Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus (Gödöllő)

Műszaki Menedzser Szak

NEMZETKÖZI SELEJTKÖLTSÉG CSÖKKENTŐ PROJEKT VEZETÉSE

Belső konzulens: Dr. Kovács Imre
Mesteroktató

Külső konzulens: Rajna József
Szakcsoportvezető

Készítette: **Berta Bálint**
HRRD7B
levelező tagozat

Intézet/Tanszék: Műszaki Intézet /

Műszaki menedzsment Tanszék

Gödöllő

2022

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés **4**

2. A vonatkozó hazai-, és nemzetközi szakirodalom áttekintése **5**

2.1.Automatizálási alapfogalmak 5

2.2.A vezérléstechnika általános bemutatása 8

2.2.1.A vezérlés szervei 8

2.2.2.A vezérlések osztályozása 9

2.3.Az automatizálás eszközei 11

2.3.1.Érzékelők, átalakítók 11

2.3.2.PLC vezérlés 14

2.3.3.Erősítő szervek 16

2.3.4.Beavatkozó szervek 17

2.4.Korszerű problémamegoldó módszerek összehasonlítása 18

2.4.1.Az Ishikawa-diagram bemutatása 19

2.4.2.Shainin Red X 20

3. A projektet megvalósító szervezet bemutatása **22**

3.1.Magyarországi Bosch csoport 22

3.2.Robert Bosch Elektronika Kft. Hatvan 22

4. A termék, és gyártástechnológiájának bemutatása **24**

4.1.MRR4 24

4.2.Gyártósor és gyártástechnológia 27

4.2.Radar PCB beültetés 28

5. A projekt indokoltságát meghatározó rendszerek **32**

5.1.Mutatószámok, KPI 32

5.2.System CIP 33

5.3.IPN Benchmarking 34

6. A projekt bemutatása 38

6.1.Shainin módszer alkalmazása 39

6.1.1.Focus 39

6.1.2.Approach 40

6.1.3.Converge 45

6.1.4.Test 48

6.1.5.Understand 49

6.1.6.Apply 50

6.1.7.Leverage (Kiterjesztés más gyárakra a LIMA rendszerben) 52

7. Összefoglalás 55

8. Summary 56

9. Nyilatkozat 57

10. Irodalomjegyzék 58

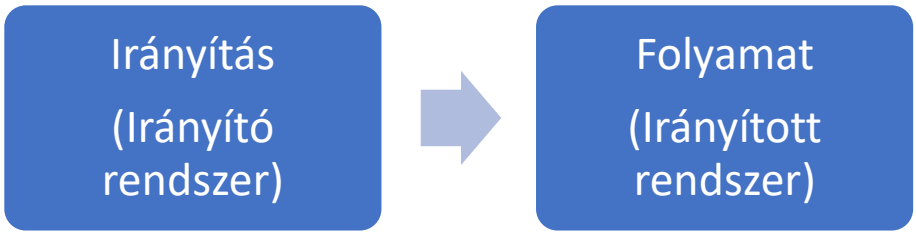
1. Bevezetés

A piaci versenyképesség fenntartása érdekében egy 21. századi, az iparági trendeket követő, esetleg diktáló vállalatnak számos területen kell rendelkeznie modern eszközökkel. A különböző ágazati szegmensek megkövetelik a negyedik ipari forradalom (továbbiakban Ipar4.0) eszközeinek bevezetését, a magas fokú automatizálást, az óriási adathalmazok értelmezhető rendszerezését, a korszerű problémamegoldó módszerek alkalmazását, valamint azon magasan képzett szakemberek együttműködését, akik a felvázolt keretrendszeren belül minőségi munkát képesek végezni. Az említett területek fejlesztése a cégek számára komoly anyagi beruházásokat jelent, azonban meglétük nélkül könnyen elveszíthetik a versenytársakkal szembeni előnyüket, valamint vevőikkel szemben a bizalmat. Úgy vélem, egy jövőbe mutató vállalati víziónak kötelező eleme kell, hogy legyen minden fentebb említett pont. A hatvani telephelyű Robert Bosch Elektronika Kft. ezeket az irányelveket követve alakítja ki munkafolyamatait, gyártósorait, informatikai rendszerét, szervezeti felépítését, valamint munkatársi fejlesztési programjait is. Szerencsésnek érzem magam, hogy egy ilyen cég alkalmazásában készíthettem el diplomamunkámat, mely során egy igen komoly, és összetett műszaki problémával találkoztam. A projekt megvalósítása nem csupán egyetlen gyárra korlátozódott, mivel a társosztályok a világ két másik lokációján is hasonló gondokkal küzdöttek a kezdeti fázisban. Ez adta a selejtköltség csökkentő projekt nemzetközi jellegét, ugyanis a probléma gyökérokának feltárása után egy kínai, valamint egy mexikói gyártó egységben is szükséges volt implementálni a megoldásokat. A diplomadolgozat során bemutatom az automatizálással kapcsolatos hazai-, és nemzetközi szakirodalmat, összehasonlítok egy elterjedtebb problémamegoldó módszert az általam alkalmazott „Shainin Red X” metódussal, részletesen elemezem a projekt műszaki vonatkozásait a termék, és a gyártástechnológia ismertetésével, ezek után a konkrét megoldások kidolgozása következik, végül pedig egy átfogó gazdasági elemzés arról, hogy mekkora haszna volt az elvégzett munkának. Végezetül egy „Lessons learned” fejezet keretein belül bemutatom a csapatunk által fejlesztett webes applikációt, melyen keresztül a jövőben induló nemzetközi projekteket lehet könnyedén nyomon követni a világ bármelyik Bosch gyárából. Ebben, az úgynevezett „LIMA” (Line Improvements Manager) rendszerben pilotként szerepel az általam levezetett projekt.

2. A vonatkozó hazai-, és nemzetközi szakirodalom áttekintése

2.1. Automatizálási alapfogalmak

Az automatizálás azt jelenti, hogy egy gépi berendezést, vagy szerkezetet önműködővé teszünk, célja pedig az, hogy emberi beavatkozás, és felügyelet nélkül fenntartható legyen annak működése. Ezen témakör szerves részét képezi az irányítástechnika, mely azon tudományágat takarja, ami a műszaki életben előforduló folyamatok törvényszerűségeivel foglalkozik, valamint ezek gyakorlati megvalósításával. Tárgyát képezi azon technológiai módszerek, eljárások összességének, melyeket egy megfelelő irányító berendezés közbeiktatásával az általunk előre definiált irányba tudunk befolyásolni. Ez a kulcs az emberi erőforrás kiküszöbölésére. Az ipari gyakorlatban a folyamatok döntő többsége egy nagy energiájú eljárás, melyet kis energiájú hatásokkal befolyásolunk. Az irányítástechnikai rendszer egyszerűsített elvi felépítését az 1.ábra mutatja.

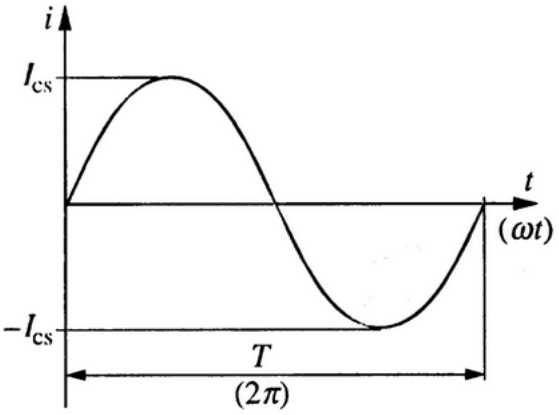


1. ábra: Irányítástechnikai rendszer elvi felépítése

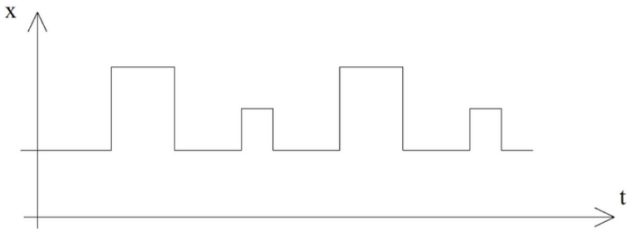
Az irányítástechnika legkisebb, tovább nem bontható szerkezeti egységét elemnek nevezzük. Ilyen elemnek tekinthetjük többek között a különböző induktív-, vagy kapacitív jelenlét szenzorokat, logikai kapukat, hőmérséklet érzékelőket, esetleg vision szenzorokat is. Az őket felépítő alkatrészek száma irányítástechnikai szempontból nem releváns, hiszen az irányító rendszer csak az elem működésére képes befolyással lenni, alkatrészeire egyenként nem.

Az irányítási részfeladatokat önállóan ellátó egységet szervnek nevezzük. Egy szerv lehet akár egy-, vagy több elem együttműködése is. A szervek közötti kapcsolatnak pontosan meghatározottnak kell lennie, melyet hatásláncnak nevezünk. Ez egy jól definiált sorrendet alkot a folyamat és az irányító rendszer között.

Irányítástechnikai szempontból a lényeges információkat tartalmazó fizikai mennyiségeket jelnek nevezzük. Értékük szerint megkülönböztetünk folytonos-, és diszkrét jeleket. Tételezzük fel, hogy az általunk monitorozott jel „x”. A folytonos jel jellemzője, hogy x bármilyen valós, vagy komplex értéket felvehet az idő függvényében. Az említett x jel pedig diszkrét értékű, amennyiben csak bizonyos y_0, y_1, y_2,… y_n valós, vagy komplex értékeket vehet fel. Tipikusan folytonos például a szinuszos jel, míg diszkrétnek tekintjük többek között a digitális jeleket. A két jeltípus idő függvényében történő megjelenítését a 2. és 3.ábra szemlélteti. Megkülönbözetetünk továbbá determinisztikus és sztochasztikus jeleket is, annak függvényében, hogy értéke minden időpillanatban egzakt módon meghatározható-e. A determinisztikus jelek lehetnek peridodikusak és nemperiodikusak, míg a sztochasztikus jelek lehetnek stacionárius és nemstacionáriusak. [8]



2. ábra: Folytonos jel



3. ábra: Diszkrét jel

Az irányítás részműveleteit négy nagyobb osztályba soroljuk. Ezek a következők:

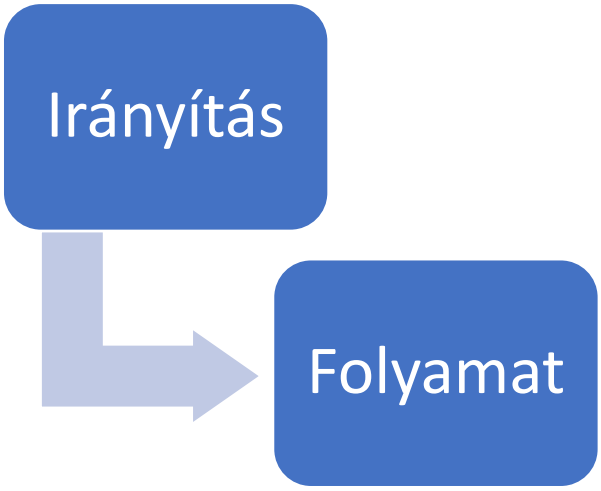
- *Információ szerzés*: Egy adott folyamat állapotának adatai. Különböző szenzorok, berendezések és mérőműszerek pillanatnyi értéke.
- *Információ feldolgozás*: Az információ szerzésre alkalmas eszközöktől érkező információk kiértékelése.

- *Döntéshozatal*: A feldolgozott információk függvényében történik.
- *Beavatkozás*: A folyamat állapotának módosítása rendszerint egy külső energiaforrás segítségével.

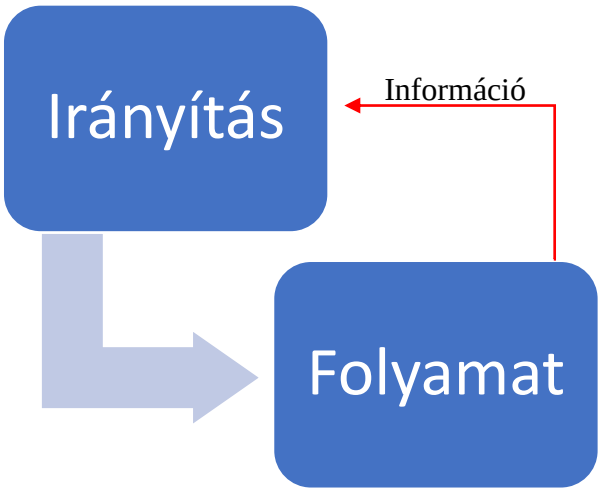
Az irányítást a folyamat állapotának monitorozása szempontjából kétféle osztályba sorolhatjuk. Ezek a következők:

- vezérlés: az irányítás közben nem érkezik információ a folyamat állapotáról
- szabályozás: az irányítás ideje alatt folyamatosan (vagy szakaszosan) rendelkezésre állnak információk a folyamat állapotáról

A vezérlésre jellemző az úgynevezett nyílt hatáslánc (4.ábra), míg a szabályozásnál zárt hatásláncról (5.ábra) beszélhetünk. Ezekre jó példa lehet diplomamunkám későbbi fejezeteiben egy korszerű, automatizált gyártósoron alkalmazott zárt hatásláncú szabályozás, mely során két alkatrész összeszerelésekor ébredő erő érték (Newton) folyamatos monitorozása, és az ez alapján történő beavatkozás zajlik. [8]



4. ábra: A vezérlésre jellemző nyílt hatáslánc



5. ábra: A szabályozásra jellemző zárt hatáslánc

2.2 A vezérléstechnika általános bemutatása

2.2.1 A vezérlés szervei

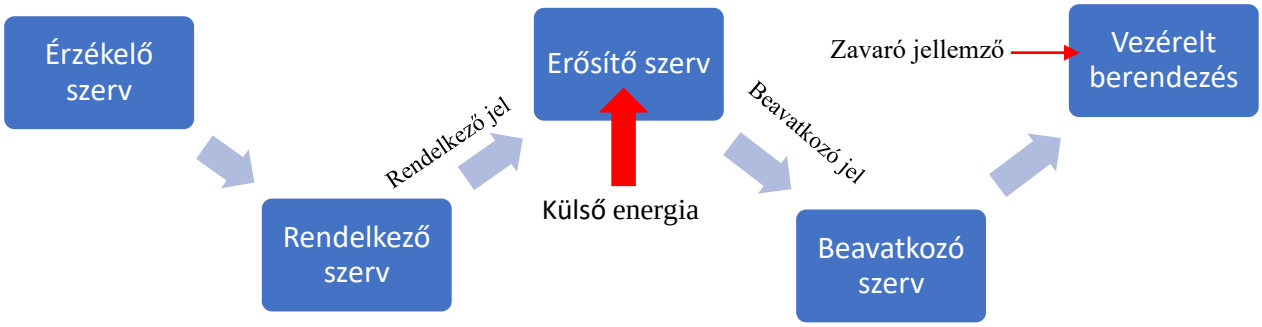
Miként az már az előző fejezetekben részletezésre került, a vezérlés során az irányított jellemző nem biztosít visszajelzést (feedback) az irányító felé. Azt is megtudhattuk, hogy a vezérlés szervekből épül fel, ezt vezérlő berendezésnek nevezzük. Az egyes szervek között megvalósuló kapcsolatot, kommunikációt hatáslánccal jellemzők, melyen a jelek csupán egy irányba terjedhetnek. Alapvetően a vezérlést négy lényegesebb szerv együttműködése definiálja. Ezek az alábbiak:

- **Rendelkező szerv:** A vezérlő berendezés szerveinek legbonyolultabb része. Rendelkező jelet hoz létre, és bocsájt ki a hozzá érkező érzékelők kimeneti jeleinek függvényében. A beavatkozás mértéke és iránya mögött a legtöbb esetben igen összetett logikai kapcsolatok állnak.
- **Érzékelő szerv:** A folyamat állapotának monitorozása céljából szolgáltat jeleket a rendelkező szerv irányába. A vezérlő berendezés információ szerző eszköze. Jellemzően a technológiai folyamatok jelentős többsége nem villamos mennyiséggel jellemezhető, azonban a korszerű rendelkező szervek villamos jelek kiértékelésének az elvén működnek. Ebből kifolyólag a szenzor feladata nem csupán az érzékelés, de a jelátalakítás is. Egyes szakirodalom *átalakító szervként* is hivatkozik a hatáslánc ezen részére.

- **Erősítő szerv:** Elnevezéséből kifolyólag legfőbb feladata a hozzá beérkező kis energiatartalmú jelek felerősítése. Ehhez rendszerint külső segédenergiát használ, így képes előállítani a vezérlő jeleknél jelentősen nagyobb energiájú jeleket, melyek már képesek beavatkozni egy folyamatba, és azok állapotát az általunk kívánt irányba befolyásolni. Az említett külső energia többek között történhet villamos-, hidraulikus-, vagy akár pneumatikus energiaátvitellel is.
- **Beavatkozó szerv:** Ez a szerv képes arra, hogy megváltoztassa az irányított folyamat állapotát. Bemenő jele a rendelkező szervtől, az erősítő szerven keresztül érkezik.

A hatásláncban vezérléstechnikai szempontból megkülönböztetünk többféle jelet és jellemzőt is. A vezérelt jellemző a folyamatnak azon tulajdonsága, melyet vezérlés útján képesek vagyunk megváltoztatni. Zavaró jellemzőnek nevezzük a folyamatot nem kívánt módon befolyásoló jellemzőt. Ez rendszerint a hatásláncon kívülről érkezik, az irányítástól független, hatását pedig negatív irányban fejti ki. A vezérlési vonalon futó jelek közül elsőként a vezető jelet emelném ki. Ez igencsak fontos szerepet játszik egy vezérlési folyamat során, mivel a rendelkező szerven belül keletkezik, az úgynevezett irányítóelemek által előállított jel. Célja a vezérlési művelet elindítása, vagy leállítása. A rendelkező jel szintén a rendelkező szerven belül jön létre az itt végbement műveletek eredményeként. A beavatkozás irányát és mértékét határozza meg. A rendelkező jel felerősített változatát nevezzük beavatkozó jelnek, mivel ez már rendelkezik a kellő mennyiségű energiával ahhoz, hogy be tudjon avatkozni. A vezérlés szerveit és jeleit egy általános hatásláncon keresztül a 6.ábra mutatja be. [1]

2.2.2. A vezérlések osztályozása



6. ábra: Egy általános vezérlési hatáslánc szervei és jelei

A vezérléseket több szempont alapján tudjuk osztályozni. Ilyen például az a szempont, hogy a rendelkezés mi alapján jön létre. A kézi vezérlésű rendszerben a rendelkező jelet egy kezelőszemélyzet tevékenysége által határozzuk meg. Az önműködő vezérlés során az érzékelők jelei, az előre definiált vezérlési logika alapján határozzák meg a rendelkezést. Véleményem szerint a világban tapasztalható folyamatosan növekvő autóipari megrendelések miatt fontos a gyártási ciklusidő csökkentése, valamint az iparági szabványok miatt a kifogástalan minőség betartása, így az önműködő vezérlésbe fektető cégek versenyképesebbek tudnak maradni a piacon. Tekintve, hogy az általam feldolgozott téma alapjául is egy ezen típusú vezérléssel irányított folyamat szolgál, így ezt a fajtát fogom tovább részletezni. Ezeket a már korábban említett vezető jel alapján lehet tovább bontani.

- Követő vezérlés: Ebben az esetben a szenzorok által érzékelt vezető jel hatására keletkezik a rendelkező jel.
- Programozott vezérlés: Egy előre meghatározott program alapján hozzuk létre a rendelkező jeleket.

A programozott vezérlést mélyebb szinten taglalva további két csoportot tudunk megkülönböztetni egymástól.

- Lefutó vezérlés: Ekkor a vezető jelet minden esetben a vezérlés alá vont folyamat állapota, illetve a külső környezetből érkező feltételek határozzák meg. A vezérlési ciklus (más néven szekvencia) kizárólag abban az esetben kezdődhet el, ha az előző már befejeződött.
- Időterv vezérlés: A vezérlési szekvencia előre programozott időközönként fut le, sokszor a folyamat állapotától függetlenül.

A szakirodalom osztályozza a vezérléseket segédenergia alapján is. A modern vezérlő berendezések döntő többsége villamos segédenergiát használ. Azonban ezektől eltérően a szakma ismer pneumatikus, hidraulikus, vagy akár elektropneumatikus vezérléseket is. A vezérlési logika egyik fontos, és korszerű ismérve a módosíthatóság. Ezt a programozható vezérlők megjelenésével tette elérhetővé az ipar számára a tudomány. A programozhatóság elősegíti a termelési rugalmasságot, hatékonyságot, a gyártósorok gyors konfigurálhatóságát. A

gyártási paraméterek, vagy a termék design megváltozásakor egy program módosítás is elegendő az új vezérlés beszerzése helyett. [1]

2.3. Az automatizálás eszközei

Az automatizálás, illetve a vezérléstechnika elvi felépítésének bemutatása után térjünk rá a konkrét eszközökre, melyek a hatásláncban futó jeleket előállítani, felerősíteni, kezelni, és értelmezni képesek, illetve ezek alapján egy logikai keretrendszer segítségével döntést tudnak hozni, majd beavatkozni a vezérelt folyamatba. Az előzőekben felvázolt hatáslánc (6.ábra) vonalát követve elsőként az érzékelőket, vagy egyes szakirodalmi források szerint az átalakítókat fogom bemutatni, majd tovább haladva a rendelkező szervekről, azon belül is a PLC berendezésekről írok, ezek után néhány gondolatot megemlítek az erősítőkről, és végül a beavatkozó szervekről.

2.3.1. Érzékelők, átalakítók

A vezérlési hatáslánc azon szerveit, melyek legtöbb esetben a technológiai folyamat közvetlen közelében kerülnek elhelyezésre, érzékelőknek, szenzoroknak nevezzük. Többnyire egy feladatot látnak el, mégpedig a rendelkező szerv felé biztosítanak információt a folyamat állapotáról. Valamilyen fizikai mennyiség monitorozására alkalmas eszközök. Tekintve, hogy a modern irányítástechnikában alkalmazott villamos jelfeldolgozásra alkalmas vezérlők sok esetben egy nem villamos mennyiség értelmezésére vannak használva, így a szenzornak képesnek kell lennie az általa érzékelt mennyiség villamos jellé alakítására is. Sok esetben kell egy hőmérsékleti értéket, mért erőt, fényerősséget, vagy akár termék jelenlétet olyan áramerősség, feszültség, esetleg ellenállás értékké alakítani, melyet a rendelkező szerv értelmezni tud. A szakirodalom számos fajtáját megkülönbözteti az érzékelőknek, ezek közül a legelterjedtebbek a következők:

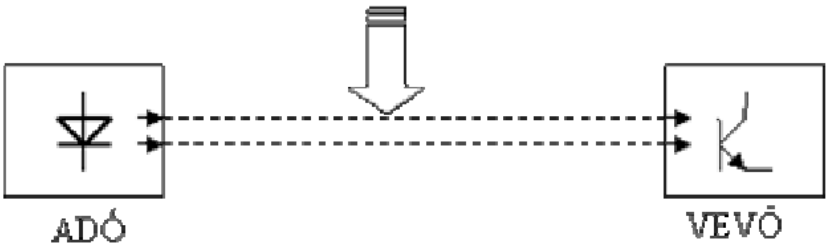
- mechanikus érzékelők
- ellenállás-változáson alapuló érzékelők
- induktív érzékelők
- kapacitív érzékelők

- optikai érzékelők
- piezoelektromos érzékelők

A mechanikus elven működő érzékelőket az iparban leginkább mozgó gépelemek végállás helyzetének érzékelésére, vagy túlfutás, leütközés elleni védelmére használják. A folyamat szempontjából lényeges végállását a mozgó alkatrésznek tetszőlegesen megválaszthatjuk, és ennek megfelelően egy olyan elemet szerelhetünk rá, mely a megfelelő pontban eléri a végállás szenzort, így megállítva a mozgást. A 7.ábra egy egyszerű mechanikus mikrokapcsolót szemléltet. Észrevehető rajta a záró (NO) és a bontó (NC) érintkező bemenetei.

7. ábra: Mechanikus végálláskapcsoló

Az optikai szenzorok működése a fényvisszaverődés elvén alapszik. Alkalmazhatóságuk fontos eleme a bennük található félvezető fényérzékenysége. Osztályozásuk is ezen két elv mentén került meghatározásra. Megkülönböztetünk fényérzékenységen-, illetve fényvisszaverődésen alapuló optikai érzékelőket. Előbbi lehet például egy fotoellenállás, vagy fotodióda, míg utóbbihoz soroljuk többek között fényfüggönyt, vagy az optikai kaput, más néven



8. ábra: Fotocella működési elve

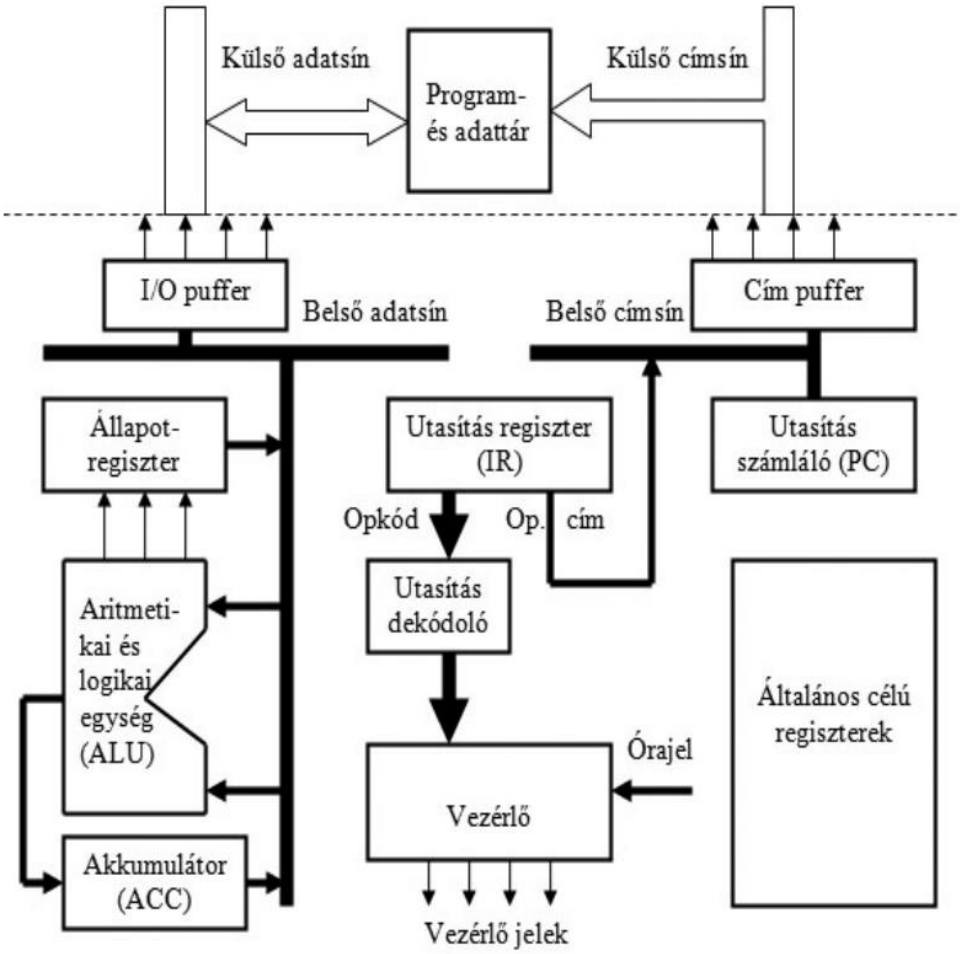
fotocellát. Utóbbi segítségével tudunk például egy alkatrész jelenlétet érzékelni, vagy egy gépbe történő benyúlás elleni biztonsági funkciót kialakítani. Működési elve a 8.ábrán látható.

A diplomadolgozat alapját képező projekt szempontjából fontosnak tartom megemlíteni a piezoelektromos elven működő érzékelők működését is. Ezen kategórián belül is az erőmérő cella működésére szeretnék kitérni, bemutatni, hogy a szakirodalom miként ír alkalmazásukról. Működési elvét tekintve egy piezoelektromos erőmérő cella a terhelés hatására benne keletkező alakváltozást használja fel. Ezzel arányosan tud kiementi feszültséget szolgáltatni egy erősítőn keresztül a rendelkező szerv irányába. Az erősítő szervnek köszönhetően nem csupán dinamikus terheléseket, hanem statikusan ébredő terheléseket is képes kimeneti feszültséggé alakítani, és kimenő jelként időben folytonosan biztosítani. Véleményem szerint alkalmazásuk sokkal kompaktabb és mobilisabb a nyúlásmérő bélyeges változatokhoz képest, mivel strapabírók, kevésbé sérülékenyek merevségük miatt. Egyetlen hátrányuk, hogy kizárólag nyomó irányú erő érzékelésére alkalmasak a konstrukciójukból adódóan. Azonban, ha húzó irányú terhelés mérésére nincs szükség, úgy gondolom, hogy a legmegfelelőbb választás lehet egy erőérték monitorozására. Az erőmérő cella szemléltetése a 9.ábrán látható. [9]

9. ábra: Erőmérő cella

2.3.2. PLC vezérlés

Napjainkban a legfontosabb ipari irányítástechnikai eszköz a programozható logiakai vezérlők alkalmazásában ölt testet. Elnevezése az angol **P**rogrammable **L**ogical **C**ontroller szavak kezdőbetűiből tevődik össze. Az első PLC megjelenése a hetvenes évekre tehető, mely akkor még egy mindössze 1kB memóriájú, 128 input/output (I/O) csatornájú központi CPU-ból állt. A PLC elterjedésében az igazán nagy áttörést a mikroprocesszor megjelenése hozta. Ennek egyszerűsített elvi vázlatál a 10.ábra mutatja be. Ez egy tokozaton belül elhelyzett áramkör, mely magába foglal egy mikroszámítógépet. A jelfeldolgozás, és az utasítások végrehajtásának sebessége az órajel függvényében növekszik.



10. ábra: Mikroprocesszor egyszerűsített elvi vázlata

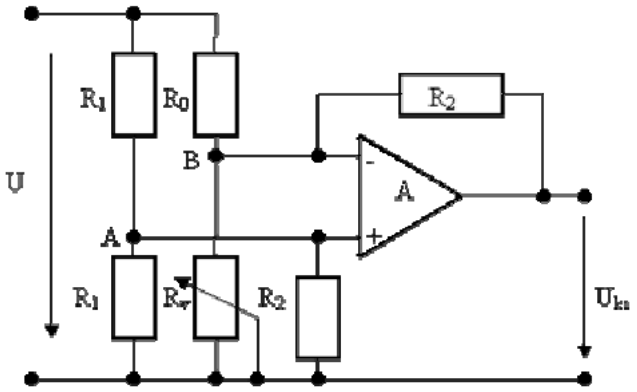
Az előző oldalon látható áramkör feladata az utasítások végrehajtása. Ennek két fázisa az utasítások lehívása, majd pedig azok végrehajtása. Az első fázisban az utasítások lehívásra kerülnek az *„Utasítás számlálóból (PC)”*. Innen az *„Utasítás regiszterbe (IR)”* kerül az információ. Az operandus az *„Akkumulátorba (ACC)”* kerül. Ezzel az utasítások lehívása befejeződik. A második fázis kezdetekor az *„Utasítás dekódoló”* értelmezi az opkódot, mely nem más, mint az utasítási művelet kódja. A *„Vezérlő”* a dekódolás után lesz képes előállítani a vezérlő jeleket. Ezeket az *„ALU (Arithmetical, Logical Unit)”* kapja meg, így képes az elvégzendő műveletet kiszámítani. A művelet elvégzése után annak eredmény az ACC-ben tárolódik, ez felülírja az eddig itt tárolt operadnust. A belső adatsínbe sorosan kapcsolt *„Állapot regiszeter”* feladata az eredményről érkező információk kezelése. A mikroprocesszor feladatai közé tartozik még többek között a megszakítás kezelése, melyeket fontossági sorrendjük alapján tud teljesíteni, a perifériákról érkező I/O jelek kezelése, illetve más egységek működésének összehangolása az órajel alapján. Fontosnak tartom kiemelni az ALU által kezelt műveleteket, mivel a jelek és információk összehasonlításában ezek megfelelő alkalmazása kulcsfontosságú.

- Aritmetikai műveletek
  - összeadás - ADD
  - kivonás - SUB
  - összehasonlítás - CP
  - inkrementálás - INC
  - dekerementálás – DEC
- Logikai műveletek
  - ÉS / AND
  - VAGY / OR
  - KIZÁRÓ VAGY / XOR
  - LÉPTETÉS BALRA / SLA
  - LÉPTETÉS JOBBRA / SRA
  - FORGATÁS BALRA / RLA
  - FORGATÁS JOBBRA / RRA
  - ÉRTÉKADÁS / SET
  - TÖRLÉS / RES

A PLC vezérléseket két nagy csoportra osztja a szakirodalom kivitelezésük alapján. Az egyszerűbb feladatok elvégzésére kompakt felépítésű vezérléseket alkalmaznak. Ezek kis méretűek, programozásuk egyszerű, azonban az inputok és outputok száma viszonylag alacsony számban korlátozott, számuk nem bővíthető. A bonyolultabb ipari berendezések és gyártósorok vezérlésére moduláris szerkezetű PLC-vel történik. Attól moduláris, hogy önálló funkcionális egységek kapcsolásából épül fel. Ebből következik a legnagyobb előnye is, hogy a bemeneti és kimeneti csatornái rugalmasan változtathatóak. A modern PLC vezérlések számos típusú kommunikációs csatornával vannak ellátva. Ilyenek például az USB, Eternet, Profibus, RS232, CAN, TCP/IP stb. Fontosnak tartom megjegyezni, hogy az ipari körülmények sokszor teszik próbára a PLC zavartalan működését, így egy független, önálló belső tápegység saját tápellátást biztosít. [1]

2.3.3. Erősítő szervek

Az erősítő szerv közvetlenül biztosít nagy energiájú rendelkező jelet a beavatkozó szervnek. Egy alapvető példája az ipari erősítésnek, a nyúlásmérő bélyegek kivezetéseinek Wheatstone híd kapcsolása. Ezt a kapcsolást egy műveleti erősítőhöz csatlakoztatják („A”-val jelölt háromszög. Elvi felépítése a 11.ábrán látható. A kimeneti feszültség az 12.ábra alapján számítható ki.



11. ábra: Nyúlásmérő bélyeg kivezetéseinek Wheatstone híd kapcsolása

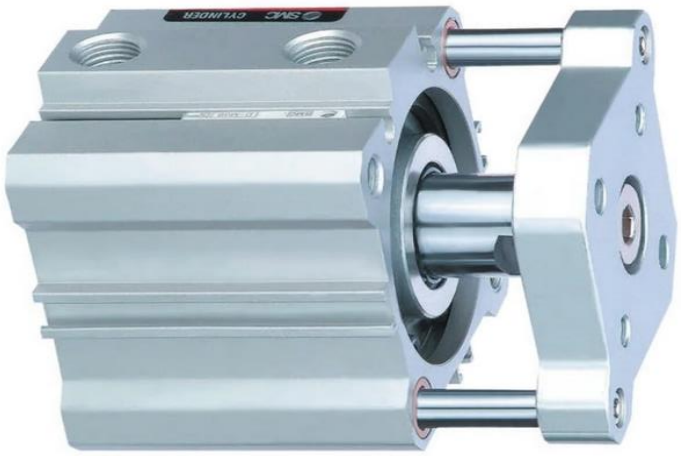
$$U_{ki} = U_{AB} \times A = U\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2 + \frac{\Delta R}{R_0}}\right) \times A$$

12. ábra: Nyúlásmérő bélyeg kivezetésein mérhető feszültség kiszámítása

2.3.4. Beavatkozó szervek

A vezérlés hatásláncának legutolsó elemét beavatkozó szervnek hívjuk. Az irányítás alá vont folyamat állapotának megváltoztatására alkalmas eszköz. Fajtájukat tekintve az ipar ágazatától függően igen széles palettával rendelkeznek. Ezek közül a legfontosabbakat szeretném kiemelni, melyek a következők:

- *Relék:* Egy rugó ellenében felfogatott fegyverzet a mozgó alkatrésze, melyet egyik irányba egy rugó, másik irányba pedig egy tekercs által gerjesztett elektromágneses mező mozgat. Amennyiben a tekercsen folyó áram által gerjesztett elektromágneses mező vonzó ereje meghaladja a rugóerőt, úgy a relé kialakításától függően az áramkör záródik (NO – Normally Open), vagy bontódik (NC – Normally Closed), vagy másik ágban kezd el folyni. Hátrányuk a mozgó alkatrészből adódik, melyre élettartamot lehet meghatározni kapcsolási szám alapján.
- *Mágneskapcsolók:* Működési elvük megegyezik a reléjével. Különbségük a mágneskapcsolóban található főérintkezőből adódik, mely alkalmas nagy áramok megszakítására. A tekercs kialakításától függően képes 24V-os egyenáram, vagy 230V/400V-os váltakozó áram kezelésére is.
- *Pneumatikus munkahengerek:* A legelterjedtebb pneumatikus beavatkozó szerv. Számos típusát megkülönbözteti a szakirodalom, és osztáylozza azokat



13. ábra: Pneumatikus munkahenger

működtetés, létrehozott mozgás, kivitelezés, helyzetstabilitás, és véghelyzet-csillapítás szerint. [9]

A szemléltetés kedvéért, egy, a témám alapjául szolgáló berendezésben elhelyezett munkahenger a 13.ábrán látható. Ez kettős működésű, lineáris mozgású, dugattyúrudas, kétállású, rugalmas löketvég-csillapítással ellátott munkahenger. A munkadarabhordozó stabil munkapozícióba való mozgatásáért felelős. Külső burkolatán elhelyezett végállásszenzor jelez vissza a PLC-nek, hogy a munkahenger elérte-e a végállását.

- *Villanymotorok:* A villamos energiát közvetlenül mechanikus energiává alakító beavatkozó szerv. Az ipari technológia legszélesebb körben alkalmazott beavatkozó szerve. Az általam legjobban ismert típusa egyenáramú, állandó mágneses gerjesztésű szervomotor. Nagy előnye, hogy fordulatszáma széles skálán módosítható, elhanyagolható veszteségek mellett. Felépítésük egy álló-, és egy forgórészből áll. [13]

2.4. Korszerű problémamegoldó módszerek összehasonlítása

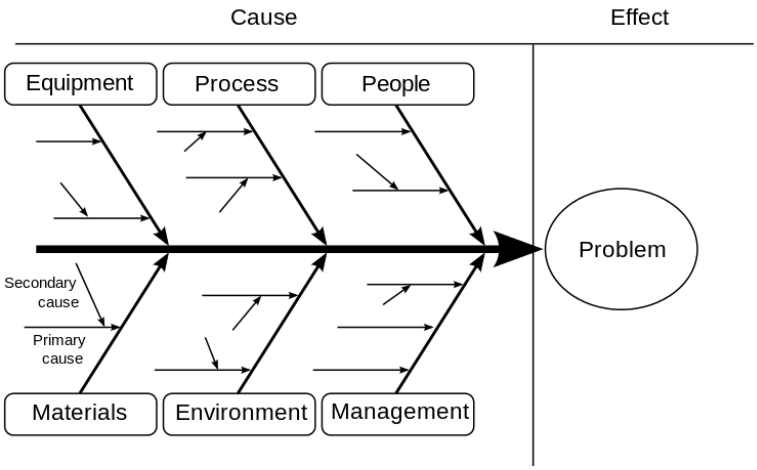
A következő fejezetben egy igen jól ismert, és széles körben alkalmazott problémamegoldó módszert fogok bemutatni, majd többféle vonatkozásban összehasonlítani, egy viszonylag kevésébé elterjedt eljárással. Napjainkban már számtalan technikát használnak a műszaki szakemberek az iparban fellépő problémák gyökérokának feltárására. Ezen metódusok ismerete, és alkalmazása egyre inkább indokoltabbá válik, mivel a negyedik ipari forradalom magas szintű automatizáltsága egyre komplikáltabbá teszi a gyártást, és a termelő vállalatok szervezetét is. Úgy vélem, a jövőben mindezen feladatok elvégzésére alkalmas lesz a mesterséges intelligencia (AI), melynek fejlesztése napjaink egyik legnagyobb fókusz témája a világban. Azonban mindaddig, amíg ezen eszköz nem áll rendelkezésünkre, addig az emberi agy találékonyságára van bízva, hogy milyen szisztéma alapján közelíti meg a problémákat. A legelterjedtebb módszerek közé sorolhatók az alábbiak:

- PDCA – Plan, Do, Check, Act
- SFMEA – Simplified Failure Mode and Effect Analysis
- 5Why

- 8D
- Ishikawa-diagram

2.4.1. Az Ishikawa-diagram bemutatása

A leghíresebb japán módszer leírását leginkább lényegre törően a www.leanforum.hu weboldalon megjelent cikk fogalmazza meg: „Az Ishikawa diagram, más néven ok-okozati vagy halszálka diagram, a strukturált problémamegoldás alapvető eszköze. Mint nevéből is látszik Kaoru Ishikawa professzor dolgozta ki ezt az eljárást, az egyes minőségi problémák alapvető okainak feltárására. A Probléma megoldása csak akkor vezet eredményre, ha sikerült az adott probléma úgy nevezett gyökerét, alap okát megtalálni. Ha csak tünetileg kezeljük a problémát, akkor később is elő fog fordulni. Ahhoz, hogy a probléma gyökerét vagy gyökereit megtaláljuk fel kell tárnunk az okok és az általuk kiváltott hatások közötti kapcsolatok rendszerét, ebben segít az ok-okozati diagram. A halszálka diagram, a minőségmenedzsment területén lett kidolgozva, de az élet számos egyéb területén is eredményesen alkalmazható a problémamegoldás támogatására. … Az ok-okozati diagramot, a problémától (hatástól) visszafelé haladva szerkesztjük meg, az egyes hatások elemzésénél a „miért” kérdést tesszük fel és igyekszünk eljutni a hatást kiváltó alapvető okokhoz. … Határozzuk meg a problémát (hatást) kiváltó fő okokat (4-8 db) és kössük ezeket hozzá a diagram gerincéhez. A fő okok megtalálásához az ok-okozati diagram az ember - gép - módszer - anyag (4M – Man – Machine – Method – Material)”. Attól függően, hogy milyen ágazatban kerül felhasználásra, a diagram bővíthető további okokkal. A halszálka-diagram általános elvi felépítése a 14.ábrán látható. [10]

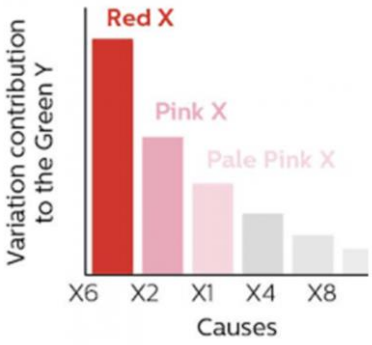


14. ábra: Általános Ishiskawa-diagram

A módszert kritizáló szakemberek a szakirodalom szerint többször élesen bírálták a technika azon gyengeségét, miszerint nem tesz különbséget egy esemény bekövetkezéséhez „szükséges” és „elegendő” feltételeiről. Szükségesnek nevezzük azt az okozatot, mely nélkül egy adott esemény nem tud bekövetkezni, elégséges pedig az a körülmény, melynek fennállásakor az esemény biztosan bekövetkezik. Véleményem szerint számos probléma leírásához, és monitorozásához alkalmas tud lenni ez a módszer, azonban számomra ez inkább csak találgatás, a lehetséges gyökérokok felsorolása, mintsem egy strukturált, jól definiált stratégia mentén történő problémamegoldás.

2.4.2. Shainin Red X

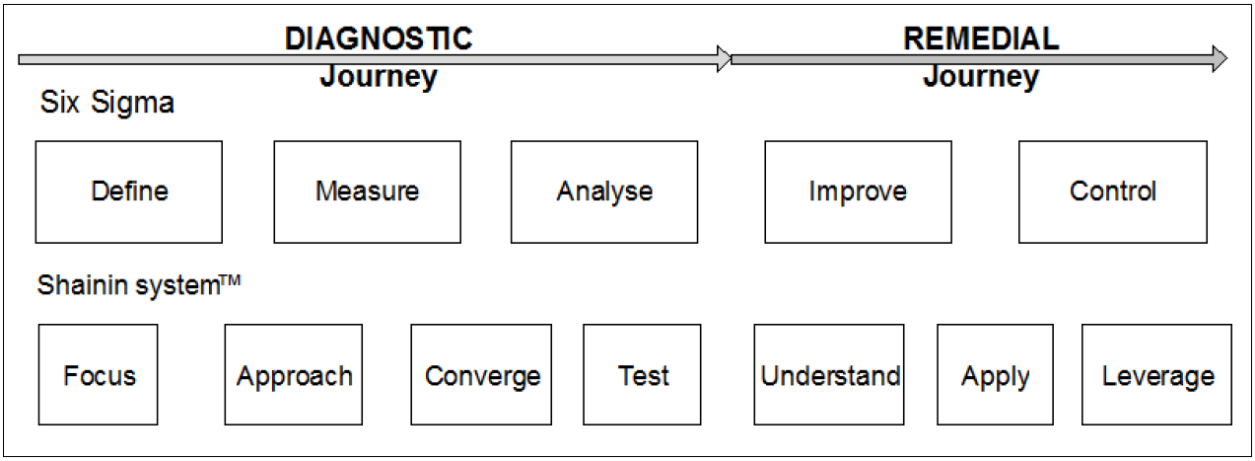
Az eljárást az amerikai minőségügyi tanácsadó, repülőmérnök, és egyetemi professzor, Dorian Shainin dolgozta ki, és szabadalmaztatta az 1940-es években. A módszer alapvető megállapítása szerint minden problémának van egy domináns gyökéroka (Red X), melynek megszüntetése, vagy mérséklése kedvező hatással van az általunk megfigyelt folyamatparaméterre (Green Y). A domináns ok létezése a Pareto-elven alapszik. Az ok-okozatot ez a technika X-szel és Y-nal jelöli. Egy okozatnak, vagy kimenetnek több oka is lehet, melyek a Pareto-elv eloszlása szerint különböző mértékben befolyásolják az outputot. A bemenetek szín alapján kerülnek kategorizálásra, és amelyiknek a legszignifikánsabb a hatása, az lesz a domináns ok, más néven Red X, vagyis a gyökérok. Shainin a kimenet kívánt állapotát Green Y-nak nevezte el. Az bemenetek kategorizálását a 15.ábra mutatja. [12]



15. ábra: A bemenetek Pareto-elv szerinti osztályozása

Egyéb minőségirányítási eljárásoknál használatos DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) lépésekkel ellentétben, itt az úgynevezett FACTUAL irányvonalat kell követni, mely az alábbiakat tartalmazza. A két megközelítés vizualizációja a 16.ábrán látható.

- **F**ocus: Az üzleti célkitűzésből, egy műszaki projekt definiálása.
- **A**pproach: A Green Y kiválasztása, a stratégia meghatározása, és a mérőrendszer verifikálása.
- **C**onverge: Közelítés a Red X-hez, legjobb és legrosszabb állapot összehasonlítása.
- **T**est: A Red X véglegesítése teszteléssel, rizikóbecslés.
- **U**nderstand: A Red X és a Green Y közti kapcsolat megértése, vevői elvárások átültetése gyártási limitekké, az összefüggés természettudományos hátterének feltárása.
- **A**pply: Javító intézkedés bevezetése és jóváhagyása, a Green Y monitorozása.
- **L**everage: A megtakarítások kiszámítása, tanulságok levonása.



16. ábra: Six Sigma vs. Shainin system

A módszer fontos eszköze a fent említett „Converge” fázisban való legjobb és legrosszabb állapot összehasonlítása. Ez annyit jelent, hogy a kiválasztott Green Y-t az általunk megfigyelt összes terméken, folyamaton mérjük, és a legjobb értékkel rendelkezőt elnevezzük BOB-nak (Best Of Best), a legrosszabbat pedig WOW-nak (Worst Of Worst). Ennek segítségével lehet elérni azt, hogy a jó és rossz darabok közti kontraszt a legnagyobb legyen, ezzel is elősegítve a Red X megtalálását. A technika egyik alapelve a „No guessing” jelmondat, vagyis nem szabad találgatni a lehetséges gyökérokok megnevezése céljából, hanem statisztikai, matematikai úton kell levezetni a legnagyobb hatással bíró tényezőt. Ebben is különbözik az előző pontban részletezésre került Ishikawa-diagramtól. [15]

3. A projektet megvalósító szervezet bemutatása

3.1. Magyarországi Bosch csoport

A Bosch termékeivel 1898 óta van jelen Magyarországon. Az 1991-ben újjáalapított regionális kereskedelmi kft-ből mára jelentős, hazánkban kilenc önálló vállalat szoros stratégiai együttműködéséként, a Bosch csoport Magyarország egyik legnagyobb külföldi ipari munkaadója lett. A 2019-es üzleti évben a vállalatcsoport teljes árbevétele 1465 milliárd forint, magyarországi konszolidált forgalma – amelybe nem tartoznak bele a saját vállalatai között folytatott kereskedelmi tevékenységek – 259 milliárd forint volt. A magyarországi Bosch csoport több mint 15 000 munkatársat foglalkoztat. Az egyes gyártó, kereskedelmi és fejlesztési egységekhez tartozó kereskedői és szervizhálózat a teljes országot lefedi.

3.2. Robert Bosch Elektronika Kft. Hatvan

Az 1998-ban alapított hatvani gyár a Bosch csoport gépjármű-elektronika részlegének legnagyobb gyártó központja a világon, ahol több mint 6000 munkavállaló járul hozzá a jövő autózásának alakításához. A gyár telephelye az 17.ábráb látható. A vállalat fő profilja a cégcsoport mobilitási megoldások üzletágának jövőbe mutató termékei közül a vezérlő elektronikák, szenzorok, radarok és kamerarendszerek sorozatgyártása. Az elmúlt húsz évben világszerte több százmillió járművet szereltek fel a Bosch hatvani telephelyén készült különféle

17. ábra: A hatvani Robert Bosch Elektronika Kft. telephelye madártávlatból

elektronikákkal. A Hatvanban gyártott elektronikai berendezések jelentős mértékben hozzájárulnak ahhoz, hogy a vezetés még biztonságosabb, környezetkímélőbb és gazdaságosabb legyen. A Bosch több mint 800 helyszínt magában foglaló logisztikai hálózatán belül működő hatvani logisztikai központ egy, a Bosch globális raktározási stratégiáját tükröző közép-kelet-európai stratégiai csomópont. A létesítmény a régióba bejövő és onnan kimenő termékeket és nyersanyagokat egyaránt kezeli. Az új logisztikai központ a széles körben bevezetett és összekötött Ipar 4.0 berendezések, alkalmazások és folyamatok egyesítését végzi. A vállalat stratégiai célja, hogy munkavállalói szakértelmének, valamint csúcstechnológiát képviselő gyártási megoldásainak folyamatos fejlesztésével az automatizált, balesetmentes és környezetbarát autózás jövőjében aktív szerepet vállaljon.

A vállalatvezetés elkötelezte magát a fenntartható, modern, és zöld jövőkép formálása mellett. Ezen elköteleződés eredménye a hatvani gyár termékpalettája és célrendszere is. Az ország egyik legnagyobb ipari parkjában elhelyezkedő óriás gyár adja Magyarország GDP-jének több mint 1%-át. Az üzleti terv minden évben világos és egyértelmű: „Magasabb árbevétel, mint az előző üzleti évben.” . Minden negatív befolyásoló tényező ellenére a cégcsoport még mindig egy közel 78 milliárd EUR nagyságú nettó árbevételt tudhat magáénak. Versenyképességét azzal tartja fenn a vállalat, hogy az árbevétel közel 85-90%-át a saját fejlesztéseibe forgatja vissza. Ezalatt értendő a különböző gyártó egységek, gépparkok, ingatlanok fejlesztése, termékfejlesztés, termék portfólió bővítés, új termékek bevezetése, valamint alkalmazottak folyamatos továbbképzése.

4. A termék, és gyártástechnológiájának bemutatása

4.1. MRR4

A hatvani gyárban a radar termékek gyártása 2013-ban kezdődött az MSE3.5 nevű értékáramon. A radar segítségével meghatározható az előttünk haladó jármű távolsága és a relatív sebessége. Különböző funkciói lehetnek az ACC (Adaptive Cruise Control), a vészfékezés, vagy a gyalogosvédelmi rendszer. Jelenleg három típusú radar termék sorozatgyártása zajlik az üzemben, ezek a következők:

- LRR3 – Long Range Radar 3.Generáció
- LRR4 – Long Range Radar 4.Generáció
- **MRR4 – Mid Range Radar 4.Generáció**

A három termékcsalád legfontosabb funkcionális tulajdonságainak összehasonlítása az 1.táblázatban látható. A termékek fotóját a 18. ábra mutatja.

1. táblázat: Három típusú radar összehasonlítása

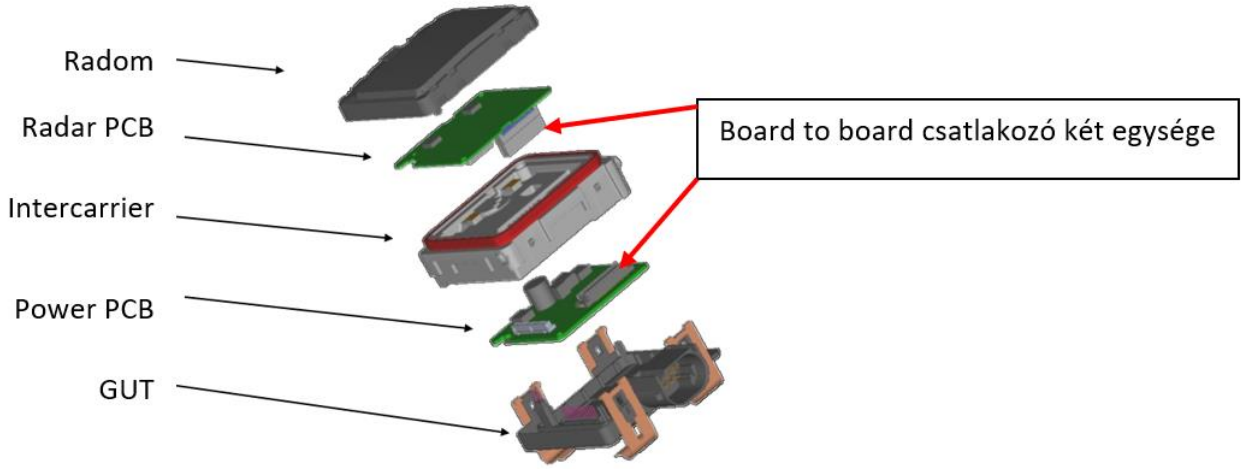
	LRR3	**LRR4**	**MRR4**
Hatótávolság (m)	0,5 - 250	0,5-250	0,5 - 130
Látószög (fok)	30	30	45

LRR3 **LRR4** **MRR4**

18.ábra: Három típusú radar megjelenés béli különbsége

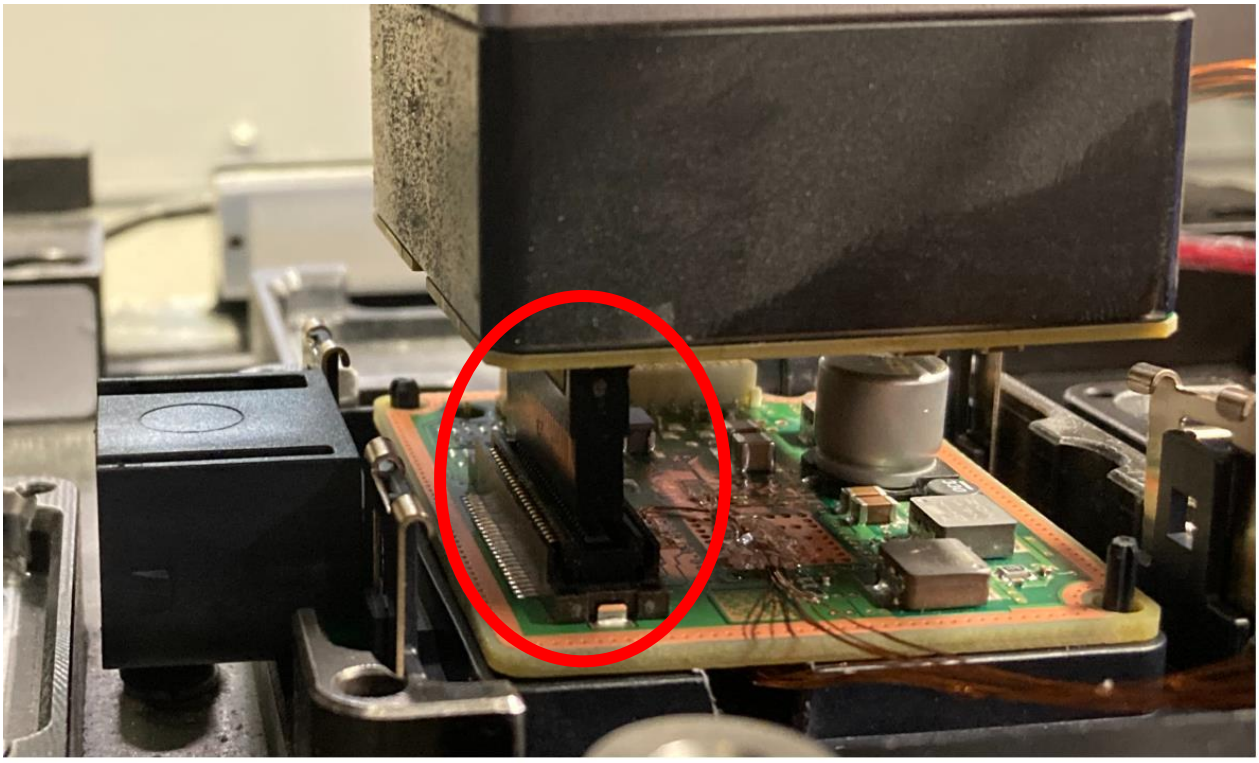
A diplomamunka alapját képező nemzetközi selejtköltség csökkentő projekt fókuszterülete az MRR4-es termék gyártásának egyik lépése. Ehhez fontos megismernünk az adott termék felépítését, valamint gyártástechnológiáját. A 19.ábra a radar szenzor robbantott ábráját mutatja. Az ábrákon lentről felfelé haladva a következő komponenseket láthatjuk. A termék legalsó része az úgynevezett „GUT” , mely a német Gehäuseunterteil, vagyis alsó ház rész kifejezés rövidítése. Ez az alkatrész létesít összeköttetést a gépjármű, és a termék között a rajta található vevői csatlakozón keresztül. Itt találhatók még a GUT négy sarkában elhelyezkedő „clip spring”-ek (továbbiakban: klipsz), melyek egyben tartják a készterméket az élete során. A házba elsőként az úgynevezett Power PCB (PCB = Printed Circuit Board / Nyomtatott áramkör, magyar rövidítése NYÁK) kerül beültetésre. Ennek szerepe, hogy a vevői csatlakozón keresztül érkező tápfeszültség megfelelő hányadát juttassa el a későbbiekben beépítésre kerülő Radar PCB-hez. Ezt egy Board to board (B2B) csatlakozón keresztül képes megtenni. A Power PCB a GUT-vel 11 darab pin-en keresztül létesít kontaktust. Sorban a harmadik komponens az Intercarrier (németül: Zwischenträger, magyarul: köztes hordozó). Ez egy alumínium öntvény az alján, és a tetején egy-egy piros színű elasztikus tömítéssel. Célja, hogy a két nyomtatott áramkört egymástól elszeparálja, és azok csupán a Board to board csatlakozón keresztül érintkezzenek egymással. Ezek után kerül beültetésre a Radar PCB (a diplomamunka későbbi részeiben esetlegesen Antenna PCB néven is kerülhet megemlítésre), mely a termék funkciójának betöltésére szolgáló áramkör. Képes a radar hullámok kibocsátására, és azok visszaverődésének érzékelésére. Az általam vezetett projekt során ezen alkatrész beültetési hibáiból származó selejtköltségek kerültek lecsökkentésre. Az ekkor még nyitott állapotban lévő terméket egy „Flash” folyamat során a típus és vevő releváns programmal látják el. Utolsó lépésként a terméket felülről lezáró úgynevezett Radom kerül beépítésre. Ennek kettős szerepe van. Egyrész megvédi a termék belsejét a szennyeződésektől, környezeti behatásoktól, valamint a radar által kibocsátott jeleket képes árnyékolni, vagy éppen átengedni.

A termék összeszerelése után egy többlépcsős tesztelő soron halad végig. Itt ellenőrzésre kerül a funkcióvizsgálat extrém hideg (-40 ^{o}C), illetve meleg (80 ^{o}C) hőfokon, a radar által kibocsátott jelek visszaverődésének érzékelése, a termék egyedi azonosítójának, és adatainak felprogramozása, valamint egy OOE (Objective Optical End test) a termék fontosabb külső elemeiről, illetve egy szintén automatizált címkézési folyamat is lejátszódik.

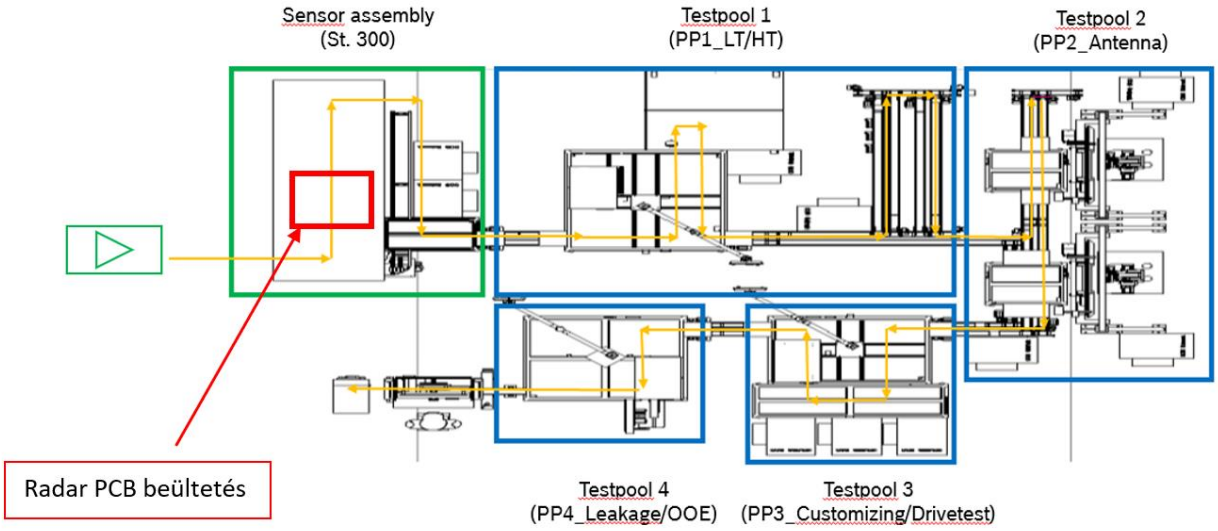


19. ábra: MRR4 robbantott ábra

A szemléletesség kedvéért a 20.ábrán egy általam készített fotó látható, melyen Intercarrier nélkül látható a Board to board csatalkozó két fele a Power és a Radar PCB-n.



20. ábra: B2B csatlakozó a valóságban (Intercarrier nélküli próba termék)



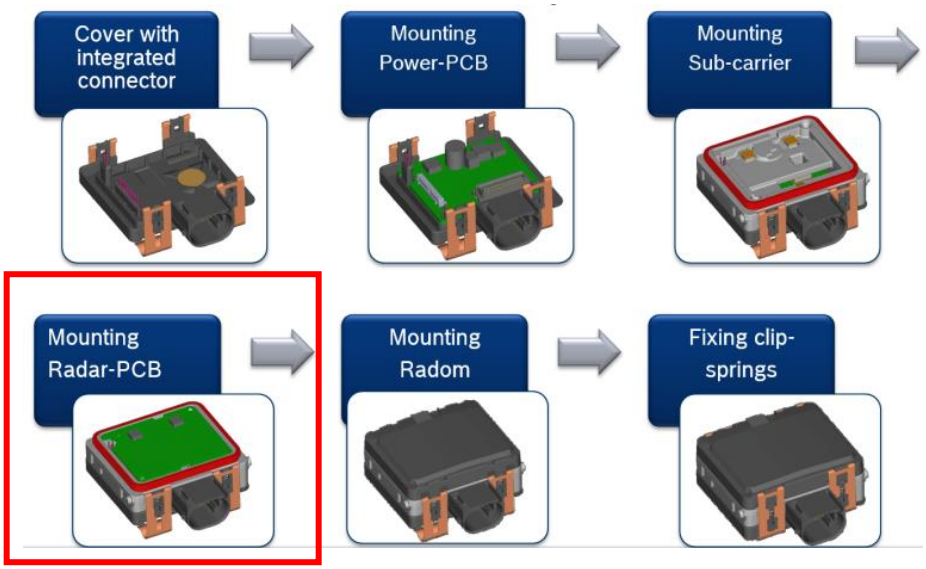
21. ábra: Smart Line layout

4.2. Gyártósor és gyártástechnológia

A gyártósorok neve Smart Line, mely arra utal, hogy a termék összeszerelése, valamint tesztelése is teljes mértékben automatizált folyamat. Humán erőforrás csupán a sor eleji alapanyagbetöltés, valamint a sor végi késztermék csomagolás alkalmával szükséges. A gyártósori layout-ot az 21.ábra szemlélteti. Zöld színnel bekeretezve látható az összeszerelő állomás, kékkel pedig a tesztállomások. A 22.ábra már az összeszerelő állomáson belül végbemenő szerelési folyamatokat mutatja be lépésről lépésre. A téma alapjául szolgáló nemzetközi projekt a *„Mounting Radar-PCB”* nevű folyamatban fellépő Radar PCB beültetési hiba típusú hibakép előfordulásának csökkentésére indult. A diplomamunka későbbi fejezeteiben ezt az egy folyamatot fogom fókuszba helyezni, és bemutatni részletesen.

Állomások szerinti sorrendben elsőként az automatizált összeszerelő állomás szerepel, innen a már késztermék a PP1-re (PP = Prüfung Pool) kerül, ahol megtörténik a hideg, és meleg funkció teszt. A termékeket itt egy robot pakolja be, és ki kamrákból. A PP2 az úgynevezett Antenna teszt. Itt kerül ellenőrzésre a termék által kibocsátott jelek detektálása. Ebből az állomásból kettő helyezkedik el egymás mellett, a termékek pedig felváltva mennek az első, illetve a második teszterbe. Erre azért van szükség, mert a sori ciklusidő 12,5 másodperc, azonban az antenna teszt ciklusideje 25 másodperc. A duplikált állomás teszi lehetővé a gyártósor taktus idejének megtartását. A következő folyamat a PP3 Customizing, ahol a

termékek már az autóipari szabványok által meghatározott egyedi adatokat kapják meg, majd a Drivetest során egy ON/OFF teszteléssel ki-, illetve bekapcsolódik a radar. Ez az utolsó folyamat a gyárban, mely során be szabad kapcsolni a készterméket, ezután már csak az autógyárban történő tesztelések során megengedett a bekapcsolás. A PP4-en történik a termék tömítettség vizsgálata, mely során a vevői csatlakozón keresztül 60mbar túlnyomással töltődik meg a radar, a nyomásesést pedig folyamatosan monitorozza az állomás. Amennyiben ez a folyamat is sikeres, a termék átesik az OOE vizsgálaton, megkapja az egyedi, vevő által előírt címkét, és a sor végi csomagoló operátor ládába helyezi azt. Az összeszerelő állomás folyamatlépései a következők: alapanyag betöltés, komponens ellenőrzés, Power PCB beültetés, Intercarrier beültetés, Radar PCB beültetés, Flash programozás, Radom szerelés, Klipsz szerelés. A 22.ábrán piros téglalappal jelölve a probléma alapját képező folyamat.

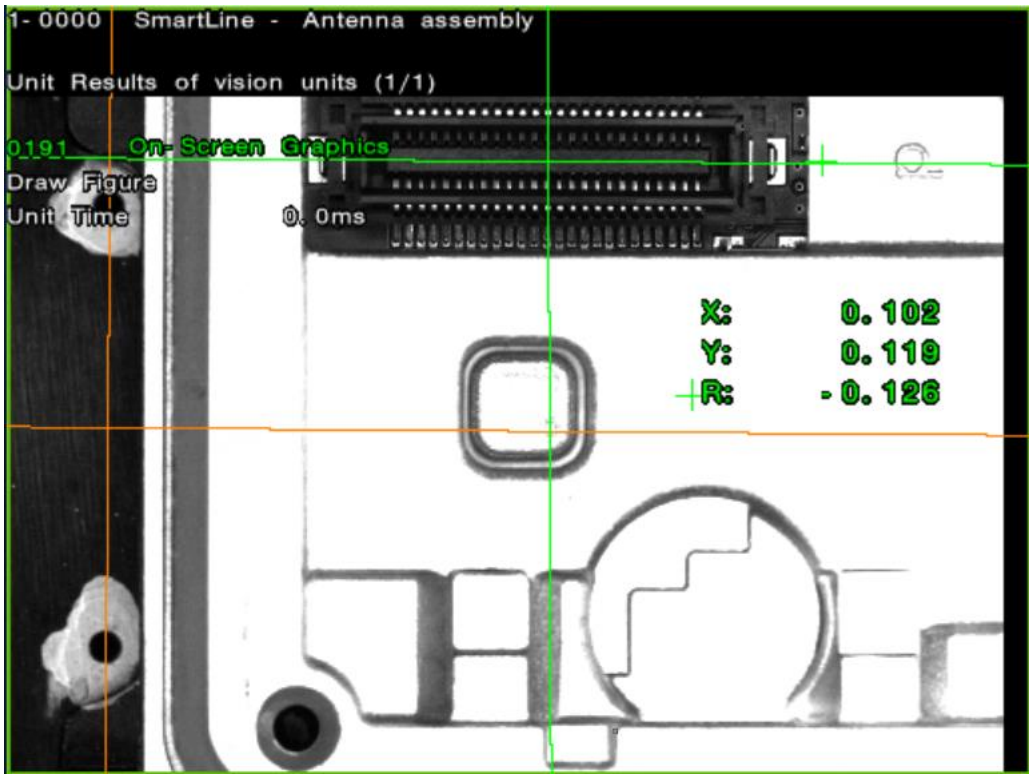


22. ábra: Összeszerelő folyamat lépései

4.3. Radar PCB beültetés

A nyomtatott áramkör felvétele a munkadarab hordozóból vákuumpipetták segítségével történik, melyek a beültető fejre vannak rögzítve. A beültető fejet négy tengelyen lehet mozgatni, mely mozgásokat szervo motorok valósítanak meg. X tengelynek nevezzük a transzport szalaggal párhuzamos, Y-nak az arra keresztirányú mozgást. A Z tengely a fel-le mozgatásért

felelős, valamint ez a forgástengelye az R irányú beállításnak. Lévén, hogy egy precíziós összeszerelésről beszélünk, ezred mm pontosságú pozícionálásra van szükség. Az SMT (Surface Mounted Technology) gyártás során a NYÁK-ra forrasztott B2B csatlakozó pozíciója is tűréssel ellátott méret, így annak X,Y és R irányú szórása is van. Ezt hivatott kiküszöbölni egy ipari kamerarendszer, mely az elkészített kép, és az előre leprogramozott kalkuláció után a PLC-nek kiküldött értékekkel képes korrekciózni a szervo motorok, és ezzel a beültető fej pozícióját. A Board to board csatlakozó Power PCB oldalán elhelyezkedő feléről készült kamerás képet a 23.ábra szemlélteti. Látható rajta a fent említett három tengely mentén történő korrekció. X és Y irányban a mértékegység mm-ben, R tengelyen pedig fokban értendő. Az értékek pozitív, és negatív számok is lehetnek. Amennyiben valamelyik irányú korrekció a PLC programban meghatározott tűrésen kívülre esik, úgy a beültetés el sem kezdődik, mivel a B2B csatlakozó valószínűleg ferdén került beültetésre az előszerelések (felületszerelés) alkalmával.



23. ábra: Radar PCB lerakási korrekciója kamera segítségével

Radar PCB beültetése során a maximálisan megengedett erő, mely keletkezhet, 60N. A hibás beültetés alkalmával ezt az értéket lépi túl az erőmérő cella által mért érték, és a gép PLC programja rossz (NOK) bejegyzést ad a terméknek, majd selejtezi azt. Erre az erőkorlátra a nyomtatott áramköri elemek, felületszerelt SMT alkatrészek védelme miatt van szükség, hisz 60N felett már akkora alakváltozást szenved a hordozólemez, hogy a rajta található kerámia

kondenzátorok, vagy éppen integrált áramkörök sérülhetnek, megrepedhetnek. A szerelés során a Power PCB-n és a Radar PCB-n található Board to Board csatlakozó két felét kell csatlakoztatni egymáshoz kisebb, mint 60N-os ébredő erővel. A 24. ábra a folyamat út-erő diagramját mutatja be. A 25.ábrán a folyamat egyszerűsített vizualizációja látható, rajta pedig az út-erő diagram pontjai, ezek a valóságban a következőket jelentik:

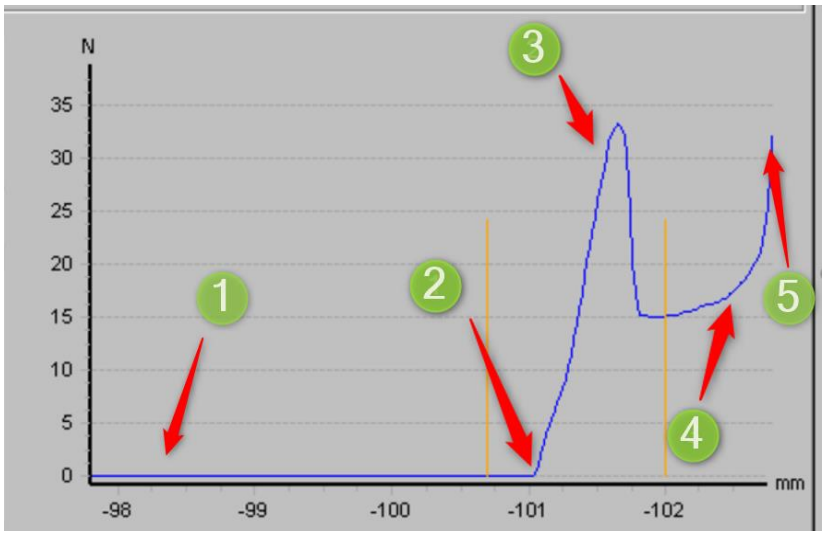
1.: A Radar PCB megközelíti a Power PCB-t, ezen a szakaszon erő még nem ébred

2.: A B2B csatlakozó két fele összeér, az erő elkezd növekedni

3.: A csatlakozó belső részében megtörténik a kontaktus, az érintkező felületek átlépik a legszűkebb keresztmetszetet, az ébredő erő ekkor éri el a maximális értékét

4.: A Radar PCB elkezd felfeküdni az Intercarrier belső peremén, az erő ismét nőni kezd

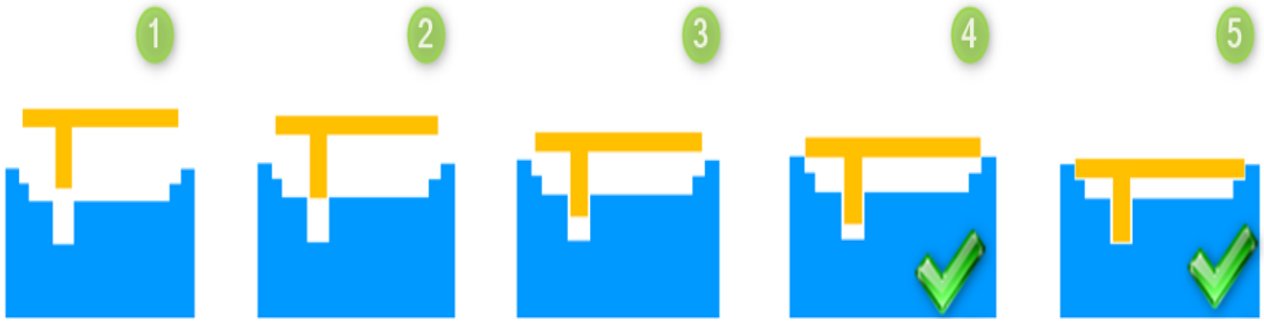
5.: A PLC-ben beállított megállítási erőt elérve (plusz egy minimális túlfutás) a szervo megáll, a szerelés véget ér



24. ábra: Radar PCB beültetés út-erő diagramja

A diagramon látható két sárga vonal a problémamegoldó projekt során nagyon fontos szerepet játszott. Ezen két vonal közötti szakaszt **maszkolási zónának** nevezzük. A zóna indokoltsága egy korábbi, a gép tervezési fázisában megvalósult projekt eredményeként született meg, miszerint a szerelés teljes egészére nem alkalmazható csupán egy értékű erőkorlát. Az előbb említett megállítási erő egy háromszoros biztonsági tényezővel csökkentve, 20N-ra van beállítva. Mivel a szerelés során nem ébredhet 60N-nál magasabb erő, így elengedhetetlen egy ilyen szintű biztonsági funkció alkalmazása. A Board to board csatlakozó két része azonban az említett 20N-nál általában magasabb erővel tud csak egybe csatlakozni. A maszkolási zóna lényege, hogy ezen belül a megállítási erő egyenlő a szerelési erőkorlát 60N-os értékével, ezzel

biztosítva, hogy a két NYÁK megfelelő stabilitással egymásba csatlakozzon. A maszkolási zóna előtti, illetve utáni szakaszon továbbra is 20N a megállítási erő, és 60N a szerelési erőkorlát.



25. ábra: Radar PCB beültetés egyszerűsített vizualizációja

5. A projekt indokoltságát meghatározó rendszerek

A következő fejezetekben részletezni fogom, hogy a vállalatnál milyen módon került meghatározásra egy selejtköltség csökkentő projekt elindítására. Megemlítem a legfontosabb mutatószámokat, melyek segítenek eligazodni a top menedzsment számára, hogy mik legyenek a fókusz témák az előttük álló időszakban, bemutatom a Bosch által alkalmazott System CIP rendszert, illetve a projekt nemzetköziségét nyújtó IPN Benchmark stratégiát is.

5.1. Mutatószámok, KPI

Egy folyamatos termeléssel működő gyárban nagy szerepe van a különböző gyártási mutatószámok, vagy másnéven KPI-ok (Key Performance Indicator) standard rendszerezés alapján történő nyomon követésének. A top menedzsment ezen KPI-ok alapján képes projekteket definiálni, indokoltságukat levezetni, célokat megfogalmazni, és ezen célok elérését monitorozni. A mutatószámok végeredményben mindig a költségek nagyságára vezetnek vissza, így az eredményeket EUR-ban képes mérni a vállalat. A gyártási folyamatok összetettségének köszönhetően számos mutatószámot alkalmaz a cég, ezek közül részletezem azokat, melyeket a projekt vezetése során használtam.

- IDC (Inside Defect Cost): A belső selejtköltséget jelenti. A gyártási folyamat különböző lépéseiben történő hibák miatti alapanyagselejtezés következtében keletkezik. Mértékegysége EUR. Megengedett maximális értéke általában negyed-, fél-, vagy teljes évekre előre kerül meghatározásra a top menedzsment által.
- FOR (Fall Out Rate): Az összes selejt termék darabszámának, illetve a jól legyártott termékek darabszámának hányadosa. Mértékegységét százalékos formában adjuk meg. A Smart Line-ra meghatározott limit egy 24 órás gyártásra 3,15%, mely teljes kapacitásnál nagyjából 150-200db terméket jelent.
- Utilization (Nutzung): A sori kihasználtság mérőszáma. A legyártott jó termékek darabszámának (output), és a gyártósor teljes kapacitásának hányadosa. Mértékegysége százalékos formában kerül megadásra. Befolyásoló tényező az összes állásidő, a technikai jellegű hibák, illetve a szünetek is. Az üzleti terv alapján egy Smart Line kihasználtsága egy 24 órás periódusban minimum 85% kell, hogy legyen.

- Emberi produktivitás: A legyártott jó termékek darabszámának (work output), és a termék legyártásában közvetlenül résztvevő személyek számának (employee input) hányadosa. Eredménye egy mértékegység nélküli szám, értéke pedig a darabszám növelésével, vagy a dolgozó személyek számának csökkentésével emelhető.

5.2. System CIP

A Bosch csoport vállalati kultúrájának egyik legfontosabb alappillére a folyamatos fejlesztés. Az erre kidolgozott rendszert nevezzük System CIP-nek. A „CIP" rövidítés a „Continuous Impovement"-re utal, mely folyamatos fejlesztést jelent. Ez jelképezi azt, hogy a folyamatos fejlesztést a rendszert érintő minden folyamatra szükséges kiterjeszteni. Ennek köszönhetően a System CIP projekteknek három különböző fajtáját különböztetjük meg:

- Source: Beszerzéssel kapcsolatos rendszerfejlesztő projekt
- **Make: Gyártással kapcsolatos rendszerfejlesztő projekt**
- Deliver: Kiszállítással kapcsolatos rendszerfejlesztő projekt

Az általam vezetett nemzetközi selejtköltség (IDC) csökkentő projekt a „Make" kategóriába sorolható, mivel egy automatizált összeszerelő állomáson keletkező FOR érték csökkentésére irányul. Az 2.táblázat a System CIP folyamat lépéseit ábrázolja, melyeket a későbbiek során részletezni fogok.

2.táblázat: System CIP lépései

System-CIP folyamatlépések	Kimenet → Bemenet a következő lépéshez
1. Teljes értékáramra (VS) összegyűjteni az üzleti követelményeket	Konkrét értékáram (termék / sor)
2. Jelenlegi helyzet elemzése a meghatározott* (termék / sor) értékáramra (pl. VSM, VS-KPR)	Kaizen / Potenciálok az értékáramon belül
3. Meghatározott * értékáramra összegyűjteni potenciálokat	Fókusz / Prioritások / Témák
4. Jövőállapot levezetése a meghatározott* értékáramra (termék / sor) (VSD)	VSD a meghatározott* értékáramra
5. Részletes elemzések / kalkulációk	System-CIP-Projektek
6. System-CIP-Projektek	A3 – Részletes célállapot (Szabvány + KPI+ Stabilitási kritériumok) Projektterv, csapat (szerepek)
7. Point CIP	Stabilizált szabvány
8. Napi menedzsment	Megtartani az új szabványt
9. Lessons Learned	Jó gyakorlat kiterjesztése

A gyárvezetés minden értékáramra (VS – Value Stream: Egy termékkel foglalkozó emberek csoportja, az alapanyagbeszerzéstől, a gyártáson át, egészen a késztermék kiszállításáig) kitűzi a negyedéves célokat KPI-ok formájában. A VS vezető ezek után meghatározza a fókusztémákat, és a prioritásokat, majd a gyártási és logisztikai csoportvezetőkkel levezeti, hogy a kitűzött cél KPI-okat milyen projektekkel lehetséges elérni az adott negyedévben. Ezeket a projekteket nevezzük System CIP projektnek, melyeket egy projektvezető vezetésével (mérnök, logisztikus), és egy általa választott csapat támogatásával kell folytatni. A System CIP része az úgynevezett A3 formátum, mely egy céges szabvány alapján felépülő dokumentum. Tartalmazza a projekt üzleti hátterét (Business Background), a kezdeti állapotot (Initial Condition), a célállapotot (Target Condition), az analízist, mely a célállapot eléréséhez szükséges módszer levezetését részletezi (esetünkben ez a **Shainin problem solving módszer,** illetve más gyárakkal történő együttműködés **– benchmarking -** volt, melyeket részletesen be fogok mutatni), az analízis során történő paraméter változásokat (Improvement KPI), a gyártás által a projekt sikerességét követő mutatószámokat (Monitoring KPI), illetve egy Lessons learned részt, mely a jövőbeni projektek sikerességét hivatott elősegíteni. A System CIP projekt végeztével a projektvezető átadja a gyártási műszakvezetőnek a projektet (Handover to Point CIP), ekkortól pedig már csak a Monitoring KPI követés zajlik 24 órás periódusokban (Napi menedszment). Amennyiben a Monitoring KPI az előre megszabott időszakban minden nap a cél alatti (vagy a projekt sajátosságától függően afeletti) állapotban volt, úgy a projekt lezárható, és az új standard bevezetésre kerül.

5.3. IPN Benchmarking

Az IPN (**International Production Network**) azon értékáramok összességét jelenti, melyek ugyanolyan gyártósoron, ugyanazon terméket gyártják a világ különböző Bosch gyáraiban. Az általam vezetett nemzetközi projekt a terméket gyártó összes Bosch lokációt érintette, így indokolt volt bevonni egy-egy csapatot minden gyártó egységből. A projektben érintett gyárak a következők voltak:

- Hatvan, Magyarország (rövidítés: HtvP – Hatvan Plant)
- Wujin, Kína (rövidítés: WujP – Wujin Plant)

- Juarez, Mexikó (rövidítés: JuP – Juarez Plant)

A projekt nemzetközi környezetben történő megvalósítását egy FOR összehasonlító kimutatás indokolta, mely a három gyár hat gyártósorát vizsgálja egymáshoz képest. A kimutatás részletezi a különböző gyártási lépésekben keletkező hibák számát százalékos formában, és különböző gyártósorokat egymás mellé rendezve igen erős kontraszt látható az egyes folyamatok FOR szintje között. Csupán előzetes megjegyzés, hogy a Shanin problem solving módszer a hasonló rendszerek (gyártósorok, folyamatok) közötti éles kontrasztokat keresi, és ezek komparálásával képes rámutatni a hiba gyökérokára (RCA: Root Cause Analysis). A menedzsment plusz célként tűzte ki, hogy az IPN összes gyártósorán egyenlő mértékre kell hozni az FOR szinteket. A projekt során az Improvement KPI-ok fejlesztése a mexikói gyárban is bevezetésre kerültek, mivel az ő gyártósorukon is magasabb hibaszázalék volt megfigyelhető. Az összehasonlítás a 3. táblázatban látható. A táblázatban fentről lefelé haladva látjuk az MRR4 termék gyártásának folyamatait. Zölddel bekeretezve az a folyamat, melyre nemzetközi projekt indult. Az értékek százalékos formában értendők.

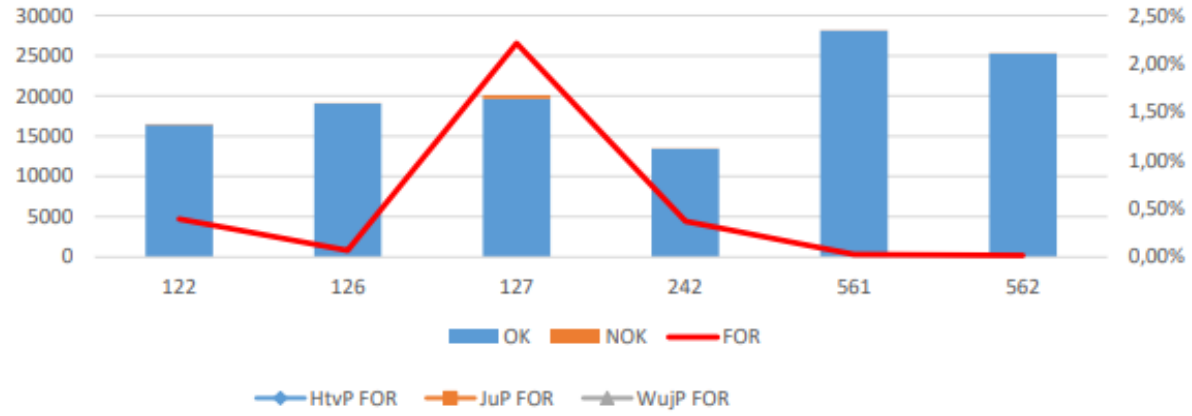
3. táblázat: IPN szintű összehasonlítás FOR tekintetében az egyes folyamatokra

	HtvP			JuP	WujP	
	122	126	127	242	561	562
Camera Check Component Checking	2,66%	1,22%	1,67%	0,89%	0,90%	0,35%
Mounting Power PCB	0,11%	0,08%	1,17%	0,62%	0,03%	0,02%
Scanning Intercarrier						
Mounting Intercarrier	0,10%	0,06%	0,28%	0,31%	0,00%	0,03%
Mounting Radar PCB	0,39%	0,07%	2,21%	0,37%	0,03%	0,02%
Camera Check Metal Spring (before)						
Mounting Metal Spring						
Camera Check Metal Spring (after)						
Camera Check Heating Pins						
Flashing	0,23%	0,17%	0,94%	0,88%	0,01%	0,00%
Mounting Radome / Lens						
Mounting Clips Springs						
Measuring Clips						
Mounting Radome / Lens + Clip Springs	0,54%	0,11%	0,11%	0,85%	0,02%	0,10%
Low Temp Functional Test	0,30%					
High Temp Functional Test	0,17%	0,30%	0,24%	0,21%	0,07%	0,33%
Antenna Test	0,16%	0,06%	0,25%	0,04%	0,01%	0,08%
X-Ray Heating Pins						
Customizing	0,11%	0,36%	0,16%	0,45%	0,09%	0,06%
Drivetest Verification	0,00%	0,12%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Leakage	0,03%	0,03%	0,28%	0,09%	0,01%	0,07%
Camera Check Clip Springs	0,15%	0,08%	0,00%	0,09%	0,01%	0,04%
Camera Check Connector Pins	0,01%	0,00%	0,01%	0,09%	0,00%	0,00%
Camera Check Connector Contour	0,06%	0,01%	0,01%	0,05%	0,11%	0,01%
Camera Check pins & contour						
Type Label Application	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Camera Check Type Label	2,15%	0,72%	0,55%	0,62%	0,10%	0,27%
Mounting Adapter Frame						
Visual Inspection						

Jól látszik, hogy a 127-es jelölésű hatvani gyártósor például a kínai lokáción található sorokhoz képest nagyjából 70-szer magasabb hibaszázalékkal végzi ezt a szerelési folyamatot. A 26. ábra már grafikonos formában részletezi az érintett szerelési folyamatot. A gyártósorok sorszámának magyarázata:

- 122 – HtvP Smart Line 2 (SL2)
- 126 – HtvP Smart Line 3 (SL3)
- 127 – HtvP Smart Line 4 (SL4)
- 242 – JuP Smart Line 5 (SL5)
- 561 – WujP Smart Line 6 (SL6)
- 562 – WujP Smart Line 7 (SL7)

	122	126	127	242	561	562
Mounting Radar PCB						
OK	16440	19094	19655	13448	28150	25311
NOK	65	13	445	50	8	4
FOR	0,39%	0,07%	2,21%	0,37%	0,03%	0,02%



26.ábra: Radar PCB szerelési hibaszázalékok IPN szintű kimutatása

A kimutatásból egyértelműen látszik, hogy a hatvani Smart Line 4 gyártósor a leggyengébben teljesítő a hálózaton belül. Miután elkészítettem a fent látható kimutatásokat, felvettem a kapcsolatot a gyári folyamatmérnökökkel a kínai, illetve a mexikói lokációkról, és egy rendszeresített megbeszélés sorozat keretein belül elkezdtük feltárni az esetleges mechanikus, és szoftveres különbségeket a gépek között. Mivel egy személyben voltam projektvezető, illetve a

három magyarországi gyártósor folyamatmérnöke, így egy fővel kisebb csapatot tudtam szervezni, ezzel is időt, és humán erőforrást spórolva. Többször vontam be PLC programozót, illetve gyártásközi minőségbiztosítási mérnököket is a projektbe.

6. A projekt bemutatása

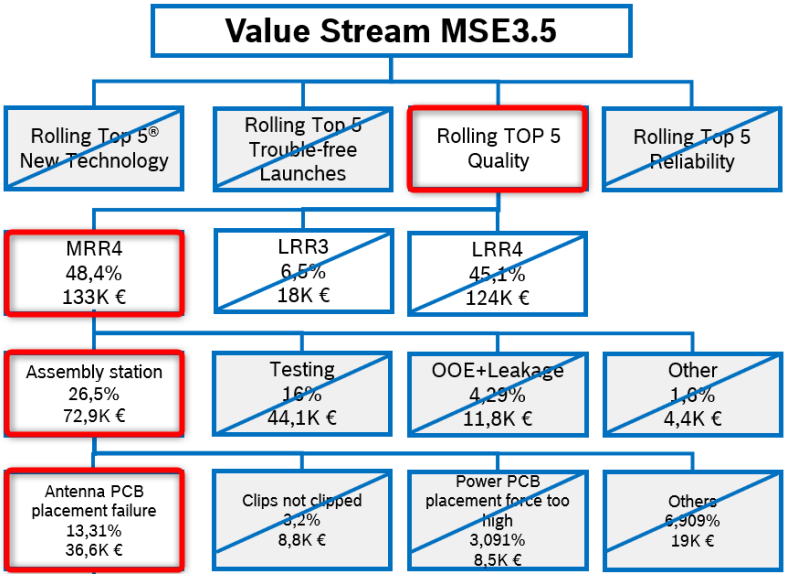
Az imént bemutatásra került System CIP negyedéves levezetésének eredményeképpen meghatározásra került egy Make típusú projekt, melynek célja a Radar PCB beültetési hiba szintjének csökkentése. Ez azért történhetett így, mert Value Stream szinten is a legmagasabb százalékban előforduló hibakép volt az elmúlt három hónapban. Az összeszerelő állomás folyamatmérnökeként engem választottak meg projektvezetőnek. Első feladatom volt, hogy csapatot szervezzek magam köré. Ebbe a csapatba egy minőségbiztosítási mérnököt, és egy PLC programozót választottam. Előbbit a különböző termék releváns információk, valamint statisztikai kimutatások elkészítésének céljából, utóbbit pedig az esetlegesen előforduló PLC program béli módosítások miatt. Az én szerepem a projekt vezetése, és a csapattagok koordinálása mellett az állomás mechanikus vizsgálata, és a géppel kapcsolatban felmerülő szakmai kérdések megválaszolása volt.

Ezzel párhuzamosan zajlott az IPN-en belüli negyedéves top hibák elhárítására irányuló projektlevezetés. A nemzetközi hálózaton belül a folyamatmérnöki pozícióm mellett úgynevezett „Leadplant koordinátori" feladatkört is ellátok. Ez azt jelenti, hogy az IPN három gyára közül a hatvani látja el a vezető szerepet a másik kettő lokáció felett. Ez abban nyilvánul meg, hogy mindenféle gyártósort érintő fejlesztéshez, vagy termékfejlesztés miatti gépátalakításhoz a hatvani gyár jóváhagyására van szükség. Emellett szakmai támogatást is nyújt a leadplant a többi gyár kollégáinak. A már imént bemutatott 3. táblázat alapján kiválasztásra került a Radar PCB beültetési hiba szintjének csökkentése. Itt már annyival pontosabb kimutatást láthatunk, mely rámutat, hogy a magyarországi gyártósorok közül az SL4 nagyságrendekkel rosszabbul teljesít, mint az IPN másik hat sora. Ezen két irányvonal egyértelműen meghatározta azt, hogy a projektnek van létjogosultsága és menedzsment szintű támogatottsága. Ez azért volt fontos, mert a későbbiekben egyéb témákkal szembeni elsőbbséget élvez, és a csapattagok kapacitásának tervezésekor is prioritása van egyéb feladatok mellett. Tekintettel arra, hogy ezek negyedéves levezetések eredményei, így a projekt elvégzésére meghatározott maximális időkorlát három hónap. A következőkben be fogom mutatni a probléma megoldását a Shainin Red X stratégia alkalmazásán keresztül, szemléltetem a keletkező hibaképet, az út-erő diagram elemzését elvégzem, feltárom a gyökérokot és kitérek a projekt eredményeire.

6.1. Shainin módszer alkalmazása

A Red X stratégia első lépéseként a projekt fókuszterületét határoztam meg. Ahogyan azt már a szakirodalmi áttekintésben részleteztem (21.oldal) a Shainin technika a FACTUAL irányelvét követve vezet végig egy problémamegoldó projektet.

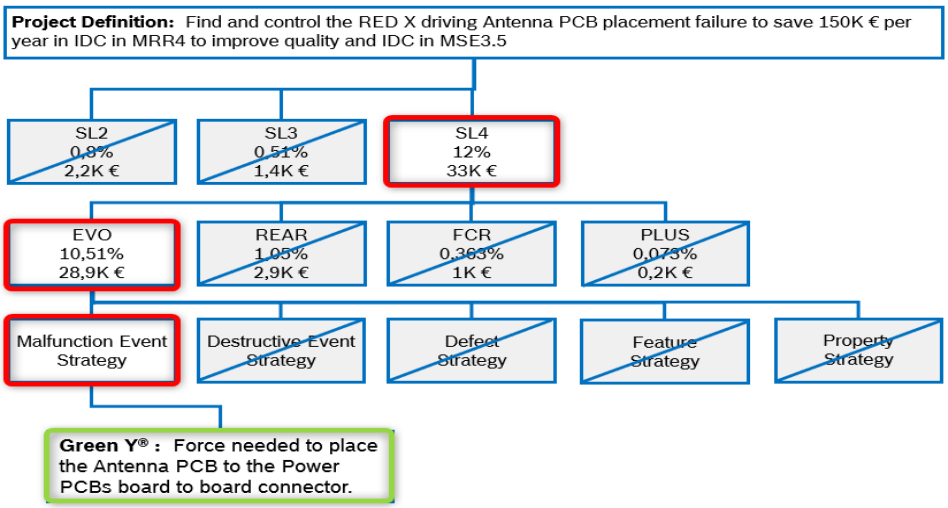
6.1.1. Focus: Az üzleti terv System CIP célokká történő átvezetése után egy konkrét műszaki projekt formájában határoztam meg a célt. Ezt az úgynevezett „Problem definition tree" segítségével végeztem el. Itt az első sorban a menedzsment döntése szerint az IDC csökkentése a cél, melyet a Shainin módszer a Rolling TOP 5 Quality projektcsaládba sorol. Az aktuális negyedév teljes, Value Stream szintű selejtköltsége 275.000€ volt. Az egyel mélyebb szintű elemzésen kiderül, hogy fókuszterület a három termékcsalád közül (lásd: 24.oldal) az MRR4 kell, hogy legyen, mivel az értékáram három havi teljes IDC mennyiségének a 48,4%-át az ezzel a termékkel kapcsolatos selejtköltségek teszik ki. Ez egyébként az aktuális negyedévben 133.000€-t jelentett. A problémás termékcsalád meghatározását követően az MRR4 Smart Line gyártósorok különböző állomásain keletkező selejtek költségét határoztam meg. Ebből derült ki, hogy az összeszerelő állomáson keletkezik a teljes IDC 26,5%-a, vagyis 72.900€. Lebontva a fát konkrét hibaképekre, jól látszik, hogy az Antenna (Radar) PCB beültetési hiba önmagában generál három hónap alatt 36.600€ veszteséget, ami a teljes költségekre nézve 13,31%. A Problem definition tree a 27. ábrán látható.



27. ábra: Problem definition tree

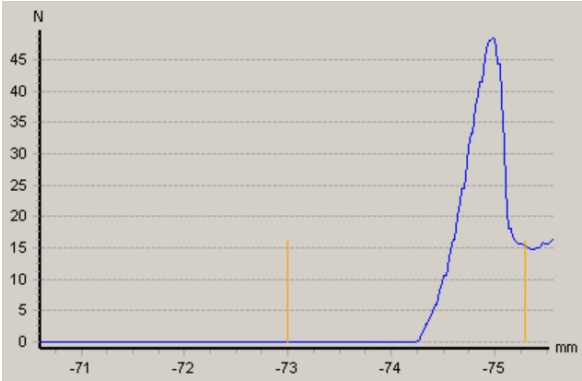
Ebből a fából született a projekt célja, mely egy mondatban a következő: Megtalálni, és kontrollálni a Red X-et, mely Radar PCB beültetési hibákhoz vezet annak érdekében, hogy évi 150.000€ selejtköltséget spóroljunk, így fejlesztve az IDC-t és a minőséget az MSE3.5 értékáramon belül.

6.1.2. Approach: Ebben a fázisban segítségemre volt a „Project definition tree" , melynek bemeneti megállapítása a Focus részben meghatározott projekt cél. Ez angol nyelven látható a 28. ábra első sorában. Ezek után összehasonlítottam a három magyarországi gyártósoron keletkező selejtköltségeket, és viszonyítottam azokat a teljes, három hónapos IDC szinthez. A kontraszt igen erős volt ismételten, mint az már az IPN benchmarking során is kiderült, a hatvani SL4-es gyártósor nagyságrendekkel több költséget jelent ezen tekintetben, mint a másik két sor. A következő szinten megvizsgáltam az MRR4 termékcsaládon belüli típusokat, melyek a különböző funkciók, és vevők kiszolgálására alkalmas (EVO, Plus, Rear, FCR). Itt is igen magas volt az eltérés az EVO típusú termékek javára, ám ez valószínűsíthetően azért van, mert ezekből eleve sokkal magasabb volumenben gyártanak a sorok, mint a másik három típusból. A projekt későbbi szakaszában kiderült, hogy ilyesfajta függősége nincs a hibának. Ezen fázis célja továbbá a megfelelő Green Y megválasztása. Itt egy jól monitorozható értéket választottam, mely nem más, mint a Radar PCB beültetési erő. A Shainin szerinti problémamegoldás öt stratégia szerint folyhat attól függően, hogy milyen jellegű Green Y kerül kiválasztásra. Mivel az általam választott beültetési erő egy fizikai mennyiség, mely egzakt módon mérhető, az ehhez tartozó Malfunction Event nevű stratégiát választottam. Ennek részletezése a következő fejezetekben történik majd. A Project definition tree a 28. ábrán látható.

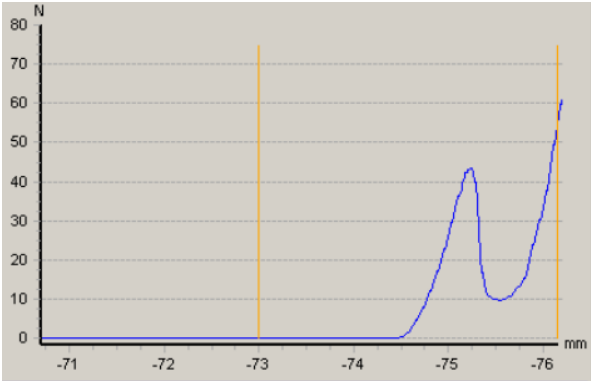


28. ábra: Problem definition tree

Az Approach fázis feladata továbbá mégegy nagyon fontos dolog, ami pedig nem más, mint a mérőrendszer analízis (MSA – Measurement System Analysis). Ez azért fontos, mert meg kellett tudnom, hogy a hiba folyamathoz, vagy a mérőrendszerhez köthető. Elsőként meghatároztam egy BOB (Best of Best) és egy WOW (Worst of Worst) darabot annak alapján, hogy milyennek kell lennie egy tökéletes beültetés út-erő diagramjának, illetve, hogy milyen egy teljes mértékben sikertelen szerelés diagramja. Előbbit a 29., utóbbit a 30.ábra szemlélteti. A rossz termék láthatóan 60N feletti értékkel került összeszerelésre, míg a jó csupán nagyjából 47N-nal.



29. ábra: BOB termék út-erő diagramja



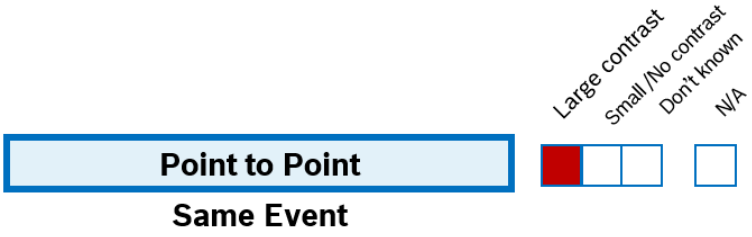
30. ábra: WOW termék út-erő diagramja

Ezek alapján a mérőrendszer képes különbséget tenni jó és rossz termék között, hiszen míg első terméket tovább engedte, addig a másodikat selejtezte. Így a Red X a folyamatban keresendő.

Az előző oldalon, a 28. ábrán látható **Malfunction Event** (üzemzavar esemény) stratégia lényege abban rejlik, hogy a meghatározott Green Y értéke egy mérhető, fizikai mértékegységgel ellátható jellemző. Ezen stratégia a mérhető mennyiségek monitorozására lett kifejlesztve. Fontos megemlíteni még, hogy a folyamatban mért Green Y egy olyan mértékű energia kell, hogy legyen, ami még nem tesz kárt a termékben, és bizonyos mértékben ráhatással tudunk rá lenni. A beültetési erő pontosan ilyen érték, hisz a 60N elérésekor a PLC megállítja szervomotort, és ezzel együtt a folyamatot. Az ábrán található maradék négy stratégia különböző jellemzőkben tér el az imént részletezett technikától. A Destructive Event Strategy ugyancsak egy mérhető fizikai mennyiséget választ Green Y-nak, azonban ennek értéke a folyamat során nem korlátozható szándékosan, illetve tönkreteszi az alkatrészt (pl.: kondenzátor kisülése, műanyag burkolat megrepedése). A Feature Strategy által meghatározott Green Y egy

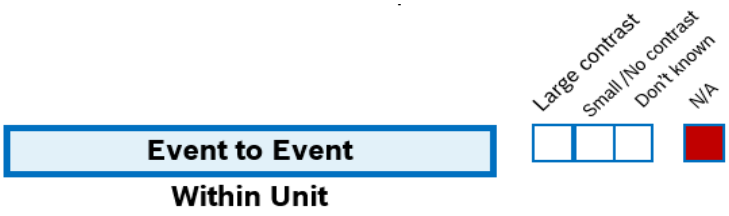
külső-, vagy belső mérhető jellemző kell, hogy legyen, mint például hosszúság, átmérő, sűrűség, tömeg, míg a Property Strategy esetében ez egy érzékszervi tulajdonság (szín, szag, stb.). Minden egyes választott stratégiának megvan a módszere, ami alapján a következő lépéseket előírja a Shainin elv. A Malfunction Event alkalmazásának első lépése volt egy úgynevezett „Strategy diagram" elkészítése. Ennek lényege a „mikrótól a makróig" történő összehasonlítás, és kontrasztok keresése. Ez azt jelenti, hogy a folyamat legapróbb elemeit kezdjük el egymáshoz képest megvizsgálni, és az egészen nagy egységekig haladva minden elemében próbáljuk megtalálni a lehető legnagyobb kontrasztot a jó és a rossz folyamatok között. Az egyes szinteken meghatározott kontrasztok mértékét a 31-38. ábra szemlélteti.

Elsőként a „Point to point" összehasonlítást csináltam meg, melyben ugyanazon eseményeket vizsgáltam, vagyis a Radar PCB beültetésnek az út-erő diagramját. Már ebben, az első fázisban is nagy kontraszt mutatkozott meg, mivel tisztán látszódott a különbség a BOB és a WOW diagramok lefutásai között. A probléma viszont az, hogy ez számomra még nem tartogatott olyan információt, mellyel közelebb tudtam volna kerülni a Red X-hez.



31.ábra: Point to point kontraszt

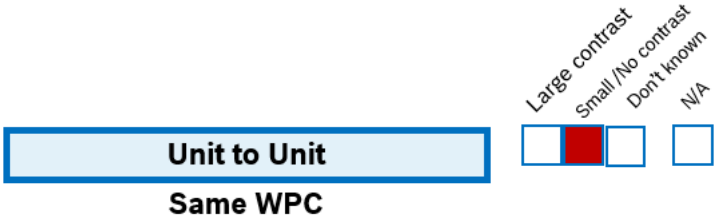
Ezután következett ugyanazon események, tehát az egy gépen belüli Radar PCB beültetések elemzése. Mivel a téma tárgyát képező összeszerelő állomáson csupán egy ilyen folyamat van, így ebben a pontban nem találtam értékelhető információt.



32. ábra: Event to event kontraszt

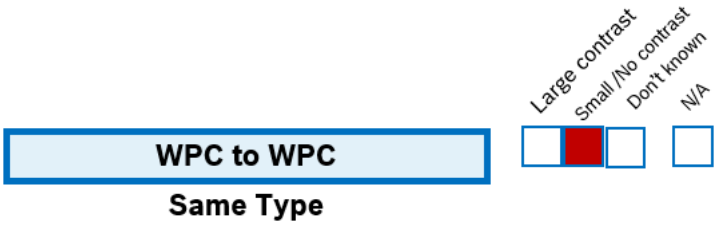
Következő lépésben az állomáson belüli munkadarab hordozók közti különbséget vettem górcső alá. Ezt is az út-erő diagramok vizsgálatával tettem meg, annyi különbséggel, hogy minden egyes terméket ugyanabban a munkadarab hordozóban szereltem össze (normál esetben 18db különböző hordozó közlekedik az állomáson), és az egymáshoz képesti lefutásokat monitoroztam. Találtam eltéréseket, ezek mértéke azonban alacsony volt, így tovább kellett folytatnom a keresést.

**WPC = Workpiece carrier / WT = Werkstückträger*



33. ábra: Unit to unit kontraszt

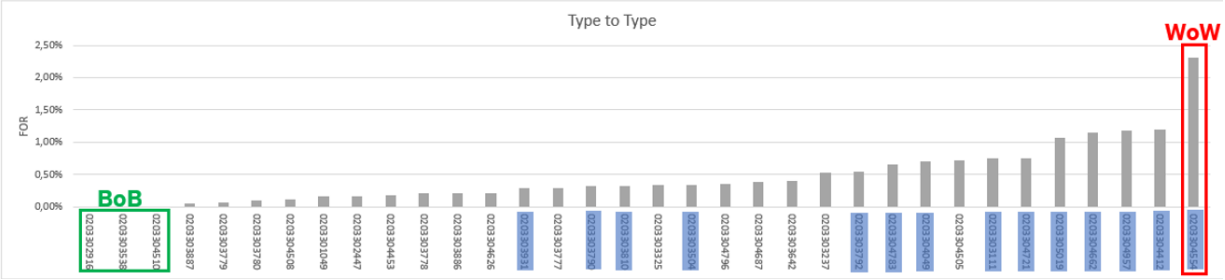
Ezt követően indokoltnak láttam mind a 18db WPC összehasonlítását, így egy azon típusú termék út-erő diagramjait vizsgáltam meg, viszont ekkor már az összes munkadarab hordozót használtam. Az eredmény sajnos szintén alacsony kontrasztot mutatott. Muszáj volt másik szinten keresni a megoldást.



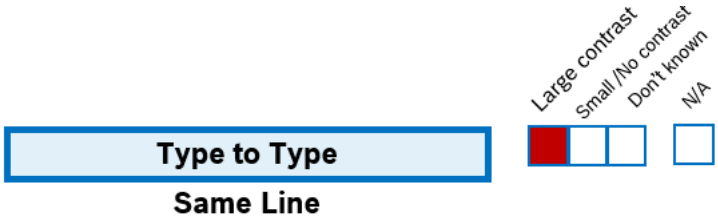
34. ábra: WPC to WPC kontraszt

A következő teszt már nagyobb eredményt hozott, bár ez várható is volt a 28. ábra típus szerinti IDC szintjeiből. Itt az SL4-es soron gyártott leggyakoribb cikkszámú, vagy típusú termékekre készítettem egy Radar PCB beültetési hiba FOR kimutatást. Ebből egy igen erős kontraszt mutatkozott meg, így be tudtam azonosítani a BOB és a WOW típus(oka)t. Előbbi csoportba három cikkszámú PLUS terméket tudtam azonosítani, ezek megközelítőleg 0%-os hibaszázalékkal gyártódtak a teszt ideje alatt. A legrosszabbul teljesítő cikkszám egy EVO típusú termék volt, mely több mint 2,5%-os FOR-t generált.

A kontraszt szintje a BOB és WOW között magas, azonban érdemi információt még ebből a szintből sem tudtam kimutatni. A statisztika a 35. ábrán látható.

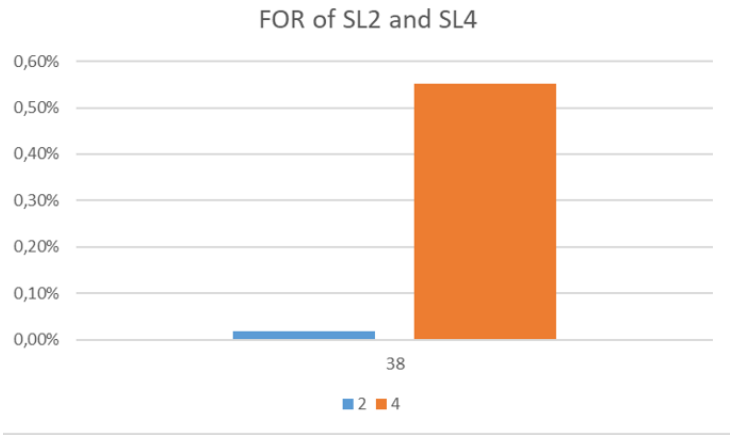


35. ábra: Type to Type jellegű BOB és WOW meghatározás

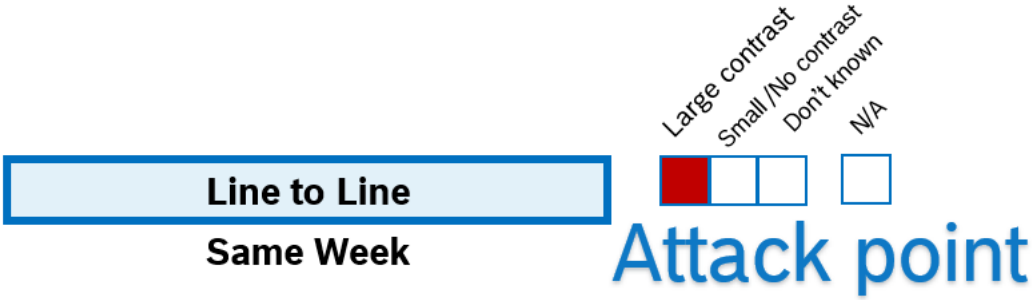


36. ábra: Type to type kontraszt

Ekkor következett a gyártósorok FOR szintjének összehasonlítása, mely ismételten magas kontrasztot mutatott. Egészen pontosan az összes eddigi pont közül a legmagasabbat, így eldöntöttem, hogy ez lesz a Strategy diagram által meghatározott „Attack point”. Ennek jelentősége az, hogy a projekt levezetésének következő fázisát a gyártósorok közötti kontrasztnak a nagyságára alapozzuk. Az összehasonlítás az SL2-es sorral történt, ennek oka pedig a következő. A 22. ábrán látható összeszerelési folyamat első lépéseként ábrázolásra került a GUT, vagyis a termék ház része. Ennek két kivitelét különböztetjük meg. Az első kivitel az úgynevezett „normal connector”, melynek a vevői csatlakozója a termék alján található, a másik fajtája pedig a „side connector”. Utóbbinál a csatlakozó a termék jobb oldalán helyezkedik el. Ennek oka a különböző vevők által gyártott modellekbe való beépíthetőség, és kompatibilitás. Jelentősége azért nagy a termék gyártása során, mivel a csatlakozó orientációjától függően az „oldalcsatlakozós” ház 0,5mm-el alacsonyabb, így ehhez beültetési offsetet alkalmazunk a PLC programban. Ezen típusú termékeket csupán az SL2 és SL4 gyártósorok képesek gyártani, míg az SL3-on csak normál csatlakozós termékek futnak. A 37. ábrán jól látható, hogy a WOW gyártósor FOR szintje több, mint 25-ször akkora, mint a BOB esetében a vizsgált periódusban.



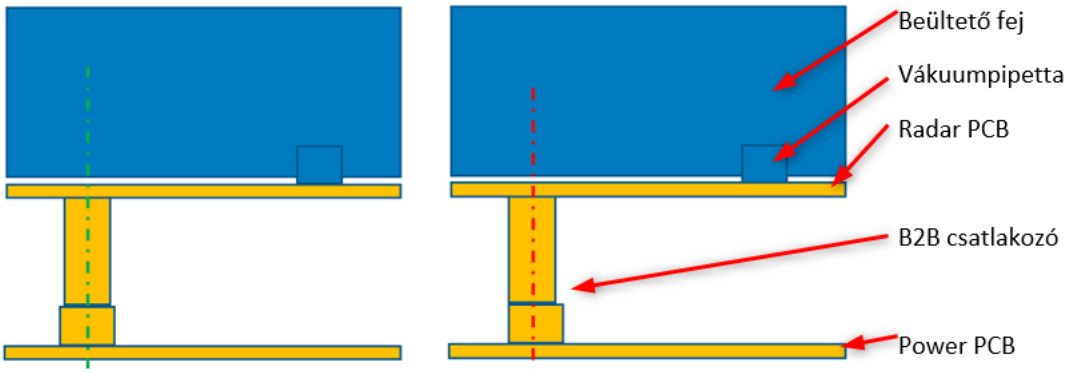
37. ábra: BOB és WOW gyártósorok FOR szintjei



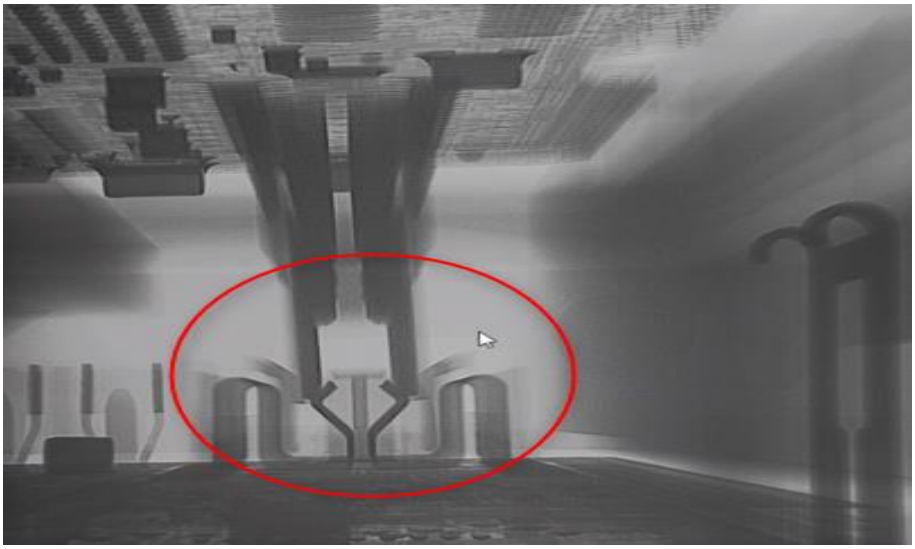
38. ábra: Line to Line kontraszt

6.1.3. Converge: Ezen szakasz során a korábbiakban megválasztott „Attack point” alapján elkezdtem a Red X keresését. Ennek eszközéül a Shainin módszer az úgynevezett „Solution tree”-t biztosította számomra, mely a 39. ábrán látható. Első sorában a már jól ismert Green Y, vagyis a Radar PCB beültetéséhez szükséges erő érték Newton-ban mérve. A ΔP és ΔM összehasonlítás jelentése nem más, mint, hogy a Red X a folyamatban (ΔP = Process), vagy a mérőrendszerben (ΔM = Measuring system) él. Ennek eldöntése már az Approach fázisban megtörtént, hisz a mérőrendszer tökéletesen különbséget tudott tenni a jó, és a rossz termékek összeszerelése között. A mérőeszköz egyébként egy Burster gyártmányú erőmérő cella volt, melynek típusszáma 8416-5200, mérési tartomány 0-200N-ig tart, az aktuális erőértéket pedig egy 0-10V-os skálán, egy jelerősítőn keresztül jelzi vissza a PLC felé. A cella mérő része a 9. ábrán látható. A mérőrendszer analízis (MSA) tehát világossá tette számomra, hogy a Red X-et a folyamatban kell tovább keresnem. A harmadik sorban bemutattam egymás mellett az előzőekben levezetett kontraszt keresés eredményét, mely a gyártósorok közti

különbségek feltárását tűzi ki célul. A negyedik szinten a Solution tree felteszi a kérdést, hogy a probléma a termékkel, vagy a gyártási folyamattal lehet. Ennek megválaszolására a kieső darabok közül többet is eljuttattam egy 3D-s mérésre, ahol a jóváhagyott termék rajzokon szereplő méreteket mérettem le. Praktikusan azokat a befoglaló, és érintkező felületek méreteire voltam kíváncsi, melyek relevánsak a Radar PCB beültetése során. A mérésekből kiderült, hogy minden méret a meghatározott tolerancián belül helyezkedik el, így a Red X a folyamatban keresendő tovább. Továbbá az SL2 és SL4 gyártósorokon is ugyanazon alapanyagokat használjuk, egy beszállítótól érkeznek, és véletlenszerűen kerülnek fel a gyártósorokra. A Board to board csatlakozó röntgenfelvételét a 40. ábra, míg egy rossz beültetési pozíció egyszerűsített rajzát a 41. ábra szemlélteti.



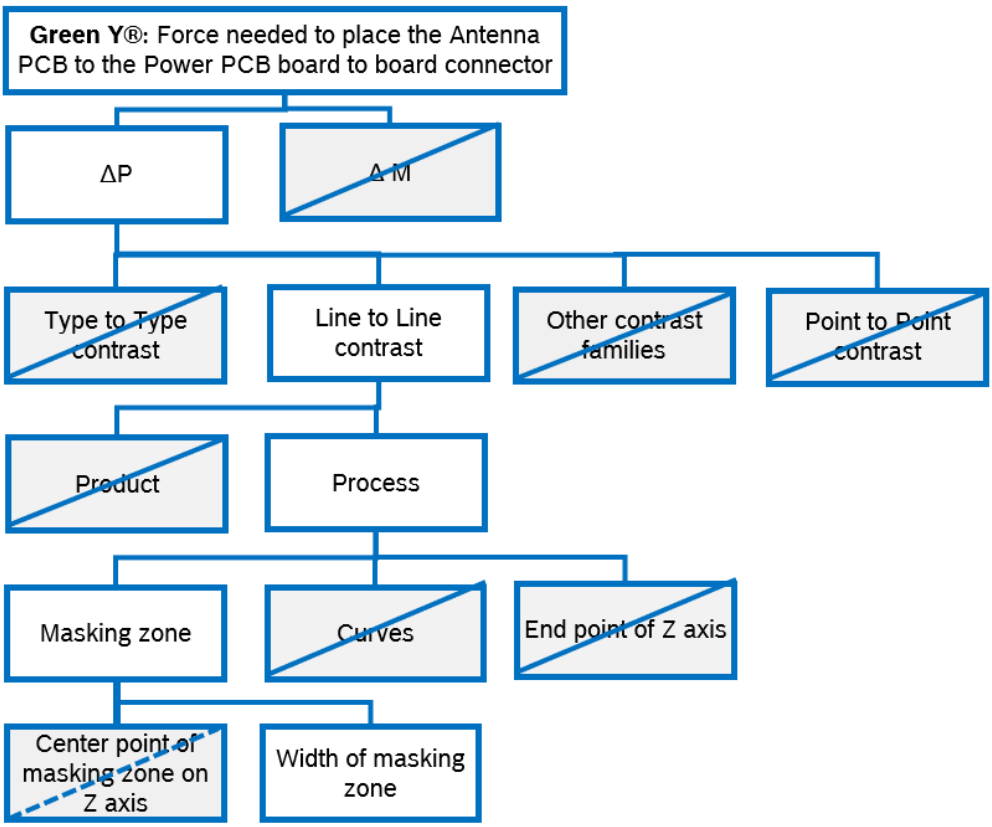
40. ábra: BOB (balra) és WOW (jobbra) beültetés



41. ábra: Röntgen felvétel: Board to board csatlakozó

A folyamatot befolyásoló tényezők két nagy csoportra oszthatók. Vannak a hardware alapú tényezők, mint például a NYÁK beültető fején alkalmazott

vákuumpipetták, a beültető fejet hajtó és mozgató szervomotorok, az erőmérő cellák elhasználtságának mértéke stb. Ezekben nem találtam szignifikáns különbséget, így inkább a software alapú különbségekre fókuszáltam. Ennek legfontosabb tényezői a maszkolási zóna, és a lerakási pozíció Z irányú (fel-le mozgás) végkoordinátája, valamint az ezekből származó út-erő diagram görbéi. A szerelési pozíció koordinátái sajnálatos módon nehezen összehasonlíthatóak a gyártósorok és folyamatok között, mivel minden szervomotor nullpontja eltérő egymástól. Ez azt jelenti, hogy például egy -72mm-es végpozíció a valóságban nem ugyanazt a pontot jelenti két különböző szervon. Az út-erő diagramokon látható görbék mindkét soron megegyeztek a BOB és a WOW szerelések között, így ott sem lehetett érdemi kontrasztot kimutatni. A maszkolási zónák nagyságában azonban eltérés mutatkozott. Az SL2-es soron a maszkolási zóna hossza 1,75mm, míg az SL4-en 1mm volt. Azon feltételezés szerint, hogy ugyanazon Board to board csatlakozókat használjuk az összes termékbe, és az alapanyagokat véletlenszerűen készítik fel az egyes gyártósorokra, a maszkolási zóna nagyságának meg kell egyezni az összes soron. Megtaláltam a Red X-et, mely nem más, mint a Radar PCB lerakás során alkalmazott maszkolási zóna hossza.



39. ábra: Solution tree

A PLC programot megvizsgálva a programozó észrevette, hogy a lerakási pozíció Z koordinátája, illetve a maszkolási zóna alsó pontjának (a diagramokon jobb oldalon látható sárga vonal) helyzete egy matematikai függvénnyel egymástól függővé van téve. Ez azért rossz dolog, mert egy esetleges finomhangolás szükségessége során a beültetési pozíciót be kell állítani, és akár tized milliméterekkel is változhat a lerakási pozíció beállítása. A termék a valóságban azonban ugyanazon a magasságban helyezkedik el, így a maszkolási zóna helyzete nem változhat. Ezen két érték függetlenítését a PLC programozó elvégezte, és következhetett a teszt fázis.

6.1.4. Test: A Shainin metodológia előírja a rizikóbecslés alkalmazását. Ez annak az eszköze, hogy fel lehessen mérni a kitalált változtatással járó kockázatokat. Nem biztos, hogy minden projektlevezetés a megfelelő intézkedést hozza egy gyökérok megszüntetésére, így muszáj egy olyan formula létrehozása, mely standard kérdések megválaszolásával elkerülhetővé teszi a hibázás lehetőségét. A „Risk Assessment Matrix" a 4. táblázatban látható.

4. táblázat: Risk Assessment Matrix

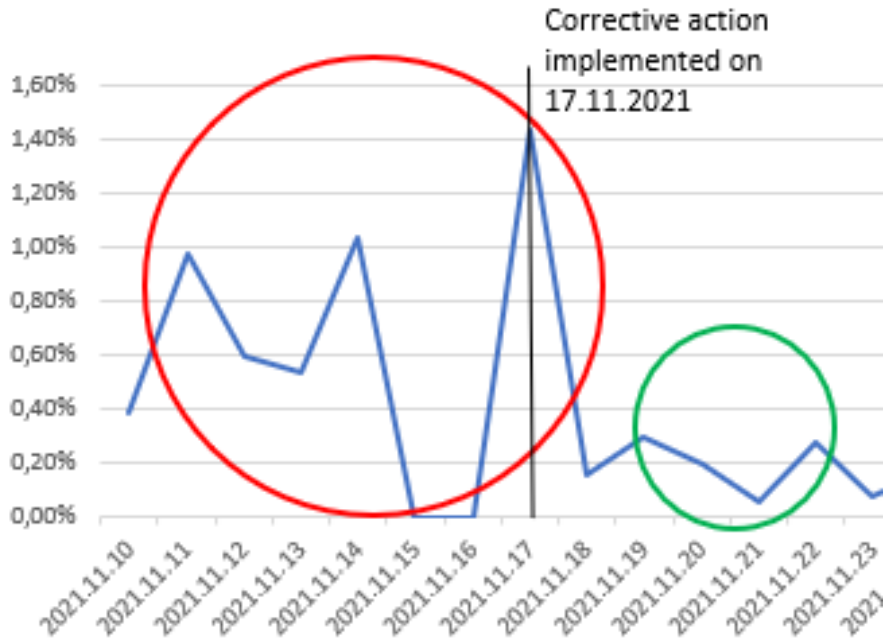
Shainin kérdése	Rizikó / Következmény			
	A projektvezető válasza	**ALACSONY**	**KÖZEPES**	**MAGAS**
Sokba kerül bevezetni az intézkedést?	Nincs többletköltség, mérnöki munkaórák	**Alacsony, vagy nulla költség**	Közepes költség	Jelentős költség
Sok időbe telik bevezetni az intézkedést?	Kb. 15 perc	**Kevés idő**	Közepes időszükséglet	Jelentős időszükséglet
Könnyű visszafordítani a változást?	Kb. 15 perc	**Teljesen visszafordítható**	Bonyolult visszafordítani	Visszafordíthatatlan

Sok időbe telik az intézkedés hatékonyságának bizonyítása?	Nem, szinte azonnali eredmény	**Kevés idő**	Közepes időszükséglet	Jelentős időszükséglet
Van-e extra költsége, ha nem hatékony az intézkedés?	Az FOR jobb lesz, vagy ugyanolyan marad	**Nincs rizikó**	Belső rizikó a cégnél	Vevői rizikó
Megértettük a probléma mögötti fizikát?	Teljesen érthető a PLC program	**Teljesen**	Nagyjából	Egyáltalán nem
A kockázat szintje összességében	-	**Alacsony**	Közepes	Magas

Az alacsony kockázatú korrekciós intézkedések esetén a bizonyossági határ 50%, így nem szükséges elvégezni semmilyen validációs tesztet, csupán csak egy úgynevezett „Run chart” követése az előírt. Ez egy olyan grafikon, melynek vízszintes tengelyén az egyes gyártási napok, míg függőleges tengelyén az aznapi FOR szint látható. Ennek létrehozása az Apply fázis feladata lesz.

6.1.6. Understand: A megértés legfontosabb kulcsa, hogy látni kell a fizikai összefüggést, kapcsolatot a Green Y és a Red X között. Ez azért kardinális pontja egy projektnek, mert amennyiben a jövőben is azonos hibaképpel találkozunk, úgy már rögtön tudni fogjuk, vagy legalábbis sejteni, hogy a folyamat mely paraméterét kell változtatni, hogy a hibát el tudjuk hárítani. A Green Y esetünkben a Radar PCB beültetéséhez szükséges erő a Board to board csatlakozóba. A Malfunction Event Strategy Diagram levezetése során a legerősebb kontrasztot a Line to Line összehasonlítás mutatta, így ezt választottam Attack point-nak. A Smart Line 2, vagyis a BOB gyártósor maszkolási zónájának hossza 1,75mm, míg a WOW soré, vagyis a Smart Line 4-é csak 1mm, így a különbség a két beállítás között 0,75mm. A BOB sori

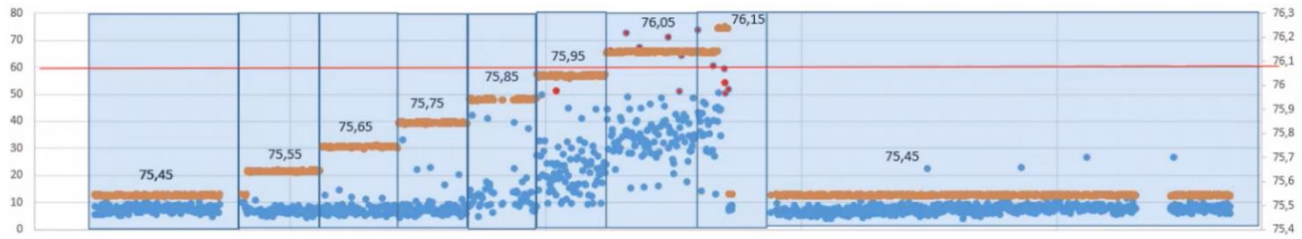
beállítások alkalmazása a WOW soron a 42. ábrán látható. Az eredmény jól látható, a bevezetés napján töredékére csökkent az FOR szintje.



42. ábra: A bevezetett intézkedés rövidtávú FOR szint csökkentő hatása

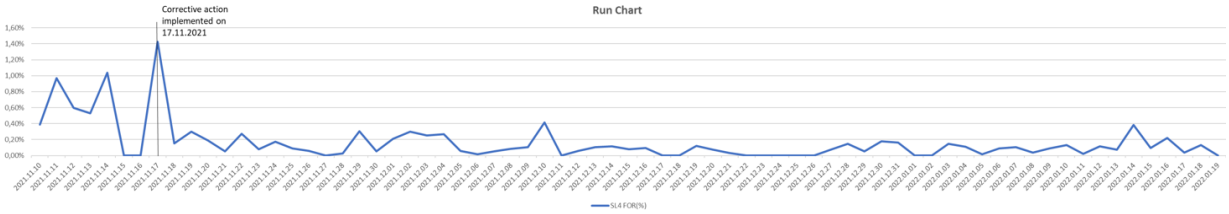
Ezekből következik, hogy a maszkolási zóna határozza meg a leginkább szignifikáns módon a B2B csatlakozó egymásba illesztését. **A beültetési erő (Green Y) tehát legnagyobb mértékben a maszkolási zóna hosszúságától (Red X) függ.**

Ezek után már magabiztosan el tudtam végezni egy olyan tesztet, mellyel meg tudtam határozni az új beültetési pozíció Z végkoordinátáját. Ennek szükségességét azért éreztem, mert a projekt elején nem teljesen volt ismert a folyamat fizikája, így abban sem lehettem biztos, hogy az addig alkalmazott beállítások minden tekintetben megfelelőek voltak. A teszt alatt a szériagyártásba 30 percenként avatkoztam be, mégpedig úgy, hogy minden fél órában 0,1mm-el mélyebbre állítottam a Z pozíciót, és eközben mértem a beültetési erőt, valamint a rossz szerelések arányát. Ennek szemléltetése a 43. ábrán látható. A függőleges tengely bal oldalán a Radar PCB beültetési erő, jobb oldalán pedig a Z pozíció található. Kék színű pontok jelölik a jó darabokat, pirossal pedig a kieső darabok kerültek fel a diagramra. A teszt végeztével azt láttam jónak, ha a beültetési Z koordináta értéke -75,45mm lesz.



43. ábra: Z koordináta teszt

6.1.6. Apply: A bevezetés fázisa arról szól, hogy a projekt során kitalált és tesztelésre került paramétereket egy ellenőrzési időszak után bevezessük a szériagyártásba, és új standard születhessen rájuk. A korrekciós intézkedés 2021.11.17-én került először beállításra, hatékonyság követési intervallumnak pedig egy 8 hetes időszakot szabtam meg. A követendő KPI-nak a Radar PCB lerakási erő túl nagy nevű hibakép napi FOR szintjét határoztam meg. A projekt időtartama 2 és fél hónapot vett igénybe, ami azt jelenti, hogy teljesítésre került a Shainin által előírt maximális 3 hónapos projekthossz. A nyolchetes validációs fázis alatt megspórolt selejtköltség 25000€ volt, mely éves szinten eléri a projekt által kitűzött 150000€ összegű megtakarítást. A Run chart a 44. ábrán látható.



44. ábra: Hatékonyságkövető Run chart

A fázis részeként még oktatást szerveztem a szerviztechnikus kollégák számára, akik így képesek lesznek a jövőben folyamatmérnöki támogatás nélkül is hamar változtatni a folyamatparamétereken. A projekt levezetése, és koordinálása mellett alkalmam volt elvégezni egy öt napos képzést is a Shainin problem solving módszer alapjaival kapcsolatban, így megszereztem a belépő szintű, vagy más néven „Apprentice” minősítést, ezzel is fejlesztve a saját, és a cég problémamegoldó kultúráját.

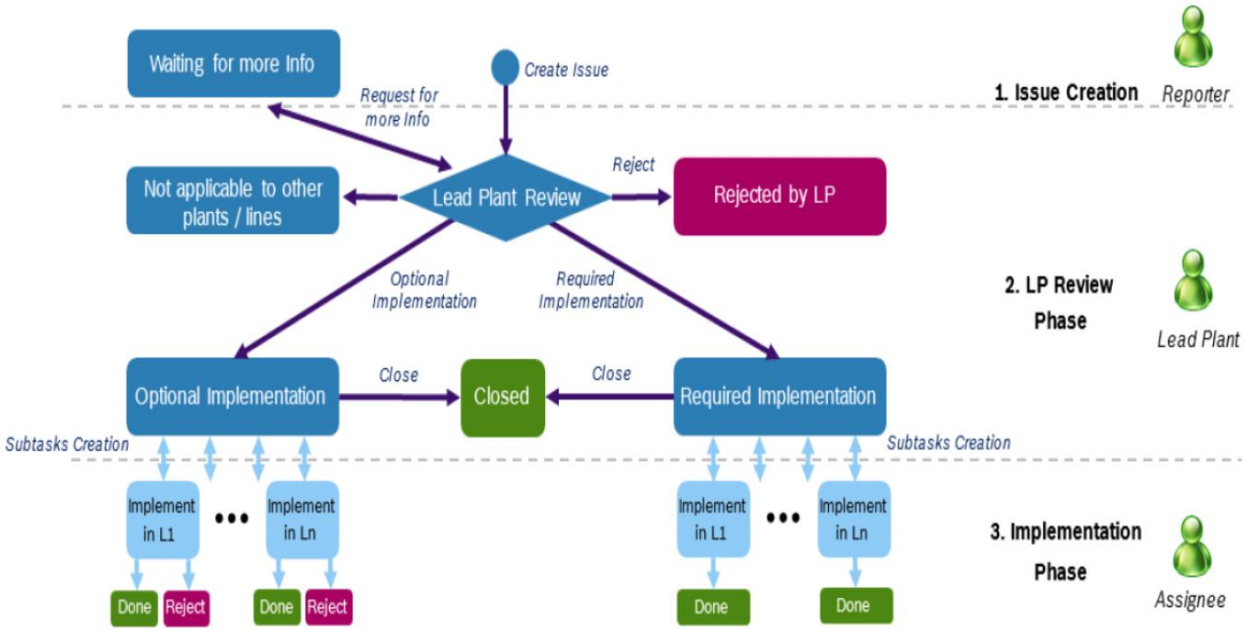
6.1.7. Leverage (Kiterjesztés más gyárakra a LIMA rendszerben)

Végül, de nem utolsó sorban a gyökérok feltárását, és a korrekciós intézkedés bevezetését követően a Shainin előírja egy Lessons learned, vagy másnéven Leverage fázis kidolgozását is. Ennek lényege, hogy a már kész projektdokumentáció alapján van-e a cégen belül egyéb más osztály, esetleg gyár, amely szintén hasonló problémával küzd, és hasznosítani tudja az általam elkészített FACTUAL levezetést. Esetemben ez nem is lehetett volna egyértelműbb annál, minthogy felveszem a kapcsolatot az IPN kínai-, és mexikói gyártóegységeivel, és támogatom őket az ottani megvalósításban. A projektet megelőzően is találkoztunk már több olyan műszaki megoldást igénylő témával, mely az egész IPN szintet érintette, azonban a lokációkon zajló munkálatok nyomon követésére nem volt kidolgozva egyetlen egy hivatalos felület sem. A LIMA ötlete még a 2021-es év első negyedévében fogalmazódott meg, és az általam vezetett Shainin projektet jelölte ki a menedzsment, mint pilot projektet a rendszer megalkotását követően.

A LIMA egy web alapú felület, melyen a IPN-ben dolgozó mérnök kollégák megoszthatják egymással a gyártósorokat, vagy éppen az alapanyagokat érintő problémáikat, tapasztalataikat. Amennyiben egy fellépő műszaki problémára valamelyik gyár kidolgozza saját megoldási javaslatait, azt ezen az applikáción belül tudja részletesen bemutatni a világ más részein dolgozó munkatársaknak. Mint azt már említettem, a három egység, mely Mid Range Radar GEN4 (MRR4) termék gyártásával foglalkozik, a kínai Wujin-ban, a mexikói Juarezben, és a Hatvanban található. A vezető gyár szerepét, vagyis a Leadplant funkciót a hatvani gyár tölti be 2020 óta. A folyamatmérnöki feladataim mellett a 2021-es év második felében lehetőséget kaptam az IPN gyártósorait érintő műszaki problémákkal foglalkozó munkacsoportjának vezetésére, azaz Leadplant koordinátor lettem. Így volt kivitelezhető a Line Improvements Manager megalkotása, melynek borítója a 45. ábrán látható.

45. ábra: Line Improvements Manager (LIMA)

A rendszer elvi felépítését, és a projektek standard menetét a 46. ábra szemlélteti.

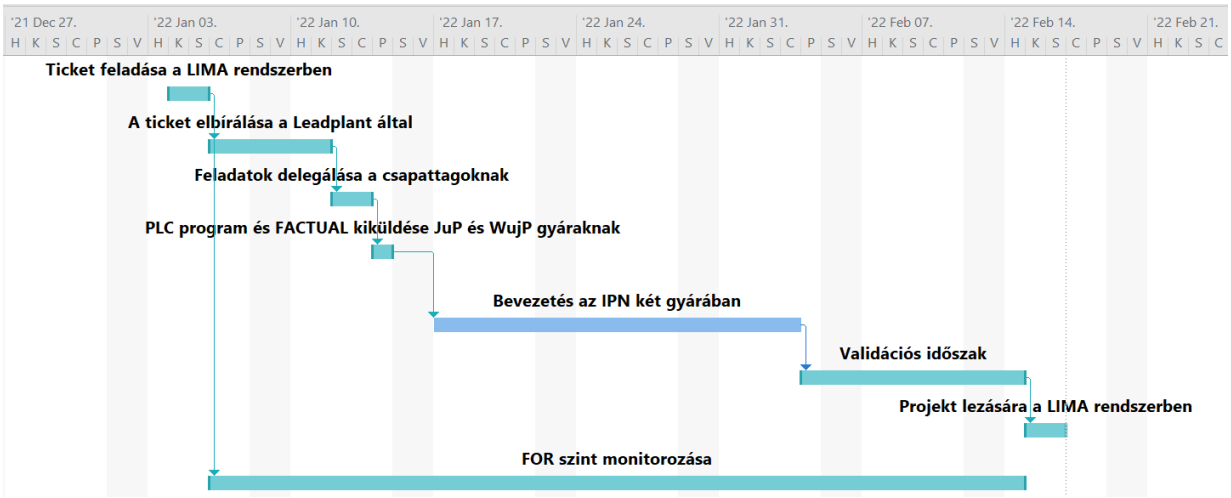


46. ábra: LIMA projektlevezetés standard felépítése

Az első sorban a probléma helyi felelőse létrehoz egy új ticket-et, mely továbbításra került a leadplant felé. Ezt az ábra már a második szintjén mutatja. Itt a hatvani gyárban dolgozó kollégák közül a leadplant koordinátor személye meghívja az általa választott csapat tagjait, akik szemügyre veszik a ticket-et, és a benne szereplő probléma leírását és lehetséges megoldásait („Lead Plant Review”). Ekkor a hatvani team jogosult arra, hogy amennyiben nem érzi biztonságosnak, megvalósíthatónak vagy indokoltnak a projekt javaslatot, úgy elutasítsa annak megkezdését („Rejected by LP”). A másik lehetőség, hogy elfogadja annak elindítását. Ebben az esetben három opció közül választhat a leadplant. Az első lehetőség szerint jóváhagyja a probléma bejelentőjének, hogy a saját gyártósorán bevezesse az általa eszközölt változást, viszont kiterjesztését az IPN többi lokációjára nem látja indokoltnak („Not applicable to other plants/lines”). Előfordulhat azonban, hogy egy kollégától érkező megoldási javaslat olyannyira releváns a többi soron, hogy a leadplant előírja annak bevezetését kötelező jelleggel („Required Implementation”), vagy pedig opcionálisan („Optional Implementation”), amennyiben az csupán egy hasznos, de nem szükséges témakör. Ezen döntési eredményekről minden alkalommal információt kap a problémabejelentő ticket létrehozója. Ezek után a bevezetési fázis következik, melyben az alfeladatok meghatározása után elkezdődik az egy-, vagy több gyártósoron történő változtatás

bevezetése. A projekt akkor tekinthető lezártnak, amennyiben a változás bevezetését követő validációs időszak lezárul, és a leadplant koordinátor jóváhagyja azt.

A pilot projekt esetén a ticket feladását én magam végeztem el, és a leadplant funkciót is én töltöttem be. Mivel az előzetes egyeztetések, és meetingek során kiderült, hogy a Radar PCB beültetés során alkalmazott maszkolási zóna végpontja a PLC programban minden soron matematikai képlettel össze volt kapcsolva a beültetési Z koordinátával, így egy esetleges finomhangolás során valószínűsíthető, hogy az IPN más gyártósorain is megjelent volna a probléma. Ezen tények miatt döntöttem a kötelező bevezetés mellett, és ezt adtam ki feladatnak a kínai, és mexikói kollégáknak is. Ehhez biztosítottam számukra az általam levezetett Shainin projekt FACTUAL összeállítását, illetve a PLC program azon részét, melyet programozó csapattagunk módosított. A bevezetésre kéthetes időkeretet szabtam meg, míg az FOR szint nyomon követése kötelező a ticket feladásától a validációs időszak befejezéséig. Az erről készült Gantt-diagram a 47. ábrán látható.



47. ábra: Gantt-diagram

7. Összefoglalás

A következő pár sorban szeretném összegezni diplomamunkám tartalmát. A cégnél jelenleg folyamatmérnöki pozícióban vagyok alkalmazva, és egy, a felelősségi körömbe tartozó gyártósori probléma megoldására irányúló projekt vezetését tűzte ki számomra a menedzsment. A Mid Range Radar GEN4 nevű termék gyártása céljából fenntartott Smart Line 4 nevű gyártósoron keletkező „Radar PCB beültetési erő túl nagy" elnevezésű hibakép elhárításának segítségére alkalmaztam a Shainin Red X nevű problémamegoldó módszert. A projekt levezetése után további feladatom volt a nemzetközi gyártási hálózat (IPN: International Production Network) mexikói-, és kínai gyáraiban is bevezettetni a gyökérok eliminálásának lehetőségeit, megoldásait. Az érdemi rész kidolgozását megelőzően felkutattam, és értékeltem a negyedik ipari forradalommal (Ipar 4.0), azon belül is az automatizálással, és a modern problémamegoldó módszerek alkalmazásával kapcsolatos hazai-, illetve nemzetközi szakirodalmat.

Az irodalomfeldolgozást követően nekiláttam a diplomamunka projektvezetési részének elkészítéséhez. A munkát azzal indítottam, hogy bemutattam a Bosch csoportot, illetve a hatvani telephelyű Robert Bosch Elektronika Kft-t, az MRR4-es termék működését, gyártástechnológiáját, illetve kitértem a Smart Line nevű gyártósorok felépítésére és működésére is. Ezen belül az automatizált összeszerelő állomás folyamatait is részleteztem, valamint a projekt szempontjából releváns Radar PCB beültetés folyamatleírását is ismertettem. A projekt indokoltságát meghatározó tényezőket bemutattam, többek között a cég által alkalmazott mutatószámokon, System CIP rendszeren, és IPN Benchmarking tevékenységeken keresztül.

A projekt részletes bemutatását a Shainin Red X módszer által előírt FACTUAL projektvezetési elv alapján levezettem. Részletesen ismertettem a projekt fókuszterületét, a Problem Definition Tree-t, megközelítés módszerét a Project Definition Tree-n keresztül, valamint a kontrasztok keresésének metodikáját, és a gyökérok elemzés menetét egy Solution Tree alkalmazásával. Elvégeztem a korrekciós intézkedés által okozott hatások kockázatbecslését a teszt fázisban, ismertettem a Green Y és a Red X közötti fizikai kapcsolat mibenlétét, illetve elkészítettem a projekt intézkedéseinek hatékonyságkövetését egy Run chart segítségével. Végül, de nem utolsó sorban ismertettem a projektnek az IPN két külföldi lokációjára való kiterjesztését a LIMA (Line Improvements Manager) rendszeren keresztül. A projektnek köszönhetően a cég évente közel 150000€ nagyságú selejtköltséget spórol meg, illetve stabilabbá, és jobban áttekinthetőbbé váltak a folyamatok működései.

8. Summary

In the followings I would like to summarize the content of my master's thesis. Currently I am employed by the company in a process engineering position and have been assigned by the management to lead a project to solve a production line related problem which belongs to my responsibility. I used a problem solving method called Shainin Red X in order to troubleshoot the "Radar PCB placement force is too high" named failure mode on the Smart Line 4 production line which stands for the production of the Mid Range Radar GEN4. After the implementation of the project, I had the additional task of introducing the possibilities and solutions of root cause elimination in the Mexican and Chinese factories of the International Production Network (IPN). Prior to the elaboration of the main part, I searched for and evaluated the national and international literature related to the Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0), including automation and the application of modern problem solving methods.

After processing the literature, I started to prepare the project management part of the master's thesis. I started the work by introducing the Bosch Group and Robert Bosch Elektronika Kft, located in Hatvan, the operation and production technology of the MRR4 product, and I also covered the structure and operation of the production lines called Smart Line. Within this, I also detailed the processes of the automated assembly station, as well as the process description of the Radar PCB placement which is relevant to the project. I presented the factors which are determining the motivation of the project, including the indicators used by the company, System CIP, and IPN Benchmarking activities.

I introduced the detailed presentation of the project based on the FACTUAL project management principle prescribed by the Shainin Red X method. I have described in detail the focus area of the project, the Problem Definition Tree, the approach method through the Project Definition Tree, and the methodology for searching for contrasts and the process of root cause analysis using a Solution Tree. I performed a risk assessment of the effects of the corrective action in the test phase, described the physical relationship between Green Y and Red X, and prepared a diagram to monitor the effectiveness of the corrective using a Run chart. Last but not least, I described the extension of the project to two foreign locations of the IPN through the LIMA (Line Improvements Manager) system. Thanks to the project, the company saves almost € 150,000 in scrap costs per year, and the operations of the processes have become more stable and transparent.

9. Nyilatkozat

Alulírott Berta Bálint, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Szent István Campus, műszaki menedzser szak nappali/levelező tagozat végzős hallgatója nyilatkozom, hogy a dolgozat saját munkám, melynek elkészítése során a felhasznált irodalmat korrekt módon, a jogi és etikai szabályok betartásával kezeltem. Hozzájárulok ahhoz, hogy Diplomadolgozatom egyoldalas összefoglalója felkerüljön az Egyetem honlapjára és hogy a digitális verzióban (pdf formátumban) leadott dolgozatom elérhető legyen a témát vezető Intézetben, illetve az Egyetem központi nyilvántartásában, a jogi és etikai szabályok teljes körű betartása mellett.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: Gödöllő, 2022.05.30.

Hallgató

10. Irodalomjegyzék

- [1]: Chanchal Dey, Sunit Kumar Sen: Industrial Automation Technologies, Taylor & Francis, 2022
- [2]: Dr. Daróczi Miklós: Haladó projektmenedzsment, Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Műszaki Menedzsment Intézet, Gödöllő, 2019
- [3]: Dr. Fodor György: Jelek és rendszerek I., Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Villamosmérnöki és Informatikai Kar, Műegyetem Kiadó, Budapest, 2006
- [4]: Dr. Kuczmann Miklós: Jelek és rendszerek, Széchenyi István Egyetem, Győr, 2006
- [5]: Dr. Medina Viktor: Minőségmenedzsment, Szent István Egyetem, Gödöllő, 2019
- [6]: Dr. Vas Attila: Általános géptan, Agrártudományi Egyetem, Mezőgazdasági Gépészmérnöki Kar, Gödöllő, 1980
- [7]: Elektronikai technológia és anyagismeret, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Villamosmérnöki és Informatikai Kar, Elektronikai Technológia Tanszék, Budapest, 2018
- [8]: Ferenczi Ildikó: Automatizálási alapismeretek, Nyíregyházi Egyetem, Nyíregyháza, 2018
- [9]: Festo – Kékvilág, 2016.04.
- [10]:http://www.leanforum.hu/index.php/szocikkek/169-ishikawa-diagram-ok-okozati-diagram
- [11]: https://asq.org/quality-resources/shainin-system
- [12]: https://shainin.com/our-technologies/
- [13]:https://www.boschrexroth.com/ics/cat/?cat=Electric-Drives-and-Controls-Catalog&m=XC&u=si&o=Desktop&p=g252369
- [14]: https://www.quality.de/lexikon/shainin-methode/
- [15]: Jan Kosina: Shainin Methodology: An Alternative or an Effective Complement to Six Sigma?, University of Ostrava, Faculty of Metallurgy and Materials Engineering, Department of Quality Management, Czech Republic, Ostrava, 2015

KONZULTÁCIÓS NYILATKOZAT

Berta Bálint (HRRD7B) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A diplomadolgozatot a záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom[1].

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*[2]

Kelt: Gödöllő, 2023. április 27.

Dr. [illegible]

_____

Belső konzulens