

OTDK-dolgozat

2025

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM

GAZDASÁGTUDOMÁNYI KAR



**PROJEKTMENEDZSMENT EGY ÉPÍTŐIPARI
KISVÁLLALKOZÁSNÁL**

PROJECT MANAGEMENT AT A SMALL CONSTRUCTION BUSINESS

Tóth Luca Anna

Konzulens: Dr. Árva Gábor

Kézirat lezárásának dátuma: 2023.11.01.

Tartalomjegyzék

1.	BEVEZETÉS	1
2.	HÁTTÉRISMERETEK.....	3
2.1.	ÉPÍTŐIPARI PROJEKTEK	3
2.2.	KOCKÁZATOK AZ ÉPÍTŐIPARBAN	4
3.	MÓDSZERTAN	6
3.1.	HÁLÓTERVEZÉS	6
3.1.1.	<i>Hálótervek fajtái és ábrázolásuk</i>	6
3.1.2.	<i>Projekt időszükséglete</i>	8
3.1.3.	<i>Kritikus út módszere, CPM</i>	9
3.2.	FUZZY SZÁMOK A BIZONYTALANSÁG KIFEJEZÉSÉRE	12
3.2.1.	<i>Fuzzy logika alkalmazása a kockázatelemzésben</i>	16
3.3.	HIBAMÓD ÉS HATÁSELEMZÉS, FMEA	17
3.3.1.	<i>Kockázatok mértékének kifejezése fuzzy FMEA módszerrel</i>	18
4.	AZ ÁTFUTÁSI IDŐK KISZÁMÍTÁSA SAJÁT KUTATÁS ALAPJÁN	22
4.1.	A KONKRÉT ÉPÍTMÉNY HÁLÓTERVE	22
4.2.	ÁTFUTÁSI IDŐK BIZONYTALANSÁGÁNAK SZEMLÉLTETÉSE	27
4.3.	A PROJEKTRÉ HATÁSSAL LÉVŐ KOCKÁZATOK, BIZONYTALANSÁGOK	31
4.4.	FUZZY FMEA BEMUTATÁSA	35
5.	KÖVETKEZTETÉSEK	38
	IRODALOMJEGYZÉK.....	41
	MELLÉKLETEK	46
1. SZ.	MELLÉKLET: MEGELŐZÉSI TERV	46
2. SZ.	MELLÉKLET: SZAKÉRTŐI BECSLÉSEK.....	46
3. SZ.	MELLÉKLET: SZÁMÍTÁSOK A HÁLÓTERVHEZ	48
4. SZ.	MELLÉKLET: SZÁMÍTÁSOK AZ ÁTFUTÁSI IDŐKHÖZ.....	49
5. SZ.	MELLÉKLET: LEHETSÉGES KOCKÁZATOK	49
6. SZ.	MELLÉKLET: FUZZY FMEA	49
7. SZ.	MELLÉKLET: ÉRTÉKELŐSKÁLA.....	49
8. SZ.	MELLÉKLET: SZIGMOID FÜGGVÉNYEK SZORZATA	50
9. SZ.	MELLÉKLET: FOLYAMATÁBRA	51

Ábrajegyzék

1. ábra Általános, (i, j) tevékenység ábrázolása	7
2. ábra Látszattervékenység.....	8
3. ábra Csomópont ábrázolása	10
4. ábra Éles szám, éles intervallum, fuzzy szám, fuzzy intervallum.....	12
5. ábra Egy növekvő és egy csökkenő szigmoid függvény metszete és az így képzett „körülbelül m ” érték	14
6. ábra Adott kockázat súlyosságához tartozó nyelvi változók bemutatására szolgáló szigmoid függvények.....	19
7. ábra Adott kockázat gyakoriságához tartozó nyelvi változók bemutatására szolgáló szigmoid függvények	20
8. ábra Adott kockázat rejtve maradásának valószínűségéhez tartozó nyelvi változók bemutatására szolgáló szigmoid függvények	20
9. ábra Ház építésének hálótérve	23
10. ábra j ” tevékenység növekvő és csökkenő szigmoid tagsági függvényének Dombi-féle metszete	28
11. ábra „ p ” tevékenység növekvő és csökkenő szigmoid tagsági függvényének Dombi-féle metszete	29
12. ábra A teljes projekt növekvő és csökkenő szigmoid tagsági függvényének Dombi-féle metszete	30
13. ábra Egyes folyamatlépések és kockázataik RPN értékének meghatározása FMEA módszerrel.	33
14. ábra Közelítő szigmoid függvény egy projektlépés súlyosságának és gyakoriságának értékeinek szorzata ...	36

1. Bevezetés

Általánosságban elmondható, hogy egy ház felépítése rendkívül nagy projekt mind a megrendelő, mind a projektvezető és kivitelezők oldaláról szemlélve egyaránt. Rengeteg különböző erőforrás kerül felhasználásra, ami mind bonyolítja a projekt megszervezésének folyamatát.

Az építkezés a megrendelő(k) döntésével kezdődik, mikor elhatározzák, hogy szeretnék saját ingatlant kis kerttel, növényekkel – garázzsal, medencével, kemencével stb. – és a használatbavételi engedély kézhezvételével fejeződik be. Mivel a megrendelők nagyobb hányada nem rendelkezik semmilyen építőipari tudással, ezért alaposan megfontolandó részükről mind a tervező, mind a kivitelezők kiválasztása. A rokonok, barátok, ismerősök, ill. a mai világban az internet nagy segítséget nyújthat a döntésben. Tervezővel (aki ismeri az országos, ill. a helyi előírásokat, szabályokat) történő, általában többszöri egyeztetés után alakul ki a felépítendő ház végleges formája, elrendezése. Ezután kerülhet sor a kivitelező kiválasztására. Amennyiben a megrendelő úgy ítéli meg, hogy szükséges, úgy egy független műszaki ellenőr bevonása is lehetséges. A kivitelező kiválasztása során mindenképpen szükséges referenciák kérése az eddig elvégzett munkákról (esetleg ezek megtekintése, beszélgetés a tulajdonosokkal), valamint garancia kérése arra, hogy a kért projekt is legalább olyan sikeresen kerül megvalósításra, mint a bemutatott referenciák. A szerződéskötés(ek) után kezdődhet a munka. A dolgozat elsősorban azt vizsgálja, hogy a fuzzy elmélet segítségével hogyan lehet ennek a folyamatnak a bizonytalanságait matematikailag kezelhető módon leírni: részletesen bemutatásra és egy esetpéldán keresztül demonstrálásra kerül az, hogy hogyan alkalmazható az egyes projektfázisok időbeli bizonytalanságának leírására, illetve röviden bemutatásra kerül, hogy hogyan alkalmazható az a hagyományos FMEA elemzés pontosabbá tételére. Az itt bemutatott módszerek segíthetnek a megrendelőknek a projekt időbeli nyomon követésében, a finanszírozás ütemezésében, így a klasszikus projekt háromszög sikerkritériumainak elérésében. A megrendelők ezen módszerek segítségével láthatják az esetlegesen felmerülő kockázatokat, nyomonkövethetik, hogy mely időpontra kell eldönteni például a burkolatok fajtáját, színét, a falak és homlokzat színét, a szaniterek, telepítendő növények fajtáját, ez azért lényeges, hogy a munkálatokat ne hátráltassák azzal, hogy nem tudják meddig kell ezekről dönteniük. A kivitelezőknek is segítséget adnak a bemutatott módszerek az ajánlat készítés során vállalásaik alátámasztására, a kivitelezés során pedig a vállalt részhatáridők és a tényleges előrehaladás összehasonlítására, úgy, hogy az ezekben jelen

lévő bizonytalanság kezelésére is – viszonylag egyszerű módon – képes. Ha a tervezett, illetve a tényleges haladást eltérőnek ítélik meg, tehát ha valamelyik projektlépés nem megfelelően alakul, haladéktalanul szükséges beavatkoznia a generál kivitelezőnek vagy a projektmenedzsernek a kivitelezés folyamatába. A megrendelőtől ez alapján kéri a ház szépészetével kapcsolatos ötleteik határidőre való bemutatását, a kivitelezőknek pedig ezáltal tud információt szolgáltatni, hogy mikor tudják megkezdeni a munkálatokat, milyen gépekre, eszközökre és milyen létszámú emberi erőforrásra lesz szükség az építkezés folyamán. Fontos a felkészültség, hogy a felbukkanó problémákra minél gyorsabban tudjon reagálni, utat mutatva ezáltal a házon csapatként dolgozó embereknek.

A következőkben bemutatott módszertanok átfogó képet mutatnak az építkezés egyes folyamatairól, azoknak haladásáról és a kritikus lépésekről, melyek által minden résztvevő számára könnyedén nyomonkövethető a teljes folyamat.

2. Háttérismeretek

2.1. Építőipari projektek

Az építési projektek megvalósítása csapatmunka. Az építőipar ma erősen specializált cégekből áll. A nagyobb projektek megvalósításánál akár harminc-ötven kisebb-nagyobb feladatot ellátó kivitelező vagy a kivitelezéshez hozzájáruló cég megfordul, és efelett vannak a tervezők, finanszírozók, független állami és nem állami közreműködők. Az anyagszállítók és anyagbeszerzési helyek száma még ennél is magasabb lehet. Egy építési projekt több résztvevő szoros együttműködésével valósítható meg sikeresen. A kivitelezés folyamatában is szorosan együtt kell működni a különböző területek munkásainak a szerkezetépítés, gépészet, elektromos munkák, szakipari munkák, anyagbeszerzés során. Ezek figyelembevételével a megrendelő, illetve az általa megbízott generál kivitelező feladata az ütemezés. Általánosságban egy építőipari projekt fázisai a következők: megalapozás, előkészítés, megvalósítás, átadás, utógondozás (Cserpes, 2016). Máshogy csoportosítva tervezés, engedélyeztetés, kivitelezés. Az előkészítés során felvázolt, elkészített, megtervezett ütemezést nagy mértékben befolyásolhatja a kivitelezéshez szükséges anyagok elérhetősége, rendelkezésre állása, kivitelezők szabad kapacitása, illetve az esetleges tervi változtatások. Az ütemezés összehangolásához egy gondosan megtervezett ábrára van szükség, amin nyomon lehet követni az egyes tevékenységekre szánt időt, és az ehhez képest esetleges eltérő haladást. A projekt ütemezésére az egyik legelterjedtebb módszer az úgynevezett hálótervezés (Kuzmiák, 1971), amelynek során láthatóak lesznek a párhuzamosan futó tevékenységek és a szigorúan egymás után következők is. Az ábrán feltüntetett, az egyes feladatok időigényét kifejező időtartamok a gyakorlatban nehezen határozhatók meg pontosan az átfutási idők bizonytalansága miatt. A projekt befejezési dátumának meghatározásához az összes projektlépés bizonytalanságát bele kell kalkulálni a tervezés során, ennek ellenére túl sok időt sem szabad hagyni a csúszás lehetőségére, mert az felesleges többletköltségekhez vezethetne. Ezt a bizonytalanságot egy jó projektvezető a későbbiekben bemutatott módszerek segítségével tudja szemléltetni és így tud a különböző problémákra megoldási javaslatokkal felkészülni.

2.2. Kockázatok az építőiparban

A kockázatok kezelése minden területen rendkívül nehéz. Az építőiparban a projektvezetők különösen nagy kockázatnak vannak kitéve, mivel egy ház felépítése akkora projekt, hogy egy adott embernek erre csak korlátozott számban van lehetősége. Emiatt viszonylag nehéz meghatározni egy-egy kockázati tényező bekövetkezési valószínűségét. A projekthez szükséges döntések már a projekt előkészítési és tervezési szakaszában megszületnek, ám a leírt tervekhez ragaszkodni kell azért, hogy többlet -költség és -idő ne keletkezhessen. Ez a valóságban mégsem mindig sikerül, például késik egy alapanyag, megbetegszik egy dolgozó, elromlik egy műszer. Ezek mind olyan problémák, amelyek megnehezítik a költségkeret betartását, és ezek által csúszhat is a projekt befejezése. A korábban meghatározott terveket ekkor át kell írni, hogy aktuális, pontos képet kaphassanak a vezetők. Ha egy kockázatos lépésnek alacsony a bekövetkezési valószínűsége vagy alacsony a hatása, akkor könnyebb együtt dolgozni vele és úgy alakítani a terveket, hogy alig legyen zavaró (Gido et al., 2015). A különböző megelőzési ötleteket a projekt kezdetekor átgondolják a szakemberek, ugyanakkor a munkafolyamat közben is átültethetik gyakorlatba az egyszerűbb korrigáló lépéseket és cselekedeteket, ezeket a korábbi projektekből és eseményekből tudják segítségképpen kalkulálni (Kumru & Kumru, 2013). A projekt sikerét veszélyeztető tényezőket folyton figyelemmel kell kísérni és visszajelzéseket készíteni róluk (Kerekes, 2014), hogy a felmerülő probléma minél hamarabb ki legyen javítva. A tervezet kialakítása során nagyon fontos a megfelelő kommunikáció és a kockázatok pontos meghatározása, hogy melyik szakaszban milyen nehezítő körülményekre kell felkészülni. Gyakori hiba lehet a nem megfelelő hatáskörök kialakítása, nem megbízható becslés, költségvetés eltúlzása vagy éppen túl szűkre szabása, csúszások, engedélyeztetési és biztosítási problémák (Banaitiene & Banaitis, 2012). Ezek közül azokhoz a hibákhoz, amelyek a projekt kritikus útján lévő tevékenységek csúszását eredményezhetik, a későbbiekben bemutatott különböző technikák nyújthatnak segítséget. Ha egy projektlépés tényleges ideje a kivitelezés során meghaladja a becsült és rászánt időt, akkor a teljes átfutási idő úgy csökkenthető, hogy a tervezéskor utolsó lépésekként előírt teszteléseket és ellenőrzéseket elhagyják (Kerekes, 2014), viszont ekkor nőni fog a kockázat, ezért mérlegelni kell a döntés előtt, hogy megéri-e bevállalni. Ezen kívül másik lehetőség az újabb szakemberek és erőforrások bevonása (Sebestyén, 2022), de ekkor a költségek fognak megnövekedni. Léteznek elsőrendű-, illetve az ezekből következő másodrendű kockázatok. Elsőrendűek közé sorolhatók a projektcélokat valamilyen szinten

befolyásoló tényezők, például az idő, költség és minőségbeli kockázatok¹. Idő kockázatnak számíthat, ha egy harmadik fél nem teljesít az időpontra, a megrendelő időközben megváltoztatja az igényeit vagy ha a tervrajzok elkészítése késik már a feladatok megkezdése előtt (Olabode, 2015). Költségkockázat lehet az infláció, valutaárfolyamok változása, megemelkedett anyagköltségek, dolgozók emelkedő béréi (Schieg, 2006). Minőségkockázatként figyelembe kell venni az anyagok megbízhatóságát, változó törvényeket a megfelelő minőség biztosítására, és a különböző specifikációkat (Kerekes, 2014).

Megfelelő előkészületekkel, tervezéssel, képzett projektvezetőkkel fel lehet készülni a folyamat során felmerülő kockázatokra, így sokkal gyorsabban lehet majd cselekedni, ha egy-egy probléma előjön a folyamatok során. Erre többféle módszer áll rendelkezésre, ezek közül minden új projekt előtt ki kell választani a legjobban odaillőt. Ha sikerült megalapozott döntéssel jó módszert választani, sokkal egyszerűbbek lesznek a későbbi munkálatok. A szisztematikus kockázatmenedzsment ehhez nyújt segítséget, hogy a bizonytalanságok számszerűsíthetőek legyenek, így matematikai módszerekkel könnyebb értékelni, kezelni őket (Mills, 2001).

A projektek során kardinális kérdés a projektlépések lefutása az átfutási idő bizonytalansága miatt. Bár a projektmenedzsmentben a hálótervezés széleskörűen használt a projekt tervezése során, nem veszi figyelembe az egyes projektfázisok átfutási idejének bizonytalanságát, ennek kezelésére alkalmas módszerek tárgyalása a dolgozat egyik célja. Bemutatásra kerül a projektelőkészítés és ennek során az időszükséglet becslése, majd kockázatértékelés. A projektek lefutásának grafikus reprezentálására szolgál a hálóterv, az átfutási idők bizonytalansága fuzzy számokkal kerül meghatározásra, a (projekt esetlegesen időbeli csúszását okozó) kockázatok közül pedig FMEA módszerrel való azonosítás után a legsúlyosabbakra megoldási javaslat is készül. A kockázatok bizonytalansága és azok súlyossága nagyban függ a projektlépések csúszásának mértékétől, ennek kezelésére szolgálhat az FMEA elemzés és a fuzzy logika együttes alkalmazása.

¹ A projektháromszög a projekt sikerességét a pénzübeli, időbeli, illetve minőségbeli elvárások teljesítéseként definiálja (Tabish & Jha, 2012).

3. Módszertan

3.1. Hálótervezés

Napjainkban a projektmenedzsment számos lehetőséget kínál a projektlépések sorrendjének rendszerezésére. Léteznek számszerűsíthető matematikai, illetve szimbolikus modellek, amelyek grafikusán, jobbra valamilyen gráffal reprezentálva jelenítik meg az összefüggéseket (Jarjabka et al., 2020). Az utóbbiakhoz tartoznak az ütemtervek (mint például a Gantt-diagram), emellett egy másik elterjedt módszer a hálótervezés, melynek alapjait az 1950-es években kezdték el kifejleszteni az Egyesült Államokban (Gido et al., 2015). Ez a módszer figyelembe veszi az egyes szakaszokhoz szükséges időt, az egyes résztevékenységek sorrendjét, és hogy közvetve vagy közvetlenül épülnek-e egymásra (Ács, 1981). Ennek alkalmazása azért is fontos, mert megbízható és sikeres hálótervezéssel könnyedén tehet javaslatot a projektvezető, hogy a vállalkozási-szerződés milyen befejező dátumot tartalmazzon, anélkül, hogy „üresjáratok” vagy csúszások miatt irreális többletköltsége vagy másféle hátránya keletkezzen. Az elkészített hálótér pontosan fogja szemléltetni azt is, hogy „melyek azok a tevékenységek, amelyekkel csúszhatunk, anélkül, hogy a terv befejezésének időpontja megváltozna, és mekkora lehet ez a csúszás” (Kerekes, 2014, p. 18). Az ilyesfajta hálótervezés rendkívül hasznos arra is, hogy átlátható legyen, mely lépések futhatnak egyszerre és melyekhez kell kivárni egy azt megelőző lépés befejezését (Kerekes, 2014). Látható lesz az is, hogy a bonyolultabban összekapcsolódó folyamatok közül biztos minden olyan sorrendben lett-e feltüntetve, ahogy az a valóságban előfordul, vagy vannak tévesen önmagukba visszatérő lépések.

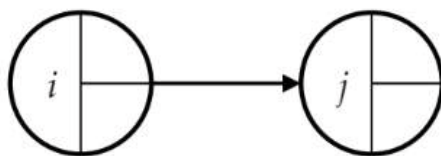
3.1.1. Hálótervek fajtái és ábrázolásuk

A hálótervezéseket többféle szempont alapján lehet csoportosítani. Léteznek determinisztikus hálótervek, melyeknél az egyes tevékenységi idők meghatározottak, ezzel szemben a sztochasztikus modelleknél a tevékenységek egy részénél nincs meghatározva az időtartam, véletlen hatások is szerepelnek benne (Jarjabka, 2008). A hálótervezések közül rendelkezésre állnak tevékenység- és esemény-orientált módszerek. Típusuk alapján lehetnek tevékenység-élű (pl.: CPM, azaz Critical Path Method), tevékenység-csomópontú (pl.: MPM, azaz Metra Potencial Method), esemény-élű (pl.: PERT, azaz Program Evaluation Review Technique) és esemény-csomópontú módszerek (Jarjabka et al., 2020). Az esemény-élű PERT hálótervezési technika többnyire kutatásokban és az iparban használandó (Hajdu, 2018), mivel a tevékenységek átfutási ideje ismeretlen, vagy kevésbé ismert, és a „tevékenységidőt egy

valószínűségi eloszlás sűrűségfüggvénye határozza meg” (Vattai, 2016, p. 29) és β -eloszlást vagy Gauss-féle normális eloszlást követ. A dolgozatban tevékenység-élű hálótér kerül bemutatásra építészeti vonatkozásban. Mivel az átfutási idők egyébként természetükből fakadóan bizonytalansággal terheltek, a most CPM által meghatározott determinisztikus átfutási idők a későbbiekben (3.2. fejezet) a bizonytalanságot kifejező fuzzy számokra cserélendők.

A hálótérvezés ábrázolásához először meg kell határozni az összes tevékenységet, hogy melyek elvégzésére lesz szükség a teljes projekt során. Célszerű már eleve csoportosítani egyes főfolyamatok mentén, hogy biztos minden folyamat a megfelelő után következzen. Minél több elvégzendő tevékenység kerül feltüntetésre, annál pontosabb képet fog kirajzolni a projektmenedzser számára, ugyanakkor egyre nehezebb lesz az ábrázolás kézzel és szoftverekkel egyaránt. A hálótér elkészítéséhez először egy megelőzési lista készítésére van szükség, amely megadja, hogy mely tevékenység után melyik következhet közvetlenül. A szakértőknek meg kell határozniuk az összes főtevékenységet és a hozzájuk rendelt időtartamot, majd mindegyikhez hozzá kell rendelni az azt közvetlenül megelőző tevékenység(ek)et (Sebestyén, 2022). Erre azért van szükség, hogy elkerülhető legyen a felesleges látszattevékenységek ábrázolása, amik tévesen nehezítenék a tervezést.

Az eljárás során használt hálók irányított élekből és csomópontokból állnak (Lockyer & Gordon, 2000), így létrejön egy gráf, amelynek minden éle egy tevékenységet jelöl, minden csomópont pedig egy eseményt, ami egy tevékenység kezdete vagy vége (Tóth, 2020). Ezek jelzik a projekt fő elemeit és megmutatják a közöttük lévő függőségi kapcsolatot (1.ábra).



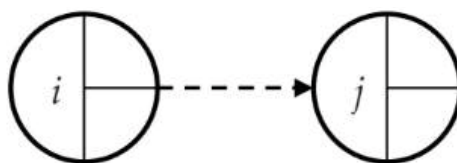
1. ábra Általános, (i, j) tevékenység ábrázolása

Forrás: Kövesi, (2015, p. 297)

Amint az ábrán látható, a tevékenységet nyíl jelöli, ami a kezdőponttól a befejező pont felé irányul és mindig két csomópont, azaz esemény fogja közre, amelyeket kör jelöl² (Hajdu,

² A hálótérvezésben irányított gráfokkal történik a projektek ábrázolása, ahol a gráf csúcsai az egyes eseményeket, a gráf élei pedig a tevékenységeket szimbolizálják (Kerekes, 2014).

2018). A tevékenységeknek idő-, erőforrás- és költségigényük van (a dolgozat ezek közül részletesebben az időhöz köthető bizonytalansággal, az időbecslés szemléltetésével foglalkozik), míg az eseményeknek nincs időtartamuk, ezért csak a bekövetkezési időpontjukkal lehet jellemezni őket (Görög et al., 2007). A különösen fontos események az úgynevezett mérföldkövek (Pan et al., 2012), melyek határidejének betartására kiemelt figyelmet kell fordítani a projektbefejezés csúszásának elkerülése miatt. Az olyan tevékenységeket, amelyeknek nincs erőforrásigényük, sem átfutási idejük, látszattevékenységeknek nevezik, ezeket a logikai kapcsolat megfelelő szemléltetése miatt szükséges ábrázolni (Tóth, 2020), az ilyen tevékenységeket szaggatott vonal jelöli (2.ábra).



2. ábra Látszattevékenység

Forrás: Kövesi, (2015, p. 298)

Látszattevékenységek közbeiktatásával elkerülhető a kettős, vagy többszörös tevékenységek hibája, ugyanis a hálótervek készítésének egyik szabálya, hogy nem alakulhat ki hurok, mert ez logikai hibát képezne a tevékenységek egymásutánjában, azzal, hogy folyton önmagába térne vissza (Gido et al., 2015) és két csomópont között csak egy tevékenység lehet. Továbbá csak egy kezdő és egy végpontja lehet, tehát minden hálótervnek a kezdőpontja a forrás, amelybe nem fut be egy él sem, és a végpontjából, a nyeléből, pedig egy él sem indul ki. (Bokor et al., 2011).

3.1.2. Projekt időszükséglete

Az építőipari projektekben számos tényező befolyásolhatja az egyes projektrészletek idő- és költségükségletét. Amikor az ügyféllel szerződéskötés történik, figyelembe kell venni a korlátos erőforrásokat, például az anyagok felhasználhatósága, munkások és eszközök száma. Az építőiparban futó projektek összetettsége, az átfutás bizonytalansága miatt szükség van olyan modellekre, amelyekkel az időszükségletet és az ezt befolyásoló tényezőket leírhatjuk, a kockázat mértékét a tervtől való eltérés adja meg. A kockázatok fajtái különböző csoportokba sorolhatók: jogi, infrastrukturális, iparági, politikai, természeti, szakmai, személyi. (Cserpes, 2016). Ibadov (2018) írásában azt taglalja, hogy az építési projektekben kulcsfontosságú előrejelezni a szükséges befejezési dátumok teljesítésének bizonytalanságát. Általában, mivel

például egyes építőipari munkákat befolyásol az időjárás alakulása, nehéz meghatározni egy konkrét időpontot, hogy mikor készül el a projekt egyik fázisa, sokkal egyszerűbb egy intervallumot megadni, ugyanakkor erre a hagyományos hálótervezésben nincs mód. Ekkor figyelembe vesszük, hogy legjobb és legrosszabb esetben mennyi idő szükséges a kivitelezéshez, ebből már meg lehet határozni egy „körülbelül m ” időpontot, ami azt jelzi, hogy mikor a legvalószínűbb az elkészülés. A szakértők különböző módszerekkel határozzák meg, hogy egy-egy fázisnak mennyi a legoptimálisabb esetben az időtartama, amikor semmiféle kockázat nem lép fel, ezután csoportosítják, hogy melyik fázisokban milyen problémák nehezíthetik a megfelelő haladást és ez mennyiben befolyásolja az időtartamot (Gładysz, 2020). A projektvezetők számára fontos, hogy átlássák, melyik folyamat éppen milyen fázisban van, mikor tudnak tovább haladni (Sztrapkovics, 2020). A termeléshez képest például olyan szempontból nehezebb dolguk van, hogy az építőiparban nem tudják egy ház elkészült alapját „raktározni”, hanem ki van téve az időjárás viszontagságainak. Az anyagok felhasználhatósága is korlátozott, ha bekeverik a betont, azt nem tudják eltenni későbbre, a keletkezéskor azonnal fel kell használni. Éjszakai műszakoknál ezen kívül figyelembe kell venni a korlátozott látási viszonyokat és a lakók zavarására vonatkozó rendeleteket. Ezeket a bizonytalanságokat és kockázatokat fuzzy számokkal a legcélszerűbb szemléltetni, mivel az építőipari projektek természetüknél fogva nem megismételhetők, egyszer végrehajtottak, így viszonylag nehezen lehet pontosan megbecsülni egyes tevékenységek idejét. A szakértői becslések alapján létrehozott, fuzzy számokkal kifejezett átfutási idők meghatározása után már könnyebben átláthatók a projektlépések közötti átfedések, hogy mikor, mit, milyen időpontban szükséges elkezdni a megfelelő haladás érdekében (Tóth, 2020).

3.1.3. Kritikus út módszere, CPM

A kritikus út módszere először Kelley és Walter (1959, hivatkozva Hajdu, 2008) írásában jelenik meg. A módszer kimondja, hogy egy projektet csak akkor lehet befejezettnek nyilvánítani, amikor a legidőigényesebb tevékenységek is elkészültek, minden elvégzendő folyamatot lezártak és minden szükséges esemény bekövetkezett (Gido et al., 2015). A projekt kritikus útja meghatározza, hogy mekkora „az a legrövidebb időtartam, ami alatt a projekt befejezhető”, ez a teljes projektátfutási idő (*TPT*) (Sebestyén, 2022, p. 84.). A kritikus út egyben a projekt leghosszabb útja is (Bokor et al., 2011), mert minden tevékenység átfutási idejét össze kell adni a meghatározásához, ez megmutatja, hogy mi az az időpont, aminél hamarabb biztosan nem fog elkészülni a projekt. A projekt kritikus útját kétféle módon kell

elemezni ahhoz, hogy megfelelő eredményt tudjon nyújtani (Tóth, 2020). Először előrefelé történik az elemzés, ez megadja, hogy egy esemény mikor következhet be (Earliest Event Time, *EET*) legkorábban. A tevékenység legkorábbi kezdete (Earliest Start Time, *EST*) és az átfutási idő (*D*) megadja a tevékenység legkorábbi befejezését (Earliest Finish Time, *EFT*), ekkor következhet be leghamarabb az adott esemény, ennek meghatározásához a következő képletre van szükség (Sebestyén, 2022):

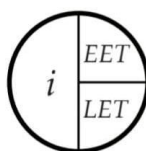
$$EST = EFT - D \quad (1.)$$

Fontos megjegyezni, hogy egy adott tevékenység legkorábbi kezdési időpontja nem lehet korábban, mint az őt közvetlenül megelőző tevékenység(ek) befejező időpontja (Gido et al., 2015).

Ezután a következő lépésben történik a visszafelé elemzés, itt az *LET* (Latest Event Time) kerül kiszámításra. Az *LST* (Latest Start Time) a tevékenység késői kezdetét, az *LFT* (Latest Finish Time) a tevékenység késői befejezését, a *D* pedig itt is az átfutási időt jelöli. A következő összefüggés használható a meghatározáshoz (Sebestyén, 2022):

$$LST = LFT - D \quad (2.)$$

A késői befejezési idők közül a legnagyobbat kell figyelembe venni. Ezek alapján már ábrázolhatók az események a hálótervben (3.ábra), kiegészítve az események legkorábbi és késői bekövetkezésével (Sebestyén, 2022).



3. ábra Csomópont ábrázolása

Forrás: Kövesi (2015, p. 299)

Az eseményeket összekötő nyilakon az egyes tevékenységek legvalószínűbb átfutási ideje kerül feltüntetésre, ugyanakkor több szerző rámutatott arra (Greco & Roger, 2001, Gosling et al., 2013), hogy ezek a folyamatok természetüknél fogva bizonytalansággal terheltek. A tervezési fázisban ezt nem lehet pontosan, egy számmal kifejezve meghatározni, hogy hány nap lesz például a falazás vagy villanyszerelés. A hagyományos hálótérvezés egyik hátránya, hogy az egyetlen számmal meghatározott átfutási idő miatt elveszik az egyes lépések időszükségletének sztochasztikus tulajdonsága, de a hálóterv meghatározásához ezzel az

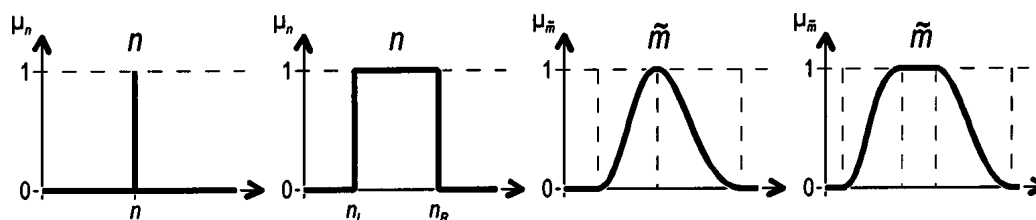
egyszerűsítéssel kell élni. A leghosszabb utat megkeresve meghatározható a projekt kritikus útja (Bokor et al., 2011). Ahhoz, hogy minden a terv szerint haladhasson, értelemszerűen az akkor szükséges erőforrásoknak (dolgozók, eszközök, megmunkálendő nyersanyagok, előzőleg félbeszakított tevékenységek eredményei) rendelkezésre kell állniuk. A kritikus tevékenységekre különös figyelmet kell fordítani, mert ha ott csúszás történik, akkor csúszik az egész projekt befejezése, ha ez a veszély nem áll fenn, az az út nem kritikus, ebben az esetben van tartalék idő a tevékenységek elvégzésére (Sebestyén, 2022), amint a 3. egyenlet mutatja.

$$TF(K) = TFi,j = LETj - EETi - Di,j \quad (3.)$$

A teljes tartalékidő (TF , Total Float) azt az időt jelenti, amennyivel csúszhat egy-egy tevékenység, mégsem változik a projekt befejezésének ideje, ezzel a lehetőséggel a kritikus utak nem rendelkeznek (Jarjabka et al., 2020). Érdemes beiktatni már a legelső tervezéskor tartalékidőt, ha eleve nehezen lehet megbecsülni egy tevékenység jövőbeni haladását, így elkerülhetőek a későbbi kellemetlenségek. A tartalék időtúlbecslése ugyanakkor irreális többletköltségeket eredményezhet, tehát ott szabad feltüntetni, ahol használata nélkülözhetetlen. A projekt haladását folyamatosan követni kell, és amint olyan változás következik be, ami érinti az átfutási időket, módosítani kell a hálótérket. Az építőipari projektek sokszínűsége miatt a projektvezetőnek átfogó ismeretekkel kell rendelkeznie, különös tekintettel a projektlépések időszükségletére, és az átfutási idők bizonytalanságára. A gyakorlatban sokszor előfordul, hogy a projektek összetettsége miatt nem lehet egy konkrét számmal megadni, hogy mikor fejeződik be egy projekt. A projekt egyes lépéseinek átfutása sztochasztikus, véletlenszerű, az időtartamok becslését β -eloszlással is lehet számítani. Hasonlít a normális eloszlás sűrűségfüggvényére, de mindkét oldalon korlátos, a megadott korlátok alatt és felett 0 értéket vesz fel (Hajdu, 2018). A β -eloszlás segítségével végzett átfutási idő becslések során a szakértők egy pesszimista, egy optimista és egy legvalószínűbb befejezési dátumot határoznak meg (Sebestyén, 2022). Ehhez figyelembe veszik, hogy mennyi idő az adott projektlépés, és mennyiben változik, ha valami váratlan, különleges esemény következik be. A β -eloszlás sűrűségfüggvényének a maximumhelye a legvalószínűbb befejezési idő, minél közelebb van az eloszlás várható értékéhez, annál nagyobb valószínűséggel következik be (Sebestyén, 2022). Az átfutási idők meghatározására egy másik módszer a következő fejezetben (3.2.) ismertetett fuzzy halmazok megadása, amelyekkel már körültekintőbben lehet javaslatokat adni a befejező dátum körüli bizonytalanságra.

3.2. Fuzzy számok a bizonytalanság kifejezésére

A fuzzy logikáról először L. A. Zadeh matematikus írt 1965-ben. A „fuzzy” angol szó jelentése lágy körvonalú, elmosódott. A fuzzy számok matematikailag szeretnék megfoghatóbbá és leírhatóbbá tenni a bizonytalanságot, mint pl. azt, hogy egy projektfázis körülbelül m nap alatt fejeződik be, kvantitatív módon (Dombi, 2012). A fuzzy elmélet a bizonytalanság kezelésére a jelenlegi egyik leghatásosabb módszer. Alkalmazható taxonómia, klaszteranalízis, mintafelismerés, döntési folyamatok, mesterséges intelligencia kutatási területén is (Zadeh, 1971). „A fuzzy logika alapgondolata, hogy egy tulajdonság megléte és nem megléte közötti átmenet folytonos” (Dombi, 2012, p. 26). Ezt szemléltetve a következő ábrán (4.ábra) látható, hogy míg az úgynevezett klasszikus, „éles” halmaz konkrétan meghatározza a halmaz elemeit, addig az ehhez rendelt fuzzy halmaz átmenet képez a halmazhoz tartozás és nem tartozás ellentéte között. Az éles halmazokhoz egy elem vagy hozzátartozik vagy nem, tehát egy adott x helyen az érték vagy 0 vagy 1 lesz. Ezzel szemben, „egy ilyen [fuzzy] halmazt egy tagsági függvény jellemez, amely minden objektumhoz nulla és egy közötti tagsági fokozatot rendel”³ (Zadeh, 1965, p. 338). Egy fuzzy tagsági függvény megengedi, hogy egy érték részben tartozzon valamilyen halmazhoz, az egyértelmű éles határok elmosásával. Például, ha valami inkább nem tartozik a halmazhoz, mint igen, a függvény ezt egy körülbelül 0,3-0,4-es értékkel jelezheti.



4. ábra Éles szám, éles intervallum, fuzzy szám, fuzzy intervallum

Forrás: Bonnal et al., (2004, p. 4)

A tagsági függvény a $[0,1]$ intervallum elemei közül bármilyen értéket felvehet a valós számok halmazán. Ennek az értéknek a nagysága arányos a halmazhoz tartozás mértékével, tehát „minél nagyobb mértékben tagja a halmaznak valamely elem, annál nagyobb az elemre vonatkozó függvényérték.” (Kóczy & Tikk, 2001, p. 17). „A fuzzy halmazok alkalmasak a bizonytalan határokkal rendelkező természetes nyelvi fogalmak reprezentálására.” (Kóczy &

³ A dokumentum szerzőjének saját fordítása.

Tikk, 2001, p. 18). Például, ha azt mondjuk, hogy egy projektfázis sokáig tart, beszélhetünk kis távlatokban is, mint 2-20 nap, de a projekt egészét nézve az egy éves időtávlat is teljesen reális lehet.

Egyes projektfázisok átfutási időszükségletét a bizonytalanságuk miatt célszerű fuzzy számokkal bemutatni (Tóth et al., 2019), az ezekhez tartozó tagsági függvények a dolgozatban szigmoid függvényekkel kerülnek reprezentálásra. A szigmoid függvény az alábbi alakban adható meg:

$$\sigma_{\alpha}^{(\lambda)}(x) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda(x-\alpha)}} \quad (4.)$$

ahol $x, \alpha, \lambda \in \mathbb{R}$ és $\lambda \neq 0$ (Dombi, 2006).

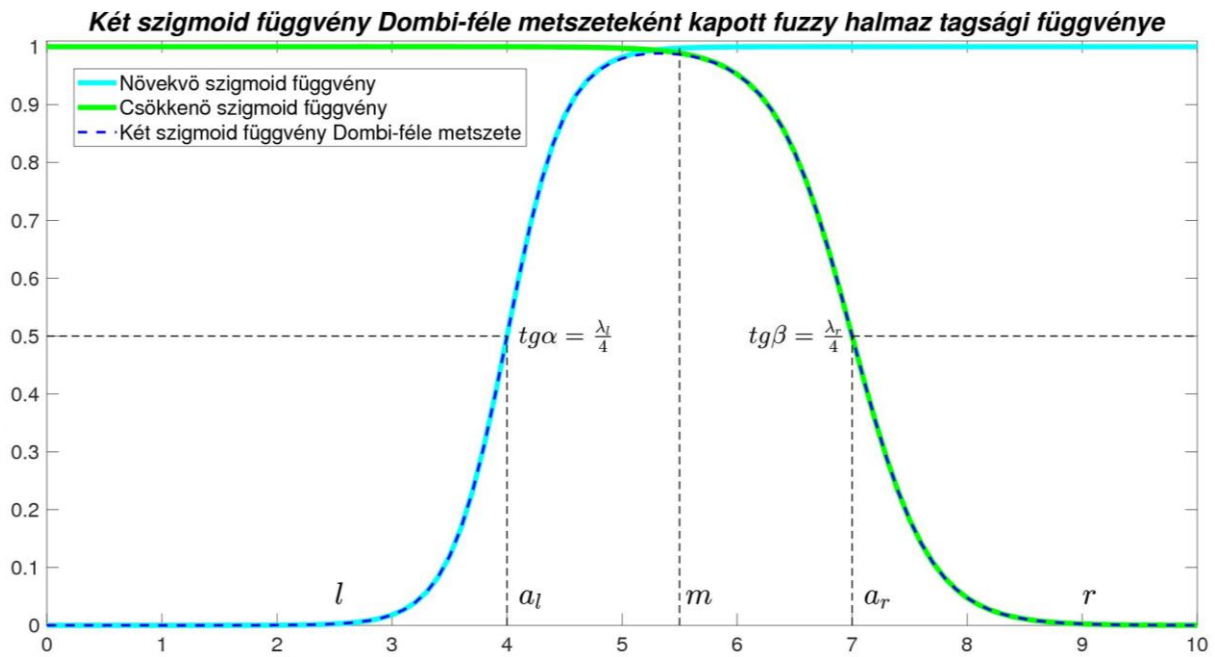
A függvény α paramétere azt a helyet adja meg, ahol a függvényérték éppen 0,5, $\lambda/4$ pedig a függvénygörbe meredeksége az α pontban (Tóth et al., 2019). A λ paraméter előjelétől függően a szigmoid függvény menete szigorúan monoton növekvő és csökkenő is lehet. A növekvő függvénygörbe alá eső terület alakja jól mutatja, hogy például egy tevékenység, ami átlagosan 10 napig tart, biztos, hogy 2 nap alatt nem fog elkészülni, de ahogy halad előre az idő az x tengelyen, az y tengelyen egyre magasabbak az értékek, tehát egyre nagyobb az igazságtartalma annak az állításnak, hogy a tevékenység bekövetkezik. A csökkenő függvénygörbénél ugyanez mondható el, a 10 napos tevékenység nem valószínű, hogy 20 napnál tovább fog tartani, de 30 napig már csak a legszélsőségesebb esetben fog elhúzódni.

A további számításokhoz a szakértők által már a tervezési szakaszban megbecsült értékek kerülnek felhasználásra. Az „ l ” (left) érték azt az időpontot jelenti, aminél hamarabb az egyes projektfázis semmiképpen sem fog elkészülni, és egy „ r ” (right) érték, ami a legszélsőségesebb tényezőket is figyelembe veszi, hogy legrosszabb esetben meddig fognak zajlani a munkálatok. A leginkább jellemző befejezési időpontot az „ m ” középérték fogja jelezni, ám ez nem feltétlenül az l és r érték között félúton helyezkedik el. Ennek a három paraméternek a megadása a béta eloszláshoz is szükséges, s az optimista, a pesszimista, illetve a legvalószínűbb átfutási idők becslésére szolgálnak.

Az 5. egyenletet felhasználva $\alpha_l, \lambda_l, \alpha_r, \lambda_r$ paraméterekkel meghatározható egy szigorúan monoton növekvő ($\sigma_{\alpha_l}^{(\lambda_l)}(x), \lambda_l > 0$) és egy szigorúan monoton csökkenő ($\sigma_{\alpha_r}^{(\lambda_r)}(x), \lambda_r < 0$) szigmoid függvény (Árva et al., 2019). A két tagsági függvény két fuzzy halmazt reprezentál, melyek Dombi-féle metszete (5. ábra) következő képlettel írható fel:

$$\mu_{A_1 \cap A_2}(x) = \mu_{A_1}(x) *_{(D)} \mu_{A_2}(x) = \frac{1}{1 + \left(\left(\frac{1 - \mu_{A_1}(x)}{\mu_{A_1}(x)} \right)^\alpha + \left(\frac{1 - \mu_{A_2}(x)}{\mu_{A_2}(x)} \right)^\alpha \right)^{1/\alpha}} \quad (5.)$$

ahol a $\mu_{A_1}(x)$ és $\mu_{A_2}(x)$ a két fuzzy halmaz (4. egyenlet szerint megadott) szigmoid tagsági függvénye, a halmazok elemei (0,1) értéket vehetnek fel, $\alpha \in \mathbb{R}$, $\alpha > 0$ és $*_{(D)}$ a Dombi-féle metszet operátort jelöli (Tóth et al., 2019).



5. ábra Egy növekvő és egy csökkenő szigmoid függvény metszete és az így képzett „körülbelül m” érték

Forrás: Matiszko, (2019)

A fuzzy szigmoid tagsági függvények bemutatásánál az x tengely értékei a napokban számolt $[x]$ átfutási időt, az y tengely értékei a tagsági függvény értékét fogják jelenteni a dolgozatban.

Ha a $\mu_{A_1}(x)$ és $\mu_{A_2}(x)$ az 5. egyenlet által adott tagsági függvények, akkor a 6. egyenlet, feltéve, hogy $\alpha = 1$, felírható az alábbi formában (Tóth et al., 2019):

$$\mu_{A_1}(x) *_{(D)} \mu_{A_2}(x) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda_l(x-a_l)} + e^{-\lambda_r(x-a_r)}} \quad (6.)$$

A szakértők különböző módszerekkel határozzák meg egy projekt időszükségletét. A projekt tervezése során minden lehetséges opciót figyelembe véve meg kell határozniuk egy l , m , illetve r értéket, amelyekből már adódnak az α és λ értékek is a következő képletek

(7.,8.,9.,10.) szerint. Az l és r közötti távolság nagysága arányos a projekt átfutási idejének bizonytalanságával, minél nagyobb a távolság, annál nagyobb a lehetséges befejezési idők közötti ingadozás.

A bal oldali, növekvő szigmoid függvényhez szükséges a_l és λ_l kiszámítása (Árva et al., 2019, p. 306):

$$a_l = \frac{l + m}{2} \quad (7.)$$

$$\lambda_l = \frac{2}{m - l} \ln \left(\frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} \right) \quad (8.)$$

A jobb oldali, csökkenő szigmoid függvényhez szükséges a_r és λ_r kiszámítása (Árva et al., 2019, p. 306):

$$a_r = \frac{r + m}{2} \quad (9.)$$

$$\lambda_r = \frac{2}{m - r} \ln \left(\frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} \right) \quad (10.)$$

Így már meghatározható a két szigmoid függvény és ezek Dombi-féle metszete. Az egyes projektfázisokra illesztett tagsági függvények mindegyike megad egy „hozzávetőleges m ” értéket, ezeket figyelembe véve kell kialakítani a projekttervezetet, hogy melyik fázis várhatóan mennyi ideig fog tartani. Minden projektfázishoz a szakértők által megbecsülendő az l , m , r érték és ezekből a fenti módon állítható elő az adott fázis átfutási idejét reprezentáló „körülbelül m ” érték, mint fuzzy szám. A kritikus úton lévőket – a hagyományos hálótervezéshez hasonló módon – aggregálva lesz meghatározható egy konkrét dátum a projekt egészének befejezésére. Ahogy az alábbi képletben (11.) is látható, ez az összegzés az α és $1/\lambda$ paraméterekkel megadható (A tétel bizonyítása megtalálható: Dombi, 2009, p. 30.).

$$\sigma_{a_1}^{(\lambda_1)}(x) + \dots + \sigma_{a_n}^{(\lambda_n)}(x) = \sigma_{\alpha}^{(\lambda)}(x) \quad (11.)$$

ahol $\frac{1}{\lambda} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i}$ és $\alpha = \sum_{i=1}^n \alpha_i$ (Dombi, 2009).

A képleteket felhasználva egyetlen fuzzy számmal megadható a projektbefejezés dátuma, amely a szerződéskötéskor nagy segítséget nyújt a becslések alátámasztásához. Ahhoz, hogy a

kapott értéket defuzzifikálni lehessen, azaz éles értékévé visszaalakítani, a következő képletre van szükség (Dombi et al., 2017).

$$\hat{y} = \frac{\lambda_l}{\lambda_l + |\lambda_r|} \cdot a_l + \frac{|\lambda_r|}{\lambda_l + |\lambda_r|} \cdot a_r + \frac{1}{\lambda_l + |\lambda_r|} \cdot \{ \ln(\lambda_l) - \ln(|\lambda_r|) \} \quad (12.)$$

3.2.1. Fuzzy logika alkalmazása a kockázatelemzésben

Az előző fejezetben bemutatott fuzzy szigmoid tagsági függvények értelmezése a tevékenységek időbeli bizonytalanságát kívánta szemléltetni. A gyakorlatban azonban észrevehető, hogy a projektlépések során felmerülő kockázatok bizonytalanságának mértékét is nehezen lehet konkrét „éles” értékkel meghatározni, ennek kiküszöbölésére a lehetséges kockázatok számbavételezésénél nyújthatnak segítséget a fuzzy szigmoid tagsági függvények. A súlyosságok mértékének figyelembevételével már látható lesz, hogy melyik kockázat felügyeletére mekkora hangsúlyt kell fektetni, hogy minél jobban elkerülhetőek legyenek az időbeli csúszások. Egy hiba súlyossága – például nem jelenik meg a kivitelező – csak körülbelüli értékkel reprezentálható, hiszen annak súlyossága sok más tényezőtől – a projekt aktuális állásától, attól, hogy a tevékenység kritikus úton van-e vagy sem, milyen gyorsan sikerül más kivitelezőt találni – függhet.

A dolgozatban nem kerül bemutatásra, ugyanakkor fontos megemlíteni, hogy a fuzzy logika a vevői elégedettség mértékének mérésében jelentős szerepet játszik, ugyanis az elégedettség értékelésére is használható, mert a nyelvi kifejezéseket könnyedén meg lehet határozni és megfelelően lehet szemléltetni a függvények segítségével (Árva et al., 2017).

Emellett fontos felhasználási terület lehet még a minőség- és a szolgáltatásmenedzsment területe, ahol a folyamatos fejlesztések mind a szolgáltató, mind az igénybevevő oldaláról könnyebben kifejezhetővé válnak az értékelések a nem konkrét értékkel meghatározott nyelvi változók miatt (Mujumdar & Sasikumar, 2002, Liang et al., 2006, Lin, 2010).

3.3. Hibamód és hatáselemzés, FMEA

Az építőipari projektek egyedisége és összetettsége miatt fontos a kockázatmenedzsmentre nagy hangsúlyt fektetni azért, hogy a szerződésben meghatározott paramétereket minél pontosabban lehessen teljesíteni. Ezek a paraméterek javarészt a projektháromszög sikerkritériumai, az idő, a költség és a minőség (Kerekes, 2014). A kockázatok bekövetkezése ezeknek az egyikét, vagy akár többet is veszélyeztet. A kockázatok elemzésére számos módszer terjedt el mind a minőség-, mind a projektmenedzsmentben egyaránt (Sebestyén et al., 2007). Egyik lehetséges módszer a hibamód és hatáselemzés (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA), melynek során az összes hibalehetőség és kockázat felsorolásra kerül, valamint ezek okai és következményei (Sebestyén et al., 2007), majd a kockázatok súlyosság szerint kerülnek sorba rendezésre és közülük a legsúlyosabbak negatív hatásának csökkentésére tesznek javaslatot a projektvezetők.

A hibaokok felsorolásakor ügyelni kell arra, hogy a projektmenedzsment figyelmébe minden lehetséges kockázatra kiterjedjen, ezáltal még a tevékenységek kezdete előtt fel lehet készülni a később megjelenő kockázatok elhárítására, így elkerülhető, hogy a projekt közben későn észlelt hibák nagyon magas többletköltséghez, az átfutási idők csúszásához, és így a projektháromszögben definiált sikerkritériumok megsértéséhez vezessenek. Az FMEA lehetőséget teremt a hibaokok kvantitatív kifejezésére (Sebestyén et al., 2007), azáltal, hogy minden hibaokhoz három szempont alapján egy értéket rendel, általában 1-10-ig, ahol az 1 kevésbé jelentős, a 10 pedig nagyon súlyos kockázati tulajdonságot jelöl. Az első szempont a hiba jelentősége, súlyossága (Severity, jelölése *S*), ami azt értékeli, hogy az adott hiba bekövetkezése mekkora befolyással van a projekt egészére (Carbone & Tippet, 2004). A kevésbé jelentős hibák kijavítása is egyszerűbb, ha még nem épült rá egy következő lépés, nem hatnak úgy a projekt egészére akár anyagi, akár idő vonatkozásában. Nagy felelőssége van a projekt előkészítőinek, projektmenedzsmenteknek, hogy folyamatosan, adott időközönként ellenőrizni kell a munkákat, mielőtt még komoly következménye lenne egy-egy észre nem vett hibának. A megvalósítás, kivitelezés során fel kell hívni a figyelmét minden résztvevőnek arra, hogy ha kérdés merül fel az elvégzendő feladatokkal kapcsolatban, akkor a projektvezetőt értesíteni kell, így megelőzhető a hiba vagy ha már bekövetkezett, csökkenthető azok egymásra halmozása. A projektvezetőnek, akkor is folyamatosan felügyelnie kell a projektfolyamatok haladását, ha a többi dolgozónak nincs kérdése, sorban halad a munkafolyamat, és ezt folyamatosan dokumentálni is kell, hogy utólag is elérhető legyen minden adat. A következő

szempont az előfordulás (Occurrence, jelölése O), ami a hibaok bekövetkezési gyakoriságát méri (Perera & Heaney, 2011). Mivel az építőipar más jellegű feladatokkal néz szembe, mint például egy termelő vállalat, egy ház építése során nehezebb konkrétan meghatározni egy hiba előfordulását. A harmadik szempont a felismerhetőség (Detection, jelölése D), ami azokra az intézkedésekre vonatkozik, amit a projektvezetők tesznek a hiba felderítése érdekében (Karamoozian & Wu, 2020). A három tulajdonság értékelésével képzett számokat összeszorozva (13. egyenlet) adódik az FMEA kockázati indexe (Risk Priority Number, RPN) (Carbone & Tippet, 2004).

$$RPN = S * O * D \quad (13.)$$

A felsorolt hibaok az RPN értékük alapján kerülnek sorbarendezésre, ez a szám 1 és 1000 között lehet, a felsorolás első elemei rendelkeznek a legmagasabb RPN értékkel. Az FMEA egyik hátránya, hogy az azonos RPN értékű kockázatok teljesen eltérő jelentőséggel bírhatnak (Mohammadi & Tavakolan, 2013). Nem mindegy, hogy egy hibának például a súlyossága 9, rejtve maradás valószínűsége 2, előfordulása 6, ezáltal az RPN 108, vagy pedig a súlyossága 3, rejtve maradás valószínűsége 9, előfordulása 4, és ennél a kockázatnál az RPN szintén 108. Míg az első esetben egy súlyos, közepesen gyakori, felderíthető hibáról van szó, addig ugyanezzel az RPN értékkel szerepel egy nem olyan súlyos, közepesen gyakori, de rejtve maradó kockázat, ebből látható igazán, hogy a három input értéket is figyelembe kell venni, mert ugyanaz az output érték nagyon eltérő jelentőséggel, azaz eltérő befolyással bírhat az építkezés folyamatait tekintve (Kumru & Kumru, 2013). A projektvezetőknek éppen ezért a felállított rangsorban is meg kell figyelniük, hogy melyik kockázati források redukálása a legfontosabb. Ha ez megtörtént, akkor javaslatot tesznek, hogy ezt a kockázatot milyen eszközökkel és módszerekkel lehet csökkenteni, és ha szükség van rá, ezt az elemzést többször is végrehajtják egymás után, míg kellőképpen nem redukálták a hibalehetőségeket. A folyamatos nyomonkövetés és visszacsatolások segítik a projektmenedzserek munkáját. A kritikus úton elhelyezkedő projektlépések felügyeletére amiatt fontos, hogy különös figyelmet fordítsanak, mert ezeknél nincsen tartalék idő meghatározva az átfutási idő tekintetében, így, ha ezekben hiba következik be, idő, amire kijavítják és tovább tudnak haladni, ami a teljes projekt befejezésének csúszását jelenti (Tóth, 2020).

3.3.1. Kockázatok mértékének kifejezése fuzzy FMEA módszerrel

A felmerülő kockázatok eltérő súlyossággal és előfordulási gyakorisággal léphetnek fel. Fontos látni, hogy egy adott projektlépés csúszása teljesen eltérő nehézséget okoz, ha 2 napot

csúszik, mintha 2 hónapot csúszna például egy nehezen elérhető szükséges anyag megérkezése. A kockázatos tevékenység előfordulása sem utolsó szempont, hogy csak nagyon ritkán lehet rá számítani, vagy majdnem minden egyes tevékenység során bekövetkezhet. Ezeknek a bizonytalanságoknak a kifejezésére használandó a fuzzy FMEA módszer, mely segítségével az előző fejezetben bemutatott determinisztikus súlyosságot, gyakoriságot és felderíthetőséget mérő S , O és D mutatószámok alapján könnyedén át lehet alakítani az „éles” számokat kifejező értékeket bizonytalanságot kifejező értékekké.

Minden kockázat súlyosságához, gyakoriságához és felderíthetőségéhez társítani kell egy l , m , és r értéket szakértői becslések alapján, melyek meghatározása után többféle kategóriába sorolhatók be a kockázatok. Kumru M. és Kumru P. (2013) cikkében, egy lehetséges megközelítés alapján, a például a kockázat súlyosságát leíró nyelvi változó értékei: elhanyagolható kockázat, alacsony, közepes, magas, nagyon magas kockázat (6. ábra).



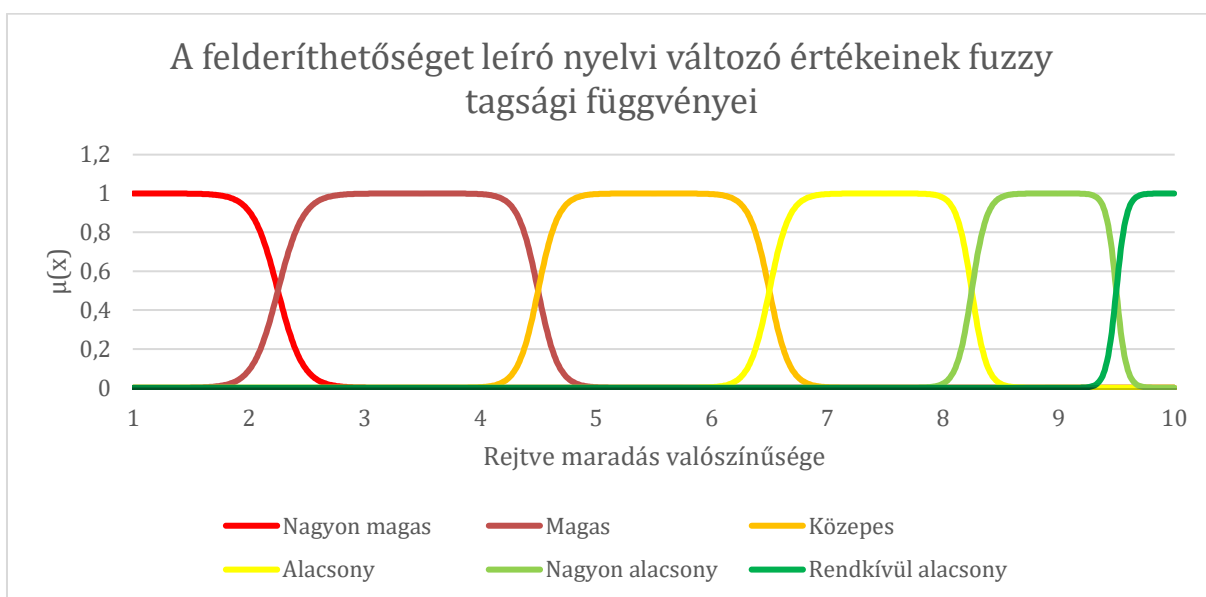
6. ábra Adott kockázat súlyosságához tartozó nyelvi változók bemutatására szolgáló szigmoid függvények

Forrás: Saját szerkesztés 7. sz. melléklet és Tay & Lim, 2006 alapján

Az 6. számú mellékletben található felsorolt lehetséges kockázatok közül mindegyik mellett feltüntetésre került, hogy legjobb, legvalószínűbb és legrosszabb esetben mekkora a projekt adott lépésére nézve a kockázat súlyossága, a fenti ábra alapján pedig látható, hogy nyelvi változókkal hogyan lehet kifejezni a megadott értéket. Ugyanezzel a módszerrel a gyakoriságra és a rejtve maradás valószínűségére is készíthető hasonló tagsági függvényekkel bemutató ábra (7. és 8. ábra).



7. ábra Adott kockázat gyakoriságához tartozó nyelvi változók bemutatására szolgáló szigmoid függvények
 Forrás: Saját szerkesztés 7. sz. melléklet és Tay & Lim, 2006 alapján



8. ábra Adott kockázat rejtve maradásának valószínűségéhez tartozó nyelvi változók bemutatására szolgáló szigmoid függvények
 Forrás: Saját szerkesztés 7. sz. melléklet és Tay & Lim, 2006 alapján

A bemutatott szigmoid tagsági függvények alapján, az ábrákról leolvasható például, hogy ha egy adott kockázat rejtve maradásának valószínűségére 6-os értéket adtak a szakértők, az leginkább a „moderate”, nagyjából közepes felderíthetőségű kockázati forrást jelent.

Két ugyanolyan *RPN* érték között is különbséget lehet tenni (Yu & Lee, 2012), úgy, hogy az úgynevezett „ha-akkor” szabályok alapján kategorizálásra kerülnek az egyes értékek, ahogy azt Setnes és Roubos (2000) is bemutatták. Ha *S* ÉS *O* ÉS *D* valamekkora értékű, akkor *RPN* egyenlő egy adott táblázatból (Kumru & Kumru, 2013, p. 731.) kikeresendő nyelvi változóval. Így akár az egyforma *RPN* értékek is eltérő kategóriába eshetnek az eltérő *S*, *O* és *D* paraméterek kategóriája miatt.

Szakértői becslések alapján megállapítható, hogy például a hálótervben „*f*” jelüként meghatározott „alapozás” tevékenységnél az acélszerelés, ha hibásan kerül kivitelezésre a szakemberek képzetlensége miatt, legvalószínűbb (*l*, *m*, *r* értékek közül az *m* érték) értékei a következőkre adódtak: rendre 8, 3, 6, *RPN* értéke ezeket összeszorozva 144. Az előbbi ábrákról leolvasva ez magas súlyosságú ÉS alacsony gyakoriságú ÉS közepes felderíthetőségű kockázatnak minősül. Kumru M. és Kumru P. (2013, p. 731) cikkéből kikeresendő, hogy a hibás acélszerelés *RPN* értéke „magas-közepes” nyelvi változó értékkel írható le, ezáltal pontosabb képet mutatva a projektmenedzsernek és a projekt résztvevőinek egyaránt, hogy mekkora figyelmet kell szentelni erre a lehetséges kockázatra, és számításba vehetik, hogy mekkora hangsúlyt fektessenek a bekövetkezés elhárítására irányuló tevékenységekre. Az említett „ha-akkor” szabályok könnyebben értelmezhetőek a nyelvi kifejezések miatt (Guimarães, & Lapa, 2004), ugyanis ekkora minden kockázatot a saját értékei alapján önmagával hasonlítanak össze, és nem egymással, hagyományos *RPN* értékek alapján, Pareto-elv szerint sorbarendezeve. A magas kockázatú tevékenységekre akár több eszközt és erőforrást csoportosítva, akár több elhárítási tervvel felkészülve lehet csökkenteni a projekt egyes lépéseire vagy egészére kiható bekövetkezését.

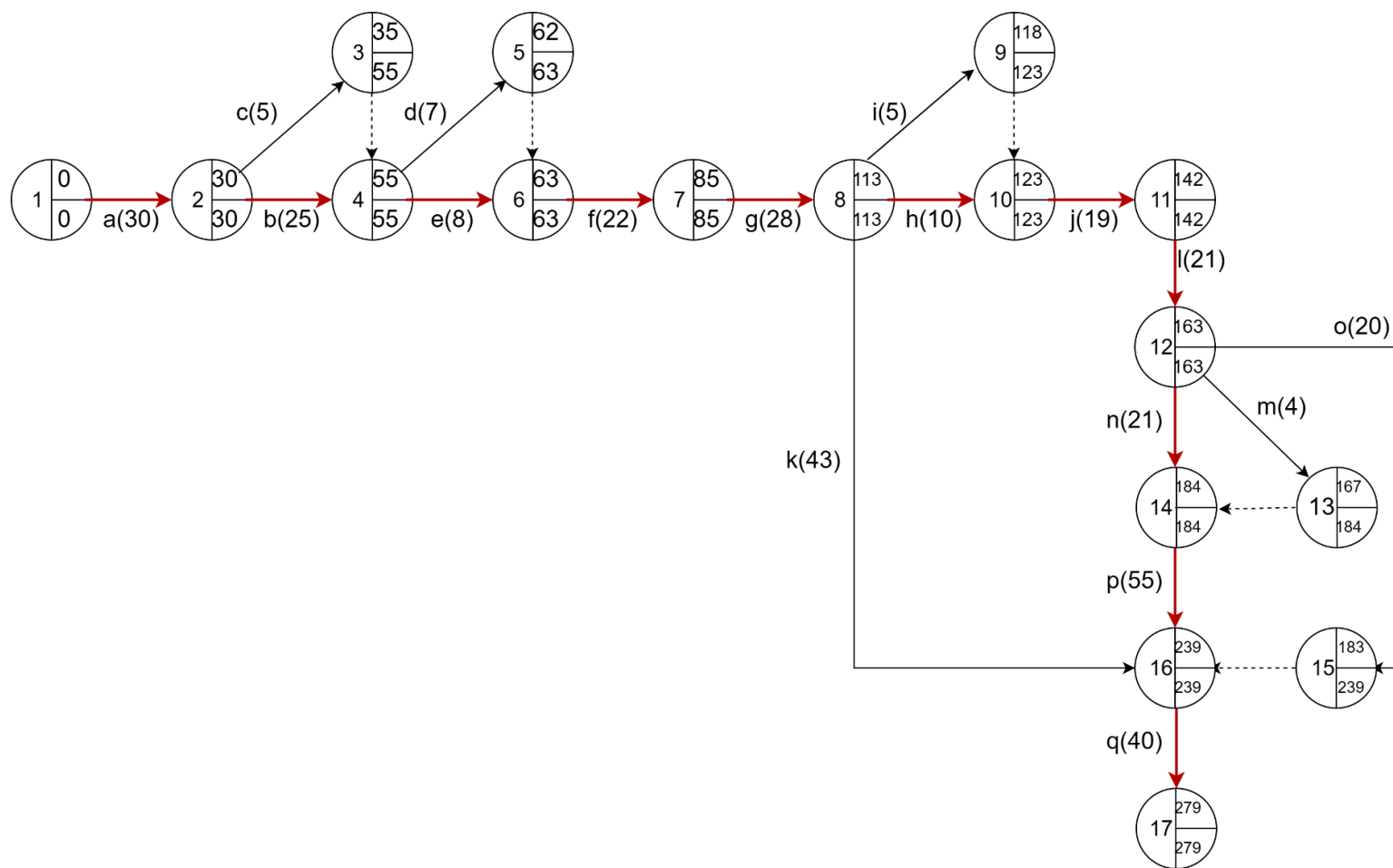
A következő fejezetekben a dolgozatban egy ház felépítésének folyamata körüli, az egyes projektfázisok idejéhez és kockázatosságához kapcsolódó bizonytalanság kerül bemutatásra.

4. Az átfutási idők kiszámítása saját kutatás alapján

4.1. A konkrét építmény hálótérve

Ahhoz, hogy a laikus megrendelő bármikor ellenőrizhesse a munkafolyamatok időbeli előrehaladását, a kivitelező készíthet hálótérvet és ehhez kapcsolódó folyamatábrát. Ez alapján mindkét fél nyomon követheti a projekt időbeli előrehaladását, probléma esetén rövid határidőn belül beavatkozhat.

Az elkészült hálótér meg megfelelően szemlélteti a szükséges tevékenységek egymásutánját és összekapcsolódását. A 9. ábráról könnyedén leolvasható, hogy a projekt elejétől a végéig milyen lépéseket kell, hogy magába foglaljon (a hálótérben feltüntetett folyamatok kibővített változatát és ezek megelőzési listáját az 1. és 9.sz. melléklet tartalmazza). Az első lépés a tervezés (*a*), melynek során a megrendelővel együttműködve a projektvezetőnek mindent figyelembe véve kell kialakítani az egymásra épülő folyamatokat. Az engedélyezés (*b*) folyamata az elkészült tervrajzok és műszaki leírások online beküldésével történik, melynek során az Építésügyi Hatóság számára kell benyújtani az építési engedély kérelmet. A Hivatal 25 napos ügyintézési határidővel adja ki az engedélyt (312/2012. (XI. 8.) Korm. rendelet az építésügyi és építésfelügyeleti hatósági eljárásokról), ezután kezdődhet meg a munka az építési terület átadásával. A gyakorlatban bevett szokás, hogy amíg az elfogadásra várnak a projektmenedzserek, előkészítik a kivitelezési szerződéseket (*c*). A szükséges projekttagok (villany/víz/gáz/fűtőszervezők, szerkezetépítők, burkolók, festők stb.) megtalálásához több, a projekt megvalósítására jelentkező szakembertől és építő brigádtól kérnek ajánlatot (*d*), a megegyezések és szerződéskötések után megkezdik az egymásra hangolt, közös munkát. Az építőanyagok és eszközök folyamatos rendelkezésre állását már a projekt kezdetétől biztosítani kell (*e*), és a továbbiakban is állandó figyelemmel kell kísérni a már meglévő készletet és a későbbiekben szükséges anyagok elérhetőségét. A humusz leszedése, és a geodéziai kitűzés után az alapárok kiemelése következik. Az innen kikerülő földet a helyszínen deponálják, mivel ez a feltöltéshez szükséges lesz. Ezzel egyidőben folyik a betonacél szerelés, mely a kész alapárkokba kerül elhelyezésre. A műszaki ellenőrzés után az alaptestek betonozása történik (*f*).



9. ábra Ház építésének hálótérve

Forrás: A dokumentum szerzőjének saját szerkesztése 1., 2. és 4.sz. melléklet alapján.

A hálótérve egyes élein feltüntetett számok az adott tevékenység legvalószínűbb átfutási idejét mutatják napokban számolva, a hálótérve adataival történő számítások során ezek kerülnek felhasználásra

A lábazati fal, a gépészeti alapszerelés után készülhet a feltöltés, melynek tömörségét mérésekkel kell ellenőrizni. Ha megfelelő a tömörítés, elhelyezésre kerül a betonacél-háló, majd készül az aljzatbeton (*g*). A fogadó szint elkészülte után a teherhordó (*h*) és válaszfalak (*i*) felhúzása a következő lépés. Következik a betonacél szerelés, mely a kész falakra kerül elhelyezésre. A műszaki ellenőrzés után a koszorú betonozása történik (*j*). Ezzel egyidőben indulhatnak a külső tereprendezési munkák is (*k*). A koszorú szilárdulása után az ácsok veszik át a munkaterületet. Készül a fafödém, a tetőszerkezet, bádогоzás, tetőhéjalás (*l*). Ezután a szakipari kivitelezőké a terep: elektromos szerelés (*m*), gépészeti szerelések (*n*), külső hőszigetelés (*o*) és egyéb szakipari munkák (*p*), mint például a nyílászárók elhelyezése, gipszkartonozás, festés, burkolás. A belső munkálatokkal összhangban, befejeződik a külső térburkolatok és kerítések építése. A közmű szolgáltatóktól beszerzett hozzájárulások, valamint a megrendelő és a műszaki ellenőr jóváhagyásának birtokában elindulhat az átadási eljárás a Hatóságoknál (*q*).

A hálótér szakértői becslésből készített adatai alapján egy ház felépítésének legvalószínűbb teljes átfutási ideje $TPT=EET(17)=279$ nap. Ez az átfutási idő először a hálótervezés kritikus út módszerével, majd később fuzzy logikával kerül elemzésre.

Az első lépés a tervezés, ez körülbelül 30 napot ölel fel, tehát

$$EST(a)+D(a)=0+30=30 \quad (14.)$$

ami az „*a*” tevékenység befejezésével ($EFT(30)$), és $EET(2)$ -vel, azaz 2-es számú esemény bekövetkezésével egyezik meg (14. egyenlet).

Jól látható például a 9.ábrán, hogy 4-es számú esemény az 55. napon tud csak bekövetkezni, mivel a továbbhaladáshoz, tehát az esemény bekövetkezéséhez, az összes ahhoz szükséges tevékenységgel el kell készülni. A kivitelezési szerződések előkészítése ugyan csak 5 napot ölel fel, de ahhoz, hogy a 4-es számú esemény bekövetkezzen, a 25 napos engedélyeztetésnek is be kell fejeződnie (15. egyenlet). Mivel $EET(2)=EST(b)=30$, $D(b)=25$, ezért

$$EST(b)+D(b)=EFT(b)=30+25=55 \quad (15.)$$

Ezenkívül $EET(2)=EST(c)=30$, $D(c)=5$, ezért (16. egyenlet)

$$EST(c)+D(c)=EFT(c)=30+5=35 \quad (16.)$$

$EET(4)$ meghatározásához a két átfutási idő közül a későbbi időpontra van szükségünk, mert a 4-es számú esemény bekövetkezéséhez a 3-as számú esemény bekövetkezése és b tevékenység bekövetkezése is szükséges, tehát

$$EET(4)=\max(EET(3);EFT(b))=\max(35;55)=55 \quad (17.)$$

A számítások 4-es számú esemény 55. napon való bekövetkezését igazolják (17. egyenlet). Mivel a c tevékenység csak 5 napot vesz igénybe és az 55. napon kell bekövetkeznie, ez azt jelenti, hogy bármiféle csúszás nélkül be tudják fejezni a dolgozók a munkákat akkor is, ha csak az 50. napon kezdenek hozzá. Ekkor b és c tevékenység egyszerre fog befejeződni az 55. napon (c tevékenységnek van úgynevezett tartalékideje, a többi tevékenységhez tartozó számítások egy későbbi bekezdésben kerülnek bemutatásra). A további legkorábbi bekövetkezési időpontok számítása is ezzel a módszerrel, előre felé történő elemzéssel kerül kiszámításra (3.sz. melléklet).

A visszafelé történő elemzés is hasonlóan zajlik, ekkor a projekt befejező dátumától visszafelé kell kiszámítani az átfutási idők alapján a tevékenységek késői kezdését és befejezését. Az előre felé történő elemzés során kiszámolt $EET(17)=279$ alapján $LET(17)=LFT(q)=279$ és $D(q)=40$, ezért

$$LFT(q)-D(q)=LST(q)=279-40=239 \quad (18.)$$

mely egyben $LET(16)$ is, azaz 16-os számú esemény késői bekövetkezését is, az átadási eljárás, q tevékenység késői kezdetét is jelenti (18. egyenlet).

Például a 12-es csomópontot tekintve már kicsit összetettebb feladat meghatározni a késői kezdést és befejezést, mert itt több tevékenységet is egyszerre kell figyelembe venni, ez a következőképpen alakul (19. egyenlet), ha $LFT(13)=184$ és $D(m)=4$, ezért

$$LFT(13)-D(m)=LST(12)=184-4=180 \quad (19.)$$

Másrészt ha $LFT(14)=184$ és $D(n)=21$, akkor (20. egyenlet)

$$LFT(14)-D(n)=LST(12)=184-21=163 \quad (20.)$$

Ezenkívül ha $LFT(15)=239$ és $D(o)=20$, akkor (21. egyenlet)

$$LFT(15)-D(o)=LST(12)=239-20=219 \quad (21.)$$

A fenti számítások közül az a bekövetkezési vagy kezdési időpont határozza meg a 12-es számú esemény legkésőbbi bekövetkezését, amelyik korábban teljesül, tehát

$$LET(12)=\min(LST(13);LST(14);LST(15))=\min(180;163;219)=163 \quad (22.)$$

A kapott eredmények közül a 12-es esemény késői befejezéséhez tehát a legkisebbet kell figyelembe venni a 13-as, 14-es és 15-ös események legkésőbbi bekövetkezési és m , n , o tevékenységek legkésőbbi kezdetei közül, tehát az eredmény 163 lesz (22. egyenlet). A további események késői bekövetkezésének számítása is hasonlóképpen történik, visszafelé elemzéssel (3.sz. melléklet).

A feltüntetett átfutási idők alapján meghatározandó a projekt kritikus útja, ami a leghosszabb út, ezt jelen példában a 9. ábrán a pirossal kiemelt $a-b-e-f-g-h-j-l-n-p-q$ tevékenységek alkotják. Ez azt jelenti, hogy amennyiben ezekben a tevékenységekben csúszás következik be, akkor a teljes projekt átfutásában is megjelenik ez a csúszás. Az adott tevékenység nem kritikus, ha van szabad tartalékideje, ezt egyes tevékenységekre célszerű előre meghatározni. Például

$$TF(c)=55-30-5=20 \quad (23.)$$

nem kritikus tevékenység, ugyanis még van fennmaradó 20 nap a tevékenység elvégzésére (23. egyenlet), amit fel lehet használni anélkül, hogy a többi tevékenység késve kezdődne. Ugyanezzel a logikával d tevékenységre, azaz az ajánlatok kérésére csak egy nap tartalékidő áll rendelkezésre. A válaszfalak felhúzása (i) akár 5 nappal is kezdődhet később vagy húzódhat tovább a betervezett dátumnál, mégsem lenne negatív hatással a többi tevékenység átfutására. A belső munkákkal párhuzamosan zajló külső munkák (k) elvégzése akár 83 nappal is meghosszabbítható, ugyanis az átadási eljárás (q) kezdetére kell csak befejeződniük. Míg az elektromos szerelésekre (m) 17 nap, a külső hőszigetelés (o) elvégzésére 56 nap tartalékidő használható fel további csúszások felhalmozása nélkül.

Ezzel szemben

$$TF(h)=123-113-10=0 \quad (24.)$$

kritikus tevékenység, mert akár egy napos csúszás is a projekt egészének csúszásához vezethet a tartalékidő hiánya miatt (24. egyenlet). Ugyanez a helyzet az a , b , e , f , g , j , l , n , p , q tevékenységek átfutásánál is, ugyanis ezek a tevékenységek mind a kritikus úton helyezkednek el, közös tulajdonságaik, hogy nincs tartalékidejük és a csúszás a teljes projekt csúszását jelentené.

Amint látható, a projektlépések átfutása a gyakorlatban nehezen határozható meg egyetlen konkrét számmal, mert rendkívül sok körülmény közrejátszik az építés folyamán, ami miatt késve indul meg egy-egy tevékenység. Ahhoz, hogy ezt a bizonytalanságot szemléltetni

lehesse, az egyetlen számmal megadott idők helyett a projektfázis legvalószínűbb átfutási ideje mellett megadásra kerül az az optimista forgatókönyv szerinti átfutási idő, amelynél hamarabb biztosan nem készül el és az a pesszimista forgatókönyv szerinti, amelynél tovább biztosan nem tart a projektlépés. A következő fejezetben ezek a – meghatározott átfutási idők alapján, a 3.2. fejezetben bemutatott fuzzy logikára épülő elemzésekről készült – grafikonok kerülnek bemutatásra.

4.2. Átfutási idők bizonytalanságának szemléltetése

A korábbi (4.1.) fejezetben a hálótervben konkrét számmal szemléltetett átfutási idők a gyakorlatban nem mindig határozhatók meg napra pontosan. A tervekhez képest a tényleges haladás eltérhet, ennek megfelelő szemléltetésére a bizonytalanságot is bele kell kalkulálni a tevékenységek befejező időpontjába. Fuzzy szigmoid tagsági függvények segítségével, minden tevékenység átfutási idejét egy-egy szigmoid tagsági függvénnyel rendelkező fuzzy számmal reprezentálva már megadható a legvalószínűbb átfutási idő. Ehhez a szakértői becslésekből (2.sz. mellékletben megtalálható) kinyert adatok kerülnek felhasználásra.

A „j” jelű tevékenységet, azaz a koszorú⁴ betonozását tekintve három adat megadására van szükség. Egy időtartam, aminél hamarabb biztosan nem készülnek el a munkálatokkal (l), egy legvalószínűbb átfutási időtartam (m), és egy legkésőbbi bekövetkezési időtartam (r), ahol már minden kockázatot figyelembe vesznek és belekalkulálnak, ami a projekt átfutásának csúszását okozhatja. A – kivitelezési tapasztalattal rendelkező – szakértők úgy állapították meg, hogy a dolgozatban bemutatott családi ház esetén a koszorú elkészítése, mint projektlépés l , m , r értéke rendre 17, 19, 22 (nap), ezeket az átfutási időket a következő diagram ábrázolja (10.ábra).

⁴A koszorú a teherhordó falak tetején épített vasbeton szerkezet, amely oldalirányban merevíti a falakat, függőleges irányban pedig elosztja rákerülő tető súlyát (Kollár, 2022).



10. ábra j” tevékenység növekvő és csökkenő szigmoid tagsági függvényének Dombi-féle metszete

Forrás: A dokumentum szerzőjének saját szerkesztése 2. és 4.sz melléklet alapján

Ahogy az ábra mutatja, ennél a tevékenységnél viszonylag közel vannak egymáshoz az l , m , r értékek, ami azt jelenti, hogy nem olyan nagy mértékű a tevékenység átfutásának bizonytalansága, itt pontosabban meg lehet határozni a tevékenység átfutási idejét, hogy mikorra várható a befejezés. A koszorú betonozásához hozzátartozik a betonacél-szerelés, amit aztán a műszaki ellenőrök jóváhagynak, ha megfelelő az elkészítés, majd ezután a koszorú betonozása következik, aminek a szilárdulása általában 14 napot vesz igénybe (betonminőség, utókezelés, időjárási viszonyok). Ehhez hozzá kell számítani, ha még nem megfelelő a szilárdulás, ekkor még további várakozás szükséges, ami után újra ellenőrzik, és ha megfelelt, indulhat a következő tevékenység. A tervezés során tehát a koszorú betonozására körülbelül 19 napot érdemes számolni.

Egy másik tevékenységet tekintve, a „p” jelű magában foglalja mindazt, amit az azt megelőző projektlépések nem érintettek, de még szükséges elvégezni ahhoz, hogy a ház belső munkálatai teljesen készek legyenek. Az egyéb szakipari munkákhoz tartoznak például a festő és burkoló munkálatok, közművek bevezetése, csapok, szaniterek, belső nyílászárók elhelyezése. A 11.ábra mutatja ezeknek a folyamatlépéseknek az összevont átfutási idejét.

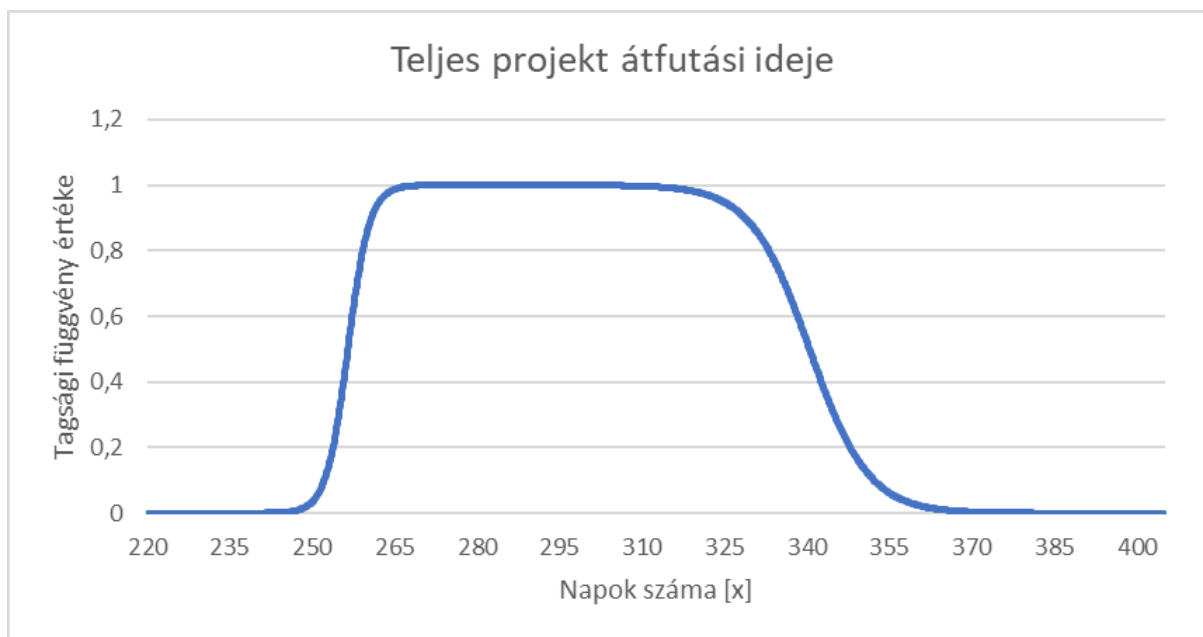


11. ábra „p” tevékenység növekvő és csökkenő szigmoid tagsági függvényének Dombi-féle metszete

Forrás: A dokumentum szerzőjének saját szerkesztése 2. és 4.sz melléklet alapján

A szakipari munkák összetettsége és sokszínűsége miatt több ember összehangolt munkájára van szükség, mint látható, ebből kifolyólag nagyobb a bizonytalanság a projektlépés átfutási idejét illetően. A becslések alapján az l , m és r értékek ennél a folyamatnál 47, 55 és 77 napra tehetőek. A tényleges végső átfutás függ az erőforrások megfelelő rendelkezésre állásától, tehát az erőforrásoknak, eszközöknek ott kell lennie időben, ahol a munkásoknak szükségük van rá. Az alapanyagok késése, munkások lemondása, betegsége egyaránt a tevékenység átfutási idejét növelik.

A teljes projekt átfutási ideje is meghatározható fuzzy szigmoid tagsági függvényekkel, ehhez az egyes tevékenységek becslésből származó l , m , r értékét kell aggregálni, ahogy az a 10. egyenletben (3.2. fejezetben) bemutatásra került. Ekkor az összes (kritikus úton elhelyezkedő) tevékenység átfutási idejének bizonytalansága bele lesz kalkulálva a tagsági függvénybe, amely kellően szemléltetni a projektvezetők számára, hogy mi lenne az ideális dátum kitűzés a projekt befejezésére (12.ábra).



12. ábra A teljes projekt növekvő és csökkenő szigmoid tagsági függvényének Dombi-féle metszete

Forrás: A dokumentum szerzőjének saját szerkesztése 2. és 4. számú melléklet alapján

A teljes projekt átfutási ideje láthatóan már sokkal nagyobb bizonytalanságot hordoz magában, itt az l , m , r értékek a kritikus tevékenységek átfutási ideje alapján 234, 279 és 402 napra lettek kalkulálva. Ez az idő természetesen a megadott számok között bárhol elhelyezkedhet, ezért folytonos a függvény, a tagsági függvény értéke pedig például a 270. és a 310. napok között közelítőleg egy, amely azt jelzi, hogy a legvalószínűbb befejezési ideje a projektnek e két érték között van. Az ábra és a számítások alapján meghatározható, hogy a teljes projekt átfutási ideje biztosan nem lesz kevesebb, mint 234 nap és biztosan nem lesz több, mint 402 nap, de a legvalószínűbb átfutás 279 napra határozható meg, így a szerződéseket erre az időre érdemes kötni. Ugyanakkor ahogy haladunk előre a későbbi projektfázisokban, egyre nagyobb lesz a bizonytalanság, láthatóan az l és r értékek egyre „messzebb kerülnek” egymástól, jól demonstrálva azt, hogy minél távolabbi időre történik a tervezés, az annál nagyobb bizonytalanságot hordoz magában.

A fejezetben bemutatott kritikus út klasszikus hálótervezési módszerrel került meghatározásra, viszont ez a gyakorlatban nem feltétlenül determinisztikus, tehát nem határozható meg teljesen egyértelműen a tervezés során, hogy mely tevékenységek fognak a kritikus úton helyezkedni. Mivel néhány projektlépésnél nagyon közel vannak egymáshoz az átfutási idők legkorábbi, legvalószínűbb és legkésőbbi befejezési időpontjai pl.: d tevékenység l , m , r értékei rendre 6, 7, 10, ugyanakkor e tevékenység ugyanezen értékei 7, 8, 14-re adódnak.

Az adatok alapján látható, hogy a dolgozatban *e* tevékenység került megjelenítésre a kritikus úton, de ahogy halad a projekt lehet, hogy *d* tevékenység később fog befejeződni, ami miatt majd annak az átfutása lesz kulcsfontosságú a projekt egészére nézve. Tehát ha mind a *d*, mind az *e* tevékenység annak legvalószínűbb befejezési ideje alatt zajlik le, azaz 7 és 8 nap alatt, akkor az *e* tevékenység lesz a kritikus úton, míg a *d* tevékenységen egy nap tartalékidő van. Azonban elképzelhető az, hogy az *e* tevékenység befejeződik 7 nap alatt, míg a *d* tevékenység elhúzódik 10 napig, ekkor már a *d* tevékenység lesz a kritikus úton. Chanas és Zieliński (2001) azt vizsgálta, hogy hogyan határozható meg a projekt kritikus útja abban az esetben, ha fuzzy értékkel történik az egyes tevékenységek átfutási idejének reprezentálása. Liang és Han (2004) cikkében fuzzy környezetben mutatja be a hálótérvezés nehézségeit és javaslatot tesz a megoldásra, különböző algoritmusokat alkalmazva. Zammori et al. (2009) a lehetségesen felmerülő kockázatokat és az ezek miatti bizonytalanságot mutatta be, ezzel magyarázva a fuzzy logika szükségességét.

A következő fejezetekben bemutatásra kerül, hogy milyen nehézségekkel kell kalkulálni a befejezési dátum meghatározása során, emellett, hogy ezek a nehézségek mennyire gyakoriak és mennyire lényeges hatással vannak az átfutási időkre. A projektvezetők munkáját ez a bizonytalanság nehezíti, a szerződéskötések előtt meg kell szervezni az egyes lépéseket, és ezután ezekhez a tervekhez ragaszkodni kell, hogy minden úgy haladhasson, ahogyan a tervezés során meghatározták.

4.3. A projektre hatással lévő kockázatok, bizonytalanságok

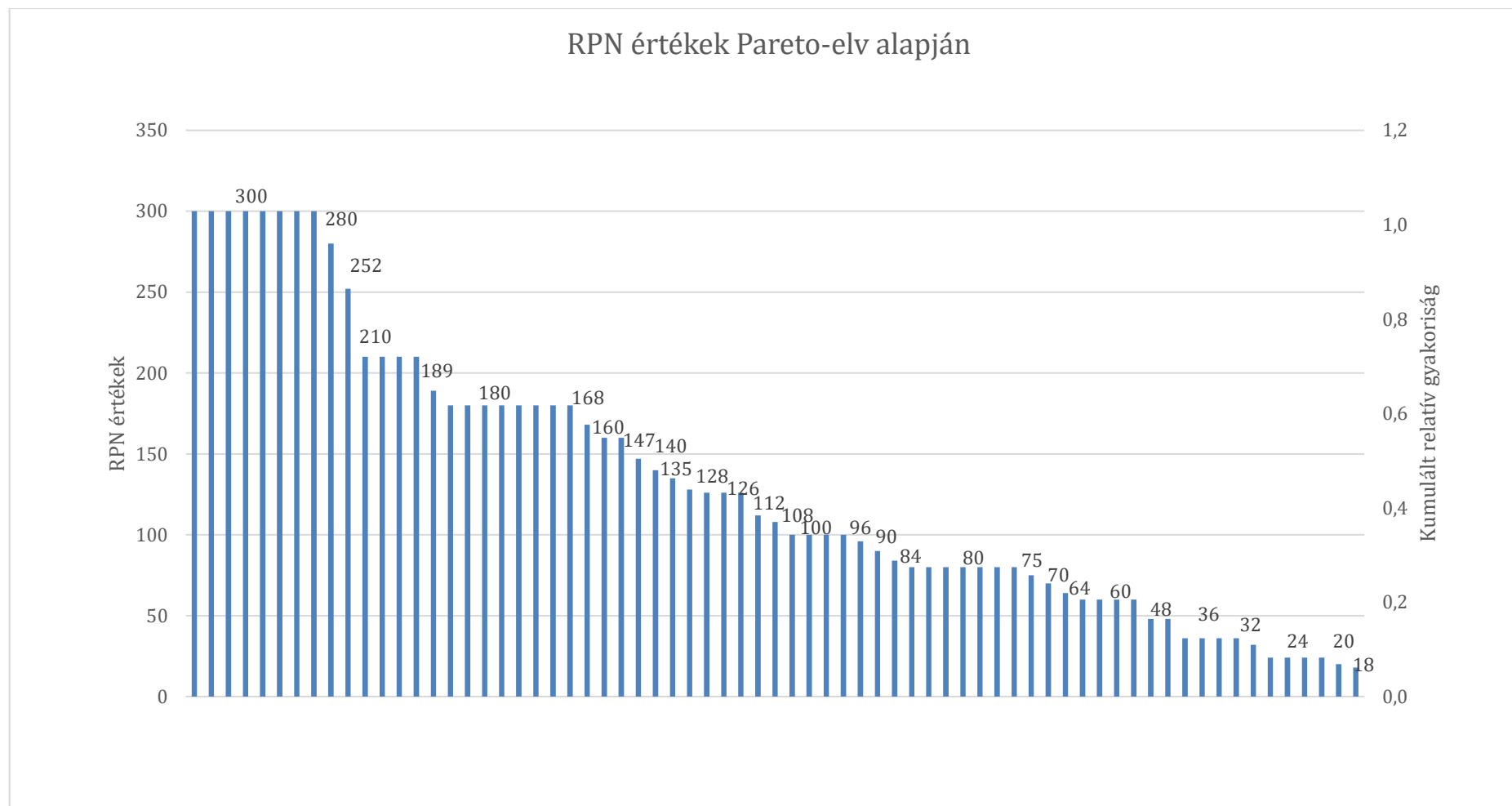
Az egyes projektlépések átfutása a gyakorlatban nem mindig megy olyan zökkenőmentesen, ahogyan azt a tervezés folyamatában felvázolták. Ebben a fejezetben az egyes folyamatlépések során felmerülő kockázatok kerülnek bemutatásra.

A hálótérben bemutatott lépések közül a kritikus úton elhelyezkedő tevékenységek egyes kockázatait kerülnek felsorolásra. Ehhez először meg kell határozni a determinisztikus hálótér alapján a kritikus úton elhelyezkedő tevékenységeket (4.1. fejezet), mert ezen tevékenységek elvégzése során nincsen tartalékidő, így az adott kockázatok bekövetkezése a projekt egészének csúszását jelentené. A következő lépés során pedig minden egyes lehetséges kockázat felsorolásra kerül, amelyek a kritikus úton lévő tevékenységekre lehetnek hatással, projektlépésekre lebontva, figyelembe véve az ok-okozati összefüggéseket (Colman, 2014). Minél több kockázatot sikerül azonosítani, annál jobban fel tud készülni a projektvezető és a

szakmunkás brigád, hogy az egyes lépéseknél mire kell különös figyelmet fordítani. Az FMEA használatával az a cél, hogy megelőzzék a hibák bekövetkezését és minimalizálják a következményeket (Song, 2007). Minden egyes azonosított kockázati forrásnál azonosítani kell a súlyosságát, hogy mekkora befolyással van az átfutási időre, gyakorisága az előfordulás valószínűségét jelenti, a felderítés pedig, hogy az intézkedések, amiket megtesz a projekt csapat, hogy kiküszöböljék az adott kockázatot (Pyzdek, 2003). Amint az már a 3.3. fejezetben említésre került, a három jellemző mindegyikét 1-10-es skálán kell pontozni, majd összeszorozni. Így adódik mindegyik kockázati forrás *RPN* értéke, ami alapján könnyedén sorba lehet állítani a kockázatok, hogy melyekre kell a legnagyobb figyelmet és hangsúlyt fektetni a tervezés és a megvalósítás során egyaránt (Colman, 2019).

Az 5.sz. melléklet tartalmazza azokat a kritikus úton lévő tevékenységekre vonatkozó kockázatok, melyek egy ház felépítése során felmerülhetnek és negatív hatással lehetnek az átfutási időkre. A felsorolt kockázatok *RPN* értékét Pareto-elv⁵ szerint sorbarendeve, az alábbiakban látható diagram (13.ábra) alapján általánosságban elmondható, hogy leginkább az időjárás viszonyosságai, a nem megfelelő létszám és a szükséges anyagok és erőforrások hiánya jelentik a projekt egészére nézve a jelentős kockázatok forrását, ezek összessége majdnem minden egyes projektlépésnél számításba veendő. A kockázatok közül a legsúlyosabbakra megelőzési javaslat is készül (5. fejezet).

⁵ Pareto elv: az adatok kis mennyisége (20%-a) felelős a hatások 80%-áért (Sanders, 1987; Lipovetsky, 2009).



13. ábra Egyes folyamatlépések és kockázataik RPN értékének meghatározása FMEA módszerrel.

Az x tengely mentén, az RPN értékek alapján sorbarendezett kockázatok közül az 1. helyen az időjárás bizonytalansága, a 2. helyen a kiválasztott szakemberek túlterheltsége, 3. helyen az átadás előtt közvetlenül észrevett, hanyag szakemberek miatt elkövetett hibák miatti csúszás áll.

Forrás: A dokumentum szerzőjének saját szerkesztése 5.sz. melléklet alapján

Amint az a 13. ábrán látható, a magasabb *RPN* értékkel rendelkező kockázati források a legfontosabbak, hogy különös figyelemmel kísérjék a felelősök, mert ezek lehetnek a legnagyobb hatással a projektlépések átfutására. A magas *RPN* érték ugyanakkor különbözőképpen is előállhat, lehet, hogy egy súlyos hibáról van szó, amit felderíteni is nehéz a jelenlegi folyamatkontrollal, de egy viszonylag gyakrabban előforduló nem olyan súlyos hiba is hátráltathatja a munkát (Kumru & Kumru, 2013). Az 5.sz mellékletben felsorolt kockázatok arra mutattak rá, hogy a legnagyobb bizonytalanságot az időjárás jelenti, 300-as *RPN* értékkel, mely több projektlépés haladását akadályozhatja, köztük a betonozások, külső hőszigetelés és az ács munkák. Egy következő, elég nagy hatással bíró kockázat lehet, ha a szakembereknek kiküldött tervekre, ajánlatokra nem érkeznek vissza árajánlat a túlterheltségük miatt. Valószínűleg a projektvezetők azért nekik küldik az ajánlatot, mert azt a brigádot tartották volna a legmegfelelőbbnek a feladat elvégzésére, de ebben az esetben az együttműködés nagy eséllyel nem fog megvalósulni. 252-es *RPN* értékkel viszonylag nagy problémát jelent, ha az átadás során derül fény még fennmaradó hiányosságokra, mert ezeket pótolni kell a munka precíz kivitelezéséhez, ezáltal a megrendelő csak később veheti át az elkészült házat. A szakipari munkák, gépészeti és elektromos szerelések során gyakori probléma lehet a munkák hibás kivitelezése, akár a szakemberek hanyagsága, akár a hozzá nem értésük miatt történik a hiba, mindegyik esetben tovább tart kijavítani az elrontott szereléseket, mintha eredetileg helyesen készítették volna el, projektvezetői felügyelet mellett.

Csupán néhány kockázatot felsorolva is látható, hogy a projektvezetők figyelme mindenre ki kell, hogy terjedjen, ehhez a tervek pontos előkészítése, ismerete és a haladás folyamatos nyomonkövetése szükséges. Már bekövetkezett problémákra minél hamarabbi és hatékony javítási terv kell, hogy készüljön. A hibák súlyosságának, előfordulásának csökkentése vagy az ellenőrzések szigorítása is lehetséges eszköze az *RPN* értékek csökkentésének, de látható lesz, hogy ezek az értékek sem feltétlenül determinisztikusak, azaz természetes bizonytalansággal terheltek. Egy későbbi (5.) fejezetben a hibák megelőzésére vagy hatásuk csökkentésére szolgáló lehetséges javaslatok kerülnek bemutatásra.

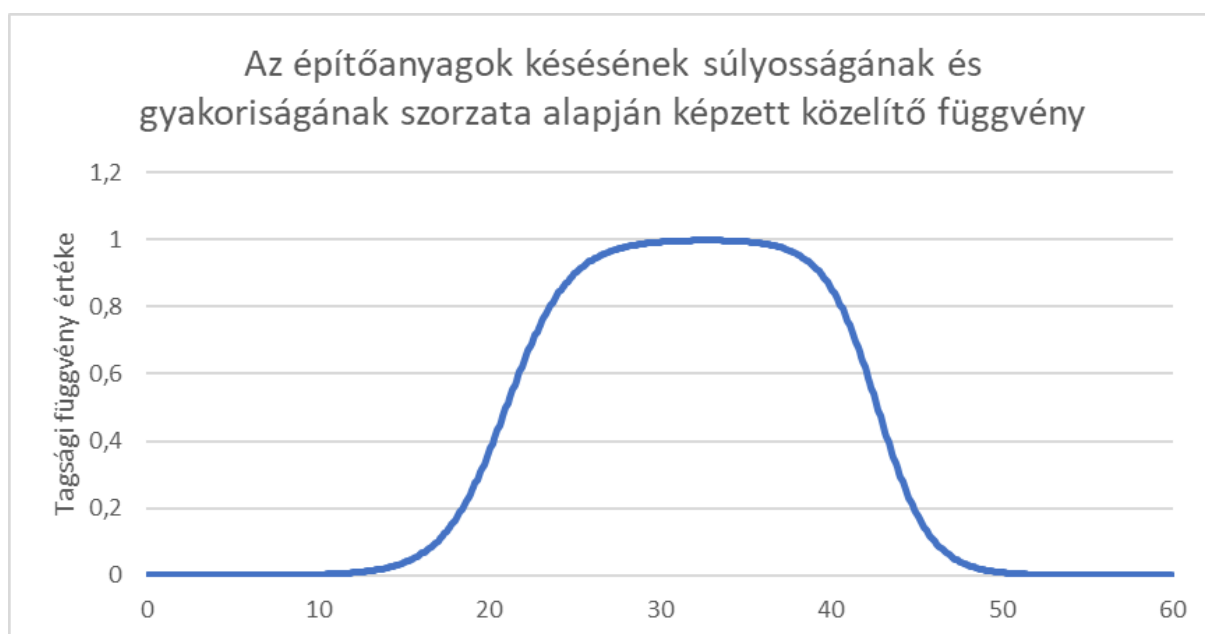
4.4. Fuzzy FMEA bemutatása

Az esetlegesen fellépő kockázatok meghatározása során mindegyik kockázati tényező egy súlyossági, gyakorisági és felderíthetőségi értékkel kerül meghatározásra. A gyakorlatban nehezen állapítható meg, hogy például, ha a beszállító rossz minőségű, vagy sérült anyagot szállít az építkezésre, az mennyire súlyosan befolyásolhatja a megfelelő haladást az adott projektlépésnél. Elképzelhető, hogy az ácsmunkálatoknál szükséges lécek közül csak egy sérült, akkor mehet tovább a munka a jó anyagokkal, csak a nem megfelelőek helyet kell újat beszerezni. Ha egyik anyag sem használható megfelelően, akkor nagyon körülményes, amire felveszik a kapcsolatot a beszállítóval, jelzik a problémát, megrendelik az új szállítmányt, ha van raktáron, lehet, hogy gyorsabb a szállítás, de ha még raktárról sem érhetőek el a termékek, akkor még további várakozást jelent, amire a nagykereskedelemtől be tudják szerezni az igényelt anyagokat. Az ilyen előre meg nem határozható körülmények nagyfokú bizonytalanságot hordoznak magukban. A bizonytalanságok mértékének eltérő volta miatt, az FMEA hátrányainak kiküszöbölésére a fuzzy FMEA módszer használható. A módszer során egy-egy váratlan esemény (például) súlyosságát három esetben is felvázolja. Az l érték jelzi, hogy legjobb esetben is mekkora az a kockázat, ami mindenképp felmerülhet a megvalósítás során, ez azokra a körülményekre vonatkozik, amit egyszerűen nem lehet kikerülni és mindenképpen számolni kell vele, hogy előfordulhat. Például egy váratlan zivatar bármikor elmoshatja az építkezés helyszínét, viszont egy nyári nagy melegben, amikor jó időt jeleznek előre, akkor kicsi a bekövetkezési esélye. Az m érték mutatja, hogy átlagosan mekkora kockázat a legvalószínűbb, hogy egy adott tevékenység során valamilyen gond felmerül. Hiába kötnek a projektvezetők egyezséget a dolgozókkal, hogy 5 nap alatt befejezik az egyik munkafolyamatot, ha egy munkás aznap reggelre betegszik le, azzal sajnos előre nem tudnak kalkulálni. A legnagyobb bizonytalanságot a legváratlanabb helyzetek során kialakuló kockázatok jelentik. Nem biztos, hogy eléggé fel lehet készülni előre arra, hogy mi fog történni, ha az építkezésre érkező beton szállító autó balesetet szenved, mert nagyon csekély rá az esély, hogy ilyen fog történni. Lehet tartalék betonüzemmel előre felvenni a kapcsolatot, viszont a hirtelen hívás őket is majdnem váratlanul fogja érni, nehézkesen indítanak új autót, nagy mennyiségű anyaggal, mert más leszerződött megrendelőik is vannak.

A hagyományos FMEA módszer egyik hátránya, hogy múltbeli, sokszor csak hasonló eseményeket számbavéve, elfogult értékelésekkel és jellemzésekkel kerülhetnek meghatározásra a kockázatok jellemzésére szolgáló értékek (Kumru & Kumru, 2013). Ez

alapján a kalkulált *RPN* érték sem a valóságot fogja mutatni, mert egy már végbement esemény alapján történt az *l*, *m*, *r* érték feltüntetése, ezáltal nem egy jövőbeli, előrevetített történetet jellemez.

A fuzzy FMEA módszer során minden kockázatnak minden paraméterére három jellemző adat kerül meghatározásra a szakértők által (6. sz. melléklet). Minden projektlépés során számolni kell azzal, hogy legideálisabb esetben is övezi valamekkora bizonytalanság. A három *l*, *m*, *r* értékkel megadott fuzzy *S*, *O*, *D* mérőszámot összeszorozva egy fuzzy *RPN* érték is előállítható (Tay & Lim, 2006) A dolgozatban a kockázat súlyosságának és az előfordulás gyakoriságának megadott értékeinek összeszorozása (ugyanazzal a logikával, amellyel az összeadás is történt (Dombi, 2009)) kerül röviden bemutatásra (14.ábra).



14. ábra Közelítő szigmoid függvény egy projektlépés súlyosságának és gyakoriságának értékeinek szorzata
Forrás: Saját szerkesztés a 6. számú mellékletben található szakértői becslések alapján, 8. számú mellékletben található képleteket felhasználva (Dombi, 2009)

A függvény meghatározásához a hálótervben *f*, *g*, *h*, *i*, *j*, *k*, *l*, *m*, *n*, *o*, *p* jellel jelölt tevékenységek anyagbeszerzési késéséhez kapcsolódó adatok a következő értékekre adódtak a fuzzy FMEA logikát felhasználva: a hibás vagy részleges szállítás súlyosságához kapcsolódó *l*, *m*, *r* értékek 5, 9, 10-es értékkel bírnak (azaz a súlyosság legalább 5-ös, legvalószínűbb, hogy 9-es és biztosan nem nagyobb, mint 10-es), míg ugyanennek gyakorisága 2, 3, 5 értékű a szakértők tapasztalatai alapján. Ha nem jó anyagot szállítanak le az építkezésre, vagy kimaradnak lényeges tételek, az nagyban hátráltathatja a munkát, ugyanakkor kellőképpen fel

lehet rá előre készülni, hogy ne történhessen ilyen, például a szállítólevél ellenőrzésével, beszállítókkal való folyamatos kapcsolattartással. A súlyosság és gyakoriság növekvő szigmoid tagsági függvényéhez tartozó α_l és λ_l paraméter és a csökkenő szigmoid tagsági függvényhez tartozó α_r és λ_r paraméterek az alábbi módon szorzandók össze (Dombi, 2009), de fontos megemlíteni, hogy ezek közelítések két fuzzy szám szorzatára:

$$\alpha_{l1} \cdot \alpha_{l2} = \alpha_l \quad (25.)$$

$$\alpha_{r1} \cdot \alpha_{r2} = \alpha_r \quad (26.)$$

$$\frac{1}{4} \cdot \frac{1}{\frac{\alpha_{l1}}{\lambda_{l2}} + \frac{\alpha_{l2}}{\lambda_{l1}}} = \lambda_l \quad (27.)$$

$$\frac{1}{4} \cdot \frac{1}{\frac{\alpha_{r1}}{\lambda_{r2}} + \frac{\alpha_{r2}}{\lambda_{r1}}} = \lambda_r \quad (28.)$$

Az egyenletek és tételek magyarázata és bizonyítása megtalálható: Dombi, 2009, p. 36.

Az egyenleteket (25., 26., 27. és 28.) felhasználva már meghatározhatóak a csökkenő és növekvő szigmoid tagsági függvényekhez szükséges értékek, melyeket Dombi-féle metszet szerint lehet ábrázolni. Az fuzzy *RPN* értékek meghatározásához az *S*, *O* és *D* értékek összeszorozására lenne szükség és egy közelítő függvény létrehozásával megfelelően lehet szemléltetni, hogy fuzzy logika szerinti sorbarendezés után melyik kockázatok bírnak a legnagyobb hatással a projekt egészére (Baykasoglu & Gölcük, 2020). A fuzzy értékek sorbarendezésének egyszerűsítése végett érdemes a kapott értékeket a 12. egyenlet szerinti módon defuzzifikálni, egyetlen éles értékévé visszaalakítani.

5. Következtetések

A dolgozat egy családi ház kivitelezését mutatja be a megrendelői igény beérkezésétől a már elkészült ház átadásáig. A tervek előkészítése során a projektvezetők minden szükséges lépést feltüntetve elkészítik a hálótervet, ami alapján az egyes tevékenységek és a szükséges látszattevékenységek sorrendjét határozzák meg. Azok a tevékenységek, amelyeknek nincs tartalékidejük, azaz akár egynapos csúszás is a projekt egészére is hatással lehet, a projekt kritikus útján helyezkednek el, emiatt határidejük betartására különös figyelmet kell fordítani. A projekttagok közötti folyamatos visszajelzések elengedhetetlenek, a telefonos és személyes kapcsolattartás nélkülözhetetlen a hibák bekövetkezésének megelőzésére vagy a lehető leghamarabbi kijavítására.

A tervezés során számításba veszik, hogy mennyi az egyes tevékenységek átfutási ideje, emellett meg kell határozni, hogy mennyi idő alatt lehet leghamarabb elkészülni az adott tevékenységgel és mennyi idő, amire már biztosan minden esetben elkészül. Minél pontosabban határozzák meg az átfutási időket, annál könnyebb átlátni, hogy mikor indulhat egy-egy projektlépés.

Az építőipari projektek összetettsége miatt egy ház építése során is rendkívül sok a hibalehetőség, melyek a projektre nézve időbeli kockázatot jelentenek. Kellő alaposággal azonban fel lehet készülni egy adott hiba bekövetkezésakor az azonnali elhárítására, ha a megelőzésére nincs is hatékony, biztos módszer.

Az előző fejezetben ábrázolt (13.ábra) legmagasabb *RPN* értékű kockázatok, amelyek a legnagyobb hibalehetőséget hordozzák magukban. Az időjárás a legnagyobb és legnehezebben kezelhető kockázat az összes közül. A betonozási műveleteket az esőzés és fagy gyakoriságának csökkentésére úgy szokták időzíteni, hogy ezek lehetőleg a legkisebb mennyiségben befolyásolják a munkálatokat. Amikor már folyamatban van a munka, az időjárás jelentések folyamatos szemmel tartása elengedhetetlen, és a betonüzemmel való kapcsolattartás pedig lehetővé teszi, hogy az autók akkor szállítsák csak oda a szükséges betonmennyiséget, amikor azt ténylegesen fel is tudják használni és be is tudják fejezni a kijelölt munkálatokat. A betonüzem esetleges meghibásodása esetére tárgyalhat a projektvezető egy tartaléküzemmel, aki akkor kerülne értesítésre, ha az eredeti betonüzemmel való munka során valami probléma adódna. Az esőzések után felázott területet a nagy anyagszállító autók nem fogják tudni megközelíteni, ennek kiküszöbölésére készíthetnek ideiglenes bejáró utat,

melynek anyagát a későbbi térburkolat alapjaként fel lehet használni. Előfordulhat, hogy nem olyan képesítésű munkások érkeznek, mint a szerződésben foglaltak, vagy pedig nem annyi a létszám, mint amennyiben megegyeztek. A szakemberek hanyagsága ellen folyamatos projektvezetői felügyelet szükséges, aki szemmel kíséri a munka haladását és szükség esetén azonnal beavatkozhat. A nem megfelelő létszám miatt, ha nem elég a szakember, súlyos csúszások léphetnek fel bármelyik projektlépés során. A megfelelő létszámú kivitelezői csapat érkezését szigorú szerződések kötésével és magas kötbér megállapításával biztosíthatják be. Egy másik említésre méltó hibalehetőség, ami elég gyakori lehet, az a szükséges anyagok késedelmes megérkezése. Érdemes lehet több szállítóval felvenni a kapcsolatot és megtárgyalni velük, hogy mikor, melyik anyagból, mekkora mennyiségre lesz szükség, hogy biztos időben rendelkezésre álljon és ne legyen készlethiány. Késedelmes szállítás megelőzésére kötbér kikötése lehet egy jó megoldás.

A dolgozat útmutatót ad és új gyakorlatot mutat be egy adott vállalkozás számára a projektek megfelelő ütemezésére és időzítésére, példákat mutat be átfutási idők fuzzy szigmoid tagsági függvényekkel való meghatározásához és leírásához és az FMEA módszer segítségével támpontot nyújt a kockázatok elemzése során, hogy mely területekre kell több figyelmet fordítani, hogy az esetleges csúszásokat elkerülhessék vagy hatásukat csökkenthessék. A bemutatott módszertanok együttese képes a bizonytalanságok szemléltetésére, jól mutatja a hálótervben is, hogy minél későbbre terveznek, annál nagyobb a bizonytalanság. A módszertani skála sokszínűsége és megalapozottsága miatt univerzálisan, bármilyen hasonló jellegű projekt tervezésekor is használható támpontként a dolgozat, ugyanis a lehetséges kockázatok előfordulásának gyakorisága, súlyossága és rejtve maradásának valószínűsége is bemutatásra került, így a projektvezetők a tervezés során felkészülhetnek megfelelő tervezéssel és előkészületekkel.

Összefoglalás

A szakdolgozat a projektmenedzsment szempontjából követi nyomon egy családi ház építési folyamatait, melynek lépéseit különböző módszerek segítségével mutatja be. A feldolgozás során bemutatásra került, az egyes folyamatok sorrendisége, ezek időszükséglete, valamint a késedelmes, ill. hibás teljesítésekből adódó bizonytalanságok, kockázatok kezelése. A módszertani skála magában foglalja a hálótervezés gyakorlatát, mely során a projektlépések egymásutánja került feltüntetésre, különös figyelmet fordítva azokra a tevékenységekre, mint például a betonozás vagy a falazás, melyeknél a kritikus úton való elhelyezkedés miatt rendkívül fontos a határidők precíz betartása a csúszások elkerülése végett. A bizonytalanság és a sok egymás haladásától függő, késő projektlépés szemléltetésére szigmoid tagsági függvénnyel bíró fuzzy számok nyújtanak segítséget, melyek az átfutási idők bizonytalanságát megfelelően szemléltetik az illesztett függvényekkel, ezáltal a projektvezetők számára ad támpontot a szerződéskötések időzítésére. Egyes felmerülő kockázatok a projekt időbeli csúszását eredményezhetik, ezekre FMEA módszerrel való elemzés után, a bekövetkezési valószínűségük csökkentésére különböző javaslatok kerültek felsorolásra, mint például kötbér kikötése, időjárás jelentések folyamatos figyelése, erőforrások rendelkezésre állásának ütemezése, folyamatok megfelelő időzítése, de a legfontosabb a teljes projektet átható projektvezetői felügyelet, emellett a dolgozat röviden bemutatja az FMEA elemzés kiegészítését fuzzy logikával, a bizonytalanságok megfelelő szemléltetése céljából.

A dolgozat a bemutatott módszerek segítségével érthetővé teszi megrendelő és a projekt résztvevői számára is, hogy a kivitelezés során, a tervezéstől az átadásig elvégzendő munkák mennyi időt vesznek igénybe, milyen kockázatok léphetnek fel, ezek hogyan befolyásolják a tervezett ütemezést, és milyen intézkedések fogantatásával lehet minimalizálni ezek előfordulását.

Irodalomjegyzék

312/2012. (XI. 8.) Korm. rendelet Az építésügyi és építésfelügyeleti hatósági eljárásokról és ellenőrzésekről, valamint az építésügyi hatósági szolgáltatásról. Letöltve 2023.03.14., <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1200312.kor>

Ács, E. H. (1981). Hálótervezés a szakirodalmi tájékoztatásban. *Tudományos és Műszaki Tájékoztatás*, 28(10), 425–429.

Árva, G., Surman, V., & Tóth, Zs. E. (2017). Enhancing the Reliability of Measurements and Evaluations based on Service Quality Models. In The 8th International Conference on Education and Educational Psychology. DOI:[10.15405/epsbs\(2357-1330\).2017.10](https://doi.org/10.15405/epsbs(2357-1330).2017.10)

Árva, G., Tóth, Zs. E., Jónás, T., & Surman, V. (2019). Will the likert scale pass the final exam? A Novel, Fuzzy-number-based Evaluation of Supervisors' Performance. In The 10th International Odyssey Conference on Economics and Business, 300–316.

Banaitiene, N., & Banaitis, A. (2012). Risk Management in Construction Projects. In *Risk Management-Current Issues and Challenges*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/51460>

Baykasoğlu, A., & Gölcük, İ. (2020). Comprehensive fuzzy FMEA model: a case study of ERP implementation risks. *Operational Research*, 20, 795-826.

Bokor, O., Kocsis, T., & Szenik, G. (2011). New tools in project scheduling. *Challenges of the construction project planning*. ISSN: 2081-3279

Bonnal, P., Gourc, D., & Lacoste, G. (2004). Where do we stand with fuzzy project scheduling? *Journal of Construction Engineering and Management, American Society of Civil Engineers*, 130(1), 114–123. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2004\)130:1\(114\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2004)130:1(114))

Carbone T. A. & Tippet, D. D. (2004). Project risk management using the project risk FMEA. *Engineering Management Journal*, 16(4), 28–35.

Chanas, S., & Zieliński, P. (2001). Critical path analysis in the network with fuzzy activity times. *Fuzzy sets and systems*, 122(2), 195-204.

Colman, N., Stone, K., Arnold, J., Doughty, C., Reid, J., Younker, S., & Hebbar, K. B. (2019). Prevent safety threats in new construction through integration of simulation and FMEA. *Pediatric Quality & Safety*, 4(4), e189.

- Cserpes, I. (2016). Az építési projekt fázisai és a kockázati tényezők összefüggései. *Gradus*, 3(1), 324–329. ISSN 2064-8014 324
- Dombi, J. (2009). Pliant Arithmetics and Pliant Arithmetic Operations. *Acta Polythenica Hungarica*, 6(5), 19–49.
- Dombi, J. (2012). *Intelligens rendszerek*. Typotex Kiadó.
- Dombi J., & Györbíró, J. (2006): Addition of sigmoid-shaped fuzzy intervals using the Dombi operator and infinite sum theorems. *Fuzzy Sets and Systems*, 157, 952–963.
- Dombi, J., Jónás, T., & Tóth, Z. E. (2017). A pliant arithmetic-based fuzzy time series model. In *Advances in Computational Intelligence: 14th International Work-Conference on Artificial Neural Networks, IWANN 2017, Cadiz, Spain, June 14-16, 2017, Proceedings, Part II 14*, 129–141.
- Gido, J., Clements, J., & Baker, R. (2015). *Successful Project Management* (7). Cengage Learning.
- Gładysz, B. (2020). Type-2 fuzzy numbers in models of the duration of a project affected by risk. *Journal of Decision Systems*, 2020(29), 375–382, DOI: 10.1080/12460125.2020.1848383
- Gosling, J., Naim, M. & Towill, D. (2013). Identifying and categorizing the sources of uncertainty in construction supply chains. *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(1), 102–110.
- Görög, M., Pupos, T. & Tóth, T. (2007). A projekttervezés lényege, alkalmazásának fontossága és sajátosságai. In J. Cser & T. Tóth (Eds.), *Területi és projekttervezési ismeretek* (1). Debreceni Egyetem Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma Agrárgazdasági és Vidékfejlesztési Kar.
- Greco, V. & Roger, D. (2001). Coping with uncertainty: The construction and validation of a new measure. *Personality and Individual Differences*, 31(4), 519–534.
- Guimarães, A. C. F., & Lapa, C. M. F. (2004). Fuzzy FMEA applied to PWR chemical and volume control system. *Progress in Nuclear Energy*, 44(3), 191-213.
- Hajdu, M. (2008). Projekttervezés: múlt, jelen és jövő. *Vezetéstudomány, Budapest Management Review*, 39(2), 51–59.

Hajdu, M. (2018). Új eredmények a projektek tervezésében és kontrolljában. Habilitációs Értekezés.

Ibadov, N. (2018). Construction project planning under fuzzy time constraint. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2019(16), 4999–5006.

Jarjabka, Á. (2008). Projektmenedzsment ismeretek (2). Pécsi Tudományegyetem Közgazdaságtudományi Kar. ISBN 978-963-642-261-5

Jarjabka, Á., Ásványi, Zs., Hornyák, M., Merza, P., Sipos, N., Vajkai, A., Kremmer, L., Dobos, O. (2020). Projektmenedzsment ismeretek (3). Pécsi Tudományegyetem Közgazdaságtudományi Kar.

Karamoozian A. & Wu, D. (2020). A hybrid risk prioritization approach in construction projects using failure mode and effective analysis. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 27(9), 2661–2686. DOI: 10.1108/ECAM-10-2019-0535

Kerekes, G. (2014). Projektmenedzsment. [Egyetemi tananyag, Nemzeti Közszerológati Egyetem]

Kóczy, T., L. & Tikk, D. (2001). *Fuzzy rendszerek*. Typotex Kiadó.

Kollár, L. (2022). Bevezetés a tartószerkezetek tervezésébe. Akadémiai Kiadó.

Kövesi, J. (2015). *Menedzsment és vállalkozásgazdaságtan: Üzleti tudományi ismeretek*. Typotex Kiadó.

Kuzmiák, M. (1971). A hálótervezés kezdeti lépései a nagygazdaságokban. *Gazdálkodás: Scientific Journal on Agricultural Economics*, 15(7), 19–30.

Kumru, M., & Kumru, P. Y. (2013). Fuzzy FMEA application to improve purchasing process in a public hospital. *Applied soft computing*, 13(1), 721-733.

Liang, G. S., & Han, T. C. (2004). Fuzzy critical path for project network. *Information and Management Sciences*, 15(4), 29-40.

Liang, G. S., Chou, T. Y., & Kan, S. F. (2006). Applying fuzzy quality function deployment to identify service management requirements for an ocean freight forwarder. *Total Quality Management & Business Excellence*, 17(5), 539-554.

Lin, H. T. (2010). Fuzzy application in service quality analysis: An empirical study. *Expert systems with Applications*, 37(1), 517-526.

Lipovetsky, S. (2009). Pareto 80/20 law: derivation via random partitioning. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 40(2), 271–277.

Lockyer, K., & Gordon, J. (2000). *Projektmenedzsment és hálós tervezési technikák*. Kossuth Kiadó.

Matiszkó, A. (2019). Fuzzy értékelőskála használata a fesztiválminőség értékelésére. [BSc szakdolgozat, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar]

Mills, A. (2001). A systematic approach to risk management for construction. *Structural Survey*, 19(5), 245–252. ISSN: 0263-080X

Mujumdar, P. P., & Sasikumar, K. (2002). A fuzzy risk approach for seasonal water quality management of a river system. *Water Resources Research*, 38(1), 5-1.

Olabode, E. O. (2015). Risk Classification Model for Design and Build Projects. *Covenant Journal of Research in the Built Environment*, 3(1).

Pan, W., Gibb, A. G. F. and Dainty, A. R. J. (2012). Strategies for Integrating the Use of Offsite Production Technologies in Housebuilding. *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*.

Perera, S. & Heaney, G. (2011). A methodology for evaluating construction innovation constraints through project stakeholder competencies and FMEA. *Construction Innovation*, 11(4), 416–440.

Pyzdek, T. (2003). The Six Sigma Handbook, 590–600.

Sanders, R. (1987). The Pareto principle: its use and abuse. *Journal of Services Marketing*, 1(2), 37–40. <https://doi.org/10.1108/eb024706>

Schieg, M. (2006) Risk management in construction project management. *Journal of Business Economics and Management*, 7(2), 77–83, DOI: 10.1080/16111699.2006.9636126

Sebestyén, Z. Projektmenedzsment. [Egyetemi jegyzet, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem]

Sebestyén, Z., Szabó, G. Cs. & Nagy, J. B. (2007) Projektek minőségmenedzsment módszerei. *Vezetéstudomány*, 38(12), 43–51.

Setnes, M., & Roubos, H. (2000). GA-fuzzy modeling and classification: complexity and performance. *IEEE transactions on Fuzzy Systems*, 8(5), 509-522.

Song, J., Yu, J. & Kim, C. (2007). Construction Safety Management Using Fmea Technique: Focusing On The Cases Of Steel Frame Work. Department of Construction Engineering, University of Kwang-woon, Wallgyedong 447-1, Nowongu, Seoul, Korea. In: Boyd, D (Ed) Procs 23rd Annual ARCOM Conference, 3-5 September 2007, Belfast, UK, Association of Researchers in Construction Management, 55–63.

Sztrapkovics, B. (2020). A lean menedzsment alkalmazásának lehetőségei az építőipari logisztikában [Doktori értekezés, Debreceni Egyetem]

Tabish, S. Z. S., & Jha, K. N. (2012). Success traits for a construction project. *Journal of construction engineering and management*, 138(10), 1131–1138.

Tay, K. M., & Lim, C. P. (2006). A guided rule reduction system for prioritization of failures in fuzzy FMEA. In *Applications of Soft Computing: Recent Trends* (pp. 301-310). Springer Berlin Heidelberg.

Tóth, Zs. (2020). A projekttervezés alapjai [Egyetemi jegyzet, Soproni Egyetem]

Tóth, Zs. E., Jónás, T., Árva, G., Surman, V. (2019). Fuzzy Likert skála alkalmazásának előnyei egy felsőoktatási példán keresztül. *SZIGMA Matematikai-közgazdasági folyóirat*, 50(1-2), 59–88. Vattai, Z., A. (2016). Építési projektek szervezése. Hálós időtervezés. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem. Építéskivitelezési Tanszék.

Yu, J. H., & Lee, S. K. (2012). A conflict-risk assessment model for urban regeneration projects using Fuzzy-FMEA. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 16, 1093-1103.

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338–353.

Zadeh, L. A. (1971). Similarity relations and fuzzy orderings. *Information sciences*, 8, 177–200.

Zammori, F. A., Braglia, M., & Frosolini, M. (2009). A fuzzy multi-criteria approach for critical path definition. *International Journal of Project Management*, 27(3), 278-291.

Mellékletek

1. sz. melléklet: Megelőzési terv

Tevékenység kódja	Megnevezés	Időtartam	Közvetlen megelőző tevékenység kódja
a	Tervezés	30	
b	Engedélyeztetés	25	a
c	Kivitelezési szerződések előkészítése	5	a,b
d	Ajánlatok kérése	7	b,c,e
e	Anyagbeszerzés	8	b,c,d
f	Alapozás	22	d,e
g	Fogadó szint	28	f
h	Teherhordó fal	10	g
i	Válaszfal	5	g
j	Koszorú	19	i,h
k	Külső munkák	43	g
l	Ács munkák	21	j
m	Elektromos szerelés	4	l
n	Gépészet	21	l,m
o	Külső hőszigetelés	20	l
p	Egyéb szakipari munkák	55	m,n,o
q	Átadás	40	k,o,p

2. sz. melléklet: Szakértői becslések

Ábra		Szakértői becslések		
Folyamatábra	Hálóterv	l	m	r
Építés elhatározása	a	25	30	50
Tervezés				
Engedélyeztetés	b	20	25	40
Kivitelezési szerződések előkészítése	c	4	5	8
Ajánlatkérés (szerződéskötés)	d	6	7	10
Anyagbeszerzés	e	7	8	14
Humusz leszedése	f	17	22	28
Geodézia kitűzés				
Alapárok kiemelése				

Betonacél-szerelés	g	22	28	35
Műszaki ellenőrzés				
Alap betonozása				
Szilárdulás ellenőrzése				
Lábazati fal készítése				
Gépészeti alapszerelés				
Feltöltés készítése				
Tömörség ellenőrzése				
Betonacél-szerelés				
Aljzat betonozása				
Szilárdulás ellenőrzése				
Teherhordó falak felhúzása	h	8	10	15
Válaszfalak felhúzása	i	4	5	8
Betonacél-szerelés koszorúba	j	17	19	22
Műszaki ellenőrzés				
Koszorú betonozása				
Szilárdulás ellenőrzése				
Tereprendezés	k	33	43	61
Kerítések készítése				
Térburkolat készítése				
Kertészeti munkálatok				
Fafödém készítés	l	17	21	33
Tető ácsmunkák				
Bádogos munkák				
Tetőfedés				
Villany alapszerelés	m	3	4	5
Külső nyílászárók elhelyezése	n	16	21	29
Vakolás				
Vízszigetelés				
Gépészeti alapszerelés				
Aljzat hőszigetelése				
Padlófűtés készítése				
Nyomáspróbák				
Külső hőszigetelés készítése	o	18	20	30
Esztrich aljzat készítése	p	47	55	77
Szilárdulás ellenőrzése				
Gipszkartonozás				
Festő munkák				
Burkoló munkák				
Közművek bevezetése				

Csapok, szaniterek, kazán szerelése				
Belső nyílászárók elhelyezése				
Közmű engedélyek beszerzése	q	38	40	59
Műszaki ellenőrzés				
Megrendelő jóváhagyása				
Átadási eljárás				

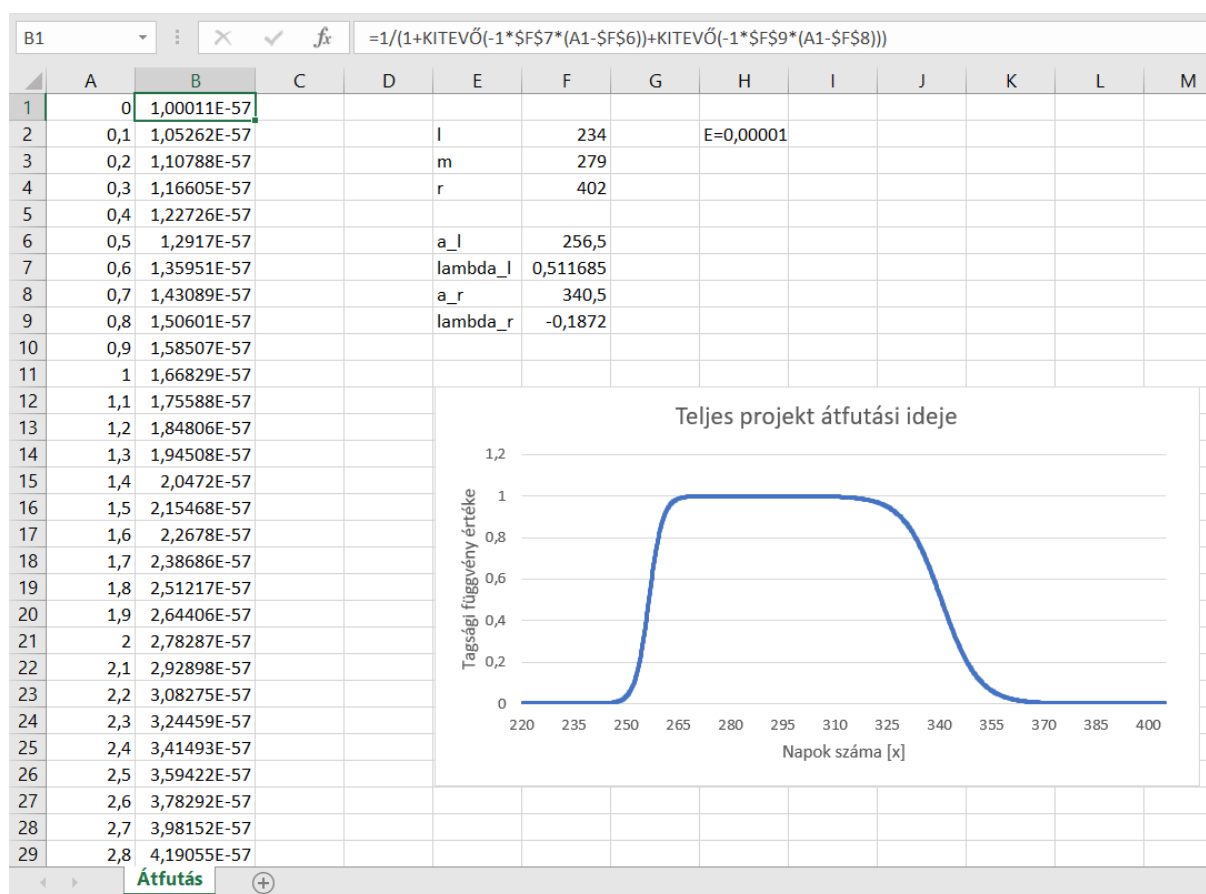
3. sz. melléklet: Számítások a hálótervhez

Esemény sorszama	Tevékenység	Átfutási idő (legjobb, legrosszabb)		EET	LET
		l	r		
1				0	0
	a	25	50		
2				25-50	25-50
	c	4	8		
3				29-58	45-90
	b	20	40		
4				45-90	45-90
	d	6	10		
5				51-100	52-104
	e	7	14		
6				52-104	52-104
	f	17	28		
7				69-132	69-132
	g	22	35		
8				91-167	91-167
	i	4	8		
9				95-175	99-182
	h	8	15		
10				99-182	99-182
	j	17	22		
11				116-204	116-204
	l	17	33		
12				133-237	133-237
	m	3	5		
13				136-242	149-266
	n	16	29		
14				149-266	149-266
	o	18	30		
15				151-267	196-343

	p	47	77		
	k	33	61		
16				196-343	196-343
	q	38	59		
17				234-402	234-402

4. sz. melléklet: Számítások az átfutási időkhöz

Az átfutási idők számításának alapjául szolgáló Excel fájl [ezen a linken](#) érthető el.



5. sz. melléklet: Lehetséges kockázatok

A ház építése során felmerülő kockázatok felsorolása [ezen a linken](#) érthető el.

6. sz. melléklet: Fuzzy FMEA

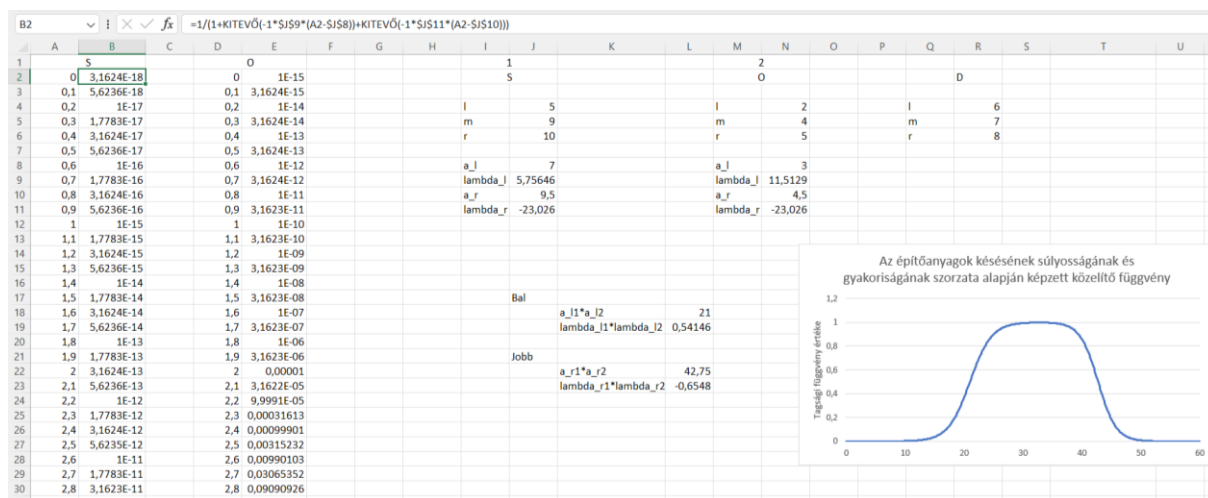
A lehetséges kockázatok és bizonytalanságaik felsorolása [ezen a linken](#) érthető el.

7. sz. melléklet: Értékelőskála

Értékelőskála a szigmoid tagsági függvényekhez [ezen a linken](#) érthető el.

8. sz. melléklet: Sigmoid függvények szorzata

A sigmoid függvények Domby-féle szorzata [ezen a linken](#) érhető el.



9. sz. melléklet: Folyamatábra

