



**Pécsi Tudományegyetem
Breuer Marcell Doktori Iskola**

**Funkcionális kapcsolatok modellezése blokk-szerkezetű
komplex egészségügyi ellátó rendszerek építészeti
tervezésében**

MESKÓ DIÁNA

**Tudományos vezető:
Dr. habil Csébfalvi Anikó Borbála CSc PhD**

Pécs,
2014.

BEVEZETÉS

A jelenlegi építészeti tervezési gyakorlat során a tervezés legelső fázisa a vázlatok és változatok elkészítése. Sok alternatíva vetődik fel ebben a szakaszban, ami igényli a teljes nyitottságot. Ekkor még nincsenek jogszabályi kötelezettségek, mégis a tervezés legnagyobb felelősséggel járó mozzanata. Jelen gyakorlat nem terjed ki arra, hogy felmérjék az épületekkel kapcsolatos igényeket, majd az épületekről, a szükséges funkciók és a közöttük lévő kapcsolatok modellezésével funkcionális tervet készítsenek, végül megvizsgálják a tervet például olyan fontos szempontok szerint, mint az épületek megbízhatósága, üzemszerűen tudnak-e akkor is működni, ha az épületen belül meghibásodás lép fel vagy felújítási munkálatok zajlanak. Tűzvédelmi és havári esetekre léteznek előírások, normák és tervezési konvenciók különösen a potenciálisan nagy kockázatú létesítmények esetén (Katona T. J. 2013), azonban nem létezik olyan módszer, mellyel automatikusan, akár a teljes épületrendszerre egyidejűleg meghatározhatók a kimenekítési útvonalak.

Korábban a megbízható távközlő hálózatok területén folytattam kutatásokat. Kutatásaim megmutatták, hogy mennyire fontos a távközlő hálózatokban a meghibásodások esetén történő mielőbbi védelem biztosítása. Ezt védelmi módszerek alkalmazásával lehet biztosítani, mely védelmi módszerek arra hivatottak, hogy az üzemi útvonal mellett minél kisebb többlet-kapacitással, minél alacsonyabb költségek mellett és mielőbb biztosítsák a védelmi útvonalat a meghibásodás elkerülésére. A korábbi, szakirodalmakban megtalálható algoritmusokhoz képest hatékonyabb, ámbar lassabb algoritmusokat fejlesztettem ki, melyek azonban még a távközlő hálózatok esetében is elfogadható futási idővel nyújtanak eredményeket.

A tézisfüzet alapját képező doktori értekezésemben bemutatom, hogy ez a módszer és eszközrendszer, azaz a védelmet is biztosító útkereső algoritmusok

hogyan adaptálhatók az építészeti tervezésbe, milyen előnyökkel jár az épületek funkcionális tervezése és a funkcióterv elemzése, vizsgálata.

A kutatás során olyan általánosan alkalmazható matematikai modellt vezettem be, melyet az optimalizálásához kapcsolódó módszertani elemek összekapcsolásával és továbbfejlesztésével értem el. A matematikai modell minden olyan területen alkalmazható, melyen az üzemszerű működéshez üzemi útvonalakat és a hozzájuk tartozó védelmi, tartalék útvonalakat szükséges definiálni, tervezni, megvalósítani. Ilyen terület lehet egy úthálózat, egy mérnöki rendszer, az adatátviteli rendszerek, illetve a témám területe is: az épület, mint rendszer, illetve az épület-rendszerek.

Épület-rendszerek esetében az úthálózat együttesen jelenti mind az épületek közötti közlekedési utakat, mind pedig az épületen belüli közlekedés minden módozatát, mint folyosó, közlekedő, lift, lépcsőház, de ide tartoznak egészségügyi intézmények esetén például a várótermek és a műtő helységek is.

Az egészségügyi ellátó rendszerek esetében kiemelt fontosságú a megfelelő úthálózat és biztonsági alternatívák felállítása, hiszen ezen létesítmények esetében emberek élete, sorsa függhet egy-egy helyesen vagy helytelenül megválasztott útvonaltól és attól, hogy a tervezéskor gondoskodtak-e arról, hogy az üzemszerű működéstől eltérő esetek: meghibásodások, fenntartási, állagmegőrzési munkálatok idején is teljes, maradéktalanul működő rendszert alkosson az intézmény. Kutatásom során azt vizsgáltam, hogy milyen hatással van az épület megbízhatóságára az általam megfogalmazott, az építészeti tervezést megelőző funkcionális tervezési fázis, az épület komplexumok modellezése, a megbízhatóság szempontjából történő vizsgálata.

Az épületek matematikai modellezésére gráf-modellt alkottam. A modell különlegessége az, ahogyan az épületek funkcióit és az azok között fennálló kapcsolatokat modellezem: több blokkos komplex épületrendszerek (több épületből álló, szerves egységet képező egészségügyi ellátó rendszerek) esetében hierarchikus modellt alkalmaztam. Ez azt jelenti, hogy előbb az épületeket és az épületek közötti kapcsolatokat modelleztem, majd dekompozíciót alkalmaztam,

mely során az egyes épületeket, mint a gráf tartományait modelleztem, végül az épületen belüli osztályokat vagy szinteket, mint a gráf altartományait kezeltem. A gráf modelleken iteratíván végrehajtottam az általam, egészértékű lineáris programozási feladatként megfogalmazott optimalizálást. Majd végezetül az egyes részfeladatok megoldását aggregáltam, s így az egész rendszert ítélni tudtam meg, hogy vajon az megbízható komplex épületrendszert képez.

A disszertáció megírásánál fő célom volt, hogy rávilágítsak mennyire fontos – különösen az egészségügyi ellátó rendszerek esetében –, hogy a fizikai háttérrel adó komplex épületegyüttes robusztus legyen, tartalék útvonalak álljanak rendelkezésre az előre tervezett felújítási munkálatok, váratlan meghibásodások esetére és mindezt a lehető legkevesebb többletköltség befektetése mellett. Ennek megtervezéséhez, figyelembe vételéhez javasoltam egy, az építészeti tervezést megelőző, 0. fázist.

KOMPLEX ÉPÜLETRENDSZEREK FUNKCIONÁLIS TERVEZÉSE ÉS MODELLEZÉSE

Ebben a fejezetben az építészeti tervezés folyamatát vizsgáltam. Azt találtam, hogy az épületek meghibásodás esetére történő vizsgálata teljesen hiányzik a tervezési folyamatból, holott bizonyos épületek esetében, mint amilyenek a kutatási területem épületei voltak, ez elengedhetetlenül fontos lenne.

Célom az alábbi volt:

- Megalkotni egy olyan, az építészeti tervezést megelőző, proaktív, a problémás helyzetek fellépését előre megoldó tervezési módszert, mely egy előtervezési lépésként fogható fel. Ennek keretében a funkciók egymáshoz rendelését, szükségesszerű és lehetséges összekapcsoltságát kell megfogalmazni. Ez azt jelenti, hogy a legkisebb helységtől a legnagyobbig, mint például a mosdóktól és a takarító felszerelés tároló helységétől a központi auláig minden funkciót listába szednek, majd meghatározzák a funkciók egymással való

összeköttetéseit. Itt kell kitérni a szükséges és elégséges kapcsolatok meghatározására is, amit az egyes kapcsolatokhoz rendelünk.

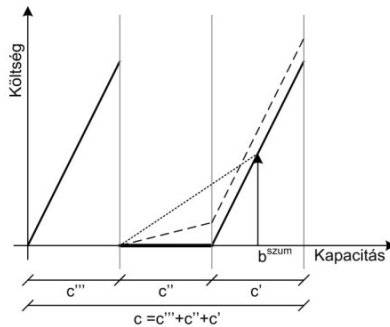
- Megfogalmazni az épületek gráfokkal történő modellezését, kiterjeszteni az útkereső algoritmusokat és többtermékes folyam problémákat a gráfokkal modellezett épületekre, valamint megmutatni, hogy a modell egyaránt alkalmazható a több blokkos, komplex épületekre is.

Az építészeti tervezési folyamatba illeszkedik az általam megalkotott előtervezési fázis, melynek során egy keretrendszert adunk a gondolatoknak, az elképzeléseknek, egy modellt alkotunk az épületekről, épület-rendszerről. Az eredményeket az 1. tézisben ismertetem.

A MEGBÍZHATÓ ÉPÜLETEK

A funkcionális terv elemzéséhez szükséges egy modell megalkotása. Az épületek funkcionális tervének modellezésére a gráfokra történő leképezést alkalmaztam. Megalkottam az épületek gráf alapú modelljét.

Vizsgálataimat a továbbiakban a védelmet is biztosító útkereső algoritmusok területén folytattam. Azt tapasztaltam, hogy amennyiben megosztott védelmet szeretnénk biztosítani, abban az esetben az algoritmusok: vagy nem-lineáris költségfüggvényt eredményeznek (1. ábra folyamatos vonal), melyre azután nem alkalmazhatók az egzakt megoldást nyújtó egészértékű vagy kevert egészértékű lineáris megfogalmazások; vagy durva becsléssel lehet csupán a költségfüggvényt megadni (1. ábra pontozott vonal), ami az elérhető eredmények romlásához vezet. A költség itt jelentheti a tartalék kapacitások (lift, átjáró, lépcsőház) valós költségét, de akár egy absztrakt, a tervező által definiált mértéket is, melynek függvényében legkisebb költségért szeretnénk védelmet biztosítani.



1. ábra Három kapacitás költség modell védelem esetére

Minden e élre a teljes kapacitás C_e , melyek költsége a következőképpen alakul (1. ábra alsó része):

- C_e''' az üzemi útvonalak számára foglalt kapacitás költsége (a védelem számára nem használható, hiszen ott üzemi útvonalak futnak);
- C_e'' a (megosztható) védelem számára foglalt, tartalék kapacitás (ezen kapacitás diszjunkt üzemi útvonalak esetén alacsony költséggel használhatók);
- $C_e - C_e'' - C_e'''$ szabad, nem lefoglalt és nem használt kapacitás, mely kapacitások az eredeti élköltségen foglalhatók.

Ennek fényében a „legrövidebb” út azt jelenti, hogy az az útvonal, amihez a legkevesebb erőforrás foglalás szükséges a kapacitás-költség függvényében. Vagyis a cél, hogy minél kevesebb C' kapacitást foglaljunk.

Hogy egy b_o kapacitású o igény védelmi útvonalát elvezessük, csak annyi kapacitást szükséges foglalnunk minden egyes élen, amennyivel az igény kapacitása meghaladja az adott élen megosztható védelmi kapacitás számára foglaltat. A célunk, hogy az útvonal összes élre nézve ezen költségek összege minimális legyen. Ez az egyetlen mérőszám, melyet az igények számára történő útvonal tervezése során használunk szükséges. Ezen $P_e''(o)$ utakat a $P_e'(o)$ út részben független, megosztott védelmi útjainak nevezzük.

A 1. ábra felső része az előbbieken bemutatott kapacitás-eloszláshoz tartozó három költség függvényt mutat:

- **Folyamatos vonal:** a C'' , védelem számára megosztható kapacitás költsége nulla, míg a $C - C'' - C'''$, szabad kapacitás költsége az eredeti élköltséggel egyenlő. Ebben az esetben a megosztható kapacitás ingyen használható, míg a nem lefoglalt szabad kapacitás az eredeti kapacitásköltségért foglalható. A megoldás veszélye, hogy a nullaköltségű élek mentén hurkok alakulnak ki az utakban.
- **Pontozott vonal:** egy alternatív megoldás lehet erre a problémára. Egyetlen lineáris költségfüggvénnyel közelítjük a két, egyenként lineáris szegmenset. Azonban az eredmény így csupán szub-optimális lesz.
- Az általam javasolt megoldás a **szaggatott vonallal** bemutatott költségmodell: a megosztható kapacitásnak egy igen alacsony, de nem nulla kapacitás-költséget definiáltam, hogy elkerüljem a hurkok kialakulását az útvonalakon, azonban a költségfüggvény értékétől függően még így is kialakulhatnak szükségtelenül hosszú utak. Erre vonatkozó kutatásaim során definiáltam a γ''_e arányos költség fogalmát, melyet a 2. tézisben részletesen tárgyalok. Vizsgálataim azt mutatták, hogy $\gamma''_e = 0,1$ esetén, vagyis az eredeti költségfüggvény 0,1-szeres szorzata esetén lehet elérni a legmegfelelőbb úthosszúságot a védelmi útvonalak tekintetében és ezzel együtt ebben az esetben lesz optimális a épület-kihasználtság. A szabad kapacitások költségének ebben az esetben is az eredeti élköltséget alkalmazzuk.

Azonban az általam javasolt, optimális eredményt adó költség-függvény esetén is fennáll a probléma: a keresett célfüggvény két, egymástól független lineáris szakasszal meghatározott nem-lineáris költségfüggvény.

Ennek feloldására alkottam meg az *él kettőzést*, mely során azokat az éleket, melyeken egyidejűleg megosztható védelem számára foglalt kapacitás és szabad kapacitás is jelen van, megkettőzzük. Ezzel megvalósítható, hogy egyazon valós

szakaszon, a gráf megfelelőjében egy élen a megosztható védelem számára alacsonyabb, míg a szabad, ez idáig nem használt kapacitás esetén az eredeti élköltséggel számoljunk úgy, hogy a költségfüggvény élenként lineáris marad (1. ábra szaggatott vonal), ezzel egyidejűleg elkerüljük a szükségtelenül hosszú és hurokba kerülő utakat.

Az új épület modell jelentősége, hogy konvex, lineáris szakaszokkal közelíthető költségfüggvényű osztatlan többtermékes folyamatok esetén is megtalálhatjuk egészértékű lineáris programozás segítségével a minimális költségű megoldást. Egészértékű lineáris programozási feladatként megfogalmaztam az élkettőzött modellt.

Célom a következő volt:

- A nem-lineáris költségfüggvényű útkereső algoritmusok számára egy olyan élkettőzött modellt alkotni, amely modellt alkalmazva a nem-lineáris költségfüggvényű algoritmusok is egészértékű lineáris programozási feladatként írhatók fel.
- A modellben alkalmazható választott arányos költséget definiálni. Ennek a mérőszámnak a segítségével megmutatható a modellben a költségfüggvények egymáshoz való viszonya. Megmutatni a választott, optimális arányos költséget.
- Megalkotni a modell matematikai leírását.

Az elért eredményeket a 2. tézis taglalja.

ÚTVONAL-KERESŐ ALGORITMUSOK

Megvizsgáltam a szakirodalomban jelenleg megtalálható útvonal-kereső algoritmusokat, melyekkel közlekedési utakat és az utak meghibásodása esetére szolgáló védelmi utakat definiálhatunk. Ilyen meghibásodás fordulhat elő például abban az esetben, amikor egy lift nem üzemel és gondoskodni kell arról, hogy az orvosok, páciensek és hozzátartozóik problémamentes alternatívákat tudjanak igénybe venni.

Megállapítottam, hogy a jelenlegi algoritmusok az előbbieken bemutatott nem-lineáris költségfüggvényű problémához vezetnek, amelyre nincs a szakirodalomban megoldás.

Az általam javasolt algoritmusok az igények számára Dijkstra algoritmusával keresnek üzemi útvonalat, majd egyszeres meghibásodás esetére az általam megalkotott élkettőzött épület modellben megosztott védelmi utakat biztosítanak, az egyik esetben az új igény teljes üzemi útjának, a másikkban az üzemi út egy szegmensének, egy a védelem és a helyreállítás közötti speciális módszerét alkalmazva. A védelem számára lefoglalt erőforrásokat többtermékes folyamokként, adaptívan újrendezik, amennyiben az jobb épület-kihasználtságot eredményez.

Az általam javasolt algoritmusok esetében az üzemi utak megkeresésekor a legfontosabb szempont a költségek minimalizálása, ennek megfelelően Dijkstra-algoritmust alkalmaztam.

Bemutatom a referencia és az általam javasolt algoritmusok közötti legfontosabb különbségeket:

Referencia algoritmus: az *end-to-end SPP* (end-to-end Shared Path Protection, végponttól végpontig Megosztott Útvédelem) algoritmus az igények védelmi útvonalainak lefoglalt kapacitásokat nem rendezi át az újabb védelmi útvonalak keresésekor, az üzemi útvonalakat végponttól végpontig a kapacitásokat megosztva védi.

Általam kifejlesztett, javasolt algoritmus 1.: Az *SPP-LD* (Shared Path Protection – with Link Doubling, Megosztott Útvédelem Élketőzéssel) algoritmus a védelmi útvonalak kapacitásait átrendezheti és végponttól végpontig védi az egyes üzemi útvonalakat.

Általam kifejlesztett, javasolt algoritmus 2.: A *PDSP-LD* (Partially Disjoint Shared Protection – with Link Doubling, Részben Független Megosztott Védelem – Élketőzéssel) algoritmus a védelmi útvonalaknak lefoglalt kapacitásokat

átrendezheti és a védelmi útvonal keresésénél csak azt a szempontot veszi figyelembe, hogy a meghibásodott élt ne használja a védelmi útvonal.

Célom a következőkben összegezhető:

- Megfogalmazni olyan új, megosztható védelmet is biztosító útvonalkereső algoritmusokat, melyek a megbízható épületek előtervezési fázisában, az épület modelljén legrövidebb útkereséssel adnak üzemi útvonalat és a meghibásodás által érintett páciens-forgalmat, mint minimál költségű többtermékes folyam problémát ábrázolva keresnek költséghatékony, takarékos, megosztott védelmi útvonalakat.
- Egészértékű lineáris programozási feladatként felírni a szakirodalomban megtalálható, referenciaként szolgáló, végponttól végpontig megosztott útvédelmet alkalmazó SPP algoritmust.
- Belátni, hogy az általam megalkotott és 2.2. tézisben formalizált modellen ezek a nem-lineáris költségfüggvényű, védelmet is biztosító útvonalkereső algoritmusok egészértékű lineáris programozási feladatként megoldhatók.
- Megmutatni, hogy a megfogalmazott algoritmusok az általam megalkotott és 2.2. tézisben formalizált modellen optimális megoldást közelítő eredményt adnak.

Az elért eredményeket a 3. tézis foglalja össze.

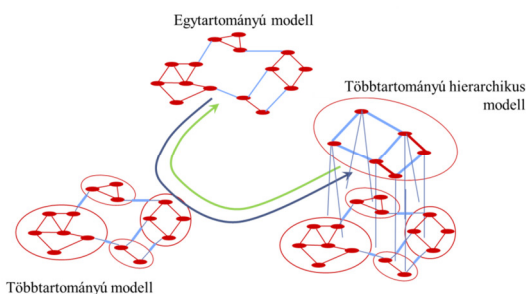
AZ ALGORITMUSOK KITERJESZTÉSE TÖBBTARTOMÁNYÚ ESETEKRE

Megvizsgáltam az algoritmusok alkalmazhatóságát komplex egészségügyi ellátórendszerek esetén és bemutattam, hogyan terjeszthető ki egy épületrész modellezése és megbízhatósági analízise egy teljes épületrendszerre. Ehhez többtartományú és többtartományú hierarchikus modellezést alkalmaztam.

A korábbiakban kölcsönös megfeleltetést tettem gráf és épület funkcióterve között. Egy épület-komplexumot azonban egy egyszerű gráffal nehézkes lenne

megfogalmazni, modellezni, így azokat hierarchikus többtartományú gráf topológiára képeztem le. A funkciók, a blokkok vagy osztályok, az épületek és funkcionális kapcsolataik, vagyis a szállítási utak, rendre megfeleltethetők a csomópontoknak, altartományoknak, tartományoknak és a közöttük lévő éleknek.

A teljes feladatot ennek megfelelően dekompozícióval részekre bontottam. Definiáltam az így kapott *többtartományú hierarchikus épületmodellt*, melyet iteratív lépésekben külön-külön optimalizáltam.



2. ábra Épület modell dekompozíció és aggregáció

A kapott megoldásokat összevontam, amivel egy magasabb szintű modellhez jutottam. Ezen újabb, összevont feladaton is iteratív módon alkalmaztam az általam megfogalmazott algoritmusokat, amivel a teljes, egész feladatra nézve mondhatom, hogy a javasolt megoldás egy hierarchia-szintenként optimális megoldás .

A 2. ábra a részfeladatokra bontást és az eredmények összevonását mutatja. Dekompozíció során a zöld nyíl mentén haladunk, míg az aggregációt a kék mentén végezzük.

Célom a következőkben összegezhető:

- Megvizsgálni a 3. tézisben tárgyalt, a szakirodalomban megtalálható védelmet is biztosító útvonal-kereső algoritmusok, valamint az általam javasolt, megosztható védelmet biztosító módszerek alkalmazhatóságát komplex épületrendszerek esetére.

- Kiterjeszteni az építészeti tervezési folyamat részeként általam megfogalmazott előzetes tervezési fázist a komplex épületrendszerekre.
- Megvizsgálni, hogy a dekompozícióval megvalósítható matematikai modellen az adott területen elfogadható idő alatt, elfogadható minőségű, alacsony többletköltségű megoldásokat szolgáltat-e mind az egyes épületrészek tekintetében, mind pedig az aggregációval nyerhető, teljes épületrendszerre nézve.

Az elért eredményeket a 4. tézis foglalja össze.

AZ ÚJ EREDMÉNYEK ALKALMAZHATÓSÁGA - PÉLDÁK

Ebben a fejezetben megmutattam az általam megadott és megfogalmazott definíciók, tézisek, modellek és algoritmusok gyakorlati alkalmazhatóságát. Bemutattam, hogy miért szükséges az egészségügyi ellátórendszerekben egy előzetes tervezési fázis alkalmazása. Az épületrendszer előzetes tervezési fázisában felvett funkciótervet modellezzük, alkalmazzuk a meghibásodás esetére védelmet biztosító algoritmusokat, végül aggregálással eljutunk a teljes épület egy optimálishoz közeli funkciótervéhez.

Az általam javasolt folyamat a következő képen foglalható össze:

1. első lépésként definiáljuk az épület komplexum épületeit és az azokba besorolt funkciókat: **felső hierarchia szintű modell**,
2. a feladatot tovább bontjuk, dekomponáljuk, megadjuk az egyes épületek funkcionális tervét: **tartományok modellje**,
3. amennyiben szükséges az átláthatósághoz, könnyebb követhetőséghez, akkor tovább bontható a feladat: **a tartományok altartományokra osztása**
4. minden hierarchia szinten és minden tartományra elvégezzük a következő lépéseket:
 - 4.1. az így nyert tartományok (altartományok) funkcióit és azok összekötöttségét határozzuk meg: **szomszédossági mátrix megadása**
 - 4.2. funkciók és összeköttetések kapacitása: **kapacitás mátrix definiálása**
 - 4.3. megadjuk, hogy az egyes egységeket, a közlekedési utakat milyen költséggel lehet megvalósítani, használni (a költségdefiníció a

korábbiakban látott módon kiterjeszhető a funkciók költségére): **költség-mátrix**

- 4.4. megadjuk a várható ügyfél-, páciens-, látogató- és/vagy beteg-áramlást: **várható folyamatok definíciója.**
- 4.5. megvizsgáljuk, hogy az előzetesen tervezett összeköttetések, költségek és kapacitások mellett milyen várható többletköltség szükséges, hogy az épület, a tervezett felújítási munkálatok, váratlan meghibásodások javítása idején is teljes szolgáltatást nyújtson. Ez magában foglalja a szűk keresztmetszetek felfedését és az iteratív újratervezési lépést, melyben a kapacitásokat növeljük, új funkciókkal és összeköttetésekkel bővítjük a modellt: **egyszeres meghibásodások ellen védelmet nyújtó algoritmusok alkalmazása**
5. a részfeladatok megoldásainak összevonásával elérjük a teljes épületrendszer funkcionális modelljét: **az épületrendszer aggregált modellje.**

Célom a következő volt:

- Egy tervezési mintapéldán keresztül bemutatni a teljes előtervezési fázis folyamatát.
- Igazolni az általam javasolt algoritmusok hatékonyságát és alkalmazhatóságát megbízható komplex épületrendszer esetén.

Az eredményeket a 5. tézisben mutatom be.

TÉZISEK

1. Tézis

(Meskó 2014, Meskó, Csébfalvi 2013 - [DOI](#), [Scopus](#), Tibor Cinkler, Diána Meskó, Attila Mitscenkov, Gábor Viola 2005 - [DOI](#), [Google scholar hash](#), [WoS](#), [Scopus](#), [Teljes dokumentum](#), [Google scholar](#), [BME PA közlemény](#), Cinkler Tibor, Meskó Diána, Viola Gábor, Tapolcai János 2005 - [DOI](#), [WoS](#), [Scopus](#), [BME PA közlemény](#), Meskó, Csébfalvi 2012)

Definiáltam a megbízható komplex épületrendszer (MKÉ) fogalmát. Megfogalmaztam az MKÉ tervezéséhez szükséges előzetes, az építészeti tervezést megelőző funkcionális tervezési lépést, majd definiáltam egy egyedi gráf-leképezést, amely az előtervezés során alkalmazható és megmutattam a gráfelméleti algoritmusok, védelmi módszerek alkalmazhatóságát.

1.1 Definiáltam a megbízható komplex épületrendszer (MKÉ) fogalmát, amelynek mennyiségi és minőségi attribútumai az alábbiak:

- robosztus, olyan épületeket foglal magában, melyek az épületben bekövetkező meghibásodások esetén is teljes kapacitással üzemképesek,
- redundáns elemeket és útvonalakat tartalmaznak,
- azonos funkciójú (redundáns) elemek térben szeparáltak,
- amelyet, mint rendszert funkcionálisan modelleztek és optimalizáltak az alábbi eljárás szerint.

1.2. Leírtam és javasoltam egy tervezési módszert: előtervezési fázis, előzetes funkcionális modellezés, amely során a funkciók listázása, a lista alábontása, a funkciók csoportokba (épületekbe) történő besorolása, a funkciók közötti kapcsolódásoknak, mint feltételrendszernek a definiálása történik az épület építészeti tervezése előtt.

1.3. Megfogalmaztam az épületek gráfokra történő leképezését: modellezésre alkalmazott módszer során épület-komplexumok, épületek, blokkok, funkciók és a közöttük lévő kapcsolatok modellezése

gráfokkal. Az épületek funkcióit, közöttük lévő kapcsolatait, átbocsátó képességüket, költségeit kölcsönösen egyértelműen megfeleltetem a matematikai gráf (N) eszközének, $v \in V$ csomópontjainak, $e(v_1, v_2) \in E$ éleinek, C_e kapacitásának, Ω_e kapacitás-költségének.

Visszavezettem a gráfokkal modellezett MKÉ-kre a gráfokon alkalmazható útkereső algoritmusokat és minimál költségű többtermékes folyam problémák alkalmazhatóságát.

Megmutattam, hogy a blokk-szerkezetű komplex egészségügyi ellátó rendszerek megfelelő védelmi stratégiák használatával kielégítik a megbízható komplex épületrendszer (MKÉ) fogalmát.

2. Tézis

(Meskó 2014 , Meskó, Csébfalvi 2013 - [DOI](#), [Scopus](#), Tibor Cinkler, Diána Meskó, Attila Mitscenkov, Gábor Viola 2005 - [DOI](#), [Google scholar hash](#), [WoS](#), [Scopus](#), [Teljes dokumentum](#), [Google scholar](#), [BME PA közlemény](#), Cinkler Tibor, Meskó Diána, Viola Gábor, Tapolcai János 2005 - [DOI](#), [WoS](#), [Scopus](#), [BME PA közlemény](#), Meskó, Csébfalvi 2012)

Definiáltam a megbízható komplex egészségügyi ellátó rendszerek, MKÉ épület funkcióinak és funkció-kapcsolatainak modellezésére egy új, gráf alapú modellt (az 1.3. tézisben megfogalmazott gráf modell továbbfejlesztése):

- 2.1. Az épületek modellezésére megalkottam egy új épület modellt, melyen a nem-lineáris költségfüggvényű, védelmet is biztosító útvonalkereső algoritmusok lineáris programozási feladatként megfogalmazva megoldhatók. A modellben a nem-lineáris költségfüggvényű éleket megkettőzöm. Az új éleken a költségfüggvény konvex, lineáris szakaszokkal írható fel. A modellezési módszert *él kettőzésnek* neveztem (A definíció és a modell matematikai leírását az 1. és 2. sz. melléklet tartalmazza.).

- 2.2. **Bevezettem a $\gamma_e'' \in \Gamma''$ arányos költség fogalmát, mely az élettözött él eredeti költségéből lineáris aránnyal számítható.** (A definíció részletes matematikai megfogalmazása az 1. sz. mellékletben található.)
- 2.3. **Egészértékű lineáris programozási feladatként megfogalmaztam az élettözött épület-modellt.** (A modell matematikai leírását az 2. sz. melléklet tartalmazza.)

3. Tézis

(Meskó 2014, Meskó, Csébfalvi 2013 - [DOI](#), [Scopus](#), Mitscenkov, Meskó és Cinkler 2007 - [Teljes dokumentum](#), [BME PA közlemény](#), Diána Meskó, Gábor Viola, Tibor Cinkler 2006 - [Google scholar hash](#), [WoS](#), [Google scholar](#), [BME PA közlemény](#), Meskó, Csébfalvi 2014)

Definiáltam két új útkereső algoritmust, melyek a megbízható épületrendszerek előtervezési fázisában, az épület modelljén legrövidebb útkereséssel adnak üzemi útvonalat és a meghibásodás által érintett páciens-forgalmat, mint minimál költségű többtermékes folyam problémát ábrázolva keresnek költséghatékony, takarékos, megosztott védelmi útvonalakat. A definiált algoritmusok az általam megalkotott, 2.2. tézisben formalizált modellen optimális megoldást közelítő eredményt adnak.

- 3.1. Terveztem két új, megosztott védelmet alkalmazó, a védelmi utakat adaptívan újraparendező útvonalkereső algoritmust: SPP-LD és PDSP-LD.
- 3.2. Egészértékű lineáris feladatként formalizáltam a hagyományos hálózati- és költség-modellen alapuló megosztott védelmet alkalmazó referencia algoritmust, melyet a szakirodalom megosztható útvédelemként definiál (SPP). (Az algoritmus egészértékű lineáris programozási megfogalmazását a 3. sz. melléklet tartalmazza.)
- 3.3. Egészértékű lineáris programozási feladatként formalizáltam az általam megalkotott két új, megosztott védelmet alkalmazó, a védelmi utakat adaptívan újraparendező útvonalkereső algoritmust: SPP-LD és

PDSP-LD (Shared Path Protection with Link Doubling és Partially Disjoint Shared Path Protection with Link Doubling). (Az algoritmus egészértékű lineáris programozási megfogalmazását a 4. sz. melléklet tartalmazza.)

4. Tézis

(Meskó 2014, Meskó, Csébfalvi 2013 - [DOI](#), [Scopus](#), Mitscenkov, Meskó és Cinkler 2007 - [Teljes dokumentum](#), [BME PA közlemény](#), Diána Meskó, Gábor Viola, Tibor Cinkler 2006 - [Google scholar hash](#), [WoS](#), [Google scholar](#), [BME PA közlemény](#), Meskó, Csébfalvi 2014)

Megfogalmaztam, hogy dekompozíció alkalmazásával hogyan írható fel a teljes épületrendszer, az épületek többtartományú és többtartományú hierarchikus modellje. Megvizsgáltam, hogy a kapott modelleken alkalmazható-e az 1. tézisben felírt előtervezési fázis, valamint hogy a 3. tézisben felírt SPP és az általam kidolgozott SPP-LD és PDSP-LD módszerek.

- 4.1. Definiáltam az épületek többtartományú és többtartományú hierarchikus modelljét, mely az előtervezési fázis során a funkcionális modell többszöri dekompozíciójával jön létre.
- 4.2. Megmutattam, hogy az általam alkotott védelmi módszerek kiterjeszthetők többtartományú és többtartományú hierarchikus esetekre. Megmutattam, hogy a multi-blokkos épületekben történő meghibásodások, javítások esetére is alkalmazhatók a javasolt, takarékos védelmi módszerek.

5. Tézis

(Meskó 2014, Meskó, Csébfalvi 2013 - [DOI](#), [Scopus](#), Tibor Cinkler, Diána Meskó, Attila Mitscenkov, Gábor Viola 2005 - [DOI](#), [Google scholar hash](#), [WoS](#), [Scopus](#), [Teljes dokumentum](#), [Google scholar](#), [BME PA közlemény](#), Cinkler Tibor, Meskó Diána, Viola Gábor, Tapolcai János 2005 - [DOI](#), [WoS](#), [Scopus](#), [BME PA közlemény](#), Meskó, Csébfalvi 2014)

Több minta-rendszeren számítógépes szimulációs eljárással numerikusan, számításokkal bizonyítottam, hogy az általam javasolt tervezési módszertan alkalmazásával megbízható komplex épületrendszert lehet tervezni, valamint megmutattam az általam alkotott algoritmusok költség- és kapacitás-hatékonyságát.

- 5.1. Megmutattam a minta-rendszereken, hogy az általam definiált előtervezési-fázist alkalmazva, mellyel az építészeti tervezést megelőzően, az épület funkcionális modelljét megalkotva, egy hiba esetére is minimális többletköltséggel üzemképes komplex egészségügyi ellátó rendszerek tervezhetőek.**
- 5.2. Szimulációs eljárást alkalmazva, numerikus eredményekkel alátámasztva megmutattam, hogy az SPP algoritmushoz képest az SPP-LD és a PDSP-LD javasolt algoritmusokkal alacsonyabb többletköltség és többletkapacitás mellett érhető el ugyanaz az épület-kihasználtság.**
- 5.3. Minta-rendszereken szimulációval igazoltam, hogy a PDSP-LD algoritmus kevesebb kapacitást foglal úgy, hogy az üzemi kapacitások mennyisége nagyobb arányú az egymáshoz képest hasonlóan teljesítő SPP és SPP-LD-hez képest.**

TÉZISEKHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

Meskó Diána: Optimization Phase Using Graph Modelling for Reliable Building Complexes, International Journal of Optimization in Civil Engineering (ISSN: 2228-7558) (megjelenés alatt), 2014.

Meskó Diána: Planning pre-phase of architectural planning of reliable complex health-care systems: Előzetes, funkcionális tervezési fázis egy megbízható, komplex egészségügyi ellátórendszer építészeti tervezéséhez, *III. Interdiszciplináris Doktorandusz Konferencia 2014*, Pécs, Magyarország, 2014.04.15-2014.04.17. p. 204-207. Paper O21.13. 3 (2014) (ISBN: [978-963-642-597-5](#)) Befoglaló mű link(ek): [Teljes dokumentum](#)
Könyvrészlet/Absztrakt/Tudományos

Diána Meskó, Anikó Csébfalvi: Modeling method in the architectural planning of reliable complex health-care systems, *Pollack Periodica: An International Journal for*

Funkcionális kapcsolatok modellezése blokk-szerkezetű komplex egészségügyi ellátó rendszerek építészeti tervezésében

Engineering and Information Sciences 8:(3) pp. 35-46. (2013)

Link(ek): [DOI](#), [Scopus](#), [Teljes dokumentum](#)

Folyóiratcikk/Szaccikk/Tudományos

Diána Meskó, Anikó Csébfalvi: Shared Protection Methods in the Architectural Planning of complex health-care, *Architectural, Engineering and Information Sciences - 9th International PhD & DLA Symposium: Abstracts Book*. Konferencia helye, ideje: Pécs, Magyarország, 2013.10.21-2013.10.22. Pécs: University of Pécs Pollack Mihály Faculty of Engineering, 2013. p. 106. (ISBN [ISBN 978-963-7298-54-7](#))

Befoglaló mű

link(ek): [OSZK](#)

Könyvrészlet/Absztrakt/Tudományos

D. Meskó, A. B. Csébfalvi: Modelling the functional connections between the block-structures in the architectural planning of complex health-care systems, *Architectural, engineering and information sciences: 8th International PhD & DLA Symposium*, University of Pécs Pollack Mihály Faculty of Engineering and Information Technology, Pécs, Magyarország, 2012.10.29-2012.10.30. Pécs: PTE PMMK, 2012. p. 107. (ISBN: [978 963 7298 48 6](#))

Könyvrészlet/Konferenciaközlemény/Tudományos

Attila Mitscenkov, Diána Meskó, Tibor Cinkler: „Adaptive protection methods”, *Híradástechnika folyóirat Vol. LXII, Budapest, 2007/7 szám*, p. 2-9 Link(ek): [Teljes dokumentum](#), [BME PA közlemény](#)

Folyóiratcikk/Szaccikk/Tudományos

Diána Meskó, Gábor Viola, Tibor Cinkler: „A Hierarchical and a Non-Hierarchical European Multi-Domain Reference Network: Routing and Protection”, *IEEE (szerk.), Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium, 2006.: NETWORKS 2006. 12th International, New Delhi, India, Novembre 6 -9, 2006., IEEE, 2006. pp. 101-105. (ISBN: [3-8007-2999-7](#))*, Link(ek): [Google scholar hash](#), [WoS](#), [Google scholar](#), [BME PA közlemény](#)

Könyvrészlet/Konferenciaközlemény/Tudományos Független idéző: 3 Függő idéző: 4 Összesen: 7

Tibor Cinkler, Diána Meskó, Attila Mitscenkov, Gábor Viola: “Adaptive Shared Protection Rearrangement”, *Design of Reliable Communication Networks, DRCN 2005, Nápoly, Olaszország, 2005.10.16-2005.10.19. Ischia*: pp. 429-435., Link(ek): [DOI](#), [Google scholar hash](#), [WoS](#), [Scopus](#), [Teljes dokumentum](#), [Google scholar](#), [BME PA közlemény](#), Befoglaló mű link(ek): [Teljes dokumentum](#)

Egyéb konferenciaközlemény/Konferenciaközlemény/Tudományos, Független idéző: 4 Függő idéző: 3 Összesen: 7

Cinkler T, Mesko D, Viola G, Tapolcai J: Routing with partially disjoint shared path (PDSP) protection, *IEEE (szerk.), 1st Conference on Next Generation Internet Networks Traffic Engineering, Róma, Olaszország, 2005.04.18-2005.04.20. New York: IEEE Press, 2005. pp. 47-52. (ISBN:0-7803-8900-x)* Link(ek): [DOI](#), [WoS](#), [Scopus](#), [BME PA közlemény](#), Befoglaló mű link(ek): [BME PA közlemény](#),

Könyvrészlet/Konferenciaközlemény/Tudományos

EGYÉB PUBLIKÁCIÓK

- Mitscenkov Attila, Meskó Diána, Cinkler Tibor: „Forgalomhoz alkalmazkodó védelmi módszerek”, HIRADÁSTECHNIKA LXII:(7) pp. 2-9. (2007), Link(ek): [Teljes dokumentum](#), [BME PA közlemény](#)
Folyóiratcikk/Szaccikk/Tudományos
- Meskó Diána: Adobe Acrobat 7, Budapest: PANEM, 2007. 416 p. Sorozat: (Egyszerűen), (ISBN:9789635454662)
Könyv/Kézikönyv/Tudományos
- A. Pataki, D. Meskó, G. Viola, T. Cinkler: Architectural Consideration for Multi-Domain Networks, Transcom 2007. Zilina, Szlovákia, 2007.06.25-2007.06.27.pp. 1-4.
Link(ek): [BME PA közlemény](#),
Egyéb konferenciaközlemény/Konferenciaközlemény/Tudományos
- Diána Meskó, Tibor Cinkler, Attila Mitscenkov, Gábor Viola, János Nagy: “Adaptive Shared Protection Methods”, WTC 2006: World Telecommunications Congress 2006, Budapest, Magyarország, 2006.04.30-2006.05.03.pp. 1-8., Link(ek): [Teljes dokumentum](#), [BME PA közlemény](#),
Egyéb konferenciaközlemény/Konferenciaközlemény/Tudományos
- Meskó Diána, Mitscenkov Attila, Viola Gábor, Cinkler Tibor: Adaptive Shared Protection Methods, High Speed Networks Laboratory Workshop 2006 Spring. Budapest, Magyarország, 2006.05.,
Egyéb konferenciaközlemény/Nem besorolt/Tudományos
- Meskó Diána, Mitscenkov Attila, Viola Gábor, Cinkler Tibor: Routing with partially disjoint shared protection, High Speed Networks Laboratory Workshop 2005 Spring. Budapest, Magyarország, 2005.05.,
Egyéb konferenciaközlemény/Nem besorolt/Tudományos
- Meskó Diána, Viola Gábor, Cinkler Tibor: Special shared protection for MPLS, High Speed Networks Laboratory Workshop 2004 Spring, Budapest, Magyarország, 2004.04.,
Egyéb konferenciaközlemény/Nem besorolt/Tudományos
- Meskó Diána: „A legtakarékosabb védelmi stratégiák nyomában”, Magyar Távközlés, Budapest, 2004. november, p. 26-30.,
Folyóiratcikk/Szaccikk/Tudományos
- Meskó Diána, Viola Gábor: „Útvonalválasztás MPLS hálózatokban takarékos tartalékolással”, HIRADÁSTECHNIKA LVIII.: pp. 10-18. (2003),
Link(ek): [Teljes dokumentum](#)
Folyóiratcikk/Szaccikk/Tudományos
- Diána Meskó, Tibor Cinkler, Gábor Viola, János Tapolcai: „Shared Protection with Partially Disjoint Paths”, EUNICE 2003: 9th Open European Summer School and IFIP Workshop on Next Generation Networks. 258 p., Balatonfüred, Magyarország,

Funkcionális kapcsolatok modellezése blokk-szerkezetű komplex egészségügyi ellátó rendszerek építészeti tervezésében

2003.09.08-2003.09.10. Budapest: Budapest University of Technology and Economics, 2003. pp. 1-8., (ISBN:963-421-576-9),

Link(ek): [Egyéb URL](#), [BME PA közlemény](#)

Befoglaló mű link(ek): [Egyéb URL](#), [BME PA közlemény](#)

Könyvrészlet/Konferenciaközlemény/Tudományos

Független idéző: 1 Összesen: 1

Meskó Diána, Becker Johanna Cecília, Viola Gábor, Cinkler Tibor: Protection of the VoIP VPN, High Speed Networks Laboratory Workshop 2003 Autumn, Budapest, Magyarország, 2003.11

Egyéb konferenciaközlemény/Nem besorolt/Tudományos

Diána Meskó, Gábor Viola, János Tapolcai, Tibor Cinkler: „Routing with restoration in MPLS networks”, Materials, Technologies, Design, Maintainance and their Application in the Field of Transportation. Proceedings of the 20th International Colloquium Žilina, Slovakia, 2003. Žilina, Szlovákia, 2003, p. 138., Žilina, Szlovákia, 2003.06.23-2003.06.25.

Egyéb konferenciaközlemény/Konferenciaközlemény/Tudományos

Meskó Diána, Viola Gábor, Tapolcai János, Cinkler Tibor: Routing with restoration in MPLS networks, High Speed Networks Laboratory Workshop 2002 Autumn. Budapest, Magyarország, 2002.11

Egyéb konferenciaközlemény/Nem besorolt/Tudományos

Tudományos Diákköri Konferencia 2002 I. Helyezés, ugyanezen dolgozattal Országos Tudományos Diákköri Konferencia részvétel 2003 március: Meskó Diána, Viola Gábor: „Útvonalválasztás helyreállítással MPLS hálózatokban”, 2002. November

HIVATKOZÁSOK A TÉZISFÜZETBEN

M. Steenstrup, Routing in Communications Networks, Prentice Hall, 1995, ISBN: 0-13-010752-2.

S. Baase, Computer Algorithms: Introduction to Design and Analysis, Addison-Wesley Publishing Company, January 1983, ISBN: 0-201-00327-9.

M. Zethzon, T. Cinkler, I. Arvidsson, „Greedy Algorithms for Topological Design,” in NETWORKS’98, 8th International Telecommunication Network Planning Symposium, Sorrento, Italy, October 1998.

T. Hu, „Multi-Commodity Network Flows,” in Operations Research 11, 1963, pp. 344-360.

M. S. Bazaraa, John Jeff Jarvis, Linear Programming and Network Flows, John Wiley & Sons, 1990, ISBN: 0-471-63681-9.

R.K. Ahuja, T.L. Magnanti, J.B. Orlin, Network Flows: "Theory, Algorithms and Applications", Prentice Hall, 1993, ISBN 0-13-617549-x.

B. Mihály, „Tervezőmódszertan tantárgy 2014 - előadások szöveggyűjteménye [Online],”
[Online]. Available: http://www.kozep.bme.hu/wp-content/uploads/2014/01/01_TMT_jegyzet_2014.pdf.

Katona Tamás János, A determinisztikus tervezési elvek, In: Elter J, Gadó J, Holló E, Lux I (editors), Atomreaktorok biztonsága I., Budapest: ELTE Eötvös Kiadó, 2013. pp. 313-353. ISBN:978-963-312-180-1

MELLÉKLET

1. sz. melléklet

2.1. Tézis

A $\gamma''_e \in \Gamma''$ arányos költség az élkettőzött él eredeti költségéből lineáris aránnyal számítható a következőképpen:

az $e''(v'_1, v'_2) \in E''$ élhez tartozó $\gamma''_e \in \Gamma''$ arányos költséget az $e'(v'_1, v'_2) \in E'$ szakasz $\omega'_e \in \Omega'$ költségéből származtatjuk oly módon, hogy a γ''_e és ω'_e egymással egyenes arányban vannak. A gráfba oda húzunk be $e''(v'_1, v'_2) \in E''$ élet $c''_e \in C''$ kapacitással, $\gamma''_e \in \Gamma''$ költséggel, ahol az eredeti gráf modell $e(v_1, v_2) \in E$ élén c_e megosztható kapacitás van és $v_1 \equiv v'_1, v_2 \equiv v'_2$.

2. sz. melléklet

2.2. Tézis

Egészértékű lineáris programozási feladatként megfogalmaztam az élkettőzött épületmodellt:

$$N' = (V', E', C', \Omega', E'', C'', \Gamma'') \quad (1)$$

ahol N' az épület új modellje. Az új modell paraméterei a következők: $v' \in V'$, $V \equiv V'$ a gráf csomópontjai, $e'(v'_1, v'_2) \in E'$, $E \equiv E'$ a gráf szakaszai, C' az $e' \in E'$ szakaszok kapacitása, amely kapacitás az eredeti modell $e \in E$ élének szabad kapacitása: $C'_e \equiv C_e$, $\omega'_e \in \Omega'$ az $e' \in E'$ szakaszok költsége, továbbá

az $e''(v'_1, v'_2) \in E''$ a gráf újonnan bevezetett szakaszai, amelyek kapacitása $c''_e \in C''$ minden $e'' \in E''$ szakaszra, amely kapacitás az eredeti gráf $e \in E$ élének megosztható kapacitása: $C''_e \equiv C''_{e''}$, végül a $\gamma''_e \in \Gamma''$ az $e'' \in E''$ szakasz arányos költségét jelenti.

3. sz. melléklet

3.1. Tézis

Védelem nélküli legrövidebb útkeresés egészértékű lineáris programozási megfogalmazása:

E : az élek halmaza, amiben az egyes szakaszokat e -vel jelöljük

F : a felmerülő igények halmaza, melyben egy igényt f -fel jelölünk

x_e^f : egy bináris folyammatató változó az e szakaszon f termék esetén

d^f : a kapacitás igény f termék esetén

C_e : az e szakasz kapacitása

$x_{ij}^f (x_{ki}^f)$: f igény esetén az i (k) csomópontból j -be (i -be) vezető élek.

A célfüggvény:

$$\sum_{e \in E} \sum_{f \in F} x_e^f d^f \quad (2)$$

A korlátok:

$$\sum_{f \in F} x_e^f d^f \leq C_e, \text{ minden } e \in E \text{ szakaszra} \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{ij}^f - \sum_{k=1}^N x_{ki}^f = \begin{cases} 0, & \text{ha } i \neq s \text{ és } i \neq t \\ 1, & \text{ha } i = s_o \\ -1, & \text{ha } i = t_o \end{cases} \quad (4)$$

minden i csomópontra és f termékre.

$$x_e^f \in \{0,1\}, \text{ minden } e \in E \text{ szakaszra és } f \in F \text{ termékre} \quad (5)$$

4. sz. melléklet

3.2. Tézis

Az SPP-LD és a PDSP-LD algoritmusok egészértékű lineáris programozási megfogalmazása:

A célfüggvény:

$$\min \sum_{o \in T_e} \left\{ \sum_{e' \in E'} x_{e'}^o \omega_{e'}' + \sum_{e'' \in E''} x_{e''}^o \gamma_{e''}'' \right\} \quad (6)$$

ahol E' a szabad kapacitású $\omega_{e'}' \in \Omega'$ költségű éleket, E'' a megosztott kapacitású $\gamma_{e''}'' \in \Gamma''$ költségű éleket, e az eredeti épület modellben a vizsgált él, T_e az elvezetendő igények halmaza, az $x_{e'}^o$ és $x_{e''}^o$ változók értéke jelzi az o igény védelmi útjának e' és e'' élre eső részét (amely az eredeti hálózat e élén fog megjelenni).

A korlátok:

$$\sum_{\forall j \in V', j \neq i} x_{ij}^f - \sum_{k=1}^N x_{ki}^f = \begin{cases} 0, & \text{ha } i \neq s \text{ és } i \neq t \\ b_o, & \text{ha } i = s_o \\ -b_o, & \text{ha } i = t_o \end{cases}$$

$$\text{minden } o \in T \text{ és } v' \in V' \text{ esetén} \quad (7)$$

$$\sum_{o \in T_e} x_{e'}^o \leq c_{e'}' \text{ minden } e' \in E' \text{ esetén} \quad (8)$$

$$\sum_{o \in T_e} x_{e''}^o \leq c_{e''}'' \text{ minden } e'' \in E'' \text{ esetén} \quad (9)$$

$$0 \leq x_e^o \leq b_o \text{ minden } e \in E \text{ és } o \in T_e \text{ esetén} \quad (10)$$

$$z_{ik}^o \in \{0,1\} \quad (11)$$

$$\sum x_{ik}^o = b^o \cdot z_{ik}^o \text{ bármely szomszédos } i, k \in V \text{ és } o \in T_e \text{ esetén} \quad (12)$$

A (6) egyenlet a célfüggvény, (7) a folyam-megmaradási törvény, (8) – (9) kapacitáskorlátok az $e' \in E'$ és $e'' \in E''$ élekre, (10) a folytonosságot biztosító korlát, (11) egy bináris folyammutató segédváltozó, (12) az osztatlanságot biztosító korlát – a 2. tézisben bevezetésre kerülő épület modell esetén egy igény védelmi útja egy csomópontból csak az újonnan bevezetett él páron osztható.

Az SPP-LD és PDSP-LD algoritmusok közötti különbség az üzemi útvonaltól való függetlenség, amely az előbbi esetében a következő képen adható meg:

$$x_e^o \in 0, \text{ bármely } o \in T_e \text{ és } e \in WP_o \text{ esetén,} \quad (13)$$

ahol $o \in T_e$ igény üzemi útvonala $e \in WP_o$ élekből áll, míg utóbbi esetében csak a vizsgált e éltől való függetlenséget követeljük meg:

$$x_e^o \in 0, \text{ bármely } o \in T_e \quad (14)$$