



ÓBUDAI EGYETEM
ANYAGTUDOMÁNYOK ÉS TECHNOLÓGIÁK
DOKTORI ISKOLA

**Minőségügyi módszerek kidolgozása és alkalmazása
működésfejlesztési, anyagtudományi és
technológiafejlesztési kutatásokban**

Habilitációs téziszfüzet

Készítette:

Dr. Csiszér Tamás
egyetemi docens
Óbudai Egyetem

Rejtő Sándor Könnyűipari és Környezetmérnöki kar
Médiatechnológiai és Könnyűipari Intézet

Budapest, 2023.

Tartalom

1. Bevezetés	4
2. A kutatás előzményei	5
2.1 Szakmai kutatási és fejlesztési előzmények	5
2.2 Szakirodalmi előzmények.....	8
2.3 Tudományos kutatási előzmények.....	12
3. Új tudományos eredmények.....	18
3.1 Hálózatszemléletű minőségügyi módszerek	18
3.2 Anyagok lézersugaras megmunkálása.....	28
3.3 A minőségügy megújítása	36
4. A kutatás és a bemutatott eredmények hatása, visszhangja	41
5. Irodalmi hivatkozások listája	43
6. Tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények.....	46

1. Bevezetés

A tézisfüzet fejezetei és ezek tartalma:

1. Bevezetés: a tézisfüzet felépítése, általános információk.
2. A kutatás előzményei: szakmai kutatási és fejlesztési előzmények a doktori képzés előtti időkből, más kutatók által készített szakirodalmi előzmények, a doktori képzés során kidolgozott tudományos kutatási előzmények.
3. Új tudományos eredmények tézispontokba foglalva.
4. A kutatás és a bemutatott eredmények hatása, visszhangja: a tudományos kutatási eredményeim által inspirált, más hazai és nemzetközi kutatások, valamint az eredményeket tartalmazó publikációkra kapott hivatkozások rövid szövegszerű bemutatása.
5. Irodalmi hivatkozások listája: a felhasznált, idegen szerzők által publikált szakirodalmi hivatkozások.
6. Tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények.

A tudományos eredmények ismertetését az alábbi három, egymáshoz kapcsolódó, de önállóan is értelmezhető téma köré csoportosítom: 1. Hálózatszemléletű minőségügyi módszerek; 2. Anyagok lézersugaras megmunkálása; 3. A minőségügy megújítása.

2. A kutatás előzményei

2.1 Szakmai kutatási és fejlesztési előzmények

2014-ben védtem meg PhD disszertációm a Soproni Egyetem (akkor Nyugat-Magyarországi Egyetem) Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskolájában, Anyagtudományok és technológiák tudományágban, Műszaki tudományterületen. Dolgozatom címe az **„A hálózatszemlélet alkalmazása a működéshatékonyság növelésében, a minőségügyi fejlesztések területén”** volt. Témaválasztásomat az indokolta, hogy 1998, a Könnyűipari Műszaki Főiskola minőségbiztosítási szakirányának elvégzése óta 2009-ig eleinte minőség- és folyamatfejlesztési szakértőként, majd szervezeti- és projektvezetőként dolgoztam különböző hazai és nemzetközi tanácsadó és informatikai vállalkozásokban. 2006-ban neveztek ki az egyik ilyen szervezet szakmai vezetőjévé, ahol feladatként kaptam a

módszertani háttérrel kapcsolatos kutatási és fejlesztési munka koordinálását is. Ennek keretében kezdtem el foglalkozni a matematikai és társadalomtudományi alapokkal rendelkező, de önálló diszciplínaként újnak számító hálózatkutatással. A tudományos eszközökkel is végzett, ugyanakkor gyorsan alkalmazható eredmény-elvárásokkal rendelkező munka célja az volt, hogy ismerjük meg a hálózattudomány számunkra releváns eredményeit és adaptáljuk közülük azokat, amelyekkel projektjeink eredményesebbé és hatékonyabbá tehetők. Ennek érdekében kidolgoztuk az ún. **BERNET-kapcsolatelemzési módszertant** és az ezt támogató, hasonló nevű informatikai alkalmazást, amelyekkel a szervezeti egységek és a munkatársak közötti szakmai és függelmi kapcsolatokat tudtuk elemezni, az **ORGIMETRIA** elnevezésű, a folyamatok eredményességét és hatékonyságát mérő indikátor- és eljárás rendszert, valamint az ezeket - egyéb folyamat- és projektmenedzsment technikákkal együtt - komplex rendszerbe foglaló **H3 működésfejlesztési módszertant**.

A fejlesztési munka során szerzett tapasztalatok és motiváció hatására jelentkeztem 2009-ben a doktori

képzésre azzal a céllal, hogy részletesen kidolgozom a **hálózatszemléletű minőségfejlesztés** elméleti hátterét, majd erre alapozva kifejleszték további, a gyakorlatban is jól használható módszereket. Ezzel párhuzamosan független szakértőként kezdtem dolgozni, amelynek során elsősorban **Lean** és **Six Sigma** módszertanokkal végzett folyamatfejlesztési projektekből vettem részt szakértőként és vezetőként. Ennek köszönhetően kutatómunkám a **termelési és szolgáltatási folyamatok mérésére és értékelésére** fókuszált, megalapozva a máig végzett tudományos és szakmai tevékenységem egyik pillérét, amely 2013-ban, az Edutus Főiskolán megkezdett oktatói és kutatói munkámnak köszönhetően kiegészült egy **anyagtudományi és technológiafejlesztési** orientációval is. Ez utóbbi célja a hagyományos és általam továbbfejlesztett, valamint a hálózatszemléletű minőségügyi technikák alkalmazása elsősorban **kompozitok és fémek lézersugaras technológiákkal történő megmunkálása** eredményeképpen előálló termékek minőségfejlesztésében.

2.2 Szakirodalmi előzmények

A hálózatokkal foglalkozó tudományterületeket részben az eszköztár hasonlósága, részben pedig az a felismerés köti össze, hogy a **komplex rendszerekben** olyan szerveződési szintek vannak, amelyek **önálló sajátosságokkal** rendelkeznek, függetlenül a csúcsok és az élek által képviselt entitásoktól. Ennek segítségével olyan információkat kaphatunk a rendszer felépítéséről és működéséről, amelyek kizárólag az elemi egységek ismeretében nem triviálisak.

Az első hálózatelméleti munkákat a matematika, azon belül a **gráfelmélet** területén találjuk, amelynek születése Leonhard Euler (1707 - 1783) svájci matematikushoz kötődik, aki a Königsbergi-hidak néven elhíresült probléma matematikai megfogalmazásával dolgozta ki az alapfogalmak és tételek egy részét. Az első műszaki alkalmazásnak Gustav Robert Kirchhoff (1824 – 1887) 1847-ben publikált tanulmányát tekintik, aki villamos hálózatokat vizsgált gráfelméleti módszerekkel [Frank, 2012]. A gráfelmélet hatalmas területéből a munkám során elsősorban a komplex rendszerek hálózati modelljeinek topológikus leírására használható **individuális- és**

csoportos-mutatókat alkalmaztam, különösen a technológiai folyamatok működésének jellemzésére.

A hálózattudomány másik, a kombinatorikával párhuzamosan fejlődő alaptudománya a **szociometria** volt. A tudományterület atyja Jacob Levi Moreno (1889 – 1974) pszichiáter és szociológus, aki kidolgozta a spontán társulások azonosítására alkalmas, a kapcsolatok jellegének felmérésére alapuló módszertant. Egyik tézise – és munkájának ösztönzője – az a gondolat volt, hogy a spontán társulások az intézményes rendszerek lappangó hátterét alkotják. Ezt fejlesztette tovább Mérei Ferenc (1909 – 1986) pszichológus, létrehozva a több szempontú szociometriát, a kapcsolati hálózatok ábrázolásának és elemzésének eszköztárát [Mérei, 1996]. Munkám során a **szociogramok** (speciális gráfok) **kialakításának és elemzésének technikái**, valamint a **szociometriai mutatók** szolgáltak alapanyagként.

A **modern hálózattudomány** egyik úttörőjének Barabási Albert-László (1967-) fizikust tartják. Behálózva című sikerkönyvének beharangozójában a következőket írja: „A 21. század elejének talán legfontosabb tudományos felfedezése annak meglátása, hogy minden hálózat,

rendszer azonos szervezőelv alapján jön létre, és egyszerű, de hatékony szabályok révén működik” [Barabási, 2008]. Munkám jelentős részben Barabási elméleti munkásságán alapszik, amely a legfőbb inspirációt adta a terület részletes megismeréséhez is. Eredményei közül a **hálózati modellek felépítéséhez és „viselkedéshez”** kapcsolódó megállapításai adtak a legtöbbet számomra.

Végezetül meg kell említeni az **anyagtudományhoz** és a **technológiafejlesztéshez** használható, minőségügyi és hálózatelméleti vonatkozásban is értelmezhető szakmai előzményeket is, a Petri-hálókat és a mesterséges neurális hálókat. A **Petri-háló** alkalmazásának módszereit Carl Adam Petri (1926 – 2010) német matematikus dolgozta ki rendszerek állapotainak matematikai ábrázolására. A Petri-háló felhasználható a technológiai folyamatok modellezésére, amennyiben a csúcsok a feldolgozott tételek különböző állapotait jelölik, míg az ún. tranzíciók az átalakítás módját, azaz a bemeneti állapotból a kimeneti állapotba történő transzformációt írják le [Diaz, 2010]. Nem szorosan a Petri-háló alkalmazásához köthető, de azzal rokon megközelítési módja miatt itt érdemes megemlíteni az ún. **üzemeltetési típusgráfokat**,

amelyeket diszkrét állapotterű folyamatok ábrázolására használnak. Egyik kiemelt felhasználási módja a szomszédossági mátrixok hatványozásával előállított elérhetőségi mátrix segítségével a rendszerelemek közötti kapcsolatok meglétének feltárása [Pokrádi, 2008]. A **mesterséges neurális hálók** műszaki alkalmazásának ötletét az idegsejtek és a közöttük lévő szinaptikus kapcsolatok által felépített idegrendszeri hálózatok adták. A módszer – bizonyos korlátok között – alkalmas egy folyamat bemeneti és kimeneti értékei közötti összefüggések feltárására, valamint egy kívánt kimeneti értékhez szükséges bemeneti-beállítási értékek meghatározására [Horváth, 1995]. Ezeket a módszertanokat, illetve az ezek adaptálása során kidolgozott technikákat az anyagtudományi kutatásaim során, elsősorban a **fém-polimer lézersugaras kötések minőségének fejlesztésében** alkalmaztam.

A kompozitok és fémek lézersugaras megmunkálásához köthető szakmai előzmények tárháza rendkívül széles, azonban viszonylag kevesen foglalkoztak a **termoplasztikus mátrixú, természetes szálakkal erősített műanyagok és a fémek közvetlen lézersugaras**

kötéseinek lehetőségével. Ennek oka részben a termoreaktív mátrixok elterjedése a kompozitgyártásban, másrészt a fém és a műanyag anyagi jellemzői közötti jelentős különbségeknek betudható korlátozott ipari felhasználhatóság. [Amancio-Filho, 2018] A rendelkezésemre álló forrásokra alapozott kutatásaim során elsősorban arra kerestem a választ, hogy milyen módon lehetséges **a gyakorlati felhasználás szempontjából is értékelhető kötési szilárdságot** elérni hőre lágyuló és a lézersugár számára transzparens mátrixanyagból és biodegradábilis, valamint lehetőleg biobázisú szálakból álló kompozit és fémek, elsősorban acél és alumínium között, lézersugaras technológiával. Emellett – elsősorban ipari megbízásra - felhasználtam a lézersugarat különböző anyagok vágására is, a lehetőségek vizsgálata és a technológiai paraméterek optimalítása érdekében.

2.3 Tudományos kutatási előzmények

A 3.1. és a 3.3. fejezetekben bemutatott minőségügyi tézisek tudományos háttérét a doktori képzés alatt elért eredmények képezik. Ezek közül – a témában született korábbi eredményekkel való kapcsolat illusztrálására – az

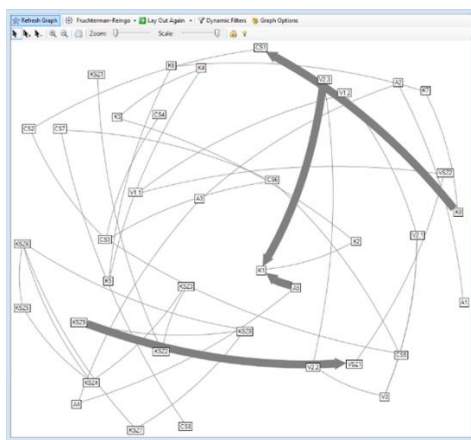
alábbiakban azokat foglalom össze, amelyeket a fokozatszerzést követően továbbfejlesztettem, illetve amelyek ezeket a fejlesztéseket leginkább orientálták.

Doktori munkám során kidolgoztam a minőségfejlesztés területén azonosítható komplex rendszerek modellezésére alkalmas hálózatok új **csoportosi módszerét**. Ennek keretében definiáltam az áramlás, az attribútum és a preferencia jellegű éltípusokat az irányítottság, az élsúly, az előjel, a hurok, a soros és párhuzamos kapcsolttság, valamint az összefüggő alcsoportok értelmezésén keresztül. Meghatároztam az esemény, az erőforrás és a kompetencia típusú csúcsok tulajdonságait. Az él- és csúcstípusok valamennyi lehetséges kombinációjára megadtam néhány alkalmazási példát a minőségfejlesztés területéről. A doktori fokozatom megszerzése után, a hálózatszemléletű minőségügyi technikák további fejlesztésénél ennek a csoportosításnak a gyakorlatias változatát alkalmaztam vezérelvként. Ennek hatására született meg – többek között - a téziseknél ismertetett DQNET-elemzés.

Szintén a doktori képzés alatt, a gyakorlatban elterjedt folyamatteljesítmény-értékelési megközelítések

kiindulva kidolgoztam a hálózatokkal modellezett folyamatok új, hálózat-szemléletű elemzési módszertanát. Ennek keretében definiáltam a folyamatokat alkotó tevékenységek teljesítményének értékelésére alkalmas lokális, valamint a teljes folyamat minősítéséhez felhasználható globális hálózati indikátorokat, meghatároztam az indikátorok közötti összefüggéseket leíró **Hálózatalapú Folyamatindikátor Modellt** (Network-based Process Indicator Model - NPIM), majd ezek alapján megadtam a folyamatminőség új, hálózatszemléletű értelmezését. Az új megközelítést megvizsgáltam a Lean veszteségdefiníciók szempontjából és azonosítottam a Hálózatalapú Folyamatindikátor Modell és a Lean veszteségek közötti összefüggéseket. Végül specifikáltam a **Lean veszteségek kvantitatív meghatározására alkalmas indikátorokat**. A doktori fokozatom megszerzése után ezekből fejlesztettem ki a téziseknél ismertetett FAR-modellt, illetve a módszer több tucat projektben történő gyakorlati alkalmazásából született meg a Lean Office implementációk kritikus hibátényezőit azonosító és elemző munka.

A doktori munkám eredményeinek rendszerbe foglalására kidolgoztam a hálózatszemléletű működésfejlesztés gyakorlati megvalósításának új, komplex módszertanát. Ennek keretében meghatároztam egy, a folyamatok **fejlesztési-potenciál szempontú prioritizálására** használható szempontrendszert és értékelési módszertant. Ezt a későbbiekben számos folyamatfejlesztési projektben felhasználtam a folyamatok prioritizálására. Emellett kidolgoztam a **hálózatszemléletű folyamatdiagnosztika grafikus** (1. ábra) és **analitikus** elemzési módszertanát (1. táblázat).



1. ábra: Példa a hálózatszemléletű folyamatdiagnosztika során alkalmazható modellekre: a tevékenység-háló grafikus vizsgálatának módszere. A vastag nyilak egy valamely kritérium szerint kiválasztott csúcsok, mint tevékenységek kapcsolatait mutatják.

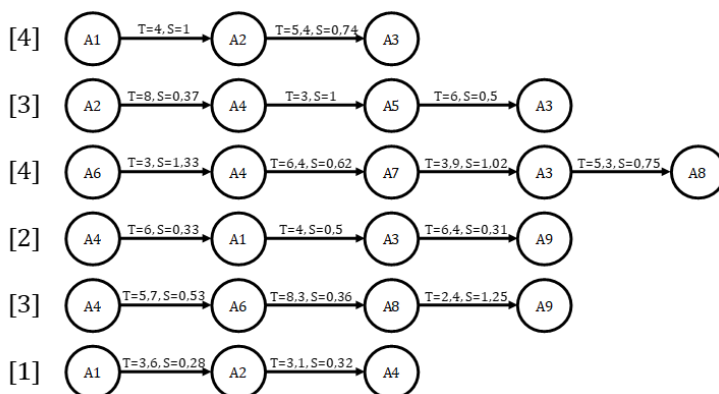
1. táblázat: A folyamatvesztések meghatározására alkalmas hálózati jellemzők. Az első oszlop sorolja fel a folyamatvesztéseket. A második oszlopban az elemzéshez felhasználható háló-típusok, a harmadikban a grafikus vizsgálatok, míg a negyedikben az analitikus vizsgálatok láthatók.

Folyamatvesztés	Folyamatháló típus	Grafikus vizsgálatok	Analitikus vizsgálatok
Ellenőrzés, javítás	•Tevékenység-háló •Erőforrás-háló	•A csomósodások eloszlása és mérete, élsúly a tétel minősítése •HUB-ok azonosítása	•Tranzitivitás •β tételszámnál nagyobb lefutásszámú (súlyú) élek aránya •Hibaarány •Kihozatal
Mozgatás	•Mozgatási-háló	•A csomósodások eloszlása és mérete	•Összefüggő mozgató komponens aránya
Túltermelés, várakozás	•Tevékenység-háló •Erőforrás-háló	•A csomósodások eloszlása és mérete, élsúly a köztes tároló mérete	•Kiegyensúlyozottság •Átfutási idő •Várakozási idő
Túlmunka	•Értéktéremtő-háló	•Az összefüggő komponens és az izolált csúcsok aránya	•Átfutási idő •Összefüggő értéktéremtő komponens aránya
Nem kihasznált erőforrás	•Erőforrás-háló	•Terheléeloszlás, élsúly az áthaladt tételszám	•Kihasználtság •Ütemidő
Készletezés, raktározás	•Folyamatközi háló	•A csomósodások eloszlása és mérete, élsúly a köztes tároló mérete	•Kiegyensúlyozottság

Erre alapozva azonosítottam a hálózatszemlélet alkalmazási lehetőségeit a folyamatok működése során előálló **problémák előrejelzése, monitorozása és elemzése** terén. Ennek keretében specifikáltam az esemény-kapcsolatok elemzésén alapuló, a

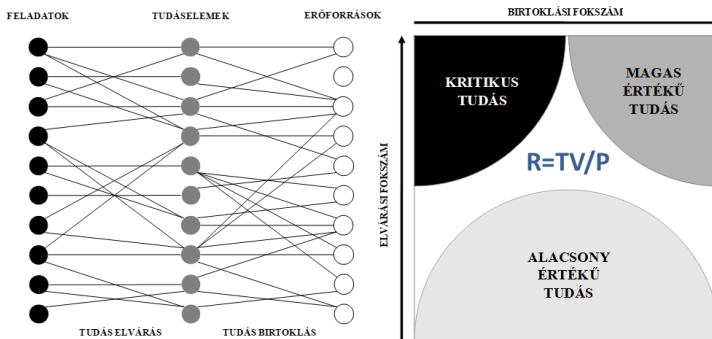
kockázatelemzési tevékenységek validálásához felhasználható **NTS hálót** (2. ábra), ahol N a közös előfordulások száma, T az előfordulások közötti időbeli különbség, S a kapcsolat súlya.

[N]



2. ábra: Technológiai kockázatok összefüggéseinek elemzése kauzális-hálózatok (NTS-háló) segítségével. NTS mozaikszó jelentése: N-közös előfordulások száma, T-előfordulások közötti időbeli különbség, S-kapcsolat súlya. A sorokba rendezett csúcsok egy-egy eseményhálót illusztrálnak, amelyek előfordulásának száma látható a csúcssorok előtt. A nyilakra írt T-értékek másodpercen értendők. Az S értékek az $S=N/T$ kalkuláció eredményei.

Végezetül létrehoztam egy módszert, amelynek segítségével meghatározható a **szervezeti tudás** egy elemének fontossága, azaz az **elvesztésének kockázata** (3. ábra).



3. ábra: A tudásérték meghatározása hálózati modellekkel. A képlet betűinek jelentése: R–a tudáselvesztés kockázatának mértéke, P–az erőforrások azon aránya, amely birtokolja az adott tudáselemet, azaz a tudáselem birtoklás-fokszáma, T–azon feladatok aránya, amelyekhez szükséges az adott tudás, azaz a tudáselem elvárás-fokszáma, V–az ezen feladatok által termelt érték mértéke, vagy az értékteremtő tevékenységek aránya.

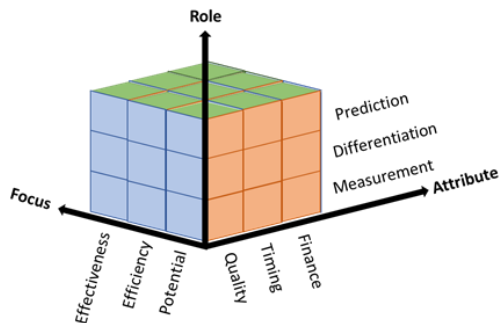
A doktori fokozatom megszerzése után ezek alapján fejlesztettem ki a téziseknél ismertetett FMEA és QFD módszerek hálózatszemléletű verzióját.

3. Új tudományos eredmények

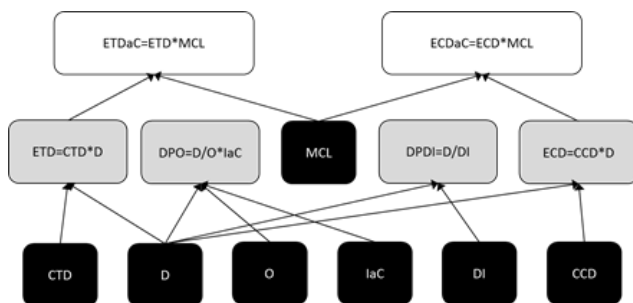
3.1 Hálózatszemléletű minőségügyi módszerek

1. Tézis: *Kidolgoztam a repetitív folyamatok és a projektek keretében végzett termelési és szolgáltatási tevékenységek mérésére és értékelésére felhasználható hálózatszemléletű indikátorrendszert. [1]*

A Hálózatalapú Folyamatindikátor Modell és hálózati indikátorokkal kifejezett Lean veszteségek – valamint a Balanced Scorecard (Kiegyensúlyozott Mutatószámrendszer) és az Earned Value Method (Megtermelt Érték Módszer) – kombinálásával kidolgoztam az ún. **FAR-modellt** (F-Focus, azaz Fókusz, A-Attribute, azaz Attribútum, R-Role, azaz Szerep). A FAR-modell egy háromdimenziós térben (FAR-tenzor), vagy hálózatos reprezentációban egy háromrétegű, ún. trimodális gráfban helyezi el a lehetséges indikátorokat (4. ábra). A Fókusz dimenzió értékei a Potential-Potenciál, az Efficiency-Hatékonyság és az Effectiveness-Eredményesség, az Attribútum dimenzió értékei a Quality-Minőség, a Timing-Időzítés és a Finance-Pénzügy, míg a Szerep dimenzió értékei a Measurement-Mérés, a Differentiation-Különbségszámítás és a Prediction-Előrejelzés. A módszerek kombinálásával lehetőség van az indikátorrendszer mindhárom szempontot (dimenziót) figyelembe vevő kidolgozására. A FAR-modell minden értelmezhető érték-kombinációra definiálja a lehetséges mutatószámokat (5. ábra).



4. ábra: FAR-modell, a Projekt- és Folyamatmonitoring Rubik-kockája, amely a modell dimenzióit illusztrálja. A FAR mozaikszó jelentése: F-Focus, azaz Fókusz, A-Attribute, azaz Attribútum, R-Role, azaz Szerep.



5. ábra: A FAR-modell indikátorrendszereinek illusztrálása a Minőség-Indikátor Gráffal. A feketék a mért, a szürkék a terv-tény különbségeket, a fehérek az előrejelző mutatókat jelölik.

2. Kidolgoztam a termelési és szolgáltatási folyamatok szabályozó- és igazoló-dokumentációi által alkotott

komplex rendszer hálózatszemléletű elemzési- és fejlesztési módszerét. [2]

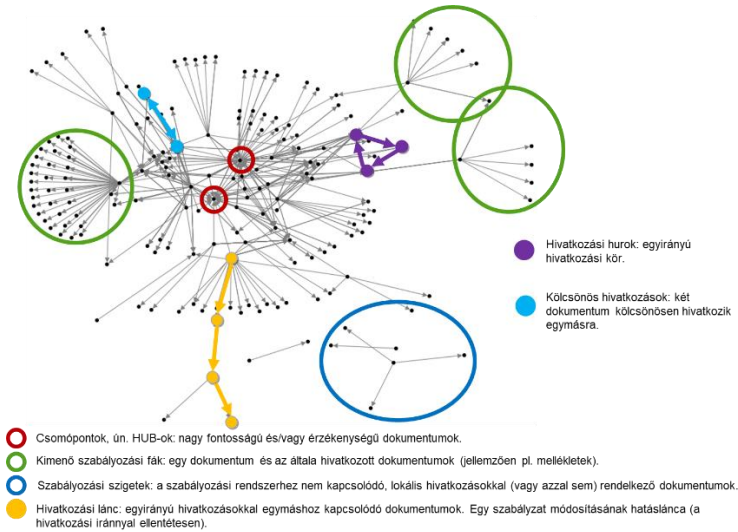
Egyebek mellett a hálózatszemléletű kockázatértékelési módszer logikája alapján dolgoztam ki a **DQNET elnevezésű dokumentációs-hálózat elemzési eljárást**, amelynek segítségével a rendszer potenciális és meglévő anomáliái (hiányosságok, redundanciák, sérülékenység stb.) azonosíthatók és számszerűsíthetők. Emellett meghatározható a rendszerelemek hálózatban betöltött szerepe – többek között – a fontosságukat és az érzékenységüket jellemző hálózati mutatók segítségével. A hálózati indikátorok és a dokumentumok rendszerben betöltött szerepe közötti kapcsolatok:

- Befokszám - Fontosság: egy szabályozó szerepe a szabályozási rendszerben annál fontosabb, minél több másik szabályozó minél többször hivatkozik rá.
- Kifokszám - Érzékenység: egy szabályozó változásra való érzékenysége a szabályozási rendszerben annál nagyobb, minél több másik szabályozóra minél többször hivatkozik.

- Fokszámeloszlás – Összekapcsoltság: azt mutatja meg, hogy mennyire egyenszilárdságú a hivatkozási rendszer, vannak-e szorosan összekapcsolt és elszigetelt alhálózatok.
- Köztesség (betweenness) - Kritikusság: a vizsgált szabályozó az összes lehetséges szabályozó-pár közötti legrövidebb utak (azaz hivatkozási láncok) közül hányban szerepel. Minél nagyobb az érték, annál kritikusabb szerepet tölt be a szabályozó a rendszerben. Ennek eloszlása is a rendszer egyenszilárdságúságát jellemzi.
- Közelség (closeness) - Egyszerűség: azt mutatja meg, hogy mennyire jellemzők a szabályozók közötti közvetlen hivatkozások, illetve hivatkozási láncok. A hivatkozások egyszerűsítését teszi lehetővé.
- Klaszterizáció (clustering coefficient) - Ciklusosság: a körkörös hivatkozásokat mutatja. Végtelen szabályozási ciklust jelezhet.
- Kölcsönösség (reciprocated vertex pair ratio) - Kölcsönösség: a hivatkozások mekkora hányada

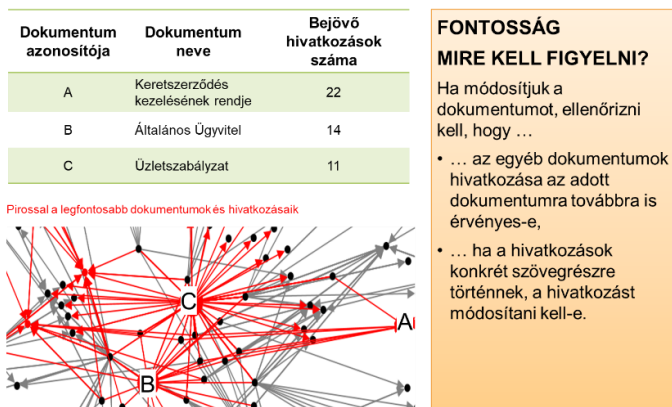
kölcsönös. Ideális esetben minden hivatkozásnak kölcsönösnek kell lennie az egyértelműség végett.

A 6. ábra a módszer gyakorlati alkalmazásának egy példáját mutatja be. A rendszer alapjellemzői: 181 db dokumentum, 185 egyirányú, 300 kölcsönös hivatkozás, 4 szabályozási sziget (összefüggő alhálózat), a legnagyobb szigetben 173 szabályzat van (480 hivatkozással), átmérő (maximális legrövidebb hivatkozási lánc) 8.

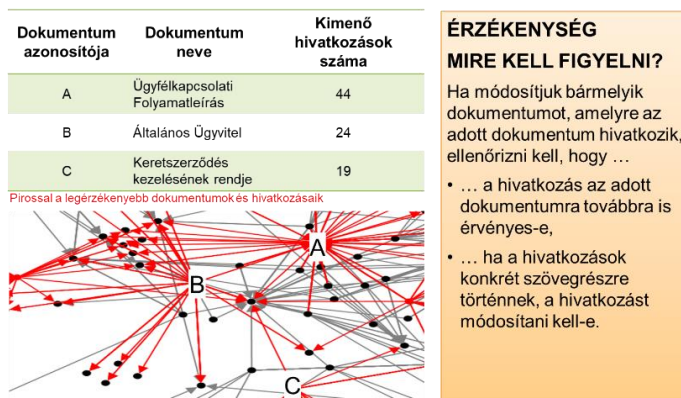


6. ábra: Egy valós dokumentációs rendszer modellezése kapcsolati-hálóval. A bekeretezett csúcsok speciális hálózati elemeket, ún. motívumokat jelölnek.

A 7. ábra és a 8. ábra a fontosság és az érzékenység skála legnagyobb pontszámú elemeit mutatja be.



7. ábra: A nagy fontosságú dokumentumok jellemzése.



8. ábra: A nagy érzékenységű dokumentumok jellemzése.

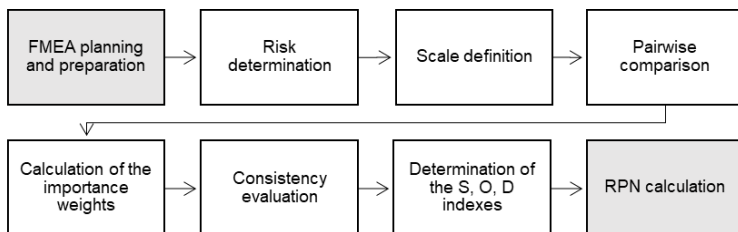
A dokumentációs rendszer hálózatszemléletű elemzése lehetőséget ad annak fejlesztésére. Ehhez definiáltam az

ideális rendszer strukturális és tartalmi jellemzőit, amelyek közül a legfontosabbak a következők: csak a szükséges, kis számú elemből és oldalból áll, egyszerű a hivatkozási rendszere, a tárgyalt résznek az egészhez való viszonya látható, egy adott szereplőnek az összes szereplőhöz való viszonya követhető, a lineárisan nehezen átlátható összefüggéseket vizualizálja, nincs benne redundancia, kivéve akkor, ha ez a hivatkozások csökkentését célozza, egyértelmű a szövegezése, könnyen olvasható, érthető, megjegyezhető szabályzatok, teljeskörű a szabályozás.

3. Kidolgoztam az FMEA kockázatértékelési módszer hálózatszemléletű verzióját. [3]

Az **FMEA** (Failure Mode and Effect Analysis, Hibamód és -hatáselemzés) kockázatértékelési technika széles körben elterjedt az iparban, azonban alkalmazása komoly szakmai és minőségügyi tapasztalatot igényel. Ennek hiányában az eredmény megbízhatósága csökken. A módszer robusztusságának növelése érdekében kombináltam a minőségügyben jól ismert és a hálózatszemlélettel harmonizáló **AHP** (Analytic Hierarchy Process, Analitikus Hierarchia Azonosítási

Folyamat) páros összehasonlítási módszerrel, amely segít a korábban még nem azonosított kockázatok rangsorolásában, valamint képes kiszűrni az inkonzisztenciát (9. ábra).



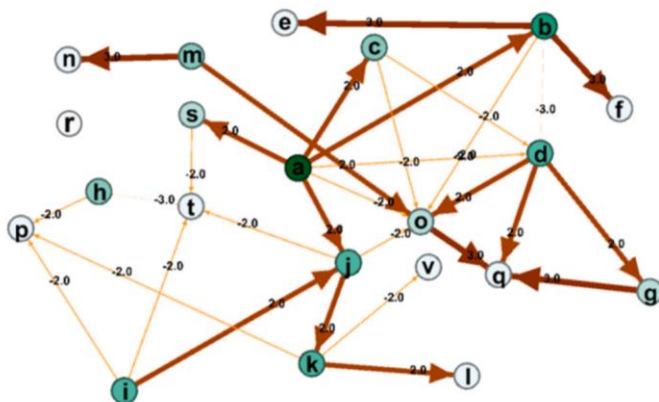
9. ábra. Az FMEA és az AHP módszerek kombinálásából álló értékelési módszertan lépései. A kombinált módszer a fehér téglalapban lévő tevékenységek végrehajtását módosítja.

A gyakorlati alkalmazás során a korábban még nem azonosított kockázatokat ismert kockázatokkal kell összehasonlítani az FMEA kockázati tényezői (előfordulás gyakorisága, detektálhatóság, negatív hatás mértéke) szempontjából, majd ez alapján határozható meg – az értékek különbségéből – az új kockázatok súlya. A konzisztencia elemzésre a tranzitivitás nevű hálózati mutató módosított verziója használható. Ennek lényege, hogy azonosítja azokat az ABC kockázat-hármasokat, amelyekben nem érvényesül az, hogy ha A súlya nagyobb mint B súlya, és B súlya nagyobb mint C súlya, akkor A

súlya nagyobb mint C súlya. Az értékelésben ezek a tripletek nem használhatók.

4. Kidolgoztam az QFD kockázatértékelési módszer hálózatszemléletű verzióját. [4] [5]

A **QFD** (Quality Function Deployment, Minőségfunkció Lebontás) módszer, amelyet minőség házaként is emlegetnek, a termékek, a technológiák és a folyamatok tervezése során alkalmazott minőségügyi technika. Lényege a követelmények és az ezeket teljesíteni hivatott termékfunkciók, majd a további elemzés során az alkatrészek, illetve az ezeket előállító műveletek és folyamatok kapcsolatának elemzése. Segítségével kiválaszthatók azok az előbb felsorolt elemek, amelyek a legnagyobb hatással vannak a termék megfelelőségére. A QFD, a hálózatelemzés és az AHP kombinációja eredményeként kidolgoztam az elemzést megkönnyítő hálózati modelleket (10. ábra), valamint a kapcsolatok jellegét és ezáltal a paraméterek szerepét a hagyományos megoldásnál részletesebben bemutató új hálózati-indikátorokat (szignifikancia, szenzitivitás, hatás).



10. ábra: A technikai paraméterek közötti kapcsolatot illusztráló egyik hálózati modell.

3.2 Anyagok lézersugaras megmunkálása

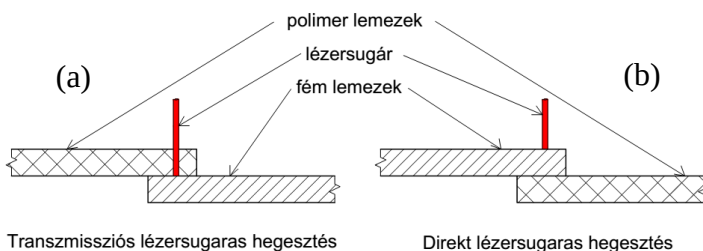
2013-tól az Edutus Főiskola adjunktusaként az újonnan átadott 4kW-os TruDisk Nd-YAG lézersugaras berendezés anyagtudományi célú felhasználási lehetőségeit vizsgáltam. Ennek során különböző kompozitok és fémek vágási és hegesztési paramétereit optimalizáltam, hagyományos és általam továbbfejlesztett minőségtechnikák alkalmazásával, részben ipari megbízások keretében. A munkát 2017-től először megosztva, majd kizárólagosan az Óbudai Egyetem munkatársaként folytattam. Az 5., a 6. és a 7. tézisek az ekkor született eredményeket foglalják össze.

5. *Tézis: Meghatároztam az acél és szálerősítésű PMMA poli(metil-metakrilát) próbatestek direkt és transzmissziós lézersugaras kötéséhez szükséges technológiai paraméterek optimális értékeit. [6]*

Kutatásom az alábbi hipotézisekből indult ki.

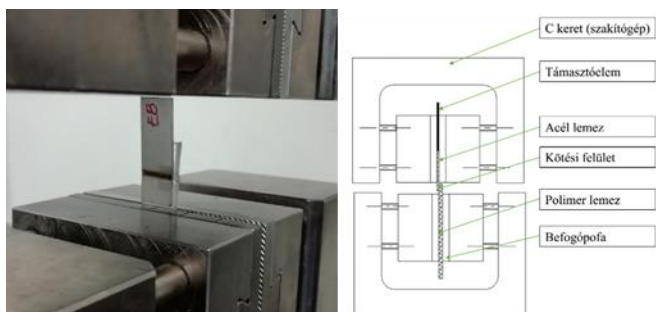
- 1) Az erősítőanyag mennyisége befolyásolja a lézersugarak áthatolási képességét a műanyagban, ezáltal a megfelelő adhéziós erő létrehozásához szükséges technológiai beállításokat is.
- 2) Az erősítőanyag nem vesz részt a kötés létrehozásában, a szálak a PMMA és az Al felületén nem jelennek meg.
- 3) A létrehozott kötés az erősítőanyag mennyiségétől és a technológiai paraméterektől függően vagy a műanyag-fém határfelületen, vagy a mátrix anyagában szakad.
- 4) A tönkremeneteli folyamatban a legnagyobb hatást a határfelületek elválása játssza. Ennek két típusa lehet: fém – polimer elválás a nem megfelelő adhézió kialakulása miatt, mátrix – erősítő anyag elválás a szálak és ezáltal a határfelület lézersugár hatására bekövetkező megváltozása miatt.

A kapcsolódó kísérletekben 2^2 és 3^2 teljes faktoros kísérletterv alapján szerkezeti acél és erősítetlen, valamint cellulózsálakkal erősített poli(metil-metakrilát) (PMMA) anyagok között hoztam létre átlapolt kötéseket Nd-YAG és CO₂ lézersugaras berendezésekkel (11. ábra).



11. ábra: Transzmissziós lézersugaras kötési (a), illetve direkt lézersugaras kötési (b) módszerek sematikus ábrája

A kötéseket nyomóvizsgálatok segítségével minősítettem (12. ábra). Emellett optikai mikroszkópos vizsgálatokkal meghatároztam a kötésben részt vevő felületek nagyságát, majd ezek alapján kiszámítottam a kötések nyomószilárdságát, valamint statisztikai kiértékelési módszerek segítségével azonosítottam a szilárdságot szignifikánsan befolyásoló folyamatparamétereket és azok ideális értékeit is.



12. ábra: Kötések nyomóvizsgálata: a próbatest befogása (balra), valamint a befogás elrendezéséről készített nem méretarányos oldalnézeti magyarázó ábra (jobbra).

A mérések minőség-szemponitú kiértékelése alapján megállapítottam, hogy az acél-PMMA kötés létrehozható lézersugaras berendezéssel, mind transzmissziós, mind direkt lézersugaras kötési módszerrel, már akár 130W lézerteljesítménnyel is. Azonban a kísérletek alapján a 250W lézerteljesítménnyel és direkt lézersugaras hegesztéssel készített próbatestek nyírószilárdsága volt a legnagyobb. A PMMA erősítő anyagaként szolgáló cellulózsálak már 1 tömegszázalék mennyiségben adagolva is jelentősen rontották a műanyag transzparenciáját, miközben nem befolyásolták szignifikánsan a kötések szilárdságát egyik hegesztési módszer és alapanyag esetén sem, azaz nem vettek részt a kötésben. A létrehozott kötések rideg viselkedést mutattak

és a műanyag-fém határfelületen váltak szét. A direkt lézersugaras hegesztés során a lézersugár nyomot hagyott a fém felületén, amely esztétikai problémákat okozhat.

6. Tézis: *Meghatároztam egy szálcementből készült, építkezéseken használt termék optimális lézersugaras vágási paramétereit. [7]*

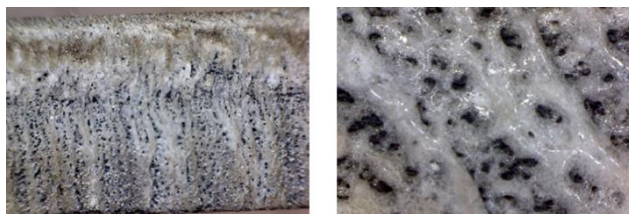
A szálcement egy építkezéseken használt kompozit anyag, amelynek pontos összetételét ipari titokként kezelte a gyártó. A rendelkezésre álló információk szerint 65-80% volt a mátrixot alkotó cement mennyisége, amely kb. 2% PVA poli(vinil-alkohol) és 3-5% cellulóz erősítő anyagot, valamint 10-25% kerámia töltőanyagot tartalmazott (13. ábra).



13. ábra: Szálcement próbatestek lézersugaras vágást követően.

A vágást egy TruDisk Yb:YAG lézersugaras berendezéssel végeztem. A részfaktoros kísérleti terv alapján elvégzett műveletek után megmértem a próbatestek vágási felületének geometriai jellemzőit

(egyenletesség, párhuzamosság, merőlegesség stb.), majd ezek alapján meghatároztam a technológiai paraméterek optimális értékeit (14. ábra).



14. ábra: A vágási felület képe eredeti méretben és 50x-es nagyításban.

Azt találtam, hogy a legjobb minőségű vágást 2kW lézersugár teljesítménynél, 3500mm/min előtolási sebességnél, 5baros nitrogéngáz-nyomásnál, -10%-os fókusz-távolságnál és 6000Hz lézersugár-frekvenciánál kapjuk.

7. Tézis: Meghatároztam egy PVS-PES összetételű építési ponyva lézersugaras vágásának optimális paramétereit. [8]

A kutatás célja különböző összetételű építési ponyvák lézersugaras vágási technológiájának optimalítása volt a termelékenység, a vágási minőség és a mechanikai tulajdonságok változása szempontjából. A munkát egy

LCE-2 CO₂-os, impulzus üzemmódú (20Hz) lézervágó- és gravírozó berendezésen végeztem el, amelynek maximális teljesítménye 100W, maximális előtolási sebessége 1800 mm/min, a beállítható fókusz távolság: 58+/- 1 mm.

Az előkísérletek alapján egy PVC (poli(vinil-klorid) – PES (poliészter) kompozitot választottam ki (1. táblázat).

15. ábra: Az építési ponyva néhány jellemző adata.

Termék neve	Tuprint Frontlit Banner, C1010-450
Területi sűrűség	510 g/m ²
Vastagság	0,376 mm
Láncfonal csűrűség	63 pcs/100 mm
Vetülékfonal sűrűség	72 pcs/100 mm

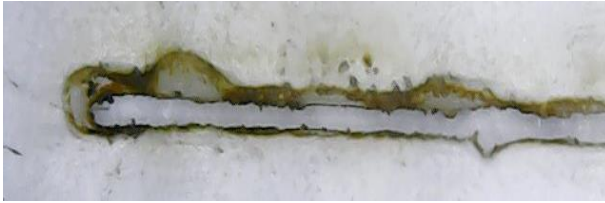
A vágásokat teljes faktoros kísérleti terv alapján végeztem, amelynek során vizsgáltam a lézersugár-teljesítmény, az előtolási sebesség és a vágási irány hatását a hőterhelési zóna nagyságára és a vágással meggyengített próbatest szakítószilárdságára (16. ábra).



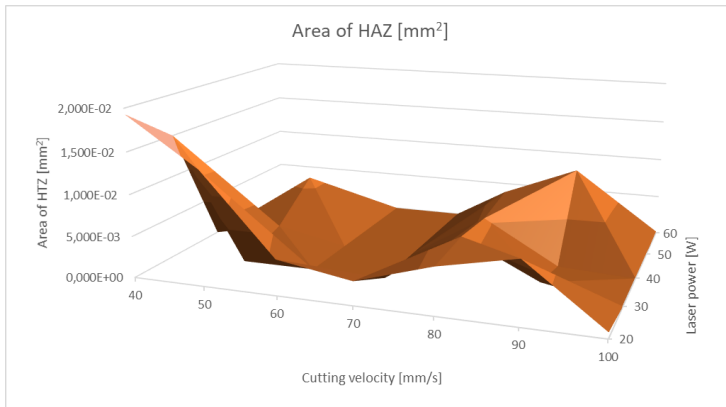
16. ábra: Példa a vágási élekre.

Megállapítottam, hogy a ponyva elfogadható minőségben vágható a lézersugaras berendezéssel. A hőterhelési zóna,

azaz a vágási él szemmel is látható egyenletessége és szintartása szempontjából az optimális értékek az előtolási sebesség esetében $V=100\text{mm/s}$, a teljesítmény esetében pedig $P=30\text{W}$ volt (17. ábra, 18. ábra).



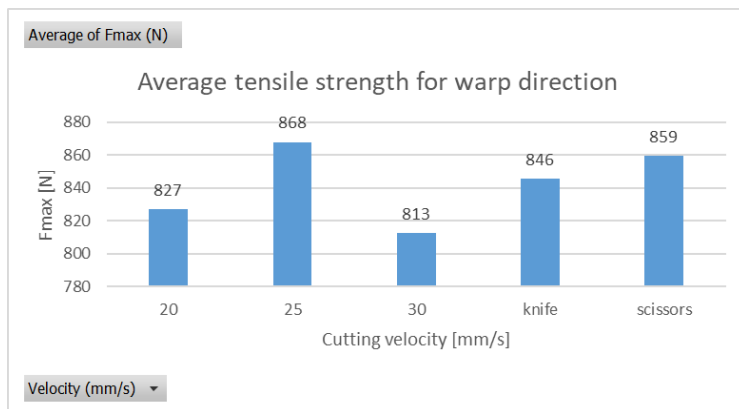
17. ábra: Jellemző kép a kialakult hőterhelési zónára.



18. ábra: Az előtolási sebesség (cutting velocity) és a lézersugár-teljesítmény (laser power) hatása a hőterhelési zónára (area of HAZ).

A szakítószilárdságra a teljesítmény nem, ellenben az előtolási sebesség és a vágási irány szignifikáns hatással volt. A maximálisan elérhető szakítóerőre 868N értéket

kaptam $V=25\text{mm/s}$ előtolási sebességnél és láncirányú vágásnál (19. ábra).



19. ábra: Az előtolási sebesség (cutting velocity) hatása a szakítóerőre ($F_{\max}$) láncirányú vágásnál.

3.3 A minőségügy megújítása

2020-ban felkérést kaptam a Magyar Minőség Társaság (MMT) elnökétől, hogy szakértőként segítsek kidolgozni a szervezet stratégiáját. A célok és intézkedések meghatározását követően – a megvalósítást támogatandó – megválasztottak az MMT alelnökének. Noha ez a pozíció és az elvégzett munka elsősorban közéleti jellegű, a végrehajtás során tudományos eredmények is születtek.

8. Tézis: *Primer kutatás keretében felmértem a szakemberek véleményét a minőségügyi jelenlegi és*

jövőbeni helyzetéről, azonosítottam a vállalkozások előtt álló kihívásokat, majd ezek alapján megfogalmaztam az ezek kezelését támogató minőségügyi cselekvési tervet. [9]

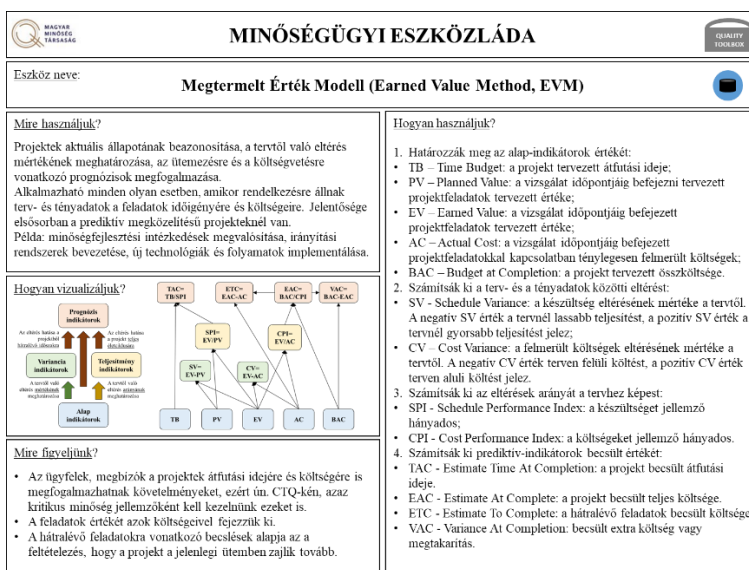
A stratégiai prioritások meghatározásához előkészítő primer kutatásokat végeztem a minőségügyi szervezetek tagsága körében, amelynek célja az volt, hogy felmérjem a szakemberek véleményét a minőségügyi jelenlegi és jövőbeni helyzetéről. Ezekből kiderült, hogy véleményük szerint jelenleg és a közeljövőben is számos kihívással kell megküzdeniük a vállalkozásoknak, amelyek többek között a technológiai fejlődés, az erőforrásgazdálkodás és a környezeti hatások területén jelennek meg. Az ezeknek való megfelelés érdekében fejlődniük kell az olyan kulcskompetenciákban, mint a változási képesség, a megfelelő munkaerő megtalálása és megtartása, az eredményes marketing és értékesítési tevékenység, az innovativitás és a hatékony termelésirányítás. A jövőben ehhez még hozzájön az informatikai tudás, az ember- és családbarát munkahely, a környezettudatosság és a társadalmi felelősségvállalás. Ebből a fejlődésből a minőségügyi szakembereknek is kell venniük a részüket.

Számukra különösen a folyamatok, projektek és kockázatok menedzselése, a működést befolyásoló környezeti tényezők ismerete, valamint az informatikai és gazdálkodási tudás a fontos.

A kutatási eredmények alapján összefoglaló tanulmányt készítettem, amelyben kiemeltem a vállalkozások előtt álló kihívásokat, és megfogalmaztam az ezek kezelését támogató minőségügyi cselekvési tervet, amelyek között szerepel a természeti környezet, mint az egyik legfontosabb stakeholder elvárásainak integrálása a minőségügyi követelményrendszerbe, a minőségügyi szempontok érvényesülésének biztosítása az olyan folyamatokban is, amelyekből kiszorul az ember, annak a meghatározása, hogy milyen mértékben lehet autonóm egy berendezés vagy egy folyamat és milyen esetben kell ragaszkodni az emberi felügyelethez és beavatkozáshoz, a felkészülés az intelligens rendszerek által biztosított információk feldolgozására, valamint mindezek érdekében a minőségügyi szakemberek kompetenciájának fejlesztése.

Ez utóbbi érdekében – többek között - megalapítottam a Magyar Minőség folyóirat Minőségügyi Eszközláda

rovatát, amelyben hagyományos és újszerű, jelentős részben általam kidolgozott vagy továbbfejlesztett minőségügyi technikákat mutatok be egységes formátumban, minőségügyi eszközkártya néven (20. ábra).



20. ábra: Példa a Magyar Minőség Minőségügyi Eszközláda rovatában havonta megjelenő Minőségügyi Eszközkártyára.

9. Tézis: Meghatároztam az irodai folyamatok fejlesztésére alkalmas Lean Office implementációk kritikus hibatényezőit és megfogalmaztam a sikeres implementáció feltételeit. [10]

A 2009-től végzett folyamatfejlesztési projektek közül kiválasztottam a pénzügyi szervezetekben végzett munkákat annak érdekében, hogy meghatározzam a megvalósítást akadályozó legjelentősebb tényezőket. A primer kutatás keretében kérdőíves felmérését végeztem a projektekben részt vett szakértők és szervezeti vezetők körében, majd szekunder kutatás keretében feldolgoztam a projektek dokumentációját. A legfontosabb nehézségek az alábbiak voltak:

- Megfelelő projektvezetés és változáskezelés nélkül a menedzsment nem fogadja el a generált változásokat.
- Félreértéseket és nehézségeket okoz, ha a szervezet munkatársai nem ismerik az alkalmazott módszereket és technikákat.
- Megfelelő mérések nélkül nem lehetséges a teljesítményproblémák mértékének meghatározása és a fejlesztés pozitív hatásainak bizonyítása.
- A kulcsemberek kapacitáshiánya megnöveli a bevezetés átfutási idejét, amely a vezetők pozitív hozzáállását rombolja.

- A pénzügyi szektor folyamatai bonyolultak, szigorúan szabályozottak és jelentős részben automatizáltak, így megváltoztatásuk nehéz, időigényes és költséges.

A nehézségek kezelésére számos lehetőséget javasoltam. Ezek közül a legfontosabbak (zárójelben az ezek alapjául szolgáló, általam kifejlesztett, részben a téziszfüzetben korábban megemlített minőségtechnikák) a folyamat érettség elemzés (kritikusság vizsgálat), a jelen állapot kvantitatív jellemzése és a jövőállapot kijelölése (folyamatstátusz-elemzés), az optimális számú és kompetenciájú projektcsapat kiválasztása, valamint a tagok képzése és mentorálása (kompetencia-elemzés), a gyors és olcsó, informatikai fejlesztést nem igénylő változtatások preferálása (megoldás-elemzés), hatékony kommunikáció (változáskezelés), valamint a megfelelő benchmarkok, azaz követendő gyakorlati minták alkalmazása.

4. A kutatás és a bemutatott eredmények hatása, visszhangja

A QFD hálózatszemléletű verziójának kidolgozása a technika további fejlesztését indukálta. Közülük kiemelendő a hipergráf alapú (Abonyi, 2022) és a fuzzy

logikával kombinált QFD (Xue, 2022), egy, az irracionális fogyasztói viselkedés okait vizsgáló tanulmány (Guoqiang, 2023), valamint egy új megközelítésű, a termékfejlesztésben alkalmazható multikritériumos döntéstámogató modell (Gao, 2023).

A páros összehasonlítással kombinált FMEA módszert felhasználták megelőző karbantartási stratégiák kidolgozásához (Song, 2022), gyorsan változó környezetben alkalmazható decentralizált kockázatmenedzsment problémák elemzéséhez (Bakos, 2021), egy atomerőműben végzett esettanulmány során (Bakos, 2022), valamint egy pálmaolaj üzem teljesítményének fejlesztéséhez (Kurniawan, 2022).

Az egyéb hálózatszemléletű minőségügyi munkákra különböző komplex rendszerek hálózatalapú elemző munkái (Pokorádi, 2018) hivatkoztak.

A fém-műanyag lézersugaras kötésekről szóló kutatásaimra a kísérlettervezési módszereket összehasonlító (Laguel, 2021), valamint a folyamatparaméterek és felületi megmunkálások kötésszilárdságra gyakorolt hatását vizsgáló kutatások (Fernandes, 2022) hivatkoztak.

A szálcement lézersugaras vágásának eredményeit fémek (Berczeli, 2021) (Tura, 2021) és szálerősített epoxigyanták lézersugaras vágását (Singh, 2021), valamint szálerősített cement tulajdonságait (Iqbal, 2022) vizsgáló munkák használták fel.

5. Irodalmi hivatkozások listája

Abonyi, J. (2022): Hypergraph and network flow-based quality function deployment. Heliyon 8:12.

Amancio-Filho, S. T.; Blaga, L. (2018): Joining of polymer-metal hybrid structures - principles and applications. John Wiley & Sons, New Jersey.

Bakos, L. et al (2022): A Novel AHP-PRISM Risk Assessment Method-An Empirical Case Study in a Nuclear Power Plant. Sustainability 14:17, 15 p.

Bakos, L. et al. (2021): Decentralized Enterprise Risk Management Issues under Rapidly Changing Environments. Risks 9:9, p. 18.

Barabási, A-L. (2008): Behálózva, A hálózatok új tudománya, Helikon kiadó, Budapest.

Berczeli, M et al. (2021): Analysis of the effect of different laser beam technology parameters when cutting stainless

steel sheets with ytterbium fiber laser machine. *Gradus* 8:1, pp. 323-333.

Diaz, M. (2010): *Petri Nets, Fundamental Models, Verification and Applications*, John Wiley & Sons, New Jersey.

Fernandes, F. et al. (2022): Laser Direct Joining of Steel to Polymethylmethacrylate: The Influence of Process Parameters and Surface Mechanical Pre-Treatment on the Joint Strength and Quality. *Materials* 15:14, p. 5081.

Frank, A. (2012): *Gráfelmélet*, ELTE TTK, Operációkutatási tanszék, Budapest.

Gao, Y. et al. (2023): A P-Ary Choquet-Based Multicriteria Decision-Making Model for Customer-Oriented Product Design Scheme Selection, 33 p.

Guoqiang, Z. et al. (2023): How to deal with irrational consumption behavior of residents under COVID-19? *Journal of intelligent & fuzzy systems* 45, pp. 1-20.

Horváth, G. (1995): *Neurális hálózatok és műszaki alkalmazásaik*, BME, Villamosmérnöki és Informatikai Kar, Jegyzet, Műegyetemi Kiadó, Budapest.

Iqbal, M. et al. (2022): Flexural Strength and Physical Properties of Cement Board Reinforced with Abaca Fiber. Key engineering materials 930, pp. 169-178.

Kurniawan, R. et al. (2022): Increasing performance of oil palm NPK fertilization with risk management and analytic hierarchy process (AHP). Journal of Economics, Management, Entrepreneurship, and Business (JEMEB) 2:2, pp. 86-102.

Laguel, E. et al. (2021): Comparison of Full Factorial DoE and SSTE. 15th IEEE International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics SACI. Óbudai Egyetem, IEEE, pp. 211-214.

Mérei, F. (1996), Közösségek rejtett hálózata, Osiris Kiadó, Budapest.

Pokrádi, L. (2008): Rendszerek és folyamatok modellezése, Rendszerek gráf-modellezése, 51-62 o., Campus Kiadó, Debrecen.

Pokorádi, L. (2018): Graph model-based analysis of technical systems. IOP conference series: Materials science and engineering 393:1, 8 p.

Singh, Y. et al. (2021): Process parameter optimization in laser cutting of Coir fiber reinforced Epoxy composite - a review. Materials today: Proceedings 10.1016/j.matpr.2021.06.344.

Song, T. et al. (2022): Research on Preventive Maintenance Strategies and Systems for in-Service Ship Equipment. Polish Maritime Research 29:1, pp. 85-96.

Tura, A. et al. (2021): Multi-objective optimization and analysis for laser beam cutting of stainless steel (SS304) using hybrid statistical tools GA-RSM. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 012030.

Xue-Guo, X. et al. (2022): New Approach for Quality Function Deployment Using an Extended CoCoSo Method with Spherical Fuzzy Sets. Systems 10:6, p. 253.

6. Tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények

[1]. Csiszér, T. (2018): The FAR Model - the ‘Rubik’s Cube’ of Process and Project Monitoring. Acta Polytechnica Hungarica 15:4, pp. 217-232.

- [2]. Csiszér, T. (2018): DQNET: Assessment of Quality Regulation System as Complex Information Network. *Acta Polytechnica Hungarica* 15:8, pp. 181-194.
- [3]. Kulcsár, E.; Csiszér, T.; Abonyi, J. (2020): Pairwise comparison based Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). *METHODSX* 7, pp. 1-8.
- [4]. Kulcsár, E.; Gyurika, G. I.; Csiszér, T. (2020): Application of Network Science to Extend the AHP and QFD Methods. *Proceedings of the 6th World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering : MCM'20. Ottawa, Kanada: Avestia Publishing, 7 p.*
- [5]. Kulcsár, E.; Gyurika, G. I.; Csiszér, T. (2022): Network-based – Quality Function Deployment (NB-QFD): The combination of traditional QFD with network science approach and techniques. *COMPUTERS IN INDUSTRY* 103592, 12 p.
- [6]. Csiszér, T.; Temesi, T.; Borbás, L.; Molnár, L (2021): Laser-assisted Joining of Steel and Cellulose Fiber-reinforced PMMA. *Acta Polytechnica Hungarica* 18:2, pp. 237-253.

- [7]. Molnár, L.; Csiszér, T.; Borbás, L.; Bognár, L. (2019): Optimization of laser beam cutting parameters of high density composite fiber cement flat board. *Materials Today: Proceedings* 12, pp. 388-394.
- [8]. Csiszér, T.; Oroszlány, G.; Kulcsár, E.; Borka, Zs.; Kormány, E. (2020): Optimization of laser cutting of reinforced PVC sheet. *Scientific, Technical and Art Releases, Óbuda University*, pp. 24-35.
- [9]. Csiszér, T.; Czelleng, A.; Csécsei, R. (2020): A minőségügyi szakma jelene és jövője: Kutatás a magyarországi minőségügyi szakmai szervezetek megítéléséről és a minőségügyi szakma előtt álló kihívásokról. *Magyar Minőség* 39:8-9, pp. 5-12.
- [10]. Csiszér, T. (2022): Critical Failure Factors of Process Development by the Lean Office Methodology. *Acta polytechnica hungarica* 19:9, pp. 221-238.

