

Pribojszki - Németh Anikó

KARBANTARTÁSI PROJEKTEK MÁTRIX-ALAPÚ TERVEZÉSE

PHD TÉZISFÜZET

Témavezető: Dr. habil Kosztyán Zsolt Tibor



Pannon Egyetem

Gazdálkodás- és Szervezéstudományok Doktori Iskola

Veszprém

2021

Tartalom

Bevezető.....	3
1 Célkitűzések és kutatási előfeltevések.....	4
2 A karbantartás projekttervezése	4
2.1 Karbantartási feladatok projekteként való kezelésüknek nehézségei	4
2.2 Idő- költség átváltási módszerek	8
2.3 A projekttervezés kiemelt szerepe a karbantartás tükrében.....	11
3 Karbantartási projektek mátrixos tervezése.....	12
3.1 A karbantartási probléma meghatározása	14
3.2 A mátrix-alapú modell felépítése – multi domain maintenance management matrix 17	
3.3 Lehetséges megoldások meghatározása.....	19
3.4 Adott célfüggvényekre vonatkozó optimális megoldás megadása	25
4 Összefoglalás.....	26
5 Irodalomjegyzék	27
Publikációs jegyzék	30
Hazai cikkek:	30
Nemzetközi cikkek:	31
Hazai könyvrészletek:.....	31
Hazai konferenciák:	32
Nemzetközi konferenciák:.....	33

Bevezető

A berendezések komplexitása folyamatosan nő, ezzel párhuzamosan a karbantartás tárgyköre mára már nemcsak a berendezések állapotának megőrzésével és helyreállításával foglalkozik, hanem kiterjedt a berendezések egységeire is. A gazdasági kényszer és a megbízhatósággal szembeni követelmények arra ösztönzik a vállalatokat, hogy növeljék a termelő berendezéseik megbízhatóságát, ugyanakkor ésszerűsítsék a karbantartási és javítási költségeket és az üzemfenntartás hiányosságaira visszavezethető hibákat. A nagyobb karbantartási feladatok ún. karbantartási projektbe szervezhetők. Ezek a karbantartási projektek (idő-, költség- és erőforrás) korlátok közé szorítják a terület szakembereit. A lehető legrövidebb idő alatt kell a lehető legnagyobb mértékben javítani a rendszer megbízhatóságát vagy a rendelkezésre állását úgy, hogy a felhasznált költségeink minimálisak legyenek.

A feladat (melynek megoldására doktori képzésem során vállalkoztam) komplex, hiszen egyszerre kell megoldani egy projektkiválasztási és egy a tevékenységek idő-költség-minőség paramétereinek közötti átváltási problémát. Bár valamennyi berendezésem/berendezésegység megbízhatóságának javítására meghatározható egy vagy több javító megelőző tevékenység, még egy úgynevezett nagyleállás esetén - amikor szinte valamennyi berendezés(elem)e felülvizsgálják - sem fogják az összes lehetséges javító megelőző tevékenységet végrehajtani. Az első kérdés a karbantartási projekt összeállítása során, amit ilyenkor meg kell válaszolni, hogy egy adott költség- és időkeret esetén vajon mely tevékenységeket kell/lehet majd végrehajtani?

A tevékenységeket általában többféleképpen is meg lehet valósítani, melyekhez különböző költség, idő és minőségi paraméterek rendelhetők. A projektmenedzsernek e paraméterek figyelembevételével kell az egyensúlyt megtalálnia, hogy valamennyi javító-megelőző tevékenységet a (z idő-, költség) korlátokat nem túllépve végre tudja hajtani/hajtatni.

A feladat specialitása, hogy itt az úgynevezett minőségi paramétert a megbízhatósági értékek javulásából fogom számolni, ami nem triviális feladat. A rendszert leíró megbízhatósági diagram akár teljesen más struktúrát is követhet, mint amilyen struktúrát maga a karbantartási projekt követ. Egy berendezésemhez általában több javító-megelőző tevékenységet is rendelek, melyek hatására növekedhet a berendezés elem megbízhatósága és ezáltal a rendszer megbízhatósága is.

A disszertációmban olyan, a kutatásom során kifejlesztett mátrix-alapú karbantartás-tervezési módszert (Multi-domain Maintenance Management Method = M⁴) mutatok be, amelyet sikerrel lehet alkalmazni berendezések karbantartásának tervezésére. Céloom, hogy a módszer alkalmazásával átláthatóbbá, egyszerűbbé tegyem az egyébként is bonyolultnak tűnő karbantartás-tervezést. Teszem mindezt úgy, hogy a maximalizált rendszer megbízhatóság elérése érdekében törekszem a minél magasabb berendezésegységek megbízhatóságára is amellet, hogy a vállalat által támasztott költség- és időterven belül maradjon az eredményként kapott karbantartási projektváltozat/-struktúra.

1 Célkitűzések és kutatási előfeltevések

Ma már tagadhatatlan, hogy a karbantartás nem szükséges rossz, hanem egy elengedhetetlen eszköz/módszer, ahhoz, hogy berendezéseinket a megfelelő állapotba hozzuk, illetve tartsuk. Azonban az eddig ismert módszerek között **létezik olyan, amely megmutatja, hogy mely berendezések vagy berendezéselemek karbantartása szükséges összrendszerszintű megbízhatóság növekedés eléréséhez?** Mind a túlkarbantartást, mind pedig az alulkarbantartást el akarjuk kerülni. Erőforrásainkat a megfelelő helyen szeretnénk alkalmazni. Ehhez azonban egy olyan új tervezési eljárásra volna szükségünk, amely ezt a problémát megoldja és munkánkat egyszerűsíti. Eddigi karbantartási stratégiák kutatásaimat követően és ismereteim szerint erre nem adtak kielégítő választ. Továbbá még nem rendelkezünk olyan tervezési módszerrel, amely segítségével felállítható lenne egy karbantartási prioritási sorrend a berendezések vagy berendezéselemek között. Azaz melyiket elsőként, melyiket utolsóként kell karbantartanom. Cél a karbantartás teljesítése során kétség kívül, hogy a berendezéseink mellett a rendszerünk megbízhatósága is növekedjen.

A vállalatok számára az egyik legfájóbb pont, hogyha egy projekt a kivitelezés során a tervezett költségkeretet túllépi, vagy a tervezettnél több időt vesz igénybe. **Felteszik a kérdést magukban, hogy a tervezés nem volt megfelelő? Vagy az alkalmazott tervezési eljárás volt pontatlan? Egyáltalán az ő területükön a gyakorlatban megismert és alkalmazott tervezési módszerek alkalmasak?**

Megismertem a legújabb tervezési módszerek mellett a projekttervezési megközelítéseket. A legutolsó tervezési eljárások már az agilis szempontokat tartják szem előtt, hiszen a rendelkezésre álló kereteken belül csak azokat a tevékenységeket veszik figyelembe, amelyek a keretekbe beleférnek. **A karbantartás területén azonban felmerül a kérdés, biztos, hogy a megfelelő választottuk ki? Az ismert mátrixos projekttervezési eljárások használhatók a karbantartási projektek tervezésére? Létrehozható olyan projekttervezési módszer, amely segítségével úgy állítható össze karbantartási terv, hogy a tervezés során figyelembe vesszük a vállalat által felállított, a karbantartásra vonatkozó korlátokat?**

2 A karbantartás projekttervezése

2.1 Karbantartási feladatok projekteként való kezelésüknek nehézségei

A karbantartás-elmélet (dolgozatom 2.1 fejezete) és a projekttervezési módszerek (dolgozatom 2.2. fejezete) megismerését követően eljutottam arra a pontra, mikor megvizsgáltam, hogy mely karbantartási stratégiákra milyen projekttervezési módszereket alkalmaztak eddig. Azonban rá kellett jönnöm, hogy ez a két terület még a gyakorlatban csak érintőlegesen (sem) találkozott egymással. Nem jelenthetem ki, hogy az RCM és/vagy RBM stratégia alapján működő vállalatok tevékenységeiket MPM és/vagy CPM módszerrel

tervezik meg, vagy akár mátrixos módszerekkel, mert a keresési eredmények erre nem mutattak semmi felhasználhatót. Amennyiben a hálótervezési eljárásokat felváltom a mátrixos tervezéssel, úgy a kollégáimmal együtt írt publikációkra találok rá. Így másfelől közelítem meg a témakört.

Haladjunk előre ismét az időben, mikor a karbantartási területre nem volt más jellemző, mint a reaktív karbantartás. Ez a fajta hozzáállás a technikai eszközök mindenkori műszaki állapotához inkább a mellőzését, mintsem az alkalmazását jelenti bármiféle stratégiának, de kétségtelen, hogy az eszközök egy részénél ez a leghatékonyabb megoldás. Az adott eszközt addig használjuk, amíg teljesíti a tőle elvárható funkciókat, meghibásodás esetén pedig megtesszük a szükséges intézkedéseket. Itt a (projekt)tervezés, a hiba bekövetkezése után valósulhatott meg, mikor is felmérték a károkat, a helyreállításhoz szükséges tevékenységeket. Időt, költséget és emberi erőforrást társítottak a tevékenységekhez. Azonban részünkre pont az a lényeg, hogy a hiba be se következzen. Ennek a valószínűségének csökkentésére azonban már más karbantartási stratégiát alkalmaztak korábban is. Első körben magát a TMK-t.

A TMK (tervszerű megelőző karbantartás) rendszer egyaránt elterjed az iparban és a szolgáltatásban egyaránt. A gépek, berendezések állandó működőképes állapotát a rendszeresen ismétlődő tervszerű vizsgálatokkal és javításokkal érik el. A TMK egy ciklusrend alapú karbantartási stratégia, amely nem igényli a projekttervezési módszerek alkalmazását. Elegendő, ha megfelelő helyre, dokumentumokba rögzítésre kerülnek az éppen aktuális és szükséges elvégzendő feladatok, előírt ellenőrzések, amelyeket a stratégia üzenetét figyelembe véve mindenképpen elvégzésre kerülnek. Azonban kis- és középvállalatok méreteit meghaladó cégek esetében célszerű és javasolt is, hogy a karbantartási tevékenységeket összhangba hozzák egymással. Legyenek a helyreállítási, karbantartási folyamatok, tevékenységek leszabályozva. Több esetben is tudnák munkájukat segíteni akár pl. ciklogrammokkal. Hiszen a módszer egyszerű és átlátható. Felhasználásuk akkor célszerű, ha az előre meghatározott tevékenységek üteme minden következő időszakban változatlan.

A karbantartási stratégiák közül a következő mely bemutatásra került az állapotfüggő karbantartás, amely az alkatrészek kopásából, elhasználódásának vizsgálatából, azokból levont következtetésekből indul ki. Itt már jóval inkább elképzelhető valamely projekttervezési módszertan használata. A karbantartás tervezése az üzemeltetési adatok felvételével és kezelésével indul. A karbantartás tervezése a karbantartás irányításától függ. Az irányítás szabja meg a karbantartás irányait, felügyeli a folyamatot, biztosítja az eszközöket (pénzügyi, anyagi) és a humán erőforrást. A helyreállítási terv szemléletes megjelenítéséhez használhatunk sávdigramot (Gantt diagram), azonban korlátozott számú tevékenység esetén használható. A tervezéshez pedig akár CPM és/vagy MPM diagramot is segítségül hívhatunk.

A CPM és maga az MPM is determinisztikus időadatokkal dolgozik. A CPM fő előnyei közé sorolhatjuk, hogy elemzésre és ellenőrzésre is használható. Különböző időadatok, tevékenységek közötti logikai kapcsolatmegjelenítésre is alkalmas. Az MPM tevékenységszámtól függetlenül képes érzékeltetni a logikai kapcsolatokat és ezekből is

többfélé. Mindkettő esetében elmondható, hogy nem szemléletesek és korlátozott számú tevékenység esetén használhatók. A CPM alkalmazásakor nem érzékeltethetők a várakozások, az átfedések és szigorú vég-kezdet kapcsolatokat tud csak kezelni.

Ennek ellenére kihasználható, hogy a CPM segítségével könnyen meghatározhatjuk a helyreállítás során a kritikus tevékenységeket, az MPM módszer segítségével pedig tartalékidőket számolhatunk. Azonban érezhető, hogy ez a fajta párosítás még hordoz magában megtakarítási lehetőségeket (figyelembe véve a doktori dolgozatom 2. fejezetében leírtakat). Karbantartás során nem ritka, hogy vissza kell térni egy-egy tevékenység megismétlésére, amelyeket már a tervezések során figyelembe kell venni. Amennyiben ez tényleg igaz, akkor már a tevékenység-nyíl vagy tevékenység-csomópontú tervezési eljárások nem használhatók. Valamivel bonyolultabb tervezési módszerhez kell folyamodni, amely képes a körök kezelésére.

Így juthatunk el GERT használatához, amely a PERT-hez hasonló technika és képes több lehetséges projektváltozat, illetve körök kezelésére is. Az előzőekhez képest e két módszer már nemcsak determinisztikus adatokkal képes kezelni, hanem sztochasztikusakat is.

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. Mindkét módszer során a tevékenységek időtartamait függetlennek feltételezzük, amely egy karbantartási terv összeállítása során nem mindig igaz, hiszen ellenőrzésekre, váratlan hibákra a helyreállítás során lehet számítani és akkor máris nem tudjuk a tervezett idő alatt befejezni tevékenységünket.

Azonban még mindig azt mondom, hogy a tervezések könnyen megvalósíthatók egy-egy berendezés esetében (a hátrányok ellenére is). Azonban hogyan is tudnánk könnyen és egyszerűen egy teljes géppark karbantartás-tervezését kivitelezni? Hogyan látjuk át az elkészített karbantartási tervet? Hogyan tudjuk nyomon követni területenként a költségeink alakulását? Ekkor már a hagyományos hálótervezési módszerek alkalmazhatatlanná válnak és a komplex rendszerek reprezentálása irányába kell gondolkodni, amelyek akár képesek a rendszerelemek egymásra utaltságának megjelenítésére is. Ekkor már a mátrixos tervezés és megjelenítés irányában kell gondolkodnunk. 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.

Néhány projekt speciális megközelítést kíván, ahogy a karbantartási projektek is. A projektmenedzsment területén két fő megközelítés terjedt el, név szerint a tradicionális, azaz a hagyományos, illetve az agilis. A hagyományos projekt-megközelítések esetében adott az elérni kívánt cél, amelyet lehetőségeinkhez mérten „adott” idő-, és költségkereten belül el kell érni. Az agilis „filozófia” esetén viszont korlátként az idő és költségek szolgálnak, de

hogyan e kereteken belül a kitűzött célt hogyan, milyen tevékenységek sorozataként érem el, már nem. A klasszikus, hagyományos projektek esetében a kérdés mindig az, hogy mennyi lesz a projekt költségkerete. A hagyományos szemlélet szerint merev korlátként kezeljük a célt, eredményt, amit el szeretnénk érni, viszont a kívánalmakhoz mérten az idő és a költségek változni fognak. Az agilis megközelítés esetében pedig a következő kérdés merül fel: adott költség- és időkorlát mellett mennyi projekttevékenység hajtható végre, meddig jutok el a projektmegvalósításban? A nevezett korlátokat a tulajdonos(ok), vállalatvezető(k) adják meg, melyeket legjobb esetben a karbantartókkal együttműködve határoztak meg, azonban ezt a gyakorlat mindig megcáfolja. A céljuk az, hogy a korlátokat (idő és költség) ne lépjék túl az eredmény vagy cél változása mellett. A karbantartási projektek esetében inkább az utóbbi megközelítés használata kezd elterjedni, hiszen itt az idő- és költségkorlátok mellett nem ismert a kimeneti eredmény, csak egy tervezettel, elképzeléssel rendelkeznek, azaz legyen jobb a berendezésem.

Az agilis módszer elvei a következőket hangsúlyozzák. A rövidebb periódust kell előnyben részesíteni. A követelmények változása elfogadott, még egy késői szakaszában is a projektnek. A legnagyobb prioritás az igényeknek megfelelő, értékes berendezés állapotának, funkcióinak megőrzése és életciklusának meghosszabbítása. A karbantartói csapaton belül az információk átadásának leghatékonyabb módja a személyes kommunikáció.

Hátrányai, hogy kiforratlan. Az agilis megközelítésnek még nincs igazán megfelelő módszertana, túlságosan meg kell változtatni a karbantartói kultúrát, hogy jól működjön az agilis szemlélet, megközelítés, azonban egy karbantartás-tervezést segítő módszer megfelelő kiindulási alapot tudna biztosítani hozzá.

E párhuzamok alapján még további kérdés is felmerül, hogy mi történik abban az esetben, ha időközben az állapotot leíró paraméterek megváltoznak, és/vagy a költségvetésen szűkítettek, és/vagy az rendelkezésre álló idő csökkent és a megtervezett projekttervünket aktualizálnom kell (ez egy agilis szemléletben elfogadott). A tervezés során felhasznált paraméterek megadhatók az RCM vagy akár az RBM elemzés által, amelyek még pontosabb állapotot határoznak meg. Az így végzett elemzések beépítésre kerülhetnek akár a karbantartási projekttervbe, így azon helyreállító tevékenységekre helyeződhet át a hangsúly, amelyek valóban fontosak. Mivel a kapott RCM vagy RBM eredmények egy rangsort biztosítanak a tervezők részére, és lehetséges, hogy ezek az értékek azt mutatják, hogy nem szükséges minden egyes berendezés karbantartását vagy helyreállítását az adott időben megvalósítani.

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. A meghibásodás következményét súlyozzuk a bekövetkezés valószínűségével, azaz kockázat alapon hozzuk

meg döntéseinket (RBM - Risk-Based Maintenance). A nagyleállások során, amennyiben a priorizálás alapját RBM vagy RCM stratégia adja, pontosabb tervet tudunk készíteni.

Olyan tervezési eljárás szükséges, amely a fent leírt kihívásokat teljesíti, továbbá a felhasználók részére is könnyen alkalmazható. A karbantartás-tervezés további kihívása, hogy olyan projektterv kerüljön kialakításra, amely a vállalat által rendelkezésre bocsátott költségtervet illetve időtervet kiindulási alapnak tekinti.

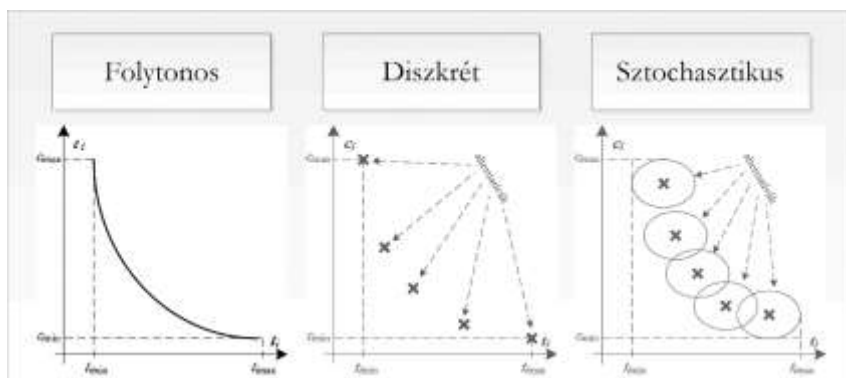
A vállalatok elvárásai a karbantartókkal szemben, hogy minél kevesebb idő alatt és a lehető legkevesebb költséggel ériék el a kitűzött célokat, ez esetben a megfelelő megbízhatóságot, vagy akár az alacsony kockázatot.

A karbantartás-tervezési probléma modellezhető projekttervezési eljárás segítségével modellezhető.

2.2 Idő- költség átváltási módszerek

Az idő- és költségcsökkentési eljárások már több mint ötven évre tekintenek vissza. Az elsők között még Fulkerson (Fulkerson, 1961) foglalkozott olyan feladatokkal, ahol a tevékenységek időtartama és a költségigénye között feleltetett meg egy folytonos függvényt. Feltételezte, hogy amennyiben egy tevékenységet rövidebb idő alatt kell végrehajtani, akkor ahhoz több emberi erőforrás, drágább technológia, vagyis több (közvetlen) költségigény fog társulni. A probléma e változatát folytonos költség-idő átváltási problémának, angolul Continuous Time-Cost Trade-off Problem (CTCTP) nevezik. A nyolcvanas évekig nagyon élénk kutatás folyt ezen a területen. Az idő- és költségigények között nemcsak lineáris (Kelley, 1961), hanem konvex (Berman, 1964), (Lamberson & Hocking, 1970) sőt konkáv (Falk & Horowitz, 1972) függvénykapcsolatokat is tudtak kezelni.

A folytonos átváltási problémák általában nagyon gyorsan megoldhatók. A lineáris idő-költség átváltási problémákat visszavezetve minimális költségű folyamokra közel lineáris futásidőben végrehajtható algoritmusokat kaphatunk (lásd pl. (Ahuja, et al., 1993), (Goldberg & Tarjan, 1987) (Goldberg, 1997), (Orlin, 1993)).



1. ábra: Átváltási modellek ((De, et al., 1995), (De, et al., 1997), (Feng, et al., 2000), (Fulkerson, 1961) alapján saját szerkesztés

A valóságot azonban sokkal jobban modellezi az átváltási probléma diszkrét változata. Nehezen elképzelhető ugyanis folytonos függvény a tevékenységek időtartama és pl. az emberi erőforrás-szükséglet között. Ugyanígy nehézkes folytonos függvényekkel jellemezni egy költségesebb, de időtakarékosabb technológia alkalmazásának hatását. A diszkrét modellben úgynevezett végrehajtási módokat határozzunk meg. Ehhez tartoznak idő- és költségadatok. Általában itt is feltételezzük, hogy a végrehajtási időtartam csökkentése többletköltséggel jár (lásd: 1. ábra: Átváltási modellek). Mindkét változat esetén számos célfüggvényt határoztak meg a legegyszerűbbektől (pl. legrövidebb, legkisebb költségigényű projektterv megadása) egészen a komplex, adott költségigényt nem túllépő lehető legrövidebb vagy éppen az adott időszükségletet nem túllépő lehető legkisebb költségű projektterv meghatározásáig (De, et al., 1997). Szemben azonban a folytonos eset gyors megoldási lehetőségeihez képest, ez a probléma ilyen komplex célfüggvények esetén néhány speciális típusú projekt-hálót leszámítva NP nehéz (De, et al., 1995).

A problémát tovább bonyolítja, ha az idő- és költségigényeket a pontos értékek helyett csak intervallumon tudjuk becsülni (Feng, et al., 2000). Ekkor az időtartamok és a költségigények közötti összefüggéseket egy pont helyett pl. egy szórásellipszissel jellemezhetjük (lásd: 1. ábra: Átváltási modellek).

A karbantartási projekteknél a tevékenység-időtartamokat és a költségigényeket előre meg kell becsülnünk, ugyanakkor ilyen esetekben nehezen értelmezhető a tevékenységek és az időtartamok közötti folytonos függvénykapcsolat; éppen ezért az átváltási probléma diszkrét változatával foglalkozom. Ugyanakkor az idő- és költségadatok mellett a rendszer megbízhatóság-növekedésével, mint a projekt egyfajta minőségi paraméterével foglalkozom, de mint azt láthatjuk, e "minőségi" paraméter tevékenységekhez való rendelése korántsem triviális feladat.

Egy karbantartási projekt esetén a minőségi paraméter a berendezések vagy berendezéselemek megbízhatóságának, vagy más számítások esetén rendelkezésre állásának (várható) javulásaként értelmezhető. Ugyanakkor ezeket a tevékenységeket berendezéselemekhez kell rendelnünk. A rendszer megbízhatóságának javulását pedig a megbízhatóságot leíró megbízhatósági diagram segítségével jellemezhetjük, aminek a struktúrája a karbantartási projekt struktúrájától jelentős mértékben eltérhet. Elképzelhető, hogy egy alacsony megbízhatóságú rendszerelem jelentős mértékű javítása sem fogja a

rendszer megbízhatóságát számottevően emelni, hiszen, ha pl. egy alacsony megbízhatóságú elem meghibásodásakor egy tartalékrendszer a feladatokat átveszi, akkor ez kisebb mértékű zavart okoz, mintha egy jóval magasabb megbízhatóságú, de tartalék rendszerrel nem rendelkező berendezés elem esik ki és veszélyezteti a teljes rendszer működését. A tartalékbeépítési tevékenység még az egyszerűbb eset, mert mind a költségek, mind pedig a megbízhatóság várható javulása jól jelezhető előre. Az egyéb, például meghibásodást megelőző beavatkozásoknál a költségek még viszonylag jó közelítéssel (bár sokszor csak a berendezés megbontása után), a várható megbízhatóság azonban nehezebben adható meg. Éppen ezért a javasolt modellben a minőségjavulás kiszámítása során a megbízhatósági diagramot is figyelembe kell vennünk, ahogyan arra a doktori dolgozatomban 2.1.7. fejezetben részletesen is kitértem.

1996-ban Babu és Suresh (Babu & Suresh, 1996) voltak az elsők, akik azt javasolták, hogy az időtartam és költségigény közötti kapcsolatok mellett a minőség-költség és minőség-idő relációkat is értelmezzék. A problémát idő-költség-minőség átváltási problémaként határozták meg (angolul: Time-Cost-Quality Trade-off Problems, rövidítve: TCQTP). A modelleknél nemcsak azt feltételezik, hogy az időtartam rövidítése közvetlen költségnövekménnyel jár, hanem azt is, hogy a magasabb minőség elérése is általában más, drágább technológiát igényel.

E problémakör leggyakrabban alkalmazott diszkrét változata (DTCQTP) is NP nehéz feladat, hiszen maga a diszkrét idő-költség átváltási feladat is NP nehéz, ezért a legtöbb (Tareghian & Taheri, 2006), (Rahimi & Iranmanesh, 2008) kutató igyekezett valamilyen heurisztikus közelítő megoldást adni a probléma kezelésére.

Valamennyi itt bemutatott modell abból indul ki, hogy a projekttervek, illetve a projektet megadó logikai hálóstruktúrák változatlanok. Ugyanakkor a karbantartási projektek esetén még az úgynevezett nagyleállások esetén sem fogjuk valamennyi lehetséges javító megelőző tevékenységet elvégezni. Ki kell ezek közül választani azokat a tevékenységeket, amelyek végrehajtása után egy kívánt rendelkezésre állást, vagy egy rendszermegbízhatósági szintet el tudunk érni, de emellett nem lépünk túl egy adott költségkeretet, ráadásul mindezeket a javításokat a folyamatos termelés fenntartása érdekében a lehető leghamarabb végre is tudjuk hajtani.

A kutatásomat a preventív karbantartás-tervezésre (nagyleállások költség, időkímélő és megbízhatóság növekedést elérő tervezésére) szűkítettem, ezen belül is olyan tervezési eljárást dolgoztam ki, amely felhasználja a korábban végzett elemzési információkat is. Így nemcsak azt feltételezem, hogy a karbantartási tervek mátrixos tervezési eljárás segítségével modellezhetők, hanem azt is, hogy a

Preventív karbantartási projektek egy idő-minőség-költség átváltási problémaként leírható.

2.3 A projekttervezés kiemelt szerepe a karbantartás tükrében

A karbantartási feladatok nagy részét ma már projektek keretében kellene, hogy realizálják. Ahol a műszaki, technikai paraméterek mellett azon menedzsment módszerek és technikák kerülnek a középpontba, melyek támogatják a feladatok hatékony és eredményes végrehajtását (Németh, 2011), (Németh, et al., 2011). 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 (Kiss, et al., 2011), (Kosztján & Németh, 2013).

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-egy berendezés javításának technológiai folyamata általában kötött. Nincs lehetőség a műveletek technológiai sorrendjének felcserélésére. Legtöbbször nincs lehetőség a műveletek párhuzamosítására. 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. Hiszen a vállalatok számára fontos, hogy minél rövidebb idő alatt és a lehető legalacsonyabb költségen végezzék el a karbantartást és érjék el az elvárt megbízhatósági szinteket. Ez egy fordított gondolkodást kíván a tervek összeállítóitól.

A klasszikus, hagyományos projektek esetében a kérdés mindig az, hogy mennyi lesz a projekt költségkerete. A hagyományos szemlélet szerint merev korlátként kezeljük a célt, eredményt, amit el szeretnénk érni, viszont a kívánalmakhoz mérten az idő és a költségek változni fognak. Az fordított megközelítés esetében pedig a következő kérdés merül fel: adott költség- és időkorlát mellett mennyi projekttevékenység hajtható végre, meddig jutok el a projektmegvalósításban? A nevezett korlátokat a tulajdonos(ok), vállalatvezető(k), melyeket legjobb esetben a karbantartókkal együttműködve határoztak meg, azonban ezt a gyakorlat mindig megcáfolja. A céljuk az, hogy a korlátokat (idő és költség) ne lépjék túl az eredmény vagy cél változása mellett. A karbantartási projektek esetében inkább az utóbbi megközelítés használata kezd elterjedni, hiszen itt az idő- és költségkorlátok mellett nem ismert a kimeneti eredmény, csak egy tervvel, elképzeléssel rendelkeznek, azaz legyen jobb, megbízhatóbb a berendezésem, azaz megbízhatósága érje el az elvárt szintet a javítást követően.

Megismerve majd összefoglalva a karbantartáselméletet azon belül is a komplex rendszerek megbízhatósági elméletét, majd a projekttervezési módszereket fogalmaztam meg első következő hipotézisemet:

A megelőző karbantartás-tervezési probléma adott célfüggvényre (lehető legrövidebb átfutási idő, legkisebb költség) vonatkozó optimális megoldása meghatározható.

A vállalatoknál nem áll rendelkezésére elegendő költség illetve idő, hogy a karbantartást engedélyezze? Ha már elemzési munkákat hajtottunk/ hajtottak végre, miért nem gondolják tovább, és prioritizálják a berendezésegységeket. Amennyiben rendelkezésünkre állnak az anyagi források illetve a szükséges idő, szükséges a berendezés megbízhatósága érdekében minden egyes egység javítása? Nem lenne elegendő csak a kiválasztott egységek helyreállítása és ez által növelhetnék a berendezés megbízhatóságát? A feladat megoldásához először tehát el kell tudnunk dönteni, hogy mely tevékenységeket milyen sorrendben hajtjuk végre, végül pedig választanunk kell a megvalósítási alternatívák közül. A karbantartás és a projektmenedzsment tárgykörét végigjárva kerestem azt a modellezési módszert, amely egyszerűen szemlélteti a hosszú órákkal eltöltött elemzések eredményeit illetve, amely megfelelő alapot tudna szolgáltatni a berendezés összrendszerszintű megbízhatóságának számolásához. Továbbá egyszerű lépések sorozataként mutassa meg részünkre, hogy mely berendezések karbantartásának elvégzése valósítható meg egy adott szűkös költség- és időkeret között úgy, hogy a berendezéseim összrendszerszintű megbízhatósága a karbantartás befejeztével érje el az elvárt megbízhatósági szintet.

Összefoglalva az alábbi hipotéziseket fogalmaztam meg:

H1 Preventív karbantartási projektek egy idő-minőség-költség átváltási problémaként leírható.

H2 A karbantartás-tervezési probléma modellezhető projekttervezési eljárás segítségével.

H3 A megelőző karbantartás-tervezési probléma adott célfüggvényre (lehető legrövidebb átfutási idő, legkisebb költség) vonatkozó optimális megoldása meghatározható.

3 Karbantartási projektek mátrixos tervezése

Mielőtt a kidolgozott mátrix-alapú eljárást ismertetném, először a matematikai leírását adom meg a feladatnak. A probléma modellezését egy mátrix-modell segítségével valósítottam meg (Kosztyán, et al., 2010), (Kosztyán, et al., 2013). A probléma megoldására javasolt algoritmus három fázisból áll (Németh, 2013), melynek első két fázisa polinomiális rendben vezeti vissza megelőző karbantartási feladatot diszkrét idő-minőség-költség átváltási problémára, mely már megoldható egyrészt a korábban már kifejlesztett eszközökkel, másrészt az általam javasolt megoldással is.

A legfontosabb eltérés, hogy itt a legkritább esetben fog megvalósulni, hogy valamennyi javító-megelőző tevékenység megvalósul. Ez alól nem kivétel sem a nagyleállás, sem az időszakosan elvégzett ún. fővizsgálat sem.

A lehetséges visszatérések, mint körfolyamatok kezelése még nem igényelné feltétlen a mátrixos tervezést, hiszen nagyon korán a hatvanas évek végén Pritsker (Pritsker, 1966) tanulmányában már kezelte ezt a problémát, de bizonyos javító-megelőző tevékenységek elhagyhatósága már kikényszeríti a hálós tervezési eljárások meghaladását. Kosztyán 2015-ben publikált PDM mátrixa (Kosztyán, 2015) minden esetben négy részmatrixot, ún. domain-t tartalmaz. Az első $n \times n$ -es részmatrix a logikai kapcsolatokat (**Logic Domain, LD**) írja le egy PEM mátrix segítségével (Németh & Kosztyán, 2015), (Németh & Kosztyán, 2015).

PDM

Számszerűsített

Determinisztikus

PDM	A	B	C	D	E	f	e	p_1	p_2
A	0.8	1	0.8	0.2	0.1	4	2.4	2	1
B		1		0.4	0.9	2	1.8	3	3
C			0.1		0.1	4	9.6	8	5
D				0.2	0.3	10	42	12	2
E					0.7	3	0.9	1	2
Logic Domain (LD)						TD	CD	Resource Domain	

Nem determinisztikus

PDM	A	B	C	D	E	f_{min}	f_{max}	e_{min}	e_{max}	p_{1min}	p_{1max}	p_{2min}	p_{2max}
A	0.8	1	0.8	0.2	0.1	4	5	2.4	3.2	2	3	1	2
B		1		0.4	0.9	2	3	1.8	2.0	3	4	3	3
C			0.1		0.1	4	6	9.6	9.6	8	10	5	6
D				0.2	0.3	10	12	42	44	12	15	2	4
E					0.7	3	6	0.9	1.1	1	4	2	3
Logic Domain (LD)						Time Domain		Cost Domain		Resource Domain (RD)			

Nem számszerűsített

PDM	A	B	C	D	E	f	e	p_1	p_2
A	?	X	?	?	?	4	2.4	2	1
B		X		?	?	2	1.8	3	3
C			?		?	4	9.6	8	5
D				?	?	10	42	12	2
E					?	3	0.9	1	2
Logic Domain (LD)						TD	CD	Resource Domain	

PDM	A	B	C	D	E	f_{min}	f_{max}	e_{min}	e_{max}	p_{1min}	p_{1max}	p_{2min}	p_{2max}
A	?	X	?	?	?	4	5	2.4	3.2	2	3	1	2
B		X		?	?	2	3	1.8	2.0	3	4	3	3
C			?		?	4	6	9.6	9.6	8	10	5	6
D				?	?	10	12	42	44	12	15	2	4
E					?	3	6	0.9	1.1	1	4	2	3
Logic Domain (LD)						Time Domain		Cost Domain		Resource Domain (RD)			

2. ábra: Project Domain Matrix (Kosztyán, 2015) alapján saját szerkesztés)

A módszer alkalmazásához nem szükséges a logikai kapcsolatokat és a tevékenységeket számszerűsíteni. Elegendő csak azt meghatározni, hogy a tevékenység-előfordulások, illetve a kapcsolatok biztosak („X”-szel jelöljük) vagy bizonytalanok („?”-lel jelöljük). Az üres cellák felelnek meg annak, ha két tevékenység között nem értelmezünk rákövetkezési relációt.

A tevékenység-előfordulásokhoz, illetve a kapcsolaterősségekhez különböző számszerűsített adatokat társíthatók. Ezek lehetnek pl. a tevékenység/kapcsolat-előfordulások valószínűségei pl. hasonló projekteket alapul véve. Lehetnek fontossági vagy prioritási értékek is. Most a majd javasolt modellben eltekintek attól, hogy ezeket az értékeket számszerűsítsem, így a PDM nem számszerűsített változatát használom fel.

A következő részmatrix (**Time Domain, TD**) a tevékenységek időtartamát mutatja. Ha minden tevékenység időtartamát egyetlen számmal jellemezzük, akkor az időadatokat determinisztikusnak tekintjük. Lehetőség van azonban különböző megvalósítási alternatívákhoz tartozó időadatokat is megadni. A 2. ábra utolsó oszlopában ezek közül csak a minimális, illetve a maximális időtartam került jelölésre.

A harmadik részmatrix (**Cost Domain, CD**) a tevékenységek közvetlen költségét jellemzi. A költségek is lehetnek determinisztikusak, ekkor egy tevékenységhez csak egyetlen

költségalternatívát rendelünk. Hasonlóan a tevékenységekhez itt is lehet akár több költségigényt is rendelni egyetlen tevékenységhez, modellezve, hogy a tevékenységek különbözőképpen, ebből adódóan pedig különböző költségigénnyel hajthatók végre. A költségigényeket itt tágabban, nem megújuló erőforrásként is lehet értelmezni. A PDM modell utolsó részmatrixa a megújuló erőforrásokat tartalmazó részmatrix (**Resource Domain, RD**). Ha r db erőforrással rendelkezünk, akkor determinisztikus esetben r oszlopból áll ez a részmatrix. Itt is lehetőség van azonban egy-egy alternatívához különböző erőforrás-igényt rendelni.

Kosztján (Kosztján, 2015) a javasolt mátrixmodellen túl egy polinomiális rendű, gyors algoritmust is javasolt számszerűsített determinisztikus PDM mátrixok kiértékelésére. A módszer kihasználta, hogy minden bizonytalan tevékenység-előfordulás esetén két lehetséges alternatíva között kell döntenünk, nevezetesen: vagy megvalósítjuk, vagy elhagyjuk a tevékenységet a projektből. Minden lépésnél ki lehet számítani, hogy mi a legkisebb költségű projektterv (a kötelezőkön kívül minden még bizonytalan tevékenység-előfordulás elhagyása), mi a lehető legrövidebb projektterv (Kosztján, 2013). Ha a két lehetséges alternatíva közül bármelyiknél teljesül, hogy a korlátként szabott minimális költségigényt a lehető legkisebb költségigényű projektváltozat is túllépi, akkor azt a döntési ágat nem érdemes továbbértékelni, mert a kitűzött korlátokon belül nem valósítható meg a projekt. A módszerről részletesen olvashatunk Kosztján (Kosztján, 2015) tanulmányában. Ebben az esetben a tevékenység-előfordulások és kapcsolaterősségekhez rendelt pontértékekkel lehetett meghatározni a projektváltozatok és projektstruktúrák pontértékeit, költség- és erőforrásigényeit. Polinomiális rendben lehetett meghatározni az első N legvalószínűbb, legfontosabb, legrövidebb, vagy éppen legkisebb költséggel rendelkező projektterveket anélkül, hogy szükség lett volna valamennyi projektterv meghatározására.

Jelen munkában azonban olyan projekttervekkel foglalkozom, amelyekben a projekttervben szereplő tevékenység-előfordulásokhoz nem feltétlenül tudok pontértéket rendelni. Ezek alapján a projektváltozatok pontértékeit sem tudok meghatározni. A karbantartási projektterv összeállításánál javító megelőző tevékenységeket hajtunk végre, amelyek különböző technológiával, különböző költség- és időigényekkel járhatnak, tehát a 2. ábra(n) bemutatott **PDM-mátrixok közül a nem számszerűsített nem determinisztikus változatot kell alkalmaznunk, illetve megbízhatósági blokkdiagramot, a berendezéselemekhez rendelhető javítómeelőző tevékenységet és a becsült megbízhatóság növekedést beépítve továbbfejlesztünk.**

3.1 A karbantartási probléma meghatározása

A probléma egy ún. hibrid idő-költség-minőség átváltási probléma (Hybrid Time-Cost-Quality Trade-off Problem, HTCQTP), diszkrét változatának egy speciális eseteként tekinthető. Jelen munkában ezt a megelőző karbantartás-tervezési feladatot (angolul: Preventive Maintenance Project Scheduling Problem, rövidítve: PMPSP) formalizálom,

mely, mint látni fogjuk a diszkrét idő-minőség-költség átváltási probléma (DTCQTP) általánosításaként tekinthető.

A megelőző karbantartás-tervezési feladatot diszkrét idő-minőség-költség átváltási probléma általánosításaként tekintettem, melyet figyelembe véve építettem fel modelletem.

A megbízhatósági diagramról feltételezzük, hogy egyszerű gráffal jellemezhető (többszörös élt és hurokért nem tartalmaz), ebből adódóan a szomszédsági mátrix átlója 0 értékeket tartalmaz, melyet a későbbiekben felhasználok a kritikussági, megbízhatósági vagy rendelkezésre állási adatok jelölésére.

A megbízhatósági függvény jelen esetben egy rögzített $t > 0$ időpontban mutatja az $R_i = R(k_i)$ rendszerelem megbízhatóságát. Abban az esetben, ha ez a megbízhatósági érték egy úgynevezett cr_i kritikus megbízhatósági érték alá esik, akkor a berendezéselem javítására mindenképpen szükség lesz.

Amennyiben a bizonytalan kapcsolatok számossága $|\tilde{A}|$ akkor a lehetséges projektváltozatok száma: $2^{|\tilde{A}|}$. A tevékenységeket és kapcsolataikat egy $n \times n$ -es PEM mátrix reprezentálhatja. Egy kiválasztott projektváltozat már nem tartalmaz bizonytalan tevékenység-előfordulásokat.

Egy $S = (S, \prec, \sim, \bowtie)$ mátrix-reprezentációját egy SNPM mátrix írja le. Mivel sem a bizonytalan tevékenység-előfordulásokat, sem pedig a bizonytalan kapcsolatokat nem számszerűsítünk, így a mátrixreprezentációkban a biztos kapcsolatokat jelölheti „X” illetve 1-es, a bizonytalan kapcsolatokat illetve bizonytalan tevékenység-előfordulásokat „?” illetve 0.5. A mátrixreprezentációkban azokat a kapcsolatokat/tevékenységeket, melyeket elhagyunk a projektből, jelölje üres cella „0”; vagy 0.

Egy projektstruktúra már nem tartalmaz bizonytalan kapcsolatokat. A projektstruktúra logikai tervének mátrixreprezentációja egy szomszédsági vagy DSM mátrix. Az ütemezési és különösen az átváltási problémáknál nagyon gyakran felteszik, hogy a tevékenységgráf, amit itt a projektstruktúra jellemez, nem tartalmaz kört. Ezt itt úgy írható le, hogy $\prec$ reláció részben rendezés S halmazon. Ugyanakkor már a kezdeti mátrixtervezési módszerek (Steward, 1981) is modellezték, detektálták (Xiao, et al., 2007), illetve egynél kisebb valószínűségű visszacsatolásoknál fel is oldották az ilyen visszacsatolásokat. Éppen ezért most csak az egyszerűség kedvéért feltételezem, hogy egy projektstruktúra már nem tartalmaz köröket.

A javasolt algoritmus során minden bizonytalan tevékenység-előfordulásról döntünk, hogy megvalósítjuk vagy sem. Ezután pedig minden bizonytalan kapcsolatról határozzuk, hogy előírjuk (soros megvalósítás), vagy sem (párhuzamos megvalósítás). A módszert egészen addig folytatjuk, ameddig egyetlen bizonytalan kapcsolat sem marad a modellben. Vagyis az eredményül kapott, a projekttervet leíró mátrixreprezentáció már egyetlen „?” szimbólumot sem fog tartalmazni.

Miután meghatároztuk, mely tevékenységeket hajtjuk végre (1. fázis), valamint azt is megállapítottuk, hogy milyen sorrendben hajtjuk ezeket végre (2. fázis), ki kell választani,

hogy a tevékenységeket milyen módon hajtjuk végre (3. fázis). Eredményül egy úgynevezett projektütemtervet kapunk, amely tartalmazza a végrehajtandó tevékenységeket és a végrehajtás módját.

Kiszámítható a kiválasztott projektütemterv átfutási ideje (Total Project Time, TPT), melyet jelöljön $t(\vec{s}x)$, valamint a rendszer megbízhatóságának (Total System Reliability, TSR) növekménye, a rendszer K berendezéseire, melyet jelöljön $\Delta TSR(K, \vec{s}x)$. Jelölje továbbá $r_{max}(\vec{s}x)$ az erőforrás-maximumokat tartalmazó r elemű vektort.

A bevezetett jelölésekkel (doktori dolgozatom megfelelő fejezetében részletesen olvasható) már megfogalmazható a megelőző karbantartási projekttervezési probléma.

Probléma (a). Megelőző karbantartás-tervezési probléma (Preventive Maintenance Project Scheduling Problem, PMPSP), legrövidebb átfutási idejű projektütemterv keresése: Legyen $K := \{k_1, k_2, \dots, k_z\}$ egy véges, berendezéselemeket tartalmazó halmaz. Legyen továbbá $A := \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ véges tevékenységeket tartalmazó halmaz. Jelölje $S \in \mathcal{P}(A)$ egy kiválasztott projektváltozatot $S \subseteq A$, valamint jelöljön $X = (S; <; \sim)$ egy projektstruktúrát. A projektstruktúra egy lehetséges projektütemtervét jelölje $\vec{s}x$. Legyen $C_c \geq 0$ a költség- $C_t \geq 0$ az idő $C_r \geq 0$ pedig az erőforráskorlát vektora. Jelölje továbbá $1 \geq C_{\Delta TSR} \geq 0$ az előírásaként tekinthető minimális rendszermegbízhatóság-növekményt.

$$\begin{aligned} \arg \min t(\vec{s}x) \quad & \text{feltéve, hogy} \\ c(\vec{s}x) & \leq C_c \\ r_{max}(\vec{s}x) & \leq C_r \\ 1 \geq \Delta TSR(K, \vec{s}x) & \geq C_{\Delta TSR} \end{aligned}$$

A fenti feladat során azt az $\vec{s}x$ projektütemtervet kell meghatároznunk, ahol a költség- és erőforráskorlátokat figyelembe véve, egy minimális rendszermegbízhatóság-növekményt elérve a javító-megelőző tevékenységeket a lehető legrövidebb idő alatt tudjuk elvégezni. Mivel a gyakorlatban ez a feladat szokott a leggyakrabban előfordulni, hiszen a folyamatos működéshez a legfontosabb, hogy minél rövidebb idő alatt sikerüljön a karbantartási projektet végrehajtani, ezért a továbbiakban is ezzel a feladattal foglalkozom. Ugyanakkor a bemutatott módszer alkalmas az adott korlátokat betartó legkisebb költséggel rendelkező, vagy éppen a legnagyobb rendszermegbízhatóság-növekményt elérő projektterv meghatározására is. Ekkor a feladatok a következőképpen írhatók le.

Probléma (b). Megelőző karbantartás-tervezési probléma (Preventive Maintenance Project Scheduling Problem, PMPSP), legkisebb költségű projektütemterv keresése:

$$\begin{aligned} \arg \min c(\vec{s}x) \quad & \text{feltéve, hogy} \\ t(\vec{s}x) & \leq C_t \\ r_{max}(\vec{s}x) & \leq C_r \\ 1 \geq \Delta TSR(K, \vec{s}x) & \geq C_{\Delta TSR} \end{aligned}$$

Probléma (c). Megelőző karbantartás-tervezési probléma (Preventive Maintenance Project Scheduling Problem, PMPSP), legnagyobb rendszermegbízhatóság-növekménnyel járó projektütemterv keresése:

$\arg \max \Delta \text{TSR}(K, \vec{s} x)$ feltéve, hogy

$$t(\vec{s} x) \leq C_t;$$

$$c(\vec{s} x) \leq C_c$$

$$r_{\max}(\vec{s} x) \leq C_r$$

A javasolt modell általánosítja a hagyományos idő-minőség-költség átváltási problémát, kiterjesztve azt bizonytalan tevékenység-előfordulások és bizonytalan kapcsolatok kezelésének lehetőségével. Egy $O(u+v)$ algoritmus (ahol u a bizonytalan tevékenységek, v pedig a bizonytalan kapcsolatok száma) vezeti vissza a javasolt karbantartás-tervezési problémát egy hagyományos átváltási problémára.

A modellem felépítése és tesztelése során az első hipotézisben megfogalmazottak alkalmazhatónak bizonyultak, így kijelenthető, hogy

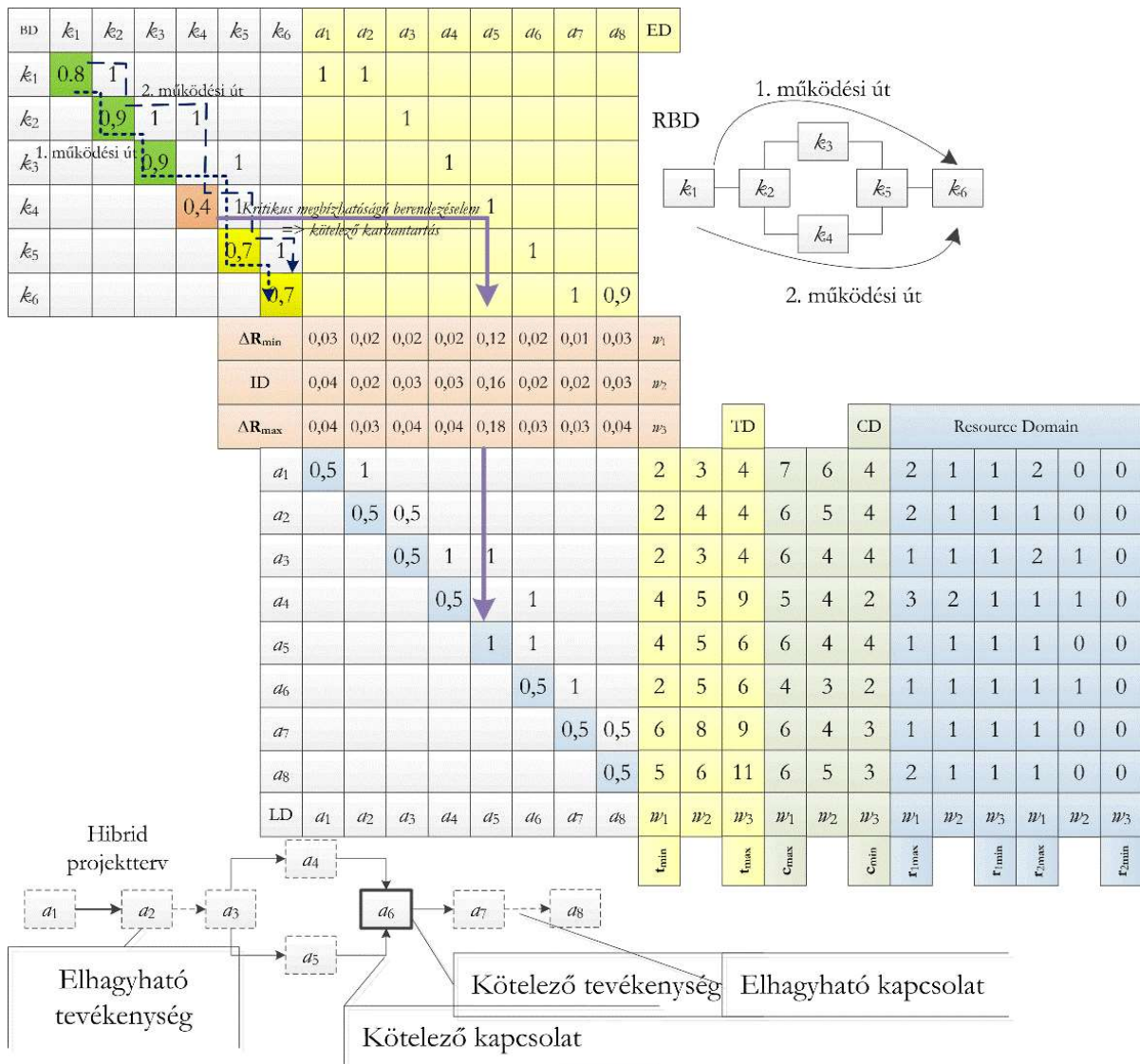
T1 Preventív karbantartási projektek egy hibrid idő-minőség-költség átváltási problémaként leírhatók.

3.2 A mátrix-alapú modell felépítése – multi domain maintenance management matrix

Javaslatom, hogy a karbantartási tervek összeállításához használjuk fel M^4 (Multi-domain Maintenance Management Matrix) mátrixmodellt, amely összesen 7 részmatrixot (domain-t) tartalmaz.

1. **Block domain (BD):** egy $z \times z$ mátrix, ahol z a berendezés(elemek) számát adja meg. A részmatrix a megbízhatósági blokkdiagram (RBD) mátrixreprezentációja, ahol az átlók tartalmazzák a kritikussági, megbízhatósági vagy rendelkezésre állás értékeit.
2. **Equipment-task mapping domain (ED):** egy $z \times n$ -es (átváltási) mátrix, ahol n a javító-megelőző tevékenységek, z pedig a berendezéselemek számát jelöli.
3. **Increase of reliability domain (ID):** egy $m \times n$ -es mátrix, ahol n a tevékenységek száma, míg m a lehetséges megvalósítási módok száma. Ekkor η_{jw} azt mutatja, hogy ha egy a_j javító-megelőző tevékenységet jw módon valósítunk meg, akkor az mennyivel növelheti a berendezés(elemek) megbízhatóságát.
4. **Logic domain (LD):** egy $n \times n$ -es mátrix, ahol n a javító-megelőző tevékenységek száma. A diagonális elemek reprezentálják tevékenység-előfordulásokat. 0 jelenti, ha nem valósítjuk meg a tevékenységet, 0,5 jelöli a bizonytalan tevékenység-előfordulást, 1 pedig a biztos tevékenységmegvalósítást. A diagonálison kívüli cellák reprezentálják a tevékenységek közötti kapcsolatokat, ahol 0, jelöli a rákövetkezési kapcsolat hiányát, 1 a rákövetkezési kapcsolat meglétét. 0,5 pedig a bizonytalan kapcsolatot mutatja. Ebben a modellben nem adok további pontértékeket sem a tevékenység-előfordulásoknak, sem a kapcsolaterősségeknek.

5. **Time domain (TD):** egy $n \times m$ -es mátrix, ahol n a javító-megelőző tevékenységek számát, m pedig a végrehajtási módok számát jelöli. A cellaérték jelöli a w módon végrehajtandó a_j tevékenység időigényét.
6. **Cost domain (CD):** egy $n \times m$ -es mátrix, ahol n a javító-megelőző tevékenységek számát, m pedig a végrehajtási módok számát jelöli. A cellaérték jelöli a w módon végrehajtandó a_j tevékenység költségigényét.
7. **Resource domain (RD):** egy $n \times rm$ -es mátrix, ahol n a javító-megelőző tevékenységek, r a (megújuló) erőforrás-igények, m pedig a végrehajtási módok számát jelöli. A mátrix első m oszlopában az első módon, a második m oszlopában a második módon, az r -edik m oszlopában a r -edik erőforrásoknak a tevékenységek egyes végrehajtási módjaihoz tartozó igényeit jelöljük.



3. ábra: Megelőző karbantartás-tervezés mátrix-alapú modellje (saját kutatómunka alapján szerkesztve)

Egy példán keresztül feltételezve, hogy a kritikus beavatkozási érték valamennyi berendezés-elemre $cr = 0,5$. Mivel 3. ábra(n) k_4 berendezés-elemre $R(k_4) = 0,4 < cr$ ezért k_4 megbízhatóságát mindenképpen javítani kell. Ebből adódóan a_5 tevékenységet

mindenképpen el kell végezni, hogy a minimális 0,5-ös megbízhatósági értéket elérjük. Megbízhatósági szempontból k_3 és k_4 berendezéselem párhuzamosan van csatolva egymással, e két elemmel pedig sorosan az összes többi rendszerelem. Az ábrán bejelölt 2 működési út adható meg. Ebből adódóan a rendszer megbízhatósága: $TSR = R(k_1)R(k_2)(1 - (1 - R(k_3))(1 - (R(k_4))R(k_5)R(k_6))$.

A blokkról blokkra bemutatott modell, illetve maga az 3. ábra is szemlélteti, hogy a modell különlegessége az, hogy egy "helyen" tudom reprezentálni a rendszer megbízhatóságát illetve technológiai felépítettségét is, melyet eddig külön-külön tudtunk megvalósítani.

T2 Az általam javasolt M^4 mátrix modellezési eljárással a megelőző karbantartás-tervezési probléma modellezhető.

3.3 Lehetséges megoldások meghatározása

A karbantartási tervek modellezése nem elegendő. Hiszen szükséges, hogy meg tudjuk határozni, hogy mely berendezéseket tartsuk karban. Ehhez egy algoritmust (melynek angol neve Preventive Maintenance Project Scheduling Algorithm, PMPSA) dolgoztam ki, amelynek valamennyi fázisában kihasználom, hogy az elérhető, idő-, költség-, erőforrás- és maximális megbízhatósági értékek anélkül ki tudom számítani, hogy az összes lehetséges projektváltozatot meg kellene határozni.

Legtöbb költség akkor keletkezik, ha valamennyi javító-megelőző tevékenységet végrehajtanak a karbantartók és ezek közül is a legköltségesebb alternatívát választják (C_{max}). Legkevesebb költségű projektváltozatot az a projektterv adja, ahol csak a kötelező tevékenységek szerepelnek a projekttervben és itt is a legkevésbé költséges alternatívát választják (C_{min}).

Nagyon hasonlóan a költségekhez, amennyiben a tevékenységek várható hatását meg tudjuk határozni, akkor becsülhető a maximális megbízhatóság-javulás (ΔTSR_{max}). Ezt az értéket itt is akkor érjük el, ha valamennyi javító-megelőző tevékenységet végrehajtjuk. Ha csak a kötelezőkre szorítkozunk, akkor a minimális megbízhatóság-javulást (ΔTSR_{min}) fogja jelölni.

Az időszükséglet számításához a fentiekén kívül a tevékenységek közötti kapcsolatokat is figyelembe kell venni. A legrövidebb projekttervet akkor kapjuk, ha valamennyi bizonytalan tevékenységet későbbi projektbe ütemezzük át, vagyis ebből a projektből elhagyjuk és valamennyi, technológiailag nem kötelező kapcsolatot feloldunk és a tevékenységek végrehajtását párhuzamosítjuk (T_{min}). Ezzel szemben a leghosszabb átfutási időt (T_{max}) valamennyi tevékenység végrehajtása és valamennyi tevékenységkapcsolat betartása fogja eredményezni.

Ha a tevékenységeket a legkorábbi időpontra ütemezzük, akkor az erőforrás-igények maximumát (r_{max}) akkor kapjuk, amikor valamennyi bizonytalan tevékenységet

végrehajtjuk, de valamennyi bizonytalan kapcsolatot feloldjuk (párhuzamos végrehajtás) és a megvalósítási módok közül azt választjuk, ahol az erőforrás-igény maximális. Ugyanígy a legkevesebb erőforrás-igény (r_{min}) akkor keletkezik, ha valamennyi bizonytalan tevékenység előfordulást elhagyjuk ebből a projektből (pontosabban átütemezzük egy későbbi, másik projektbe,) a kötelező tevékenység-előfordulások kapcsolatait azonban meg hagyjuk (soros végrehajtás,) és az erőforrás-igények közül a minimálisakkal számolunk.

Az első (4. ábra) és a második fázisban (5. ábra) mindig két lehetséges alternatíva közül választunk, nevezetesen az első fázisban: megvalósítjuk, vagy elhagyjuk (átütemezzük) a tevékenységet, illetve a második fázisban: előírjuk, vagy feloldjuk két tevékenység között a kapcsolatot.

Ebből adódóan a döntési fánk, amit be kell járnunk, egy speciális bináris fa lesz. Valamennyi döntési ág esetén ki tudjuk számítani a lehetséges legkisebb, illetve legnagyobb idő-, költség-, erőforrásigényeket, illetve a minimális, maximális rendszer megbízhatóság-növekményt, feltéve, hogy a tevékenységeket megvalósítjuk, vagy elhagyjuk. Ekkor tehát a döntési fánk egy ún. bináris kupac lesz (binary heap). A fa tetején meg tudjuk mondani, hogy mi az a legkisebb idő-, költség-, erőforrásigény, amelyet biztosan igényel bármely projektváltozat. Egy tevékenység megvalósításáról vagy elhagyásáról döntve szintén ki tudjuk számolni a legkisebb idő-, költség- illetve erőforrás-igényt vagy éppen a maximális rendszer megbízhatóság-növekményt.

Nagyon fontos, hogy minden döntés után is egy M^4 mátrixreprezentációt kapunk, viszont az első fázisban minden lépésben eggyel csökken a bizonytalan tevékenységek, a másodikban a bizonytalan kapcsolatok száma. Őket a döntésünknek megfelelően vagy elhagyjuk, vagy előírjuk.

A javasolt módszer a projektváltozatok kiértékelése során azokat az alternatívákat részesíti előnyben, amelyek célfüggvényértéke kedvezőbb. Mivel minden döntés után meg tudjuk mondani az elérhető legnagyobb rendszer meg-bízhatóság-növekményt, illetve minimális idő- és költség-igényt, a következő vágási szabályokat határozhatjuk meg az első két fázisra.

1. Szabály (TSR CUT).

Ha egy projektváltozatra számolt maximális rendszer megbízhatóság-növekmény kisebb, mint a korlátként támasztott előírt megbízhatóság-növekmény, akkor sem az adott, sem az ebből származtatható projektváltozatok sem pedig, a projektváltozatból származtatható projektstruktúrák nem megengedettek.

2. Szabály (TPC CUT).

Ha egy projektváltozat minimális költségigénye magasabb, mint a költségkorlát, akkor sem az adott, sem az ebből származtatható projektváltozatok, sem pedig a projektváltozatból származtatható projektstruktúrák nem megengedettek.

3. Szabály (TPT CUT).

Ha egy projektváltozat vagy egy projektstruktúra minimális időigénye magasabb, mint az időkorlát, akkor sem az adott projektváltozat/projektstruktúra, sem az ebből származtatható projekttervek nem megengedettek.

Erőforrásokra azért nem határozok meg ilyen vágási szabályt, mert itt egy erőforrás-simító eljárást a harmadik fázisban fogok végezni. A legkorábbi időpontra ütemezett tevékenységek esetében a maximális erőforrás-igényt mind egy kiegyenlítési, mind pedig erőforrás-simítási algoritmussal csökkenteni lehet. Ennek számítási igénye ugyanakkor sokkal magasabb, mint pl. az ütemezése. A módszer első fázisának szemléltetésére tekintsük az alábbi példát.

1. Példa. Legyen adott a megelőző karbantartási terv mátrixos ütemterve (3-2 ábra). A feladat, hogy a karbantartási projektet a legkorábbi időpontban végezzük el úgy, hogy a rendszer megbízhatósága minimálisan 10%-ot növekedjen ($CTSR = 0; 1$), de a költségigényként támasztott 40 e EUR-t ne lépjük túl ($Cc = 40$). A feladatot 3 karbantartóval és 2 gépbeállítóval kell elvégeztetnünk ($Cr = [3; 2]^T$). Feltétel, hogy a megbízhatósági diagramtól függetlenül minden berendezéselemnek legalább 0,5-ös megbízhatósági értéket el kell érnie ($cr = 0; 5$).

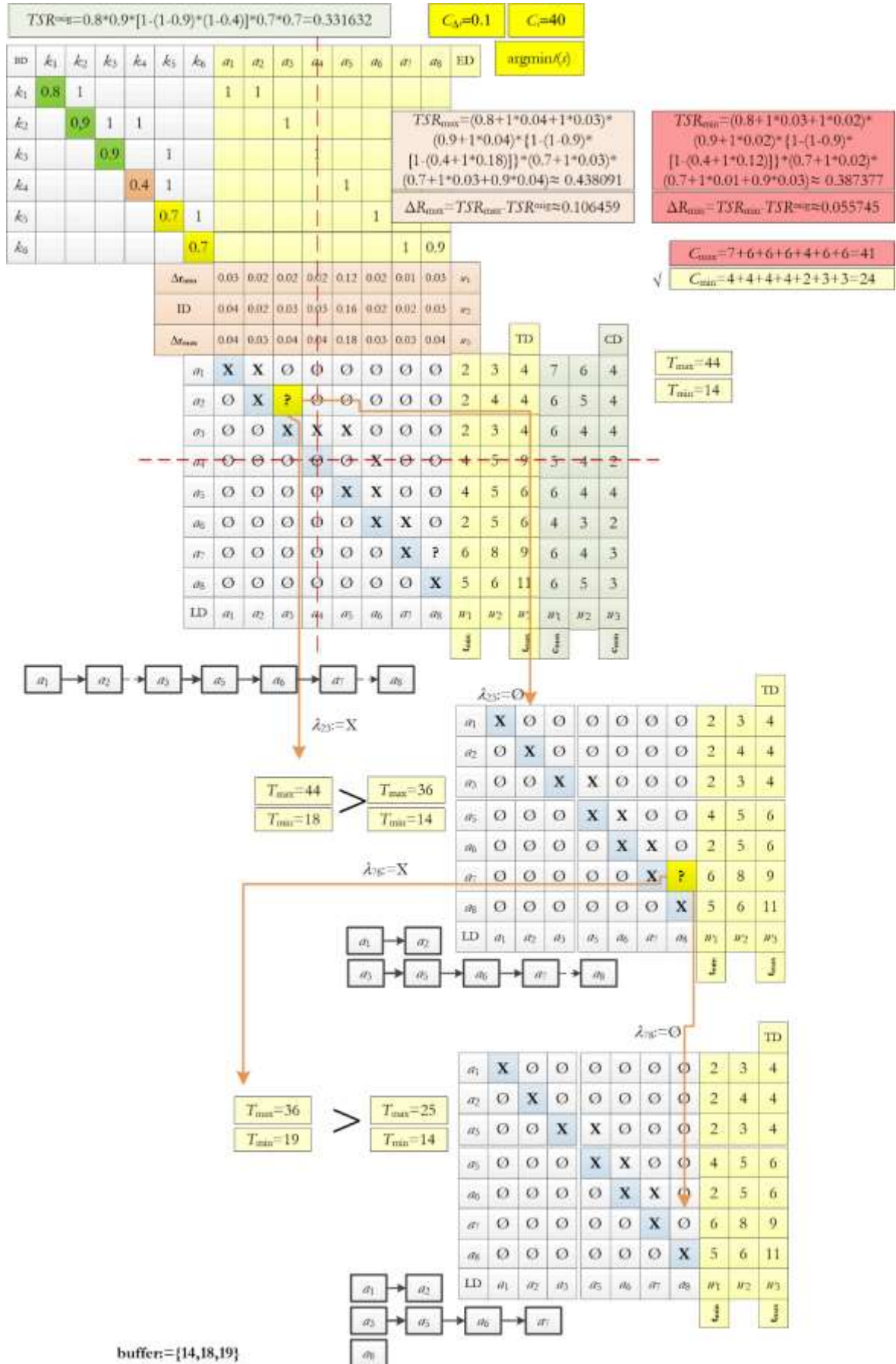
Mivel a célfüggvény a lehető legrövidebb projektátfutási idő megtalálása, így az első fázisban azokat a projektváltozatokat részesítjük előnyben, amelyek kevesebb tevékenységet tartalmaznak. Tehát minden lépésben, ha a tevékenység a kritikus úton van, akkor igyekszünk a tevékenységet elhagyni a projektből, mert ekkor kapunk rövidebb átfutási időt; ugyanakkor, ha az így kapott mátrixra számolt legnagyobb rendszer megbízhatóság-növekménnyel járó projektváltozat megvalósítása sem tudja garantálni a 10%-os megbízhatóság-növekményt, akkor ezt az ágat, illetve valamennyi alágát ki kell vennünk a döntési fából.

Vagyis az 5. ábra példáján a_8 tevékenység megvalósítása mellett döntünk. Bár az algoritmus során a legjobb megoldás megtalálására törekszünk, szükség lehet a második, vagy épp harmadik legjobb megoldás megtalálására. Éppen ezért a lehetséges legrövidebb átfutási időket egy rendezett BUFFER halmazban tároljuk. A második fázisban arról döntünk, hogy a tevékenységeket milyen sorrendben hajtjuk majd végre. Fontos megjegyezni, hogy mivel már döntöttünk arról, hogy egy tevékenységet végrehajtunk-e vagy sem, ezért azok minimális és maximális költségvonzatát, illetve a rendszer megbízhatóságának minimális és maximális növekményét a tevékenységek végrehajtási sorrendje (a javasolt modellben) nem befolyásolja. Éppen ezért elegendő csak a minimális és maximális lehetséges tevékenységidőket kiszámolni. Ehhez pedig elegendő a logikai tervet és az időigényeket tartalmazó részmatrix (3-4) megadása.

A célfüggvénynek legmegfelelőbb projektstruktúra meghatározásakor csak a 'TPT_CUT' vágási szabályt alkalmazhatjuk. A második fázis végére már egy projektstruktúrát kapunk, ahol a cél a célfüggvénynek leginkább megfelelő, a korlátokat nem túllépő projektütemterv meghatározása. Ebben a fázisban már az ismert diszkrét idő-minőség-költség átváltási problémát kell megoldanunk. Ugyanakkor, ha nincs túl sok lehetséges alternatívánk, akkor az első két fázisban ismerttetett gondolatmenetet továbbvihetjük, nevezetesen: minden

lépésben döntünk arról, hogy egy adott tevékenységet a lehetséges módok közül melyikkel valósítjuk meg. A döntési fában minden csúcsnak (kivéve az utolsó (n -edik szinten lévőket)) m gyermeke van, hiszen minden tevékenységet m -féleképpen oldhatunk meg. Minden pontban kiszámítjuk az elérhető legkisebb/legnagyobb átfutási idejű, költségigényű, valamint a legkisebb/legnagyobb rendszermegbízhatóság-növekményt eredményező projektterveket.

Az 1, 2, 3 vágási szabályokat alkalmazva egy adott célfüggvénynek leginkább megfelelő projektütemtervet kapunk. Az eredményül kapott ütemtervre egy erőforrássimítást végzünk. Ha eredményül egy, a korlátokat nem túllépő megoldást kapunk (jelen esetben ez $r = [3; 1] T$, amely nem lépi túl a $Cr = [3; 2] T$ korlátot), akkor ezt a projekttervet javasolhatjuk a karbantartók számára. Ha az erőforrástervezés nem vezet eredményre, akkor vissza kell lépniünk a következő legjobb megoldásra és ott kell elvégeznünk újra az erőforrás-simítást.



5. ábra: A projektstruktúra meghatározása (2. fázis); (saját kutatómunka alapján szerkesztve)

A blokkról blokkra bemutatott modell, illetve maga az 3. ábra is szemlélteti, hogy az általam javasolt M^4 mátrix modellezési eljárással a megelőző karbantartás-tervezési probléma modellezhető.

T3 Megelőző karbantartás-tervezési probléma adott célfüggvényre (lehető legrövidebb átfutási idő, legkisebb költség) vonatkozó optimális megoldása meghatározható.

4 Összefoglalás

A bemutatott módszer hosszadalmas, folyamatos kutatómunka eredményét képezi. A mátrix alapú karbantartás-tervezési módszer (Matrix-based Maintenance Management Method - M^4) 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.

A javítások prioritását meghatározza a karbantartási tevékenységek kockázati besorolása. Amennyiben adott a költség-, erőforrás-, illetve időkeret, akkor az általam létrehozott mátrixos logikai tervezési módszerek segítségével olyan projektterv készíthető, amely alapján a legszükségesebb javítások tervezhetők, ütemezhetők.

A bemutatott módszer segítségével kimenetként egy olyan karbantartási tervet kapunk, amely tartalmazza, hogy mely berendezéseket, vagy azokon belül berendezéselemeket kell karbantartani. A karbantartási terv összeállításában egy integrált M^4 -et alkalmazunk, amely tartalmazza a berendezéselemekre, vagy berendezésekre vonatkozó kockázati vagy megbízhatósági értékeket, tartalmazza a hozzáférési sorrendiséget. Ezek mellett az ezekre vonatkozó szükséges költségráfordítást, kompetens emberi erőforrás szükségletet és a karbantartási időtartamot.

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 módszer segítségével olyan projektterv készíthető, amely alapján a legszükségesebb javítások tervezhetők, ütemezhetők. A vállalatoknál rendelkezésre álló költségvetési kereten belül, igyekszünk a lehető legtöbb olyan berendezés karbantartását a tervbe integrálni, amelyek helyreállításával, az elvárt vállalati összrendszerszintű megbízhatósági értéket elérjük. A terv összeállítása során a rendelkezésre álló időkeret mellett az éppen adott berendezésre vonatkozó kompetens karbantartó létszámot és figyelemmel kísérjük. A karbantartási tervet a M^4 alkalmazásával tehát úgy állítjuk össze, hogy célunkat elérjük, azaz az elvárt összrendszerszintű megbízhatóságot, a vállalat által támasztott kereteken belül.

5 Irodalomjegyzék

- Ahuja, R. K., Magnanti, T. L. & Orlin, J. B., 1993. Some Recent Advances in Network Flows. *SLAM Review*, 33(2), pp. 175-219.
- Babu, A. & Suresh, N., 1996. Project management with time, cost, and quality considerations. *European Journal of Operational Research*, 88(2), pp. 320-327.
- Berman, E. B., 1964. Resource Allocation in a PERT Network Under Continuous Activity Time-Cost Functions. *Management Science*, 10(4), pp. 128-137.
- Brucker, P. és mtsai., 1999. Resource-constrained project scheduling: Notation, classification, models, and methods. *European Journal of Operational Research*, 112(1), pp. 3-41.
- De, P., Dunne, E. J., Ghosh, J. B. & Wells, C. E., 1995. The discrete time-cost tradeoff problem revisited. *European Journal of Operational Research*, 81(2), pp. 225-238.
- De, P., Dunne, E. J., Ghosh, J. B. & Wells, C. E., 1997. Complexity of the Discrete Time-Cost Tradeoff Problem for Project Networks. *Operations Research*, 45(2), pp. 302-306.
- El - Rayes, K. & Kandil, A., 2005. Time-Cost-Quality Trade-Off Analysis for Highway Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(4), pp. 477-486.
- Falk, J. E. & Horowitz, J. L., 1972. Critical Path Problems with Concave Cost-Time Curves. *Management Science*, 19. kötet, pp. 446-455.
- Feng, C., Liu, L. & Burns, S., 2000. Stochastic Construction Time-Cost Trade-Off Analysis. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 14(2), pp. 117-126.
- Fulkerson, D. R., 1961. A network flow computation for project cost curves. *Management Science*, 7.(2.), pp. 167-178.
- Goldberg, A. & Tarjan, R., 1987. Solving Minimum-cost Flow Problems by Successive Approximation. *Proceedings of the Nineteenth Annual ACM Symposium on Theory of Computing, ACM*, pp. 7-18.
- Goldberg, A. V., 1997. An Efficient Implementation of a Scaling Minimum-Cost Flow Algorithm. *Journal of Algorithms*, 22(1), pp. 1-29.
- Kelley, J., 1961. Critical-Path Planning and Scheduling: Mathematical Basis. *Operations Research*, 9. kötet, pp. 296-320.
- Kiss, J., Kosztyán, Z. T., Németh, A. & Bognár, F., 2011. *Matrix-based methods for planning and scheduling maintenance projects*. München, ismeretlen szerző, pp. 421-434.
- Kosztyán, Z. T., 2013. Mátrix alapú stratégiai projekttervezési eljárások. *Szigma*, 44(1-2), pp. 65-94.
- Kosztyán, Z. T., 2015. Exact algorithm for matrix-based project planning problems. *Expert Systems with Applications*, 42(9), pp. 4460-4473.

-
- Kosztyán, Z. T., 2015. Költség- és időcsökkentési eljárások alkalmazása a projekttervezésben és a nyomon követésben. *Vezetéstudomány*, 46(6), pp. 45-57.
- Kosztyán, Z. T. és mtsai., 2010. Projekt szakértői rendszer karbantartási projektek menedzselésére. *A karbantartás kihívása- a tudás tőke -felértékelődése*, pp. 178-193.
- Kosztyán, Z. T., Hegedűs, C., Kiss, J. & Németh, A., 2013. Handling Maintenance Projects with Matrix-Based Methods. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 151. kötet, pp. 357-366.
- Kosztyán, Z. T. & Németh, A., 2013. Reliability-Risk Project Expert Matrix for Handling Maintenance Projects. *Amerprocedia Information Technology and Computer Science*, 3. kötet, pp. 1577-1583.
- Lamberson, L. R. & Hocking, R. R., 1970. Optimum Time Compression in Project Scheduling. *Management Science*, 16(10), pp. 597 - 606.
- Németh, A., 2011. *Karbantartási tevékenységek megbízhatóság alapú mátrixos projekttervezése*. Gödöllő, Országos Tudományos Diáöri Tanács.
- Németh, A., 2013. Berendezések karbantartásának mátrixos projekttervezése. *E-CONOM*, 2. kötet, pp. 79-88.
- Németh, A. & Kosztyán, Z. T., 2015. *Maintenance on Scale-Free Networks*. hely nélk., ismeretlen szerző, pp. 32-33.
- Németh, A. & Kosztyán, Z. T., 2015. Matrix-based Maintenance Management (M3). In: *Élenjáró karbantartás, mint a vállalkozás sikerének előfeltétele*. Veszprém: Pannon Egyetem, pp. 189-204.
- Németh, A., Péczely, G. & Kosztyán, Z. T., 2011. Karbantartási tevékenységek mátrixos projekttervezése. In: Z. Gaál & L. Szabó, szerk. *XXIII. Nemzetközi Karbantartási Konferencia Kiadványa*. Veszprém: Pannon Egyetem, pp. 173-182.
- Orlin, J. B., 1993. Algorithm, A Faster Strongly Polynomial Minimum Cost Flow. *Operations Research*, 41(2), pp. 338-350.
- Pritsker, A. B., 1966. *GERT: Graphical Evaluation and Review Technique*. hely nélk.:Memorandum, RM-4973-NASA.
- Rahimi, M. & Iranmanesh, H., 2008. Multi objective particle swarm optimization for a discrete time, cost and quality trade-off problem. *World Applied Sciences Journal*, 4(2), pp. 270-276.
- Steward, D., 1981. The design structure system- a method for managing the design of complex systems. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 28(3), pp. 71-74.
- Tareghian, H. R. & Taheri, S. H., 2006. On the discrete time, cost and quality trade-off problem. *Applied Mathematics and Computation*, 181(2), pp. 1305-1312.

Xiao, R., Chen, T. & Tao, Z., 2007. Information modeling and reengineering for product development process. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 2(1), pp. 64-74.

Publikációs jegyzék

Hazai cikkek:

Kosztján Zs T, **Pribojszki-Németh A**, Kovács Z, Karbantartási projektek mátrix-alapú tervezése, Alkalmazott Matematikai Lapok, 33:(1) Budapest, 2016, ISBN pp. 27-56.

Németh Anikó: Berendezések karbantartásának mátrixos projekttervezése, Taylor Gazdálkodás- és Szervezéstudományi Folyóirat: A Virtuális Intézet Közép-Európa Kutatására Közleményei, Szeged, 2015, 18-19:(1-2), ISBN 2064-4361pp. 152-162.

Németh Anikó, Kosztján Zs T: M3 – Matrix-based Maintenance Management, XXVII. Nemzetközi Karbantartási Konferencia: Élenjáró karbantartás, mint a vállalkozás sikerének előfeltétele. Veszprém: Pannon Egyetem, 2015. ISBN:978-963-369-071-4, pp. 189-204.

Németh Anikó: Karbantartás tervezés új köntösben, Pro Scientia Aranyérmesek XII. konferenciája Eger, 2015. ISBN:978-615-5509-42-1, pp.

Németh Anikó: Berendezések karbantartásának projekttervezése, Tavaszi Szél, 2014 konferenciakötet. 1 kötet, Közgazdaságtudomány, Budapest, 2015. ISBN 978-963-89560-5-7, pp. 368-380.

Németh Anikó: Karbantartás tervezés új köntösben – Berendezések karbantartásának mátrixos projekttervezése, Virtuális Intézet Közép-Európa Kutatására Közleményei (VIKEK), TAYLOR Gazdálkodás- és Szervezéstudományi folyóirat, 2015/1-2. Szám; VII. évfolyam 1-2. Szám (no. 18-19), Szeged, 2015. ISSN 2064-4361, 99.152-162.

Németh Anikó, Dr. Kosztján Zsolt Tibor: Teljes körű hatékony karbantartás a Lean szíve lelke?, Virtuális Intézet Közép-Európa Kutatására Közleményei (VIKEK), TAYLOR Gazdálkodás- és Szervezéstudományi folyóirat, 2014/3-4. Szám; VI. évfolyam 3-4. Szám (No 16-17), Szeged, 2014. ISSN 2064-4361, pp. 196-208.

Németh Anikó, Berendezések karbantartásának mátrixos projekttervezése, E-conom, Online Tudományos Folyóirat, 2013/2 (II. évf. 2. sz.), Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó/ University of West Hungary Press, Sopron, ISSN 2063-644X, 2014. április 28., pp. 79-98.; http://e-conom.hu/e-conom_2013_2.html?&L=1

Németh Anikó: Berendezések karbantartásának mátrixos projekttervezése, Logisztikai Híradó 2014. február, XXIV.évf.1. szám, ISSN 2061-6333, pp. 29-32.

Németh Anikó: Karbantartási projektek tervezése, Virtuális Intézet Közép-Európa Kutatására Közleményei (VIKEK), TAYLOR Gazdálkodás- és Szervezéstudományi folyóirat, 2014/1-2. Szám; VI. évfolyam 1-2. Szám (No 14-15), Szeged, 2014. ISSN 2064-4361, pp. 50-58.

Németh Anikó, Dr. Kosztján Zsolt Tibor: Berendezések karbantartásának megbízhatóság központú mátrixos projekttervezése, Virtuális Intézet Közép-Európa Kutatására

Közleményei, IV. évfolyam 4. szám (No.10.) A-sorozat 2. Gazdálkodás- és Szervezéstudományi tematikus szám, Szeged, 2012, ISSN 2062-1396, pp. 235-248.

Nemzetközi cikkek:

Zsolt T. Kosztyán and **Anikó Németh**: Matrix Planning Method For Handling Maintenance Projects; Global Journal On Information Technology [Online]. 2014/ 5, Available from: <http://www.world-education-center.org/index.php/P-ITCS/issue/view/139> Proceedings of 4th World Conference on Information Technology (WCIT-2013) 01-207, 26-28 November 2013, -, Belgium. ISSN 2147-5105, pp. 85-91.

Zsolt T. Kosztyán and **Anikó Németh**: Reliability-Risk Project Expert Matrix For Handling Maintenance Projects; AWER Procedia Information Technology & Computer Science. [Online]. 2013/ 3, Available from: <http://www.world-education-center.org/index.php/P-ITCS> Proceedings of 3rd World Conference on Information Technology (WCIT-2012), 14-16 November 2012, University of Barcelon, Barcelona, Spain. ISSN 2147-5369, pp. 1577-1583.

Zsolt T. Kosztyán, Csaba Hegedűs, Judit Kiss and **Anikó Németh**: Handling Maintenance Projects with Matrix-Based Methods; Lecture Notes in Electrical Engineering Vol. 151; Emergint Trend sin Computing, Informatics, Systems Sciences, and Engineering; January 2013, ISSN 1876-1100, ISBN 978-1-4614-3557-0; pp. 357-366.

Hazai könyvrészletek:

Németh Anikó, témavezető: Dr. Kosztyán Zsolt Tibor: Berendezések karbantartásának mátrixos projekttervezése, Tudós Bagoly avagy Válogatás a XXXI. Országos Tudományos; Diákköri Konferencia Közgazdaságtudományi Szekciójában bemutatott díjnyertes dolgozatokból, Válogatott Kéziratok, Veszprém, 2014; ISBN 978-963-396-054-7; pp. 308-365

Németh Anikó: Almanach, Tudományos Diákköri Füzetek, Pro Scientia Aranyérmesek és Mestertanárok 2013; az Országos Tudományos Diákköri Tanács Kiadványa, 2013, ISSN 1215-7775; ISSN 1215-7767; pp. 27.; pp. 107-110.

Németh Anikó, témavezető: Dr Kosztyán Zsolt Tibor: Berendezések karbantartásának mátrixos projekttervezése, XXXI. Országos Tudományos Diákköri Konferencia, Közgazdaságtudományi Szekció, Előadások Kivonatai, Pannon Egyetemi Kiadó, 2013, ISBN 978-615-504-478-6, pp. 576.

Hazai konferenciák:

Pribojszki-Németh Anikó, Projekttervezési módszerek alkalmazása a karbantartási stratégiák függvényében, A generációváltás informatikai vonatkozásai: XIII. OGIK Gazdaságinformati-kai Konferencia. OGIK'2016. Konferencia helye, ideje: Dunaújváros, Magyarország, 2016.11.11-2016.11.12.

Pribojszki-Németh Anikó, Kosztyán Zsolt Tibor, Maintenance on Scale-Free Networks OGIK'2015 - 12. Országos Gazdaságinformatikai Konferencia. Konferencia helye, ideje: Veszprém, Magyarország, 2015.11.06-2015.11.07.pp. 32-33.

Kosztyán Zsolt Tibor, **Németh Anikó**, Kovács Zoltán: Karbantartási projektek mátrixos-alapú tervezése, XXXI. Magyar Operációkutatási Konferencia, Cegléd, 2015. június 10-12. <http://www.gazdasagmodellezes.hu/images/stories/konferenciak/csb3koneko.pdf>

Németh Anikó, Dr. Kosztyán Zsolt Tibor: M3 - Matrix-based Maintenance Management, XXVII. Nemzetközi Karbantartási Konferencia: Élenjáró karbantartás, mint a vállalkozás sikerének előfeltétele, Veszprém, 2015.április.16-17., ISBN 978-963-369-071-4, pp. 189-204.

Németh Anikó: Karbantartás tervezés új köntösben, Pro Scientia Aranyérmesek XII. konferenciája, Eszterházy Károly Főiskola, Eger, 2014. november 6-8.

Németh Anikó: Karbantartás tervezés új köntösben, 4. Vezetéstudományi konferencia „A vezetés aspektusai Taylor után 101 évvel”, Szeged, 2014. május 30.

Németh Anikó, Karbantartások mátrixos projekttervezése – Karbantartástervezés új köntösben, Interdiszciplináris Konferencia 2014, III. IDK2014 - I. PSZN - Mandulavirágzási Napok, Pécsi Tudományegyetem, ISBN 978-963-642-597-5, pp.42-43., Pécs, 2014. április15-17.

Németh Anikó, Berendezések karbantartásának projekttervezése, Doktoranduszok Országos Szövetsége, Tavaszi Szél Konferencia 2014, Debreceni Tudományegyetem, Debrecen, 2014. március 21-23.

Németh Anikó, Karbantartások mátrixos projekttervezése, Nemzeti Kiválóság Program konferenciája a Pannon Egyetemen, Veszprém, 2014. március 05.

Németh Anikó, Dr. Kosztyán Zsolt Tibor: Berendezések karbantartásának „karcsú” projekttervezése, 10. Országos Gazdaság-informatikai Konferencia OGIK'2013, Győr, 2013. november 8-9.

Németh Anikó, Dr. Kosztyán Zsolt Tibor: Teljes körű hatékony karbantartás a lean szíve lelkel, V. Régiók a Kárpát-medencén innen és túl, Kaposvár, 2013. október 11.

Németh Anikó: Karbantartási projektek tervezése és modellezése, 3. Vezetéstudományi konferencia „Vezetés és hatékonyság Taylor után 101 évvel”, Szeged, 2013. május 31.

Németh Anikó: Kvantitatív módszerek kidolgozása a karbantartási projekttervek készítésének támogatására, XXII. Diagon Műszaki Diagnosztika-EDU Karbantartási Konferencia és Szakmai Továbbképzés, Siófok, 2013. április 22-24.

Németh Anikó: Karbantartási anyagmenedzsment? – Igen; XV. Energorep-EDU, Tudással a termelékenységért, a megbízható üzemelésért és biztonságért karbantartási Konferencia és szakmai továbbképzés, Zalakaros, 2012. november 26-28.

Németh Anikó, Dr. Kosztyán Zsolt Tibor: A karbantartás tervezhetőségének bővítésében?, 20. MLBKT Kongresszus, „Gazdálkodj okosan! Bizalom és együttműködés; A fenntarthatóság záloga”, Siófok, 2012. november 14-16.

Németh Anikó: Megbízhatóság-kockázat központú projekt szakértő mátrix, 2. Vezetéstudományi konferencia „Vezetés és hatékonyság Taylor után 101 évvel”, Szeged, 2012. június 01.

Nemzetközi konferenciák:

Zsolt Tibor Kosztyán, **Anikó Németh**, Csaba Hegedűs: What to do? How to do? – Novel Models for Managing Large- scale Project Portfolios?; Whither Europe? Evaluating the past and forecasting the future; 20th Summer University of ISES, 21 June – 3 July 2015, University of Pannonia, Kőszeg Centre, Kőszeg, Hungary

Lajos Szabó, **Anikó Németh**, Nikoletta Kaszás: Students' workshop on EU Project Management; Whither Europe? Evaluating the past and forecasting the future; 20th Summer University of ISES, 21 June – 3 July 2015, University of Pannonia, Kőszeg Centre, Kőszeg, Hungary

Anikó Németh, Zsolt Tibor Kosztyán: Matrix planning methods for handling maintenance projects, 4th World Conference on Information Technology, Brussels, Belgium, November 26-28, 2013

Anikó Németh, Zsolt Tibor Kosztyán: New way in maintenance project planning, PMUni WS (Project Management University Workshop) – szakmai találkozó, Veszprém, October 4-5, 2013

Anikó Németh, Zsolt Tibor Kosztyán: MPPM? The new way of planning and modeling, 4th Annual Conference of the European Decision Sciences Institute, Budapest, Hungary, June 16-19, 2013

Anikó Németh: Risk and Reliability Based Project Planning, PMUni WS (Project Management University Workshop) – szakmai találkozó, Utrecht, Netherland, 18-19. October 2012.

Anikó Németh, Zsolt Tibor Kosztyán: Developing matrix based project planning methods for maintenance – Reliability-Risk Project Expert Matrix, 3rd World Conference on Information Technology, University of Barcelona, Spain, November 14-16, 2012

Teljes publikációs lista megtekinthető a Magyar Tudományos Művek Tárháza 10037748 szám alatt.