezés és –irányítás során különböző technikák segítik a menedzsmentet, hogy kezelni tudja a projekt komplexitását és határidőkön alapuló természetét. Számtalan módszert és technikát fejlesztettek ki, melyek a projekt kezdetétől egészen annak végéig segítik a projektmenedzsment feladatuk teljesítésében. A leggyakrabban használt eszközök közé különböző projektmenedzsment szoftverek, illetve a Gantt-diagram tartozik. Ez utóbbi nagyon alkalmas arra, hogy bemutassuk a menedzsmentnek a karbantartási projekttervet, a karbantartási projekt helyzetét, valamint arra is, hogy napról-napra kövessük a projekt előrehaladását. (Kosztján-Kiss, 2008), (Heteyi, 2009)

A projektmenedzsment szoftverek a megadott tevékenységek, illetve hozzá tartozó időtartamok, rákövetkezések segítségével képesek elkészíteni a Gantt-diagramot, illetve valamilyen hálótervet. A hálótervezési módszerek több szempont szerint csoportosíthatók. Egyrészt megkülönböztetünk AoA⁴F- és AoN⁵F-hálókat, másrészt determinisztikus és sztochasztikus hálókat. Az alapvető különbség a hálótervezési módszerek ez utóbbi csoportosítása között, hogy a determinisztikus tervezés esetén a tevékenységidők jól meghatározott értékek, a sztochasztikus tervezésnél pedig a tevékenységidőket valamilyen valószínűségi eloszlás sűrűségfüggvényével határozhatjuk meg. (Heteyi, 2009), (Papp, 1969)

A projektek során gyakran előforduló probléma, hogy nem megfelelően gazdálkodnak az idővel és a rendelkezésre álló erőforrásokkal. Ennek következtében jelent meg az

⁴ AoA (Activity on Arc) – tevékenység-nyíl háló

⁵ AoN (Activity on Node) – tevékenység-csomópontú háló

igény új technikák és módszerek kidolgozására, melyek ha megoldani nem is, de segíteni tudják a tervezés során felmerülő problémákat. A hálótervezési módszerek célja megtalálni a kritikus útvonalat a hálózatban, mely kritikus út lesz a projekt tervezésének és irányításának az alapja. (Heteyi, 2009), (Wysocki, 2009)

A következő táblázat az ismertetett módszerek, ábrázolási technikák rövid összefoglalását tartalmazza, kiemelve előnyeiket és hátrányaikat, ezáltal lehetővé válik a módszertanok közötti fejlődés nyomon követése.

4. táblázat: A projekttervezési és ábrázolási módszerek összehasonlítása

<i>Módszer</i>	<i>Jellemzői</i>	<i>Előnye</i>	<i>Hátránya</i>
Gantt-diagram	Vonalas ütemterv, oszlopdiagram	Egyszerű, áttekinthető, szemléletes.	Korlátozott számú tevékenység esetén használható.
CPM⁶	Determinisztikus, tevékenység-nyíl háló.	Elemzésre és ellenőrzésre is használható; különböző időadatok, tevékenységek közötti logikai kapcsolat megjelenítése.	Vizuálisan nem érzékelhetők a várakozások és átfedések, nem szemléletes, szigorú vég-kezdet kapcsolat.
MPM⁷	Determinisztikus, tevékenység-csomópontú háló.	Tevékenységszámtól függetlenül képes érzékelteni a logikai kapcsolatokat, többféle kapcsolatot, korlátokat.	Csak determinisztikus időadatokat kezel.
PERT⁸	Determinisztikus és sztochasztikus időadatokat is képes kezelni.	Alkalmas az időtartam becslési bizonytalanságának kezelésére.	A tevékenységek időtartamait függetleneknek feltételezzük. Csak a becslésből adódó bizonytalanságokat kezeli, a véletlen hatásokat nem.
GERT⁹	Determinisztikus és sztochasztikus időadatokat is képes kezelni. A tevékenységek közötti kapcsolatok valószínűségi változók.	Döntésemények, továbbá lehetséges projekt változatok kezelése.	A tevékenységek időtartamait függetleneknek feltételezzük, csak döntési alternatívákat kezel, de nem kezeli a tevékenységek között a rákövetkezői relációkat valószínűségi változóként.
DSM	Komplex rendszerek reprezentálása, rendszer-elemek egymásra utaltságának megjelenítésére ideális.	Egyszerű, áttekinthető, nemcsak korlátozott számú események esetén használható. Visszacsatolásokat is enged.	Determinisztikus adatokat kezel, ha kezel

Forrás: Kosztyán-Kiss, 2008, Kiss, 2009 alapján saját szerkesztés

Az alapvető technika a CPM, illetve a PERT volt. Modellezési értelemben mindkettő alapja a tevékenység, illetve az azok közötti logikai összefüggést teremtő kapcsolat. A

⁶ CPM (Critical Path Method) – Kritikus út módszere

⁷ MPM (Metra Potential Method) – metra potenciális módszer – Tartalékidők módszere

⁸ PERT (Program (or Project) Evaluation and Review Technique) – Valószínűségi változók módszere

⁹ GERT (Graphical Evaluation & Review Technique) – Grafikus értékelési és áttekintési módszer

fejlődés következő lépése, az MPM ugyan még mindig csak determinisztikus adatokat használ, azonban már többféle kapcsolatot is tud kezelni, nemcsak befejezés-kezdés típusú kapcsolatot.

A PERT már sztochasztikus időadatokkal is dolgozik, hiszen optimista, pesszimista és legvalószínűbb becslést is rendel a tevékenységek időadataihoz. A tevékenységidőket valószínűségi változókként kezeli. A GERT-módszer esetében döntési helyzetekben már a tevékenységek közötti kapcsolatokat is valószínűségi változónak tekintik, képes kezelni döntési helyzeteket. (Schwalbe, 2010), (Lockyer-Gordon, 1996)

Informatikai projektek során a tevékenységek átfutási idejét gyakran nehéz megbecsülni a számos befolyásoló tényező miatt. Emiatt sztochasztikus valószínűségi változónak célszerű tekinteni a tevékenységek időtartamait.

A gráfelméletben megismert adjacencia mátrix is használható az előbbieken ismertetett projektek, illetve folyamatok leírására, hiszen a tevékenységek közötti kapcsolatokat nem csak hálótérvek, diagramok írhatják le, hanem ábrázolhatók akár mátrixban is. Ilyen mátrix a DSMF¹⁰F, illetve a későbbiekben ismertetett SNPMF¹¹F, illetve PEMF¹²F. (Kosztyán-Kiss [2008])

3.1.2 Karbantartási terv, karbantartási projekt összeállítása

Az elvégzendő karbantartási tevékenységeket tekinthetjük speciális karbantartási projektnak. Azonban a hagyományos projekttervezési technikák számos, a karbantartás során felmerülő problémát megválaszolatlanul hagynak. Az első ilyen probléma a körfolyamatok kezelése. Gyakran előforduló probléma, hogy egy karbantartási technológiai folyamat során egy-egy tevékenységre többször is vissza kell térnünk. Melyek lehetnek ezek a tevékenységek? Hogyan tervezhetők az ilyen, többször előforduló tevékenység-sorok? (Szabó, 2005), (Szabó-Gaál, 2006), (Szabó et al., 2007)

¹⁰ DSM: Dependency Structure Matrix

¹¹ SNPM: Stochastic Network Planning Method

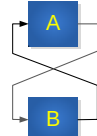
¹² PEM: Project Expert Matrix

A másik probléma, ami a karbantartási terv összeállításánál felmerülhet, hogy mely karbantartási tevékenységet milyen sorrendben hajtsuk végre. Erre a determinisztikus logikai tervezési technikák nem adnak megfelelő választ, hiszen egy berendezés javításának technológiai folyamata kötött. Itt az egyes lépéseket nem lehet felcserélni, de azt hogy mely berendezéseket javítsuk, az már lehet egy prioritási sorrend, valamint a rendelkezésre álló idő-, költség- és erőforrásigények függvénye is. A következőkben bemutatok olyan mátrix-alapú projekttervezési eljárásokat, amelyek képesek a fenti problémákat kezelni. A bemutatott módszer egy szakértői rendszer alapja lehet.

3.1.3 Logikai tervezés mátrixok segítségével

A hálótervezési módszerek mellett elsősorban termékfejlesztési projektek kezelésénél egy másik megközelítés is előtérbe került. Ebben a módszerben, melyet *DSM*-nek neveznek a projekt tevékenységeit egy mátrix sorai, illetve oszlopai reprezentálják (azonos sorrendben). A DSM itt jelenthet függőségi mátrixot (Dependency Structure Matrix). Használják azonban rendszermodellezésre is ezt a módszert, ekkor használják a Design Structure Matrix elnevezést is. A tevékenységek között lévő kapcsolatokat a mátrix elemei reprezentálják. Az első DSM-mátrixokat még rendszermodellezésre, a rendszer-elemek jellemzésére alkalmazták, az évek során a Steward által elsőként használt DSM-megközelítés módosult. A Massachusetts Institute of Technology kutatói Bostonban kiterjesztették a módszert tevékenységek közötti kapcsolatok kezelésére is, így a módszer alkalmassá vált projektek tervezésére is. A DSM-módszer 3 alap kapcsolatot kezel a tevékenységek között. Ezek a soros kapcsolatok, a párhuzamos kapcsolatok, illetve az iteratív kapcsolatok. A kapcsolatokat egy ún. adjacencia mátrixban „X” jelöli. (Steward, 1981), (Eppinger et al., 1994), (dsmweb.org, 2005), (Danilovic-Sandkull, 2005)

5. táblázat: Elemi tevékenységkapcsolatok

Soros kapcsolat			Párhuzamos kapcsolat			Iteratív kapcsolat																										
<table><tr><td>↑</td><td>A</td><td>B</td></tr><tr><td>A</td><td></td><td>X</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td></td></tr></table>	↑	A	B	A		X	B				<table><tr><td>↑</td><td>A</td><td>B</td></tr><tr><td>A</td><td></td><td></td></tr><tr><td>B</td><td></td><td></td></tr></table>	↑	A	B	A			B				<table><tr><td>↑</td><td>A</td><td>B</td></tr><tr><td>A</td><td></td><td>X</td></tr><tr><td>B</td><td>X</td><td></td></tr></table>	↑	A	B	A		X	B	X		
↑	A	B																														
A		X																														
B																																
↑	A	B																														
A																																
B																																
↑	A	B																														
A		X																														
B	X																															

Forrás: dsmweb.org, 2005 alapján saját szerkesztés

A hagyományos hálótervezési ábrázolásmóddhoz képest új elem az iteratív kapcsolatok megjelenítése. Az iteratív kapcsolatoknál jelöljük, hogy *A* és *B* tevékenységsorra többször vissza kell térni. Az ilyen elemek detektálása fontos lehet, mert ez az iteráció a karbantartási projekt csúszásához vezethet. Egy ilyen iterációban, körfolyamatban természetesen több tevékenység is részt vehet. A mátrixos ábrázolásnál fontos lehet a tevékenységsorrendek megállapítása is. Ezt a tevékenységek átrendezésével érhetjük el. Ha a projekt nem tartalmaz körfolyamatot, akkor topologikusan rendezhető, vagyis a projekt DSM-mátrixa ún. felsőháromszög mátrixba rendezhető. (A szakirodalomban ezeket az eljárásokat sequencing-módszernek nevezik (Eppinger, 1994), (Danilovic-Sandkull, 2005), (Danilovic, 2007).

6. táblázat: Tevékenységek (topologikus) sorba rendezése

↑	A	B	C	D	E
A			X		
B				X	X
C					
D	X				
E	X		X		

Kiinduló DSM-mátrix

↑	B	D	E	A	C
B		X	X		
D				X	
E				X	X
A					X
C					

Rendezett DSM-mátrix

Tevékenység-csomópontú logikai háló

Forrás: dsmweb.org, 2005 alapján saját szerkesztés

A felsőháromszögbe rendezés nem lehetséges, ha a projekt tartalmaz körfolyamatot. Ekkor célunk, hogy a diagonális alatt jelölt kapcsolatokat a tevékenységek átrendezésével a diagonálshoz közelítsük, ez a módszer a partícionálás. Erre mutat egy példát a 7. ábra: Tevékenységek átrendezése, körfolyamatok detektálása. (Chen-Lin, 2002)

↑	A	B	C	D	E	F	G
A			X				
B			X	X			
C	X				X		
D	X						X
E						X	
F			X		X		X
G		X	X				

Kiinduló mátrix

↑	F	B	D	G	C	A	E
F				X	X		X
B			X		X		
D				X		X	
G		X			X		
C						X	X
A					X		
E							

Partícionált mátrix

Forrás: dsmweb.org, 2005 alapján saját szerkesztés

6. ábra: Tevékenységek átrendezése, körfolyamatok detektálása

A módszer továbbfejlesztéseként nemcsak detektálni tudjuk a körfolyamatokat, hanem bizonyos esetekben össze is tudjuk vonni őket egy tevékenységbe. Az előző példák elsősorban a logikai tervezés segítségét mutatták. Azonban ez a módszer nem csak logikai tervezésre, hanem idő-, költség- és erőforrás-tervezésre, illetve újratervezésre is alkalmas. Ekkor a diagonálisba vagy külön oszlopba fel lehet tüntetni a tevékenység idő- és/vagy erőforrás-szükségleteit is, a kapcsolatoknál pedig számokkal jelölni lehet a tevékenységek közötti késleltetéseket. (Khoo et al., 2003), (Yan et al., 2002), (Huang-Chen, 2006), (Rick et al., 2006), (Gebala-Eppinger, 1991), (dsmweb.org, 2005)

3.1.3.1 Bizonytalan kapcsolatok kezelése

Az eddig bemutatott módszereket alkalmazták ütemezésre, illetve erőforrás-korlátos projektütemezési problémák megoldására is, azonban a mátrixban nemcsak biztos (determinisztikus) kapcsolatok jelölésére van mód. Lehetőség van a kapcsolaterősség mértékének jelölésére is. Ezt a módszert *Numerikus DSM*-módszernek nevezik, az „X”-ek helyett számokat írnak a cellákba. A Steward-féle bináris DSM csak szigorú megelőzési kapcsolatokat reprezentál (egy tevékenység vagy függ, vagy nem függ más tevékeny-

ségtől), nem nyújt további információt az interakció/kölcsönhatás természetéről. Ezzel a módszerrel nem lehet kezelni döntési pontokat. A módszer reprezentálhatja két tevékenység közötti függőség fokát. Ez lehetővé teszi például egy visszacsatolási hurok valószínűségének megjelenítését, ezáltal prioritások képezhetők a fontos iterációk között a folyamat tervezésében. Ez a leírás kapcsolati szinten kezeli a rákövetkezési relációk közötti bizonytalanságot. Hogyan lehet a kapcsolatok bizonytalanságát felderíteni? A tevékenységek függőségi viszonyát meghatározhatják korábbi projekttapasztalatok, de akár szakértői vélemények is. Számos algoritmust készítettek a lehetséges visszacsatolások felderítésére bináris és numerikus DSM esetén is. Nem foglalkoztak azonban az- zal, hogy attól függően, hogy egy bizonytalan kapcsolat létezik, vagy sem két külön projektstruktúrát kaphatunk. A lehetőségek legenerálására létrehoztunk egy eljárást, melyet *sztochasztikus hálótervezési módszernek (SNPM)* neveztünk (Stochastic Network Planning Method) utalva arra, hogy eredményül több projekthálót is kaphatunk. (A bizonytalan kapcsolatot „?”-jellel jelöltük.) (dsmweb.org, 2005), (Yang et al., 2002, (Chen et al., 2003), (Tang et al., 2009), (Yassine et al., 1999)

7. táblázat: Legenerálható projektváltozatok

Numerikus DSM/SNPM	Bináris DSM	Háló																		
<table border="1"> <tr> <td>J</td><td>A</td><td>B</td></tr> <tr> <td>A</td><td></td><td>?</td></tr> <tr> <td>B</td><td></td><td></td></tr> </table>	J	A	B	A		?	B			<table border="1"> <tr> <td>J</td><td>A</td><td>B</td></tr> <tr> <td>A</td><td></td><td>X</td></tr> <tr> <td>B</td><td></td><td></td></tr> </table>	J	A	B	A		X	B			
J	A	B																		
A		?																		
B																				
J	A	B																		
A		X																		
B																				
	<table border="1"> <tr> <td>J</td><td>A</td><td>B</td></tr> <tr> <td>A</td><td></td><td></td></tr> <tr> <td>B</td><td></td><td></td></tr> </table>	J	A	B	A			B												
J	A	B																		
A																				
B																				

Forrás: dsmweb.org, 2005 alapján saját szerkesztés

Már a DSM-módszernél is utaltak arra, hogy a tevékenységek közötti függőségi fokokat valamiféleképpen osztályozzák. A Numerikus DSM értékei a diagonálison kívüli cellákban többek között a tevékenységek közötti függőségek relatív fontosságát is reprezentálják. (Üres cella értéke nulla, mely azt mutatja, hogy a tevékenységek között nincsen függőség.) A diagonális értékek a tevékenység elvégzésének idejét mutathatják. (Yassine et al., 1999), (Browning-Eppinger, 2002)

Az általunk kifejlesztett SNPM-módszerben mi is 0-val vagy üres cellával jelöltük, ha két tevékenység között *nincs* függőség; 1-essel, ha két tevékenység között *biztos* rákövetkezési reláció van. Ha két tevékenység között a kapcsolat erőssége 0 és 1 között van, akkor azt mondjuk, hogy a tevékenységek között *bizonytalan* kapcsolat áll fent. Ha a kapcsolat erőssége helyett azt mondjuk, hogy a kapcsolatok súlyszámok a kapcsolatok valószínűségét jelölik, és ezt A és B tevékenység esetén $p_{(A,B)} \in [0,1]$ -gyel jelöljük, akkor $1-p_{(A,B)}$ annak a valószínűségét jelöli, hogy e két tevékenység nincs kapcsolatban egymással.

Ha $1-p_{(A,B)}=p_{(A,B)}=0,5$, akkor azt mondjuk, hogy a két tevékenység közötti kapcsolat *indifferens*. Ha például $p_{(A,B)}=0,5$, akkor a 8. táblázat példájában ugyanannyi a valószínűsége annak, hogy *A* és *B* tevékenységet sorosan, vagy párhuzamosan hajtjuk végre. (dsmweb.org, 2005), (Yan et al., 2002), (Chen et al., 2003), (Tang et al., 2009), (Yassine et al., 1999)

A Numerikus DSM-módszernél a tevékenységek közötti kapcsolatokat különböző kategóriákba sorolták (például alacsony, közepes vagy magas függőség), így tettek némi különbséget köztük (dsmweb.org). A mi modellünkben, a kapcsolat erőssége és/vagy valószínűsége 0 és 1 között bármilyen értéket felvehet. Az SNPM-módszer továbbfejlesztett változatában, melyet *projekt szakértői mátrix*nak neveztünk el (*PEM* – Project Expert Matrix), már nem csak a tevékenységek közötti kapcsolatok lehetnek bizonytalanok, sztochasztikusak, hanem a projektben végrehajtandó tevékenységek előfordulása is.

Az általunk kifejlesztett projekt szakértői mátrix diagonálisában a tevékenységek végrehajtásának fontosságát/valószínűségét is jelölni tudjuk. 1 vagy „X” jelöli a *biztosan végrehajtandó* tevékenységeket. 0 és 1 közötti értékkel jelöljük a *bizonytalan* vagy *elhagyható* tevékenységeket. (A bizonytalan kapcsolatot, illetve a bizonytalan tevékenység-előfordulást „?”-jellel jelöltük.) (Kiss-Kosztján, 2009a és 2009b), (Németh, 2010a), (Németh, 2010b), (Németh, 2011)

8. táblázat: A projekt szakértői mátrix által meghatározható projektváltozatok

PEM	NDSM/SNPM		DSM	Háló																										
<table><tr><td>↑</td><td>A</td><td>B</td></tr><tr><td>A</td><td>X</td><td>?</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>?</td></tr></table>	↑	A	B	A	X	?	B		?	<table><tr><td>↑</td><td>A</td><td>B</td></tr><tr><td>A</td><td></td><td>?</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td></td></tr></table>	↑	A	B	A		?	B			<table><tr><td>↑</td><td>A</td><td>B</td></tr><tr><td>A</td><td></td><td>X</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td></td></tr></table>	↑	A	B	A		X	B			
	↑	A	B																											
	A	X	?																											
	B		?																											
↑	A	B																												
A		?																												
B																														
↑	A	B																												
A		X																												
B																														
<table><tr><td>↑</td><td>A</td><td>B</td></tr><tr><td>A</td><td></td><td></td></tr><tr><td>B</td><td></td><td></td></tr></table>	↑	A	B	A			B																							
↑	A	B																												
A																														
B																														
	<table><tr><td>↑</td><td>A</td></tr><tr><td>A</td><td></td></tr></table>	↑	A	A																										
↑	A																													
A																														
																														

Forrás: Kiss-Kosztján, 2009b, Németh, 2010a és 2010b alapján saját szerkesztés

Módszerünk alkalmazása során két lépésben kapjuk meg a lehetséges tevékenységeket és kapcsolatokat tartalmazó sztochasztikus PEM-ből az összes lehetséges projektstuktúrát determinisztikus DSM-mátrix, illetve gráf formában. A PEM bizonytalansága abból ered, hogy a lehetséges tevékenységek, illetve kapcsolatok mindegyike kétféleképpen valósulhat meg: vagy bekövetkezik, vagy nem. Ha bekövetkezik a tevékenység, illetve a kapcsolat, akkor a mátrixban levő értékkel számolunk (*p*), ha nem, akkor a komplementerével (*1-p*). Az egyes projektváltozatok meghatározásával arra keressük a választ, hogy egy adott költség-, erőforrás- és időkeretet figyelembe véve mely tevékenységeket hajtjuk végre, illetve melyek maradhatnak el. Más szavakkal arra

keressük a választ, hogy *MIT* hajtsunk végre azon tevékenységekből, amelyeket a projekt során el szeretnénk végezni.

Ha megvan a megvalósítandó projektváltozatunk, vagyis hogy mely tevékenységeket fogjuk végrehajtani, akkor merül fel a kérdés, hogy ezeket a tevékenységeket *HOGYAN*, milyen logikai sorrendben, milyen rákövetkezések alapján hajtsuk végre. Az idő-, költség- és erőforráskorlátokat figyelembe véve meghatározható egy olyan projektváltozat, illetve a tevékenységek végrehajtásának egy olyan sorrendje, ahol ezeket a korlátokat nem lépjük túl. (Németh, 2010a), (Németh, 2010b)

4 MEGBÍZHATÓSÁG KÖZPONTÚ MÁTRIXOS PROJEKTTERVEZÉSI MÓDSZER A KARBANTARTÁS TERÜLETÉN

Hogyan lehet ezeket a mátrixalapú projekttervezési módszereket karbantartási tervek összeállításánál használni? Egy-egy berendezés javításának technológiai folyamata általában kötött. Legtöbbször nincs lehetőség a műveletek párhuzamosítására. Nincs lehetőség a műveletek technológiai sorrendjének felcserélésére. Azonban döntés kérdése, hogy mely berendezéseket és milyen sorrendben tartsuk karban az elkövetkezendő időszakban. Az egyes berendezések karbantartása sokszor egymástól független folyamat, így ha a rendelkezésre álló idő- és erőforráskorlátokat is figyelembe vesszük, akkor nagy segítséget nyújthat egy olyan tervezési módszer, eljárás, mely a berendezések várható meghibásodásán túl ezeket a korlátokat is figyelembe veszi a karbantartási terv elkészítésénél.

A *heurisztikus* módszerek ugyan gyors megoldást adnak, de általában nem optimálisak. Ezzel szemben az *algoritmikus* módszerek garantálják az optimális megoldást, de általában jóval lassabbak a heurisztikus módszerekénél. Az előző kettő közötti átmenetet képviselik az *evolúciós* módszerek. Egy heurisztikus módszer által megadott megengedett megoldásból indulnak ki, amelyet fokozatosan javítanak. Hátránya, hogy nem garantált az optimális megoldás megtalálása (véges lépésben).

4.1 Az algoritmikus módszerhez kapcsolódó fogalmak ismertetése

Háló: olyan súlyozott körmentes, irányított gráf, amelynek egy kezdő és egy végpontja van.

(Irányított) kör: olyan irányított út, amelyben az első él kezdőpontja azonos az utolsó él végpontjával.

(Irányított) egyszerű kör: olyan (irányított) kör, amelyben egy él csak egyszer szerepel.

Tevékenység, művelet: olyan folyamat, mely adott időben, időtartam alatt játszódik le, és erőforrást, költséget igényel.

Megbízhatóság: Gyűjtőfogalom, amelyet a használhatóság és az azt befolyásoló tényezők a hibamentesség, a karbantarthatóság és a karbantartás-ellátás leírására használják. A megbízhatóságot szűkebb értelemben a hibamentességgel azonosítják.

Hibamentesség: a terméknek az a képessége, hogy előírt funkcióját adott feltételek között, adott időszakban ellátja.

Meghibásodás: olyan esemény, amelynek során a berendezés, vagy vállalat/ gyár elveszíti azt a képességét, hogy előírt funkcióját ellássa. Esemény, amelynek során a berendezés, vagy vállalat/ gyár hibaállapotba kerül.

Meghibásodás hatásköltsége: azaz értékösszeg, ami a teljes rendszer leállása során felmerül

A és B berendezés (gyár területén belül például két gép) közötti erősséget $\rho(A, B)$ -vel jelöljük, és A,B tevékenység közötti *kapcsolaterősségnek* nevezzük. $\rho(A, B)$ értéke 0 és 1 között bármely valós számot felvehet $\rho(A, B) \in [0, 1] \subset \mathbf{R}$. Annak a valószínűségét, hogy A berendezés kapcsolatban van B-vel, a következőképpen jelöljük:
 $p(\rho(A, B)) = \rho(A, B) \in [0, 1]$. Annak a valószínűsége, hogy A nincs relációban B-vel
 $p(-\rho(A, B)) = 1 - \rho(A, B) \in [0, 1] \subset \mathbf{R}$.

Ha A és B berendezés közötti kapcsolaterősség 1, akkor 100% annak a valószínűsége, hogy A tevékenység rákövetkezési relációban van B-vel. Ha A és B berendezés közötti kapcsolat erőssége 0, akkor B berendezés független A-tól, ekkor közöttük a kapcsolatot nem jelöljük. $p(-\rho(A, B)) = 1 - \rho(A, B) = 1 - 1 = 0$. *Lehetséges kapcsolatnak* nevezzük azokat a kapcsolatokat, ahol a kapcsolat erőssége 0-nál nagyobb, de 1-nél kisebb.

Legyen adott egy $A_1, A_2, \dots, A_n$ berendezésekből álló karbantartási lista. Ekkor $\mathbf{P} \in [0, 1]^{n \times n}$ *kapcsolati mátrixnak* nevezzük, melyben A_i, A_j berendezés közötti kapcsolat erősségét $\rho(A_i, A_j) \in [0, 1]$ jelöli ($1 \leq i, j \leq n, i \neq j$).

A diagonálban 0 értékek szerepelnek, hiszen a hurokél nem megengedett.

$$a_{i,j} = \begin{cases} 0 & \text{ha } i = j \\ \rho(A_i, A_j) \in [0, 1] & \text{ha } i \neq j \end{cases}, a_{i,j} \in \mathbf{R}; i, j = 1..n$$

A berendezések közti kapcsolat milyenségével nem foglalkozunk, ez ugyanis nincs hatással a lehetséges megoldások halmazára. Azonban az egyszerűség kedvéért azt feltételezzük, hogy A_i - és A_j berendezés között egyszerre csak egy kapcsolat definiálható.

A $\mathbf{P} \in [0, 1]^{n \times n}$ kapcsolati mátrix *redukált kapcsolati mátrixának* nevezzük $\mathbf{R} \in [0, 1]^{n \times n}$ -t, ha teljesül minden $1 \leq \forall i, j \leq n$ -re, hogy $\mathbf{R} \ni r(A_i, A_j) = \lfloor \rho(A_i, A_j) \rfloor$

Összes lehetséges megoldás felső becslése n csúcs esetén: $\sum_{i=0}^{n(n-1)} \binom{n(n-1)}{i} = 2^{n(n-1)}$.

Az n csúcs között összesen maximum $n(n-1)$ él lehet. Ezek közül i számú él kell kiválasztani, ahol $0 \leq i \leq n(n-1)$. Ezt pedig $\binom{n(n-1)}{i}$ -féleképpen lehet megtenni. A lehetséges megoldásokat összeadva megkapjuk a fenti képletet.

Legyen $k \leq n(n-1)$ azon kapcsolatok száma a berendezések között, melyre a kapcsolat erőssége 0 és 1 között van. Ekkor a lehetséges gráfok száma $2^k \leq 2^{n(n-1)}$. A szóba jöhető megoldások között itt sem szerepelhet olyan gráf, ahol az élek száma kisebb, mint $n-1$.

Összevont kapcsolati mátrix megadása (berendezések és rendszerelemek közti kapcsolatok vizsgálata)

Legyen adott m db ugyanazon $A_1..A_n$ berendezést tartalmazó karbantartási lista, valamint a hozzájuk tartozó $P_1..P_m \in [0,1]^{n \times n}$ kapcsolati mátrix, akkor az **összevont**

kapcsolati mátrix $\bar{P} \in [0,1]^{n \times n}$ $\bar{p} \ni a_{i,j} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m a_{i,j}^k \in P^k, k = 1..m$.

Példa az összevont kapcsolati mátrix létrehozására:

P_1	1	2	3
1	0	1	1
2	0	0	1
3	0	0	0

P_2	1	2	3
1	0	0	0
2	0	0	1
3	0	0	0

P_3	1	2	3
1	0	1	1
2	0	0	0
3	0	0	0

P_4	1	2	3
1	0	1	0
2	0	0	0
3	0	0	0

SNPM	1	2	3
1	0	0,75	0,5
2	0	0	0,5
3	0	0	0

Forrás: saját munka

7. ábra: Összevont kapcsolati mátrix létrehozása

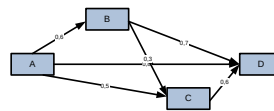
$\bar{P}^{3 \times 3}$ mátrix, melynek megfelelő celláiban az összes, meghatározott logikai tervnek a kapcsolati mátrixok azonos cellájában szereplő értékek (súlyozott) átlaga szerepel.

Legyen adott egy $P^{n \times n}$ -es (összevont) kapcsolati mátrix A tevékenységlistával. Ekkor a P adjacencia mátrixhoz tartozó $G(A,E)$ gráfot **reprezentációs gráfnak** nevezzük.

Reprezentációs gráf (minden tevékenységet és kapcsolatot tartalmaz).

8. táblázat: Összevont kapcsolati mátrix és a reprezentációs gráfja

SNPM	A	B	C	D
A	0	0,6	0,5	0,8
B	0	0	0,3	0,7
C	0	0	0	0,6
D	0	0	0	0



Forrás: saját munka

A módosított kapcsolati mátrix és az összevont karbantartási lista

Módosított kapcsolati mátrix: $\overline{\mathbf{M}}^{n \times n}$ mátrix, melyben A_i, A_j berendezés közötti kapcsolat erősségét $\rho(A_i, A_j) \in [0,1]$ jelöli ($1 \leq i, j \leq n, i \neq j$). A diagonálban szereplő cellaértékek $\delta(A_i, A_i) \in [0,1] (1 \leq i \leq n)$.

$$a_{i,j} = \begin{cases} \delta(A_i, A_i) \in [0,1] \\ \rho(A_i, A_j) \in [0,1] \text{ ha } i \neq j \end{cases}$$

A diagonálban 0 érték helyett az adott berendezés (bemenetek) megbízhatósági értékei szerepelnek, melyek adott műszaki diagnosztikai eljárás következtében elért, számolt eredményeket mutatja rendszerelemekre lebontva.

Legyen adott m db $\mathbf{M}_1 \dots \mathbf{M}_m$ módosított kapcsolati mátrix $A_1^1 \dots A_{n_1}^1$ (1. módosított kapcsolati mátrix tevékenységei), $A_1^2 \dots A_{n_2}^2$ (2. módosított kapcsolati mátrix), ..., $A_1^m \dots A_{n_m}^m$ tevékenységlistákkal. Ekkor az $A_1 \dots A_n$ tevékenységlistát *összevont karbantartási listának* nevezzük, ahol $\overline{A}_i \in \bigcup_{k=1}^m \{A_1^k, \dots, A_{n_k}^k, i = 1..n\}$.

Ekkor $\overline{\mathbf{M}}$ mátrixot megbízhatóság központú projekt szakértői mátrixnak nevezzük

$$(r^2PEM), \text{ ahol } [0,1]^{n \times n} \ni \overline{\mathbf{M}} \ni a_{i,j} = \begin{cases} a_{i,j}^k, \text{ ha } (\overline{A}_i, \overline{A}_j) \in \{A_1^k \dots A_{n_k}^k\}, a_{i,j}^k \in M_k \\ 0 \text{ különben} \end{cases}$$

Példa megbízhatóság központú projekt szakértői mátrix (PEM) számolására:

	A	B	C
A	1	1	0
B	0	0,5	1
C	0	0	0

 $+$

	B	C	D
B	1	0,5	0
C	0	0	0,5
D	0	0	1

 $\Rightarrow$

r^2PEM	A	B	D
A	0,5	0,5	0
B	0	0,75	0
D	0	0	0,5

Forrás: saját munka
8. ábra: r^2PEM létrehozása

Részrendszer szintű megbízhatóság növelése során célunk a maximális rendszer megbízhatóság elérése. Ehhez viszont mérlegelni szükséges, hogy mely berendezés(ek) karbantartása által érem el az elvárt rendszer-megbízhatóságot.

Karbantartási projektváltozatok

Egy ℓ -edik lehetséges karbantartási projektváltozat (szcenárió) mátrixa:

$\mathbf{S}^\ell \in [0,1]^{n \times n}$, $s_{i,i} \in [0,1]$, $i = 1..n$ elemei:

$$s_{i,j}^\ell = a_{i,j}, \text{ ha } i \neq j, a_{i,j} \in \mathbf{M}, \text{ illetve}$$

$$s_{i,i} = \begin{cases} 0, & \text{ha } a_{i,j} = 0, a_{i,j} \in \mathbf{M} \\ 1, & \text{ha } a_{i,j} = 1, a_{i,j} \in \mathbf{M} \\ \text{bin}(\ell - 1) \text{'h'-adik eleme, } h = 1..p \end{cases}$$

Példa lehetséges karbantartási projektváltozatok mátrixainak megalkotására:

9. táblázat: Megbízhatóság központú projekt szakértői mátrix 4. projekt szcenáriója

<table><tr><th>r²PEM</th><th>A</th><th>B</th><th>C</th></tr><tr><th>A</th><td>0,5</td><td>0,4</td><td>0,8</td></tr><tr><th>B</th><td>0</td><td>0,6</td><td>0,6</td></tr><tr><th>C</th><td>0</td><td>0</td><td>0,7</td></tr></table>	r ² PEM	A	B	C	A	0,5	0,4	0,8	B	0	0,6	0,6	C	0	0	0,7	⇒	000 001 010 011 100 101 110 111	0. bin(ℓ -1) k.	<table><tr><th>r²PEM</th><th>A</th><th>B</th><th>C</th></tr><tr><th>A</th><td>0</td><td>0,4</td><td>0,8</td></tr><tr><th>B</th><td>0</td><td>1</td><td>0,6</td></tr><tr><th>C</th><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr></table>	r ² PEM	A	B	C	A	0	0,4	0,8	B	0	1	0,6	C	0	0	1
r ² PEM	A	B	C																																	
A	0,5	0,4	0,8																																	
B	0	0,6	0,6																																	
C	0	0	0,7																																	
r ² PEM	A	B	C																																	
A	0	0,4	0,8																																	
B	0	1	0,6																																	
C	0	0	1																																	
T _p =(A,B,C)		ℓ =4	S ⁴																																	

Forrás: saját munka

Az ℓ -edik lehetséges karbantartási projektváltozat kapcsolati mátrixát ($\tilde{\mathbf{S}}^\ell - \mathbf{E}$) megkapjuk, ha a lehetséges karbantartási projektváltozat mátrixából levonjuk az egységmatricot, amely egy olyan mátrix, amely diagonáljában csak 1-es értékek szerepelnek.

10. táblázat: Lépésről lépésre r²PEM-ből a karbantartási projektváltozat kapcsolati mátrixáig

<table><tr><th>r²PEM</th><th>A</th><th>B</th><th>C</th></tr><tr><td>A</td><td>0,5</td><td>0,4</td><td>0,8</td></tr><tr><td>B</td><td>0</td><td>0,6</td><td>0,6</td></tr><tr><td>C</td><td>0</td><td>0</td><td>0,7</td></tr></table>	r ² PEM	A	B	C	A	0,5	0,4	0,8	B	0	0,6	0,6	C	0	0	0,7	<table><tr><td>000</td><td>0.</td></tr><tr><td>001</td><td></td></tr><tr><td>010</td><td></td></tr><tr><td>011</td><td>bin(ℓ -1)</td></tr><tr><td>100</td><td></td></tr><tr><td>101</td><td></td></tr><tr><td>110</td><td></td></tr><tr><td>111</td><td>k.</td></tr></table>	000	0.	001		010		011	bin(ℓ -1)	100		101		110		111	k.	<table><tr><th>S⁴</th><th>A</th><th>B</th><th>C</th></tr><tr><td>A</td><td>0</td><td>0,4</td><td>0,8</td></tr><tr><td>B</td><td>0</td><td>1</td><td>0,6</td></tr><tr><td>C</td><td>0</td><td>0</td><td></td></tr></table>	S ⁴	A	B	C	A	0	0,4	0,8	B	0	1	0,6	C	0	0		<table><tr><th>E</th><th>A</th><th>B</th><th>C</th></tr><tr><td>A</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>B</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>C</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr></table>	E	A	B	C	A	1	0	0	B	0	1	0	C	0	0	1	<table><tr><th>$\tilde{\mathbf{S}}^4 - \mathbf{E}$</th><th>B</th><th>C</th></tr><tr><td>B</td><td>0</td><td>0,6</td></tr><tr><td>C</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	$\tilde{\mathbf{S}}^4 - \mathbf{E}$	B	C	B	0	0,6	C	0	0
r ² PEM	A	B	C																																																																										
A	0,5	0,4	0,8																																																																										
B	0	0,6	0,6																																																																										
C	0	0	0,7																																																																										
000	0.																																																																												
001																																																																													
010																																																																													
011	bin(ℓ -1)																																																																												
100																																																																													
101																																																																													
110																																																																													
111	k.																																																																												
S ⁴	A	B	C																																																																										
A	0	0,4	0,8																																																																										
B	0	1	0,6																																																																										
C	0	0																																																																											
E	A	B	C																																																																										
A	1	0	0																																																																										
B	0	1	0																																																																										
C	0	0	1																																																																										
$\tilde{\mathbf{S}}^4 - \mathbf{E}$	B	C																																																																											
B	0	0,6																																																																											
C	0	0																																																																											
T _p =(A,B,C)	ℓ =4 011, azt jelenti, hogy a második illetve a harmadik berendezéseket, részrendszereket veszem figyelembe, azaz jelen esetben az A_B és A_C tevékenységeket	S ⁴	E (egységmátrix)	$\tilde{\mathbf{S}}^4 - \mathbf{E}$																																																																									

Forrás: saját munka

Cél, hogy a lehetséges karbantartási projektstruktúrákat, úgy állapítsam meg, hogy a rendszer megbízhatósága minél magasabb legyen a karbantartást követően. Ehhez szükséges, hogy karbantartási prioritási megállapítása. Ezek az elérhető teljes rendszerre vonatkozó meghibásodási érték csökkenés mértékének (a kiindulási állapothoz viszonyított) és a teljes rendszer meghibásodásának hatásköltségének hányadosából tevődik ki.

Körök kezelhetősége és figyelembe vétele a tervezés során

Körök figyelembe vétele és számolása a projekttervek kialakítása során azért válik szükségessé, mert a karbantartási területen többször előfordulnak a visszatérő elemek és tevékenységek. Ezeket figyelembe kell venni a tervezés során.

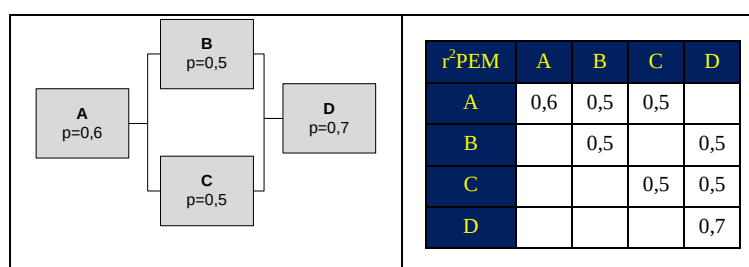
4.2 A módszer(ek) gyakorlati használhatósága egy példán keresztül

A megbízhatóság alapú projekt szakértői mátrix (r^2 PEM) minden esetben a kiindulópont. Ennek átlójában a rendszerelemek megbízhatósági értékeit írjuk, melyeket korábbi diagnosztikai mérésekből nyertünk.

Minél nagyobb egy tevékenység várható meghibásodása/kockázata, annál nagyobb a valószínűsége, hogy ezt az elkövetkezendő időszakban javítanunk, karbantartanunk kell. Ha egy karbantartási tevékenység megbízhatósága p , akkor $1-p$ annak a meghibásodását jelöli. Minél alacsonyabb a meghibásodási érték, annál nagyobb a valószínűsége, hogy nem hajtjuk végre az adott karbantartási tevékenységet a következő időszakban.

A módszer jobb megértése céljából vegyünk alapul egy 4 berendezésből álló rendszert.

9. táblázat: Négy berendezésből álló rendszer és azok megbízhatósági értékeik



Forrás: saját munka

Elsődleges célfüggvényünk, hogy olyan karbantartási projektváltozatot válasszunk ki, mellyel maximális rendszer-megbízhatóság érhető el. A tevékenységek kiválasztása előtt megadhatjuk azt a megbízhatósági szintet, amely felett egy részrendszer, berendezés mindenképpen szerepel a karbantartási tervben. Ezek mellett pedig azt is megadhatjuk, hogy mi lesz az a minimális rendszer-megbízhatósági szint, ami felett fogom a generált karbantartási projektváltozatokat figyelembe venni.

10. táblázat: Egy négy elemből álló rendszer megbízhatóságainak változása a karbantartást követően

A négy elemből álló rendszer kiindulási megbízhatósági mátrixa és megbízhatósági gráfja		Karbantartási projektszenárió mátrixok karbantartás előtt, illetve után		A projekt során megvalósításra kerülő berendezések																																																																											
r²PEM A B C D <table><tr><th>r²PEM</th><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th></tr><tr><th>A</th><td>0,6</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td></td></tr><tr><th>B</th><td></td><td>0,5</td><td></td><td>0,5</td></tr><tr><th>C</th><td></td><td></td><td>0,5</td><td>0,5</td></tr><tr><th>D</th><td></td><td></td><td></td><td>0,7</td></tr></table> A p=0,6 B p=0,5 C p=0,5 D p=0,7		r ² PEM	A	B	C	D	A	0,6	0,5	0,5		B		0,5		0,5	C			0,5	0,5	D				0,7	1111 azaz mindegyik berendezés szerepel a karbantartási listán/ tervben r²PEM A B C D <table><tr><th>r²PEM</th><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th></tr><tr><th>A</th><td>0,6</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td></td></tr><tr><th>B</th><td></td><td>0,5</td><td></td><td>0,5</td></tr><tr><th>C</th><td></td><td></td><td>0,5</td><td>0,5</td></tr><tr><th>D</th><td></td><td></td><td></td><td>0,7</td></tr></table> r²PEM A B C D <table><tr><th>r²PEM</th><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th></tr><tr><th>A</th><td>0,98</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td></td></tr><tr><th>B</th><td></td><td>0,98</td><td></td><td>0,5</td></tr><tr><th>C</th><td></td><td></td><td>0,98</td><td>0,5</td></tr><tr><th>D</th><td></td><td></td><td></td><td>0,98</td></tr></table>		r ² PEM	A	B	C	D	A	0,6	0,5	0,5		B		0,5		0,5	C			0,5	0,5	D				0,7	r ² PEM	A	B	C	D	A	0,98	0,5	0,5		B		0,98		0,5	C			0,98	0,5	D				0,98	A p=1,0 B p=1,0 C p=0,98 D p=1,0 Karbantartás utáni rendszer-megbízhatóság: Pr= 0,98*(1-((1-0,98)*(1-0,98)))*0,98=0,96
r ² PEM	A	B	C	D																																																																											
A	0,6	0,5	0,5																																																																												
B		0,5		0,5																																																																											
C			0,5	0,5																																																																											
D				0,7																																																																											
r ² PEM	A	B	C	D																																																																											
A	0,6	0,5	0,5																																																																												
B		0,5		0,5																																																																											
C			0,5	0,5																																																																											
D				0,7																																																																											
r ² PEM	A	B	C	D																																																																											
A	0,98	0,5	0,5																																																																												
B		0,98		0,5																																																																											
C			0,98	0,5																																																																											
D				0,98																																																																											
Teljes rendszer megbízhatósága karbantartás előtt Karbantartás előtti rendszer-megbízhatóság: Pr= (0,6*(1-((1-0,5)*(1-0,5))))*0,7=0,315		1101 azaz a C berendezés kivételével mindegyik szerepel a karbantartási listán/ tervben r²PEM A B C D <table><tr><th>r²PEM</th><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th></tr><tr><th>A</th><td>0,6</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td></td></tr><tr><th>B</th><td></td><td>0,5</td><td></td><td>0,5</td></tr><tr><th>C</th><td></td><td></td><td>0,5</td><td>0,5</td></tr><tr><th>D</th><td></td><td></td><td></td><td>0,7</td></tr></table> r²PEM A B C D <table><tr><th>r²PEM</th><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th></tr><tr><th>A</th><td>0,98</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td></td></tr><tr><th>B</th><td></td><td>0,98</td><td></td><td>0,5</td></tr><tr><th>C</th><td></td><td></td><td>0,5</td><td>0,5</td></tr><tr><th>D</th><td></td><td></td><td></td><td>0,98</td></tr></table>	r ² PEM	A	B	C	D	A	0,6	0,5	0,5		B		0,5		0,5	C			0,5	0,5	D				0,7	r ² PEM	A	B	C	D	A	0,98	0,5	0,5		B		0,98		0,5	C			0,5	0,5	D				0,98	A p=1,0 B p=1,0 C p=0,5 D p=1,0 Karbantartás utáni rendszer-megbízhatóság: Pr= 0,98*(1-((1-0,98)*(1-0,5)))*0,98=0,951																										
r ² PEM	A	B	C	D																																																																											
A	0,6	0,5	0,5																																																																												
B		0,5		0,5																																																																											
C			0,5	0,5																																																																											
D				0,7																																																																											
r ² PEM	A	B	C	D																																																																											
A	0,98	0,5	0,5																																																																												
B		0,98		0,5																																																																											
C			0,5	0,5																																																																											
D				0,98																																																																											
		1011 azaz a B berendezés kivételével mindegyik szerepel a karbantartási listán/ tervben r²PEM A B C D <table><tr><th>r²PEM</th><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th></tr><tr><th>A</th><td>0,6</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td></td></tr><tr><th>B</th><td></td><td>0,5</td><td></td><td>0,5</td></tr><tr><th>C</th><td></td><td></td><td>0,5</td><td>0,5</td></tr><tr><th>D</th><td></td><td></td><td></td><td>0,7</td></tr></table> r²PEM A B C D <table><tr><th>r²PEM</th><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th></tr><tr><th>A</th><td>0,98</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td></td></tr><tr><th>B</th><td></td><td>0,5</td><td></td><td>0,5</td></tr><tr><th>C</th><td></td><td></td><td>0,98</td><td>0,5</td></tr><tr><th>D</th><td></td><td></td><td></td><td>0,98</td></tr></table>	r ² PEM	A	B	C	D	A	0,6	0,5	0,5		B		0,5		0,5	C			0,5	0,5	D				0,7	r ² PEM	A	B	C	D	A	0,98	0,5	0,5		B		0,5		0,5	C			0,98	0,5	D				0,98	A p=1,0 B p=0,5 C p=0,98 D p=1,0 Karbantartás utáni rendszer-megbízhatóság: Pr= 0,98*(1-((1-0,5)*(1-0,98)))*0,98=0,951																										
r ² PEM	A	B	C	D																																																																											
A	0,6	0,5	0,5																																																																												
B		0,5		0,5																																																																											
C			0,5	0,5																																																																											
D				0,7																																																																											
r ² PEM	A	B	C	D																																																																											
A	0,98	0,5	0,5																																																																												
B		0,5		0,5																																																																											
C			0,98	0,5																																																																											
D				0,98																																																																											
		1001 azaz a B és C berendezés kivételével mindegyik szerepel a karbantartási listán/ tervben r²PEM A B C D <table><tr><th>r²PEM</th><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th></tr><tr><th>A</th><td>0,6</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td></td></tr><tr><th>B</th><td></td><td>0,5</td><td></td><td>0,5</td></tr><tr><th>C</th><td></td><td></td><td>0,5</td><td>0,5</td></tr><tr><th>D</th><td></td><td></td><td></td><td>0,7</td></tr></table> r²PEM A B C D <table><tr><th>r²PEM</th><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th></tr><tr><th>A</th><td>0,98</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td></td></tr><tr><th>B</th><td></td><td>0,5</td><td></td><td>0,5</td></tr><tr><th>C</th><td></td><td></td><td>0,5</td><td>0,5</td></tr><tr><th>D</th><td></td><td></td><td></td><td>0,98</td></tr></table>	r ² PEM	A	B	C	D	A	0,6	0,5	0,5		B		0,5		0,5	C			0,5	0,5	D				0,7	r ² PEM	A	B	C	D	A	0,98	0,5	0,5		B		0,5		0,5	C			0,5	0,5	D				0,98	A p=1,0 B p=0,5 C p=0,5 D p=1,0 Karbantartás utáni rendszer-megbízhatóság: Pr= 0,98*(1-((1-0,5)*(1-0,5)))*0,98=0,951																										
r ² PEM	A	B	C	D																																																																											
A	0,6	0,5	0,5																																																																												
B		0,5		0,5																																																																											
C			0,5	0,5																																																																											
D				0,7																																																																											
r ² PEM	A	B	C	D																																																																											
A	0,98	0,5	0,5																																																																												
B		0,5		0,5																																																																											
C			0,5	0,5																																																																											
D				0,98																																																																											
		...																																																																													

Forrás: saját munka

Az alkalmazott tervezési módszer először a lehetséges karbantartási tervek határozza meg, vagyis arra a kérdésre fogjuk megkapni a választ, hogy *mit*, milyen berendezések

¹³ Megjegyzés: A és D között nincs rákövetkezési reláció a gráfban! Tehát megengedhetjük, hogy a karbantartásuk párhuzamosan valósuljon meg.

karbantartását hajtsuk végre. Másodlagos célfüggvénynek a projektstruktúrák prioritásainak maximalizálását lehet választani. Ezzel a módszerrel a lehetséges végrehajtási sorrendeket rangsorolhatjuk. Vagyis arra a kérdésre is választ kapunk, hogy *hogyan*, milyen sorrendben hajthatjuk végre a berendezések javítását. Korlátként az időt, a költség-, valamint az erőforrásigényeket adhatjuk meg. Azt a karbantartási tervet választjuk, ahol (az idő-, költség-, erőforrás-) korlátokat figyelembe véve a projektváltozat összrendszerre számolt megbízhatósága a legnagyobb (a legnagyobb meghibásodási valószínűséggel/legnagyobb kockázattal rendelkező problémák kijavításához szükséges karbantartási tevékenységeket hajtjuk végre). Ezen belül olyan tevékenységi sorrendet választunk, amelyet a szakértők leginkább preferálnak.

Ha a berendezések megvalósítandó karbantartásainak végrehajtási sorrendjére nincs semmilyen megkötés, akkor egyrészt célszerű a nagyobb meghibásodási értékű, nagyobb kockázatú berendezés karbantartásának megvalósításával kezdeni. Majd a tevékenységek rákövetkezési relációja az ún. indifferens kapcsolati erősség (esetünkben ez 0,5) lesz. Ebben az esetben ugyanis mindegy, hogy két tevékenységet sorosan, vagy párhuzamosan hajtjuk végre. Ha jobban preferáljuk a soros végrehajtást a párhuzamosnál, akkor a 0,5-ös értéknél nagyobb értéket rendelünk a berendezések rákövetkezési relációjához.

Kimenetként egy olyan karbantartási tervet kapunk, amely pontosan megmutatja, hogy mely berendezéseken kell a karbantartási tevékenységeket végrehajtanunk. Milyen sorrendben, mennyi idő alatt kell végrehajtanunk ezeket a tevékenységeket, ehhez mennyi költséget és erőforrást használunk fel.

A prioritási értékek adják meg a megfelelő sorrendet, hogy mely berendezések karbantartása vezet a legmagasabb megbízhatósági értékhez.

11. táblázat: Rendszer-megbízhatóságok változásainak prioritás érték szerint rendezett összefoglalása

Sorrend	Berend.+komb.	P _R	F _R	Prioritási értékek
1	ABCD	96,0%	4,0%	0,941629
2	ABD	95,1%	4,9%	0,928169
3	ACD	95,1%	4,9%	0,928169
4	AD	72,0%	28,0%	0,591679
5	ABC	68,6%	31,4%	0,541205
6	AB	67,9%	32,1%	0,531591
7	AC	67,9%	32,1%	0,531591
8	BCD	58,8%	41,2%	0,398197
...				
15	C	41,6%	58,4%	0,147153
16	nincs változás	31,5%	68,5%	0

Forrás: saját munka

Amennyiben a rendszer megbízhatósága eléri a pl.: 70%-ot, a megoldást, a lehetséges projektstruktúrát megfelelőnek tekintem. Továbbiakban pedig már csak ezeket a karbantartási projektváltozatokat vizsgálom, amelyek ezzel vagy ennél magasabb értéket értek el. Nem elegendő, hogy a rendszer megbízhatósága emelkedik, a korlátoknak (idő-, költség-, erőforrás-) is meg kell felelniük.

12. táblázat: A rendszer karbantartására vonatkozó adatok és korlátok (1)

Felhasznált adatok		
Időkorlát:	129	nap
Költségkorlát:	14.750	EUR

Forrás: saját munka

13. táblázat: A rendszer karbantartására vonatkozó adatok és korlátok (2)

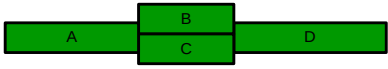
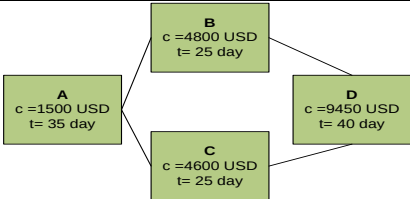
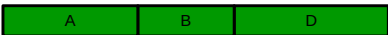
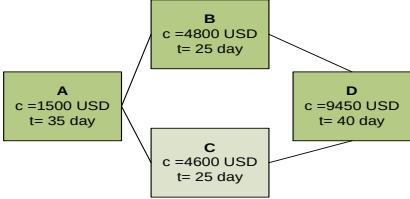
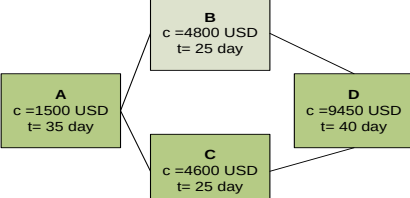
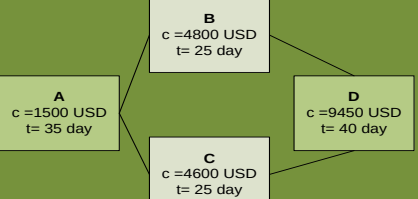
Egy-ségek adatai:	C_{karban} (EUR)	t_{karban}
A	1.500	35 nap
B	4.800	25 nap
C	4.600	25 nap
D	9.450	40 nap

14. táblázat: A rendszer karbantartásának megfeleltetése idő- és költségkorlátnak

Sorrend	Berend.+komb.	Prioritási értékek	P_r	F_r	TPC (EUR)	TPT (nap)	Korlátnak megfelelt
1	ABCD	0,941629	96,0%	4,0%	20 350	100	☐ Költség ☒ Idő
2	ABD	0,928169	95,1%	4,9%	15 750	100	☐ Költség ☒ Idő
3	ACD	0,928169	95,1%	4,9%	15 550	100	☐ Költség ☒ Idő
4	AD	0,591679	72,0%	28,0%	10 950	75	☒ Költség ☒ Idő

Forrás: saját munka

15. táblázat: A berendezések karbantartásának blokk-diagrammja és reprezentációs gráfjai

	Karbantartási projektstruktúránként a blokk-diagrammok	Reprezentációs gráfok	P _r	TPT	TPC (EUR)
1			96%	100	20.350
2			95,1%	100	15.700
3			95,1%	100	15.550
4		 14	72,0%	75	10.950

Forrás: saját munka

Korábban rendelkezésre álltak a berendezésenként ráfordítási idő-, költség adatok, melyek segítségével scénáriónként teljes projekt átfutási időt, illetve teljes projekt ráfordítást számoltam. Idő- és költségkorlátként 129 nap, illetve 14.750 EUR. Így az optimális karbantartási projektstruktúra az lesz, amelyik a legmagasabb megbízhatósági értékkel rendelkezik, és az idő-, költségkorlátnak is eleget tesz.

Körök kezelhetősége és figyelembe vétele a tervezés során

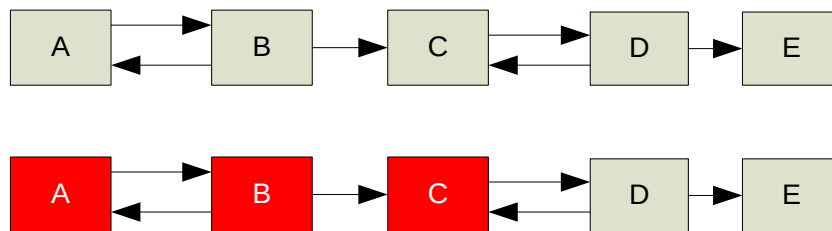
Körök azok azoknak kezelésük korábban és a mai nap is még problémát okoznak a projektek tervezése során. Figyelembevételük és számba vételük a tervezés folyamatában nehézkes vagy egyáltalán nem történtek meg. A visszatérő folyamatok, tevékenységek, karbantartás területén az újra és újra ellenőrzésre szoruló egységek, a projektterveket felboríthatják, átfutási idejüket, teljes projektköltségüket módosíthatják.

¹⁴ Megjegyzés: A és D között nincs rákövetkezési reláció a gráfban! Tehát megengedhetjük, hogy a karbantartásuk párhuzamosan valósuljon meg.

A körök feltételes valószínűségeik számbavételével meghatározható egy feltételes átfutási idő, amely a korábban támasztott vezetőségi korlátoknak megfeleltethető. Lehetőségünk van vagy maximális átfutási idő, vagy maximális teljes projektköltség, illetve az engedélyezett körök, és mennyiségek számának meghatározására.

De nézzük is meg ezeket számokban, hogy mit is az elmondottak alatt:

Vegyünk alapul egy 5 egységből álló egyszerű gyártósort, amelynek karbantartására a vállalat 13 napot és 26 egységnyi költséget tud rászánni, és a tervek kialakítása során figyelembe kell venni.

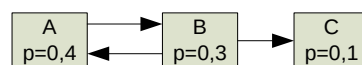


Forrás: saját munka

9. ábra: Öt berendezésegységből álló gyártósor és a megjelölt három karbantartásra szánt egység

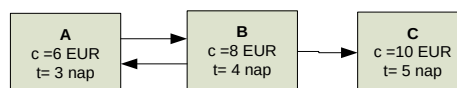
A karbantartást megelőzően a gyártósor megbízhatósága $Pr=0,02$, amelynek a karbantartást követően a tervezett megbízhatóság pedig $Pr=0,21$ lenne, amelynek végrehajtására a termelés 13 napra rendelkezésre bocsátotta a gyártósort és a vállalat erre 26 egységnyi költséget tudott jelen esetben rászánni.

Első körben kiválasztásra kerültek azok a berendezésegységek, amelyek kritikusság illetve megbízhatóság szempontjából biztosan karbantartásra szorulnak majd. Az elemzéseket követően az A, B illetve a C egységek maradtak. A D és az E egységek megbízhatósága megfelelő ($pD=0,7$; $pE=0,6$).



Forrás: saját munka

10. ábra: Elemzéseket követően kiválasztott három egység és annak megbízhatósági értéke



Forrás: saját munka

11. ábra: A kiválasztott három egység és annak karbantartási idő és költségvonzatai

A következőkben egy egyszerű példa segítségével mutatom be, hogy a kidolgozott módszer milyen lépések sorozataként megy végbe.

Az 5 egységből álló sort leszűkítettem 3 egységre, hiszen az elemzések következtében 2 egység karbantartása nem szükséges, így szeretnénk elkerülni a túlkarbantartást. Szükséges számolásokat elvégezve, a köröket egyenlőre figyelmen kívül hagyva a teljes át-futási idő 12 napot illetve 24 egységnyi költséget ölelne fel.

16. táblázat: Kiindulási és a redukált projektek mátrixos megjelenítése

r ² PEM	A	B	C	D	E
A	0,4	0,4			
B	0,3	0,3			
C			0,1	0,2	
D			0,4	0,7	
E					0,6

r2PEM	A	B	C
A	0,4	0,4	
B	0,3	0,7	
C			0,9

	A	B	C
A		0,4	
B	0,3		
C			

Forrás: saját munka

A következő projektstruktúrákat kaptam végeredményképpen:

17. táblázat: Lehetséges karbantartási projektstruktúrák

	Reprezentációs gráf	Karbantartási projektstruktúráként a blokk-diagrammok	TPT és TPC eredmények																
<table> <tr><th></th><th>A</th><th>B</th><th>C</th></tr> <tr><th>A</th><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><th>B</th><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><th>C</th><td></td><td></td><td></td></tr> </table>		A	B	C	A				B				C						TPT = 5 nap TPC = 24 egység
	A	B	C																
A																			
B																			
C																			
<table> <tr><th></th><th>A</th><th>B</th><th>C</th></tr> <tr><th>A</th><td></td><td>0,4</td><td></td></tr> <tr><th>B</th><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><th>C</th><td></td><td></td><td></td></tr> </table>		A	B	C	A		0,4		B				C						TPT = 7 nap TPC = 24 egység
	A	B	C																
A		0,4																	
B																			
C																			
<table> <tr><th></th><th>A</th><th>B</th><th>C</th></tr> <tr><th>A</th><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><th>B</th><td>0,3</td><td></td><td></td></tr> <tr><th>C</th><td></td><td></td><td></td></tr> </table>		A	B	C	A				B	0,3			C						TPT = 7 nap TPC = 24 egység
	A	B	C																
A																			
B	0,3																		
C																			
<table> <tr><th></th><th>A</th><th>B</th><th>C</th></tr> <tr><th>A</th><td></td><td>0,4</td><td></td></tr> <tr><th>B</th><td>0,3</td><td></td><td></td></tr> <tr><th>C</th><td></td><td></td><td></td></tr> </table>		A	B	C	A		0,4		B	0,3			C						Részletesebben a továbbiakban.
	A	B	C																
A		0,4																	
B	0,3																		
C																			

Forrás: saját munka

Karbantartási terveket már korábban is tudtam úgy összeállítani, hogy az összrendszerszintű maximális rendszer-megbízhatóságra törekedve a vállalat által támasztott korlátokat figyelembe véve, azoknak a berendezéselemeknek karbantartását terveztem be, amely kritikussági, megbízhatósági szempontból a legszükségesebb volt.

Azonban a visszatérő tevékenységek, visszacsatolások nem képezték a tervezési eljárás részét. A 18. táblázatban is láthatják, és elgondolva, hogy ha már 1 kör kerül a berendezésegységek közé további lehetőségeket generál. Ez esetben külön kell foglalkozni, azaz az esettel, hogyha 'B' egység felújításával vagy 'A' egység felújításával kezdem munkámat. Lehetséges projektátfutási időket számolva az alábbi eredményekre jutottam:

18. táblázat: Körök figyelembe vétele projekt átfutási idő számítása során

Berendezés- egységek Sorrend	TPT _i számítások	TPT rész- eredmény	C berende- zésegység szükséges karbantar- tási ideje	TPT _i ered- mény
AB	3+4*0,4	4,6	c [5]	9,6
ABA	AB+0,3*3	5,5	c [5]	10,5
ABAB	ABA+4*0,4	7,1	c [5]	12,1
ABABA	ABAB+3*0,3	8	c [5]	13
ABABAB	ABABA+4*0,4	9,6	c [5]	14,6
ABABABA	ABABAB+3*0,3	10,5	c [5]	15,5
...				
BA	4+3*0,3	4,9	c [5]	9,9
BAB	BA+4*0,4	6,5	c [5]	11,5
BABA	BAB+3*0,3	7,4	c [5]	12,4
BABAB	BABA+4*0,4	9	c [5]	14
BABABA	BABAB+3*0,3	9,9	c [5]	14,9
BABABAB	BABABA+4*0,4	11,5	c [5]	16,5
...				

Forrás: saját munka

Ugyanezen számítási eljárásokat elvégeztem karbantartási projektköltségekre vonatkoztatva, ahol az alábbi eredményekre jutottam:

19. táblázat: Körök figyelembe vétele projektköltség számítása során

Berendezésegységek Sorrend	TPC _i számítások	TPC rész-eredmény	C berendezés-egység szükséges karbantartási költség	TPC _i eredmény
AB	6+8*0,4	9,2	c [10]	19,2
ABA	AB+0,3*6	11	c [10]	21
ABAB	ABA+8*0,4	14,2	c [10]	24,2
ABABA	ABAB+6*0,3	16	c [10]	26
ABABAB	ABABA+8*0,4	19,2	c [10]	29,2
ABABABA	ABABAB+6*0,3	34,56	c [10]	44,56
...				
BA	8+6*0,3	9,8	c [10]	19,8
BAB	BA+8*0,4	13	c [10]	23
BABA	BAB+6*0,3	14,8	c [10]	24,8
BABAB	BABA+8*0,4	18	c [10]	28
BABABA	BABAB+6*0,3	19,8	c [10]	29,8
BABABAB	BABABA+8*0,4	23	c [10]	33
...				

Forrás: saját munka

A korábban írt, a vállalat által támasztott korlátokat figyelembe véve, elmondhatom, hogy a kiválasztott egységek karbantartás körök figyelembe vételével is a határokon belül marad.

Amenyiben 'A' részegység karbantartásával kezdjük meg a munkálatokat, majd a 'B' egység karbantartásával folytatjuk, így a lehetséges maximális projekt átfutási idő 13 nap lesz, amely 2,5 lehetséges kört foglal magába, így 'A' egységre háromszor 'B' egységre kétszer fordulhatunk vissza a munkák során. Ha ezt a mennyiséget meghaladják a visszacsatolások, ellenőrzések számai, akkor biztosak lehetünk abban, hogy a projektünk nem fog beveződni a tervezett időpontban. Ugyan ezen eredményekre jutottam, mikor a projekt átfutási költséget számoltam.

Amennyiben 'B' részegység karbantartásával kezdenénk, így 2,5 lehetséges kör helyett csak 2 kör állna rendelkezésünkre, hogy karbantartási munkálatainkat elvégezhessük.

Attól függően, hogy mikor tartunk karban, a karbantartási tevékenységeknek nemcsak a költsége, hanem a megbízhatósága, kockázata is változhat, így a számításoknál ezt is figyelembe kell venni. De nézzük a kidolgozott tervezési eljárást egy valós, vállalati példán tesztelve.

5 ESETPÉLDA – MEGBÍZHATÓSÁG KÖZPONTÚ KARBANTARTÁS TERVEZÉS ALKALMAZÁSÁRA

A következő esetpéldában egy műszaki diagnosztikával foglalkozó vállalat egyik munkáján keresztül ismertetem a kifejlesztett tervezési módszer alkalmazásának lehetőségeit és jelentőségét.

A szegedi központú magánvállalkozást egy nagy olajtársaság állapotfelügyelettel foglalkozó néhány mérnöke hozta létre. Felismerték a műszaki, diagnosztikai életben rejlő lehetőségeket, és a mai napig a rezgésvizsgálattól kezdve a motor-áram analízisen keresztül a termelékenység-fejlesztésen át képzések szervezésével is foglalkoznak. Küldetésük, hogy támogassák partnereiket abban, hogy termelékenységüket jelentősen növeljék. Tegyük ezt beruházás nélkül, gyors megtérüléssel (kevesebb, mint 1 év) és állandósult jó, de folyamatosan fejlődő állapotot kialakítva. Elsősorban a veszteségek visszaszorítására, és a ki nem használt lehetőségek kiaknázására koncentrálnak.

A műszaki diagnosztika segítségével megelőzhető a váratlan meghibásodások 90%-a, ezzel rengeteg pénzt megtakaríthat egy vállalat. Csökkentheti az energiafogyasztást, csökkentheti a karbantartás költségeit, de a legtöbb pénzt azzal takaríthatja meg a cég, hogy elkerüli a gépek kiesését a termelésből.

Mint a vállalat egyik tanácsadója munkám során nagyon sok karbantartási projekttel találkoztam, amelyeken keresztül a kidolgozott módszert, és annak alkalmazhatóságát vizsgálhattam és így tovább javíthattam. A vizsgált vállalat berendezései a következőképpen épültek fel:

20. táblázat: A vizsgált gyártóberendezés felépítettsége r^2 PEMmátrixba foglalva

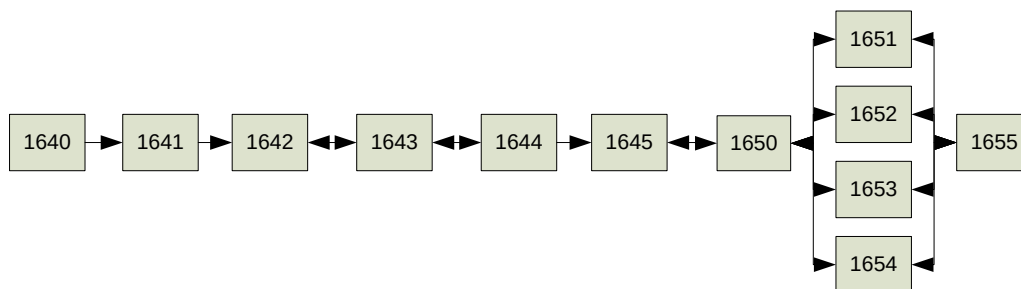
	1640	1641	1642	1643	1644	1645	1650	1651	1652	1653	1654	1655
1640	1											
1641		0,45										
1642			0,98	0,1								
1643			0,2	0,95	0,2							
1644				0,3	0,95							
1645						0,99	0,45					
1650						0,36	0,99		0,7	0,7	0,7	
1651								0,97				0,7
1652									0,96			0,7
1653										0,99		0,7
1654											0,45	0,7
1655								0,05	0,05	0,05	0,05	0,99

Forrás: saját munka

Amennyiben a berendezésegységek megbízhatósága 96% vagy e fölötti, akkor a karbantartás végrehajtása nem indokolt.

Ezeknek a feltételeknek a figyelembe vételével az táblázatban jelölt berendezések (1641, 1643, 1644, 1654) karbantartására helyezzük a nagyobb hangsúlyt. Céлом, hogy a megbízhatóságot illetve az OEE értékek növelése mellett a rendelkezésre álló idő- és költségkorlátokat figyelembe vegyem, illetve a felmerülő köröket (be-

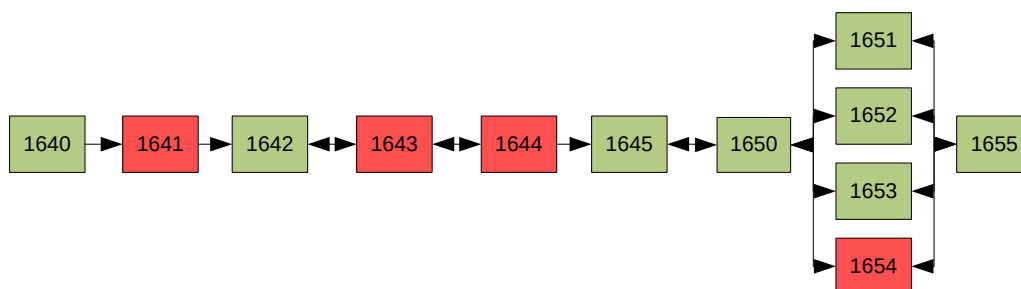
rendezésegységek közötti visszacsatolási beállításai) a tervezés során számításaimba integráljam.



Forrás: saját munka

12. ábra: A vizsgált gyártórendszer felépítettsége

A gyártósor megbízhatósága is azt igazolta, hogy közbe kell avatkozni, mert már a kieső gyártási idők, selejt termékek, leállások olyan mértékben megnövekedtek, hogy a gyártósor fenntarthatósága került veszélybe. Teljesen soros összetételű a sor, így abban az esetben, ha egy egység meghibásodik a teljes sor fog leállni, nemcsak az adott egység. Ez esetben a 16,2% számolt megbízhatóság és körülmények figyelembe vétele nem véletlenszerű.



Forrás: saját munka

13. ábra: A vizsgált gyártórendszer felépítettsége a karbantartásra beütemezhető berendezésekkel kiemelve

Megkaptam a vállalattól azokat a szükséges információkat is, amelyeket a tervezés során a lehetséges projektstruktúrák kialakításakor figyelembe kellett vennem.

A gyártósor karbantartására, felújítására 50 munkanap és 435.000 EUR tudtak a rendelkezésre bocsátani. Ezek mellett pedig a karbantartást követően a gyártósor olyan mértékű megbízhatóság-növekedést kell elérnie, hogy ne kerüljön eladásra, vagy kiiktatásra. Céлом volt, hogy a módszer alkalmazásával, olyan projekttervet állítsak össze, amely az 50 munkanapot illetve a 435.000 EUR-ot nem használja fel teljesen és a gyártósor megbízhatósága 70-75% fölé emelkedjen.

További értékes információkhoz jutottam a vállalnál használt integrált vállalatirányítási rendszerből, amelyet a kollégák kérésemre rendelkezésemre bocsátották.

21. táblázat: A felújításra szánt berendezésegyeségekre vonatkozó adatok

	min c^{15} (EUR)	max c (EUR)	Átl. c (EUR)	min t^{16} (nap)	max t (nap)	átl. t (nap)
1641	45 000,00	50 000,00	47 500,00	2	10	6
1643	11 050,00	12 640,00	11 845,00	2	14	8
1644	75 370,00	79 250,00	77 310,00	2	14	8
1654	62 500,00	64 900,00	63 700,00	11	13	12
	193 920,00	206 790,00	200 355,00	17	51	34

Forrás: saját adat

Az adatokat és a rendelkezésre bocsátott kereteket figyelembe véve minden egyes elem karbantartásával lehet számolni, amennyiben az átlagos költséget és időt veszem alapul. Amennyiben a maximális értékekkel számolok felújítási többlet-költséggel nem, azonban 1 napos csúszással számolni kell a számolások alapján.

Amennyiben jobban megfigyeljük a mintaként szolgáló gyártóegység felépítettségét, megfigyelhetjük a 1643-as illetve a 1644-es egység kapcsolatát, ahol egy kört realizáltunk a részletesebb megvizsgálásokat követően. Korábban ez nehézségeket jelentett volna, de a kidolgozott tervezési módszer segítségével ez már nem lehetetlen a továbbiakban.

22. táblázat: A vizsgált gyártóberendezés azon egységei, amelyeknek karbantartása szükségessé vált (kiemelve a köröket)

	1641	1643	1644	1654
1641	0,45			
1643		0,95	0,2	
1644		0,3	0,95	
1654				0,45

Forrás: saját munka

Költségeket figyelembe véve minden egység karbantartására rendelkezésre áll elegendő ráfordítható összeg, sőt meghatározható, hogy a megadott költségen belül, hányszor is térhetek vissza 1643-as egységről a 1644-esre, vagy éppen fordítva.

¹⁵ c = cost: költség

¹⁶ t = time: idő

A lehetőségeket külön-külön vizsgáltam, amelyeket a következőképpen foglaltam össze:

23. táblázat: Körök figyelembe vétele projekt átfutási idő számítása során

Berendezésegységek Sorrend	TPT _i számítások	TPT rész-eredmény	C berendezésegység szükséges karbantartási ideje	TPT _i eredmény
1643-1644	8+8*0,3	10,4	1641 [6]; 1654 [12]	28,4
1643-1644-1643	...+8*0,2	12	1641 [6]; 1654 [12]	30
1643-1644-1643-1644	...+8*0,3	14,4	1641 [6]; 1654 [12]	32,4
1643-1644-1643-1644-1643	...+8*0,2	16	1641 [6]; 1654 [12]	34
1643-1644-1643-1644-1643-1644	...+8*0,3	18,4	1641 [6]; 1654 [12]	36,4
...	...	...	...	...
1644-1643	8+8*0,2	9,6	1641 [6]; 1654 [12]	27,6
1644-1643-1644	...+8*0,3	12	1641 [6]; 1654 [12]	30
1644-1643-1644-1643	...+8*0,2	13,6	1641 [6]; 1654 [12]	31,6
1644-1643-1644-1643-1644	...+8*0,3	16	1641 [6]; 1654 [12]	34
1644-1643-1644-1643-1644-1643	...+8*0,2	17,6	1641 [6]; 1654 [12]	35,6
...	...	...	...	...

Forrás: saját munka

Figyelembe véve a vállalat által támasztott korlátokat elmondhatom, hogy a kiválasztott egységek karbantartása a körök figyelembe vételével is a határokon belül marad. Látható, hogy a rendelkezésre álló 50 munkanap akár 3 körre is elegendő. Így a karbantartóknak és további karbantartással foglalkozó alkalmazottnak lehetőségük nyílik más kritikusnak ítélt berendezéssel foglalkozni, és az itt megmaradt (spórolt) időt más gyártósorok felújításával eltölteni.

24. táblázat: Körök figyelembe vétele projektköltség számítása során

Berendezésegységek Sorrend	TPC _i számítások	TPC rész-eredmény	C berendezésegység szükséges karbantartási költség	TPC _i eredmény
1643-1644	11.845+77.310*0,3	35 038,00	1641 [47.500]; 1654 [63.700]	146 238,00
1643-1644-1643	...+11.845*0,2	37 407,00	1641 [47.500]; 1654 [63.700]	148 607,00
1643-1644-1643-1644	...+77.310*0,3	60 600,00	1641 [47.500]; 1654 [63.700]	171 800,00
1643-1644-1643-1644-1643	...+11.845*0,2	62 969,00	1641 [47.500]; 1654 [63.700]	174 169,00
1643-1644-1643-1644-1643-1644	...+77.310*0,3	86 162,00	1641 [47.500]; 1654 [63.700]	197 362,00
...	...	...	...	...

Berendezésegységek Sorrend	TPCi számítások	TPC rész-eredmény	C berendezés-egység szükséges karbantartási költség	TPCi eredmény
1644-1643	$77.310 + 11.845 \cdot 0,2$	79 679,00	1641 [47.500]; 1654 [63.700]	190 879,00
1644-1643-1644	$\dots + 77.310 \cdot 0,3$	102 872,00	1641 [47.500]; 1654 [63.700]	214 072,00
1644-1643-1644-1643	$\dots + 11.845 \cdot 0,2$	105 241,00	1641 [47.500]; 1654 [63.700]	216 441,00
1644-1643-1644-1643-1644	$\dots + 77.310 \cdot 0,3$	128 434,00	1641 [47.500]; 1654 [63.700]	239 634,00
1644-1643-1644-1643-1644-1643	$\dots + 11.845 \cdot 0,2$	130 803,00	1641 [47.500]; 1654 [63.700]	242 003,00
...	...	...	...	...

Forrás: saját munka

A projektköltséget kiszámolva és a köröket is figyelembe véve a karbantartási projektekre a tervezett 435.000 EUR bőven kihasználatlan maradt, ahogy korábban az 50 munkanap is. Ahogy a fennmaradó időt, az itt fennmaradt ráfordítási összeget más gyártósorok, azok berendezésegeinek karbantartására lehet a továbbiakban fordítani.

A vállalat által támasztott idő- és költségkeret határain belül sikerült a terveim alapján a felmerült problémát megoldani, azonban még egy kritérium tisztázatlan maradt.

A ráfordított idő és költség, a többszöri visszatérések ugyanazon berendezésegekre, segítettek az elvárt megbízhatósági szint elérésében?

Abban az esetben, ha mindkét egységre (1643, 1644) csak kétszer tértenek vissza a munka során, nem lenne elegendő a 70-75%-os megbízhatósági szint eléréséhez, csak 54,42% lenne az eredmény. Azonban, ha már háromszor térnek vissza az 1643-as illetve az 1644-es berendezésegekre, a nemcsak a 70-75% megbízhatósági szint, hanem a 80,83%-os eredmény realizálható.

r ² PEM	1640	1641	1642	1643	1644	1645	1650	1651	1652	1653	1654	1655
1640	1											
1641		0,62										
1642			0,98	0,1								
1643			0,2	0,98	0,2							
1644				0,3	0,98							
1645						0,99	0,45					
1650						0,36	0,99		0,7	0,7	0,7	
1651								0,97				0,7
1652									0,96			0,7
1653										0,99		0,7
1654											0,62	0,7
1655								0,05	0,05	0,05	0,05	0,99

Forrás: saját munka

14. ábra: A kiválasztott egységek egyszeri karbantartását követően a módosult berendezésegegek megbízhatóságai r²PEM-ba foglalva

r^2 PEM	1640	1641	1642	1643	1644	1645	1650	1651	1652	1653	1654	1655
1640	1											
1641		0,8										
1642			0,98	0,1								
1643			0,2	0,98	0,2							
1644				0,3	0,98							
1645						0,99	0,45					
1650						0,36	0,99		0,7	0,7	0,7	
1651								0,97				0,7
1652									0,96			0,7
1653										0,99		0,7
1654											0,8	0,7
1655								0,05	0,05	0,05	0,05	0,99

Forrás: saját munka

15. ábra: A kiválasztott egységek kétszeri karbantartását követően a módosult berendezésegységek megbízhatóságai r^2 PEM-ba foglalva

r^2 PEM	1640	1641	1642	1643	1644	1645	1650	1651	1652	1653	1654	1655
1640	1											
1641		0,975										
1642			0,98	0,1								
1643			0,2	0,98	0,2							
1644				0,3	0,98							
1645						0,99	0,45					
1650						0,36	0,99		0,7	0,7	0,7	
1651								0,97				0,7
1652									0,96			0,7
1653										0,99		0,7
1654											0,975	0,7
1655								0,05	0,05	0,05	0,05	0,99

Forrás: saját munka

16. ábra: A kiválasztott egységek három körös karbantartását követően a módosult berendezésegységek megbízhatóságai r^2 PEM-ba foglalva

ÖSSZEFOGLALÓ

A bemutatott módszer hosszadalmas, folyamatos kutatómunka eredményét képezi. A megbízhatóság alapú mátrixos karbantartás-tervezési módszer megalkotása során nagy szerepet játszott, hogy hogyan lehetséges a megbízhatóság és a meghibásodás figyelembevételével fontossági sorrend felállítása a karbantartani kívánt berendezések között illetve, hogy a tervezés során a berendezésegységek között helyenként felmerülő köröket a számszerűsített formában vehessük figyelembe.

Fontosnak tartottam, hogy ne csak berendezések szintjén érjek el megbízhatósági javulást, hanem összrendszerszinten is. Bár a karbantartási műveletek technológiai sorrendje egy-egy berendezés javítása esetén általában kötött, az egyes berendezések javítása különböző sorrendben is elvégezhető, sőt akár meg is szakítható, és újra vissza is lehet térni ellenőrzés vagy a munka folytatása céljából az adott egységre. Amennyiben adott a költség-, erőforrás-, illetve időkeret, akkor a bemutatott módszerek segítségével olyan projektterv készíthető, amely alapján a legszükségesebb javítások tervezhetők, ütemezhetők.

IRODALOMJEGYZÉK

Felhasznált magyar nyelvű irodalom

1. Gaál Z. – Kovács Z. [2010]: Megbízhatóság, karbantartás, Pannon Egyetemi Kiadó, Veszprém ISBN 963-7332-26-X
2. Gaál Z. [2003]: Tudásbázisú karbantartás, Veszprémi Egyetemi Kiadó, Veszprém, ISBN 963-9495-19-0
3. Gaál Z. [2007]: Karbantartás-menedzsment, Pannon Egyetemi Kiadó, Veszprém ISBN 978-963-6420-98-7
4. Görög Mihály [2001a]: Bevezetés a Projektmenedzsmentbe, Budapest, 2001
5. Görög Mihály [2001b]: Általános projektmenedzsment, Aula Kiadó, Budapest, 2001
6. Heteyi J. [2009]: ERP Rendszerek Magyarországon a 21. században, ComputerBooks Kft., Budapest 25-650.o.
7. Janik J. - Kalácska G. - Jánossy Gy. - Vermes P. - Farkas E. - Szűcs S. - Szántó J. - Szabadi L., Szabó L. [2000a]: Gépüzemfenntartás I., Dunaújvárosi Főiskola Kiadó Hivatala, Dunaújváros 13-295.o.
8. Janik J. - Kalácska G. - Jánossy Gy. - Vermes P. - Farkas E. - Szűcs S. - Szántó J. - Szabadi L., Szabó L. [2000b]: Gépüzemfenntartás II., Dunaújvárosi Főiskola Kiadó Hivatala, Dunaújváros 314-685.o.
9. Kiss J. - Kosztyán Zs. T. [2009a]: Handling the Specialties of Agile IT Projects with a New Planning Method, CONFENIS (The Enterprise Information Systems International Conference on Research and Practical Issues of EIS), Győr
10. Kiss J. - Kosztyán Zs. T. [2009b]: The importance of logic planning in case of IT and innovation projects, AVA (International Congress on the Aspects and Vision of Applied Economics and Informatics), Debrecen
11. Kiss J. [2009]: Egy új módszer az informatikai projektek logikai tervezésére, VI. Jedlik Ányos Szakmai Napok, Veszprém 13-67.o.
12. Kosztyán Zs. T – Fejes J. [2007]: Projektütemterv hatékonyságnövelése, Pannon Egyetem, Szervezési és Vezetési Tanszék, 2007.
13. Kosztyán Zs. T. - Csizmadia T. - Hegedűs Cs. - Kovács Z. [2009]: A new approach to forecasting conformity treating measurement uncertainty in SPC, AVA (International Congress on the Aspects and Vision of Applied Economics and Informatics)
14. Kosztyán Zs. T. - Csizmadia T. - Hegedűs Cs. [2008]: Mérési bizonytalanság figyelembevétele mintavételes megfelelőségvizsgálatnál. XX. Nemzetközi Karbantartási Konferencia. Veszprém 152-163.o.
15. Kosztyán Zs. T. - Hegedűs Cs. - Kiss J. - Németh A. - Borbás I. - Cserti P. [2010]: Projekt szakértői rendszer karbantartási projektek menedzselésére. XXII-. Nemzetközi Karbantartási Konferencia elhangzott előadásának anyaga, Veszprém 178-193.o.

16. Kosztyán Zs. T. – Kiss Judit [2008]: Egy új módszer az informatikai projektek logikai tervezésére, Pannon Egyetem, Szervezési és Vezetési Tanszék, Intézményi Tudományos Diákköri Konferencia, Veszprém
17. Kovács L. - Kovács Z. - Pató Gáborné Sz. B.[2007]: FMEA alapú karbantartás kialakításának tapasztalatai autóiipari vállalatnál, "A karbantartás fókuszában: minőség – hatékonyság - rendelkezésreállítás" XIX. Nemzetközi karbantartási konferencia, Veszprém 73-84.o.
18. Kovács Z. - Hegedűs Cs. - Kosztyán Zs. T. - Csizmadia T. [2009]: Bizonytalanságok figyelembe vétele műszaki diagnosztika esetén, XXI. Nemzetközi Karbantartási Konferencia. Veszprém 159-168.o.
19. Kovács, Z. [2008]: Termelésmenedzsment, Interaktív bevezetés a termelőrendszerek tervezésébe, szervezésébe, irányításába, Pannon Egyetemi Kiadó, Veszprém
20. Langer T. [2007]: Projektmenedzsment a szoftverfejlesztésben, Panem Kft, Budapest
21. Lockyer, K. – Gordon, J. [1996]: Projektmenedzsment és hálós tervezési technikák, Kossuth Kiadó, Budapest 15-265.o.
22. Mészáros L.- Erdei S. [2010]: Automatizált OEE mérésre épülő karbantartás. XXII. Nemzetközi karbantartási konferencia, Veszprém 159-164.o.
23. Nagy P. J. [2010]: A kockázatbecslés és kockázatkezelés alkalmazása gyógyszeripari IT rendszerek validálásában. Minőség és Megbízhatóság, 94-102.o.
24. Németh A. [2010a]: Egy új módszer az informatikai projektek optimalizálására. VII. Jedlik Ányos Szakmai Napok, Veszprém 73-134.o.
25. Németh A. [2010b]: Karbantartási tevékenységek megbízhatóság alapú mátrixos projekttervezése, Intézményi Diákköri Konferencia, Veszprém
26. Németh A. [2011]: Karbantartási tevékenységek megbízhatóság alapú mátrixos projekttervezése, XXX. Jubileumi Országos Tudományos Diákköri Konferencia, Gödöllő, Közgazdaságtudományi Szekcióban benyújtott dolgozata
27. Papp O. [1969]: A hálós programozási módszerek gyakorlati alkalmazása, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest 5-445.o.
28. Péczely Gy. [2009]: T vagy R? Próbáljuk meg pontot tenni egy hosszú vita végére!, XXI. Nemzetközi karbantartási konferencia, Veszprém 21-38.o.
29. Péczely, Gy. - Pék, K. (2003): A karbantartás korszerű irányzatai, A.A. Stádium Kft., Szeged
30. Raffai M. [2003]: RTEBP – újjászervezési módszertan, Győr, 2003
31. Szabó L. - Dancsecz G. - Csepregi A. [2007]: Karbantartási projektek szervezése és vezetése. "A karbantartás fókuszában: Minőség - Hatékonyság - Rendelkezésre állás" c. Nemzetközi Karbantartási Konferencia kiadványa. Pannon Egyetem, Veszprém 52-72.o.
32. Szabó L. - Gaál Z. [2006]: Project Success and Project Excellence. In "Sharing Knowledge and Success for the Future". MMSupport GmbH. Bern, 193-198 pp.

33. Szabó L. [2005]: A karbantartás-menedzsment szerepváltozása. Karbantartási kézikönyv. Könyvrészlet. Raabe Kiadó, Budapest
34. Tanács Z. – Kupás T. [2004]: A projektmenedzsment módszertani támogatása, 2004

Felhasznált idegen nyelvű irodalom

1. Bashiri, M. - Badr,i H. - Hejazi, T.H. [2011]: Selecting optimum maintenance strategy by fuzzy interactive linear assignment method, Applied Mathematical Modelling, vol.35, 152-164
2. Browning, T. R., - Eppinger, S. D. [2002]: Modeling Impacts of Process Architecture on Cost and Schedule Risk in Product Development, IEEE Transactions on Engineering Management, Lockheed Martin Aeronaut. Co., Fort Worth 428 – 442 pp.
3. Carazas, F.G. - Souza, G.F.M [2010]: Risk-based decision making method for maintenance policy selection of thermal power plant equipment, Energy vol. 35, 964-975
4. Chen, C.-H. - Ling, S. F. - Chen, W. [2003]: Project scheduling for collaborative product development using DSM, International Journal of Project Management, Amsterdam 291-299 pp.
5. Chen, S.-J. - Lin, L. [2002]: A Project Task Coordination Model for Team Organization in Concurrent Engineering, Concurrent Engineering, West Midlands 91-112 pp.
6. Danilovic, M. - Browning, T. R. [2007]: Managing complex product development projects with design structure matrices and domain mapping matrices, International Journal of Project Management, Amsterdam 300-314 pp.
7. Danilovic, M. - Sandkull, B. [2005]: The use of dependence structure matrix and domain mapping matrix in managing uncertainty in multiple project situations , International Journal of Project Management, Amsterdam Vol. 23, 193-203 pp.
8. Eisinger, S. - Rakowsky, U.K. [2001]: Modeling of uncertainties in reliability centered maintenance - a probalistic approach, Reliability Engineering and System Safety, London vol. 71, 159-164
9. Eppinger, S. D. - Whitney, D.l E. - Smith, R. P. - Gebala, D. A. [1994]: A model-based method for organizing tasks in product development, Research in Engineering Design, Delft 1-13 pp.
10. Faber, M.H. - Kroon, I.B. - Sorensen, J.D. [1996]: Sensitivies in structural maintenance planning, Reliability Engineering and System Safety, London vol.51, 317-329
11. Garbatov, Y. - Guedes Soares, C. [2001]: Cost and reliability strategies for fatigue maintenance planning of floating structure, Reliability Engineering and System Safety, London vol. 73, 293-301
12. Garbatov, Y. - Guedes Soares, C. [2009]: Structural maintenance planning based on historical data of corroded deck plates of tankers, Reliability Engineering and System Safety, London vol. 94, 1806-1817
13. Gebala, D. A. - Eppinger, S. D. [1991]: Methods for analyzing design procedures, in Proceedings of 3rd International ASME Conference on Design Theory and Methodology, Miami 227-233 pp.

14. Huang, E. - Chen, S.-J. [2006]: Estimation of Project Completion Time and Factors Analysis for Concurrent Engineering Project Management: A Simulation Approach, Concurrent Engineering, West Midlands 329-341 pp.
15. Khan, F. I. - Haddara, M. M. [2003]: Risk-based maintenance (RBM): a quantitative approach for maintenance/inspection scheduling and planning, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 561-573 pp.
16. Khoo, L. P. - Chen, C.-H. - Jiao, L. [2003] A Dynamic Fuzzy Decision Support Scheme for Concurrent Design Planning, Concurrent Engineering, West Midlands 836-847 pp.
17. MIT DSM Research Group [2005] MIT DSM Web Site (<http://dsmweb.org>)
18. Rausand, M. [1998]: Reliability centered maintenance. Reliability Engineering System Safety, London vol. 60(2), 121-132 pp.
19. Rick T. - Horváth M. - Bercsey T. [2006]: Design tasks scheduling using genetic algorithms. Periodica Politechnica Ser. Mech. Eng, 37-51 pp.
20. Schwalbe, K. [2010]: Information Technology, Project Management 6e, Course Technology, Boston, ISBN 978-0-324-78692-7
21. Selvik, J.T. - Aven, T. [2010]: A framework for reliability and risk centered maintenance, Reliability Engineering and System Safety
22. Steward, D. V. [1981]: System Analysis and Management: Structure, Strategy, and Design. New York: Petrocelli Books
23. Tang, D. - Zhu, R. - Tang, J. - Xu, R. - He, R. [2009]: Product design knowledge management based on design structure matrix, Advanced Engineering Informatics, Amsterdam 159-166 pp.
24. Wyssocki, R.K. [2009]: Effective Project Management, Traditional, Agile, Extreme, Wiley Publishing Inc, Indianapolis, ISBN 978-0-470-42367-7
25. Yan, H. - Wang, Z. - Jiang, M. [2002] A Quantitative Approach to the Process Modeling and Planning in Concurrent Engineering. Concurrent Engineering, West Midlands 97-111 pp.
26. Yassine, A. A.. - Falkenburg, D. - Chelst, K. [1999]: Engineering design management: An information structure approach, International Journal of Production Research, London vol.37(13), 2957-2975 pp.