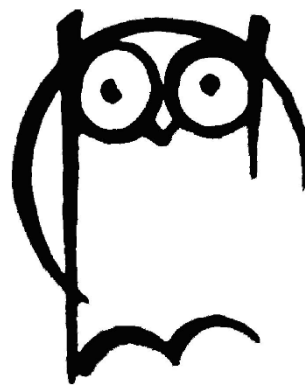




Debreceni Egyetem

Műszaki Kar

Műszaki Menedzsment és Vállalkozási Tanszék

Lean Construction alkalmazása egy betonelem- előregyártó KKV-nál

Szerző: Béres Viktor MSc hallgató

Témavezető: Dr. Máté Domicián

Tanszékvezető: Dr. T. Kiss Judit

Debrecen

2024.

1 Bevezetés

A dolgozatom témájaként a Lean Construction alkalmazását választottam egy hazai beton-elem-előregyártó kis- és középvállalkozásnál (KKV), mert úgy vélem, hogy az építőiparban tapasztalható hatékonysági problémák és a gyakori időbeli csúszások miatt kiemelt jelentőségű a veszteségek minimalizálása. Az építőipar területén napjainkban különösen sok veszteség keletkezik a felesleges mozdulatokból, anyagmozgatásból, túlfelhasználásból és az átfutási idők növekedéséből, amelyek összességükben komoly költségnövekedést és a határidők betartásának nehézségeit okozzák. A *Lean Construction* módszertan alkalmazásával azonban lehetőség nyílik a felesleges tevékenységek kiküszöbölésére és a folyamatos fejlesztés kultúrájának bevezetésére, amely végső soron versenyelőnyt biztosíthat a vállalkozás számára.

A dolgozatom célja, hogy megvizsgáljam, milyen eszközökkel és módszerekkel lehet egy magyarországi KKV-nál alkalmazni a Lean Construction elveit, különös tekintettel a veszteségminimalizálásra. A Lean módszertan azáltal, hogy folyamatosan az értékteremtő folyamatokra fókuszál és eltávolítja a felesleges lépéseket, lehetőséget teremt arra, hogy a vállalkozás hatékonyabban működjön, minimalizálja a hulladékokat, és jobban megfeleljen a piaci követelményeknek. A kutatásom során több Lean eszközt is kipróbálok, majd értékelem, hogy melyek alkalmazhatók sikeresen az adott vállalkozási környezetben.

Azért is választottam ezt a témát, mert a Lean Construction alkalmazása Magyarországon még kísérleti fázisban van, különösen a KKV-szektorban, így ez a terület innovatív és releváns hozzájárulás lehet az építőipari hatékonyság növeléséhez. Az építőiparban zajló folyamatos változások és a versenyképességi kényszer miatt egyre inkább előtérbe kerül a *Lean* módszertan, így ez a kutatás a hazai piacon is „hot topic”-nak számít. Reményeim szerint az elemzés eredményei hozzájárulhatnak ahhoz, hogy a vállalkozások szélesebb körben is bevezethessék ezeket az innovatív módszereket, amelyek által fenntarthatóbb, rugalmasabb és költséghatékonyabb működést valósíthatnak meg.

2 Szakirodalmi áttekintés.

2.1 Lean

A Lean kialakulása az 1950-es években kezdődött a Toyota Motor Company-nél, ahol a lehetséges összeomlás elkerülése érdekében szükséges volt drasztikus javulást elérni hatékonyságban és termelékenységben. Ez a változás a Lean filozófián keresztül alakult, amely a veszteségek alapos eliminálásán alapul, miközben garantálja az értékteremtést [1]. A veszteségek csökkentése mellett az érték azonosításán és annak szállításán is dolgozik. A Lean filozófia fő célja, hogy egyre közelebb kerüljünk a vevőink valódi, pontos igényeihez. Ahhoz, hogy ezt elérjük az alábbi alapelveket kell követnünk [2]:

- **Határozzuk meg az értéket:** Az érték, amely a végfelhasználó által van definiálva a Lean gondolkodás alapja, ami a vállalat összes folyamatát meghatározza.
- **Azonosítsuk az értékfolyamatot:** Az értékfolyamat egy elméleti és ideális sorozat, amelyben kizárólag értéket teremtő folyamatok szerepelnek, amelyek a leszállítandó terméket vagy termékeket alakítják át. Ezeket a folyamatokat a vevő által felismerhetőek és azokért hajlandó fizetni. Az értékteremtő folyamatokat egymás után sorolva az értéket közvetlenül vagy egyáltalán nem teremtő folyamatok csökkennek, vagy teljesen megszűnnek. Ezáltal több pénz, humán kapacitás és más erőforrás állhat rendelkezésre az értékteremtő folyamatokra.
- **Garantáljuk az áramlást:** Az összes értékteremtő folyamatnak megszakítás nélkül kell zajlania.
- **Húzzuk az értéket:** Semmilyen tevékenységnek nem szabad zajlania anélkül, hogy azt a sorban következő folyamat kérné.
- **Törekedjünk a tökéletességre:** A folyamatos fejlesztés tartja fenn és fejleszti tovább a Lean filozófiát.

Az első két alapelv az érték szállítását garantálja, az utolsó három a veszteségek megszüntetését.

Bármilyen Lean rendszer célja maximalizálni az értékteremtést, miközben csökkenti a veszteségeket. A veszteségek csökkentése alatt az egyenetlenségek és túlterhelések csökkentését is szem előtt kell tartani [3].

Érték: Az érdekelt fél számára az érték az életciklus-folyamatok eredményei által nyújtott összes előny teljes és kiegyensúlyozott megítélése. A „teljes megítélés” nem csak a termékhez közvetlenül kapcsolódó eredményeket, hanem a költségekkel, a határidőre történő szállítással, a kockázati szinttel stb. kapcsolatos elvárásokat is magában foglalja.

Veszteség (muda): A veszteség minden olyan folyamat, ami növeli a költséget vagy olyan emberi tevékenység, amely erőforrásokat használ fel anélkül, hogy értéket hozna létre. Bármilyen tevékenység, amely növeli az átfutási időt vagy többletköltséget jelent.

Túlterhelés (muri): Gépek, folyamatok vagy emberek terhelése a természetes határon túl

Kiegyensúlyozatlanság (mura): Az ingadozó gyártási ütemezés vagy belső problémák okozta egyenetlenség.

A veszteség megnyilvánulhat felesleges készletek, túlzott termelés, várakozó, felesleges feldolgozási lépések, felesleges mozgások, hibás termékek stb. formájában. Mindezek a „pazarló” tényezők egymásba fonódva újabb és újabb veszteséghez vezetnek, ami végül túlmutat azon a területen, ahol a kiváltó okok megjelennek, és akár magának a vállalatnak a vezetőségére is kiterjed. A Lean gondolkodás sikere azonban nem korlátozódik a gyártásra. Alkalmazható más, nagy költségcsökkentési és minőségjavítási potenciállal rendelkező folyamatokra is, például a termékfejlesztés [4]. A Leanre való áttérés gondolkodásmódbeli változást jelent; ez egy kulturális változás a szervezetekben és egy szemléletváltás minden egyes emberben [5].

2.2 Lean gyártás

A Lean gyártási rendszer a Lean filozófia vállalaton belüli alkalmazásával a dolgok előállításának egy módja, amely világhírű termelési rendszerré fejlődött. Ezeket az elveket az ipar különböző ágazatai – például a repülőgépipar, a fogyasztási cikkek, a fémfeldolgozás és az egyéb ipari termékek – is átvették. A valódi Lean gyártási rendszer több dimenzióban is változtatásokat és alkalmazkodást igényel: hozzáállás, szabványok, eszközök, technikák, emberek, stb. A rendszer két alappillére, a JIT (Just-in-Time) és a Jidoka [5].

2.2.1 Just-in-Time

A Just-in-Time azt jelenti, hogy csak azt gyártják, amire szükség van, akkor, amikor szükség van rá, és a szükséges mennyiségben; ez kiküszöbölheti a veszteségeket, a következtelenségeket és az ésszerűtlen követelményeket, ami jobb termelékenységet és folyamatos áramlást

eredményez. Annak érdekében, hogy az ügyfél által megrendelt terméket a lehető leggyorsabban szállítsák, a terméket hatékonyan, a lehető legrövidebb időn belül kell legyártani a következők betartásával:

- A termék megrendelésének beérkezésekor a lehető leghamarabb gyártási utasítást kell kiadni a gyártósor elejére.
- A gyártósoron minden szükséges alkatrészről a szükséges mennyiséget készletre kell venni, hogy bármilyen típusú megrendelt termék összeszerelhető legyen.
- A gyártósornak a felhasznált alkatrészeket az alkatrészgyártó folyamatokból kell pótolnia (az előző folyamatból).
- Az előző folyamatot kis darabszámú alkatrésszel kell ellátni, és csak annyi alkatrészt kell előállítani, amennyit az operátor a következő folyamatból előhívott.

Bármilyen lépésekből áll is a gyártási folyamat, a logika ugyanaz marad - a következő folyamat az előzőből veszi ki, amire szüksége van. A Lean gyártási rendszerben egy kanban rendszert használnak az áramlás szabályozására. A kanban rendszert supermarket módszernek is nevezik, mivel az ezekben az üzletekben használt termékellenőrző kártyák ihlették. Ezek a kártyák általában a termékkel kapcsolatos információkat tartalmazzak, például a termék nevét, kódját és tárolási helyét. Azzal, hogy a következő folyamat (a vevő) az előző folyamathoz (a supermarkethez) fordul, hogy a szükséges alkatrészeket akkor és olyan mennyiségben kérje le, amikor és amilyen mennyiségben szükségesek, javítható a meglévő, nem hatékony termelési rendszer. A korábbi folyamatok többé nem gyártanak felesleges alkatrészeket, és nem szállítják azokat a következő folyamatnak. A just-in-Time pillér a hatékony és rugalmas folyamat garantálására, a folyamatban lévő munka és a készletek csökkentésére hat. A JIT bevezetésével a folyamatokban a pazarlás könnyebben észrevehető, és a fejlesztések könnyebben megvalósíthatók [6].

2.2.2 Jidoka

Ahhoz, hogy a Just-in-Time rendszer működjön, az összes elkészített és szállított alkatrésznek meg kell felelnie az előre meghatározott minőségi előírásoknak. Ezt a Jidoka segítségével érik el. A Jidoka célja, hogy első alkalommal helyesen végezzük el a munkát. A Jidoka szabad fordításban „automatizálás emberi kézzel”, ami azt jelenti, hogy ha probléma merül fel, a berendezést azonnal le kell állítani, megakadályozva ezzel a hibás termékek előállítását:

- A gép biztonságosan leáll, amikor a normál feldolgozás befejeződik.

- Ha minőségi vagy berendezési probléma merül fel, a gép magától észleli a problémát és leáll, megakadályozva ezzel a hibás termékek előállítását.
- Ez ellentétben áll egy olyan géppel, amely egyszerűen egy kezelő felügyelete alatt mozog.
- Ennek eredményeképpen:
- Csak a minőségi előírásoknak megfelelő termékek jutnak tovább a gyártósor következő folyamataiba.
- A kezelők nyugodtan folytathatják a munkát egy másik gépen, és dolgozhatnak a probléma okának azonosításán, hogy megelőzzék annak megismétlődését.

A Jidoka használatával a hibákat nem tolerálják, és ha hibát észlelnek, a folyamatnak garantálnia kell, hogy a probléma okának azonosításáig és megoldásáig nem gyártanak hibás alkatrészeket. Ez az alapja a hibamentes gyártósor víziójának [6].

2.3 Lean Termékfejlesztés

A Lean termékfejlesztés alkalmazása javítja a vállalat versenyhelyzetét. Gyorsabb termékfejlesztést tesz lehetővé, kevesebb mérnöki munkaórával, a termékek jobb gyárthatóságával, jobb minőségű termékekkel, kevesebb gyártásindítási problémával és gyorsabb piacra jutással. Mindez természetesen javítja a piaci siker valószínűségét.

A Lean termékfejlesztés számos, egymással összefüggő technikát foglal magában, beleértve a beszállítók bevonását, a többfunkciós csapatokat, a párhuzamos tervezést, az egyes projektek különböző funkcionális szempontjainak integrációját és az egyes fejlesztési projektek stratégiai irányítását. Egy vállalat azonban nem éri el a Lean termékfejlesztést pusztán e technikák némelyikének alkalmazásával. A Lean termékfejlesztés felé való sikeres elmozduláshoz szükséges, hogy ezeket az egymással összefüggő technikákat egy koherens rendszer elemeiként közelítsük meg.

A Lean termékfejlesztésre való áttérést támogató tényezők közé tartoznak a következők: szoros fejlesztési ütemterv; szoros együttműködés az ügyféllel, aki fontos információkkal szolgálhat, és kihívások elé állíthatja a fejlesztőcsapatot; magasan képzett mérnökök; és ami a legfontosabb, a felső vezetés aktív, folyamatos támogatása és részvétele [7].

A termékfejlesztésben a Lean gondolkodás túlmutat a szisztematikus hulladékcsökkentésen és a Lean gyártási technikák termékfejlesztésre való alkalmazásán. A Lean mellett magának a projektervnek is lehetővé kell tennie az értékteremtést a veszteségek csökkentése mellett.

Termékfejlesztésben az értékteremtés kevésbé függhet attól, hogy a helyes tevékenységeket végezzük, mint attól, hogy a megfelelő információt a megfelelő időben a megfelelő helyre juttassuk. Ezért a Lean nem korlátozódhat a tevékenységek veszteségeinek csökkentésére, hanem a termékfejlesztési folyamatot, mint rendszert kell kezelni. Az értékteremtés garantálása és a veszteségek elleni szükséges ellenintézkedések kialakítása érdekében a Womack és Jones [2] által eredetileg javasolt öt Lean alapelvet az alábbi módon lehet adaptálni[5]:

- Határozzuk meg az értéket: Egy projektben projektcsapatnak meg kell értenie az összes szükséges termék vagy szolgáltatás jellemzőjét az értékkel kapcsolatban, amelyet a projekt összes érdekeltje elvár a termék életciklusa során.
- Azonosítsuk az értékfolyamatot: A termékfejlesztési folyamatnak egyszerűnek kell lennie, kiemelve a legfontosabb dátumokat és felelősségi köröket, valamint meghatározva az optimalizált információáramlást a túlzott adatforgalom megelőzése és a hatékony kommunikáció elősegítése érdekében.
- Garantáljuk az áramlást: Az ideális termékfejlesztési folyamatnak összhangban kell működnie a gyártás folyamatával, amely a koncepciótól a gyártásig tartó értékáramlást képviseli, a bürokrácia miatti megállások és a hibák kijavításához szükséges visszacsatolások nélkül. A fejlesztési értékáramlás minden akadályát meg kell szüntetni.
- Húzzuk az értéket: Ahelyett, hogy az ütemezett tevékenységeket tolnák, amelyek maguk is információkat és anyagokat tolnak a fejlesztési folyamaton keresztül, húzási eseményeket kell meghatározni. A húzó események garantálják az értékáramlást és láthatóvá teszik a minőségi problémákat.
- Törekedjünk a tökéletességre: A fejlesztési folyamat folyamatos javítása a hatékony tudásmenedzsment és a folyamat megfelelő menedzselésével érhető el. Ezt a tudást szisztematikusan dokumentálják, amelyekhez mindenki hozzáférhet, és elvárható, hogy használja, beleértve a vezetőséget is. A folyamatos fejlesztés fenntartja és fejleszti a Lean filozófiát.

Ezt a jövőképet a folyamat maximális egyszerűsítésével (a hozzáadott értéket nem teremtő tevékenységek eltávolításával), valamint a prototípus- és tesztelési tevékenységek előtérbe helyezésével kell elérni, ennek célja a kísérletezés és a tanulás maximalizálása. A fejlesztési projektvezetőnek a koordináláson és a motiváláson túlmenő szerepet kell vállalnia. Elvárás, hogy a felügyelete alá tartozó mérnököket és technikusokat az innovációra való folyamatos törekvésre ösztönözze.

A Lean termékfejlesztési rendszer legfontosabb szempontjai a vállalati kultúra, tudásmenedzsment, vállalati felépítés és a technológiai rendszer.

2.4 Lean gyártás a KKV szektorban

Bár a Lean gyártás egyre népszerűbb termelékenységnövelő technikává válik, a KKV-k még mindig nem biztosak abban, hogy mennyibe kerül a bevezetése, és milyen valószínűsíthető kézzelfogható és nem kézzelfogható előnyökkel járhat. E vállalatok többsége attól tart, hogy a Lean gyártás megvalósítása költséges és időigényes. Ráadásul a Lean gyártás megvalósítása stratégiai tevékenység egy adott szervezeten belül [8].

A Lean gyártás sikeres bevezetésének fő sikerfaktorai:

- Vezetőség és menedzsment
- Pénzügyi források
- Szaktudás
- Szervezeti kultúra

2.4.1 Vezetőség és menedzsment

Ahhoz, hogy a KKV-kon belül a Lean gyártás koncepcióját sikeresen megvalósítsák, a vállalatok vezetésének erős vezetői és projektmenedzselési tulajdonságokkal kell rendelkezniük. Ezek a tulajdonságok megkönnyítik a szervezeten belüli összes infrastruktúra integrációját, mivel az erős vezetés és menedzsment meghatározza a jövőképet és stratégiát, miközben lehetővé teszi a rugalmas szervezeti struktúrát. A jó vezetés végső soron elősegíti a tudás fejlesztését a munkaerő körében. Ezen szervezeti egység feladata biztosítani az erőforrások rendelkezésre állását, valamint növelni a tanulási hajlandóságot és az új ötletek és technológiák megszerzését a vállalati versenyképesség érdekében.

Következésképpen számos KKV stratégiai szempontból akadályoztatva van a jó vezetői tulajdonságokból eredő minőségi stratégiai ösztönzők hiánya miatt. A vezetői magatartás és a jutalmak így túl könnyen a rövid távú válságok folyamatos kezelésére összpontosulnak, míg a Lean gyártás megvalósítását, amely a költségek csökkentése és az erőforrások jobb kihasználása révén szilárdabb alapot teremthetne a sikerhez, folyamatosan elhalasztják „jobb időig”.

2.4.2 Pénzügyi források

A pénzügyi kapacitás döntő tényező minden sikeres projekt megvalósításában. Ennek oka az a tény, hogy a finanszírozás fedezi azokat az utakat, amelyeken keresztül más hasznos rendelkezések, például tanácsadás és képzés is megvalósítható. A pénzügyi források elégtelensége a KKV-kon belüli sikeres Lean gyártás megvalósításának egyik fő akadálya.

Attól tartanak, hogy a Lean gyártás alkalmazása, mint bármely más termelékenység-javító kezdeményezés bármely szervezeten belül, pénzügyi forrásokat igényelhet pl. tanácsadók alkalmazására, valamint az ilyen ötletek tényleges megvalósításának támogatására. Az emberek képzése a technikák alkalmazására szintén pénzügyi forrásokat igényel. Bizonyos esetekben a vállalatok termelését ideiglenesen leállíthatják annak érdekében, hogy a munkaerő elsajátíthassa az ilyen ismereteket; ezt a tényt a KKV-k szükségtelen erőforrás-veszteségnek tekintik, különösen akkor, ha nem számítanak azonnali megtérülésre.

2.4.3 Szaktudás

A gyártás jövője a szellemi tőke, valamint az innovációs képességek hatékony felhasználásában rejlik. Az alacsony képzettségi szintű munkaerő foglalkoztatása és tovább nem képzése nem támogatja a készségfejlesztés ideológiáját és gátat szab a fejlesztési stratégiák végrehajtásának. Továbbá az alacsony szintű munkavállalói készségek korlátot jelenthetnek a fejlődésnek.

2.4.4 Szervezeti kultúra

A támogató szervezeti kultúra megteremtése a Lean gyártás megvalósításának alapvető platformja. A magasan teljesítő vállalatok kultúrája a fenntartható és proaktív javulás. Nagyon kíváncsiak, hogy a vezetők rendelkezzenek bizonyos fokú kommunikációs készségekkel, hosszú távú fókusszal és stratégiai csapattal, miközben bármilyen új kezdeményezést kívánnak megvalósítani. A legtöbb nagy szervezet tudatában van ennek, függetlenül attól, hogy milyen kulturális modelleket választ vagy milyen sikeresen alkalmazza azokat, de sok KKV alapértelmezés szerint a tulajdonos vagy vezető személyiségét tükrözi a kultúrájában, és ez korlátozhatja őket abban, hogy milyen változtatásokat tudnak végrehajtani.

2.5 Lean Construction

A Lean gondolkodást számos iparágban és szolgáltató szervezetben sikerrel alkalmazzák. A Lean koncepciók bármilyen ismétlődő erőfeszítésre alkalmazhatók a munkahelyen, otthon

vagy a szabadidőben. Az építőipar felismerte, hogy sok fejlesztésre van szüksége ahhoz, hogy lépést tartson az épített környezet egyre növekvő összetettségével, és hogy előrelépést tegyen a más üzleti ágazatok által elért hatékonyságnövekedés irányába. Sokan úgy vélik, hogy a Lean Construction a helyes út. A Lean Construction a Lean termelési rendszer célkitűzéseit - az érték maximalizálása és a pazarlás minimalizálása - konkrét technikákra terjeszti ki, és ezeket egy új folyamatban alkalmazza.

Az építőipari tanulmányok kimutatták, hogy az épített környezet megvalósításához szükséges erőfeszítések 50%-a vagy még több értéket nem növelő erőfeszítés, vagyis a megrendelő szemében pazarlás. A munkaóra hatékonysága az elmúlt 50 évben nem javult, míg más iparágakban jelentős fejlődés tapasztalható. A demográfiai viszonyok jelentősen csökkentették az építőipar munkaerő-ellátottságát, és az épített környezet relatív költségnövekedése nem elégíti ki sok megrendelő üzleti igényeit.

A Lean Construction egy tisztelet- és kapcsolatközpontú, termelésirányításon alapuló megközelítés a projektek megvalósításához - a beruházási létesítmények tervezésének és építésének új és átalakító módja. A Lean termelésirányítás forradalmat okozott a gyártástervezésben, a beszállításban és az összeszerelésben. A Lean a beruházási létesítmények tervezésére, szállítására és építésére alkalmazva megváltoztatja a munka elvégzésének módját a projekt megvalósítási folyamata során. A Lean Construction a Lean termelési rendszer célkitűzéseit - az érték maximalizálása és a pazarlás minimalizálása - konkrét technikákra terjeszti ki, és azokat egy új projektátadási folyamatban alkalmazza. Ezért a Lean elmélet, elvek és technikák együttesen a projektmegvalósítás új formájának alapját képezik. A termelésirányításban gyökerező Lean Construction jelentős javulást eredményez, különösen az összetett, bizonytalan és gyors projektek esetében.

Az emberek tisztelete a Lean-gondolkodás alapköve. Az emberek az ötleteket és az anyagokat végső, hasznos értékke alakítják át. Az egyes emberek hozzájárulásának tiszteletben tartása szükséges ahhoz, hogy ezt az erőforrást kiaknázzuk. Ezen túlmenően, az emberek központi szerepet játszanak a Lean projektmegvalósítás sikerében. A Lean projektmegvalósítás termelésirányításon alapuló megközelítése minden erőfeszítést arra ösztönöz, hogy átláthatóvá tegye, majd optimalizálja a tervezési és építési munkán belüli összes folyamatot és áramlást. Továbbá, azáltal, hogy az embereket helyezzük a Lean Construction középpontjába, emlékeztetnek minket arra, hogy az emberek iránti tiszteletet helyezzük előtérbe, és elkerüljük a 8. hulladék keletkezését, amely a következőképpen foglalható össze: „Kihasz-

nálatlan/kevésbé kihasznált munkavállalói tehetség/kreativitás/intelligencia/készségek/potenciál” [9]. A Lean-gondolkodás folyamatos reflexióra ösztönöz annak megállapítására, hogy minden erőforrás-ráfordítás értékteremtésre kerül-e felhasználásra. Az ügyfélnek meg kell határoznia és átláthatóvá kell tennie ezt az értékmeghatározást a projekt elégedettségi feltételein keresztül, hogy segítsen a projektcsapat erőfeszítéseinek irányításában. Az értékteremtésnek tehát hatékonyan kell átalakítania a nyersanyagokat végtermékké vagy szolgáltatássá, és ezt a folyamatot első alkalommal helyesen kell elvégezni.

A Lean-gondolkodás szerint a folyamatok szabványosítása és az áramlás kiegyenlítése a legjobb módja az értékáramlás optimalizálásának. A szabványosított gyakorlatok következetesen megismételhetők, és a folyamatos fejlesztés kiindulópontjává válnak. A munkafolyamatok kiegyenlítése segít minimalizálni a variációt, hogy következetes kimenetet és kiszámítható eredményeket tegyen lehetővé. A Lean gondolkodás a folyamatos javítás gondolkodásmódját követeli meg. A vezetőknek olyan környezetet kell teremteniük, ahol bátorítják a kísérletezést, és elfogadhatóak a kisebb, kezelhető kudarcok, ha a cél a folyamatos javulás. Ez a légkör ösztönözheti az innovációt, amely az értékteremtésen keresztül az egész értékáramlás javát szolgálja. Az értékáram optimalizálása arra ösztönzi a projekteket, hogy a helyi és egyéni erőfeszítéseken túlra tekintsenek, és tanulmányozzák az átfogó eredményt, hogy meghatározzák, hol van hozzáadott érték, illetve hol van veszteség az egyes lépésekben. Ez a koncepció ellenkezik azokkal, akiket arra képeztek ki, hogy egy területre specializálódjanak, és azt az értéket maximalizálják. Nem lehet minden pazarlást eltávolítani, de a pazarlás minimalizálására való törekvés bátorítandó [10].

3 Módszertani áttekintés

3.1 Value Stream Mapping

A Value Stream Mapping (VSM) egy olyan módszertani eszköz, amelyet a Lean menedzsmentben használnak a folyamatok vizuális feltérképezésére és optimalizálására. Fő célja a hozzáadott értéket nem növelő, úgynevezett „pazarlások” azonosítása, valamint a folyamatok javítása az átfutási idő, a költségek és az erőforrások hatékony felhasználása érdekében. A VSM segít az aktuális állapot (current state) és az optimális jövőbeni állapot (future state) közötti különbségek meghatározásában, így világossá válik, hol lehet fejlesztéseket eszközölni.

3.1.1 A VSM lépései

1. Előkészületek és célmeghatározás: A folyamat megértéséhez először világosan meg kell határozni a VSM célját, valamint azokat a termékeket vagy szolgáltatásokat, amelyek mentén a térképezés történik.
2. Az aktuális állapot feltérképezése: Ebben a szakaszban a teljes folyamatot ábrázolják, beleértve az összes lépést a beérkező alapanyagoktól a végtermékig. Az ábrázolás során minden lépést részletesen felmérnek: az egyes lépések átfutási idejét, várakozási időit, készletmozgásait és minden olyan tényezőt, amely befolyásolja a teljes folyamatot. Az aktuális állapot feltérképezésével megmutatkoznak azok a pontok, ahol értékteremtés történik, illetve ahol veszteség keletkezik.
3. Pazarlási típusok azonosítása: A Lean megközelítés szerint hétféle fő pazarlási típus létezik, amelyek egyike sem járul hozzá a végső értékhez: túltermelés, várakozás, felesleges szállítás, túlzott készlet, túlzott mozgás, hibák és utómunkálatok, illetve az alulhasznosított emberi erőforrás. A VSM segítségével e pazarlások felderíthetők, és a folyamat egészében láthatóvá válnak.
4. Jövőbeli állapot megtervezése: Miután azonosították a veszteségeket, következhet az optimális, jövőbeni állapot megtervezése. Ez a szakasz a folyamatban lévő pazarlásokat és a nem értéknövelő tevékenységeket minimalizálni próbálja úgy, hogy javítja a folyamat egyes elemeit vagy akár megszünteti a nem hatékony lépéseket.
5. Intézkedési terv kialakítása és megvalósítása: A jövőbeli állapot megtervezése után kidolgozzák azokat a konkrét lépéseket, amelyek a jelenlegi állapotból a jövőbeli

állapothoz vezetnek. Ez magában foglalja az erőforrások allokálását, a felelősök kijelölését és az ütemterv meghatározását.

6. Eredmények nyomon követése és folyamatos fejlesztés: A VSM nem egyszeri alkalom, hanem folyamatos fejlesztési módszer, amelyet időről időre újra alkalmazni kell, hogy biztosítható legyen a folyamatok folyamatos javítása.

3.1.2 A VSM előnyei

A VSM fő előnye, hogy egyszerű, vizuális eszközként segíti a teljes folyamat megértését és az értéket nem teremtő lépések azonosítását. Javítja az átláthatóságot, megkönnyíti a csapatok közötti kommunikációt, és elősegíti a gyorsabb és hatékonyabb döntéshozatalt. Használatával gyorsan láthatóvá válik, hol lehet az átfutási időt rövidíteni, a költségeket csökkenteni, és az erőforrásokat hatékonyabban felhasználni, így hozzájárul a vállalat versenyképességének és eredményességének javításához.

3.2 Ishikawa diagram

Az Ishikawa-diagram, más néven halszáлка-diagram vagy ok-okozati diagram, egy vizuális módszertani eszköz, amelyet a minőségmenedzsmentben és a folyamatfejlesztésben alkalmaznak. Fő célja, hogy segítsen azonosítani a problémák alapvető okait, és rendszerezze azokat egy áttekinthető formában. Az Ishikawa-diagram használatával a szervezetek képesek könnyen áttekinteni, milyen tényezők okozhatnak meghibásodást vagy hibás működést, és ezáltal meghatározhatják a szükséges fejlesztési lépéseket.

Az Ishikawa-diagram felépítése

A diagram egy halszáлка szerkezethez hasonlít, ahol a „hal gerince” a vizsgált probléma vagy célkitűzés (például hibák minimalizálása), míg a „száلكák” a probléma különböző okait jelképezik. Az Ishikawa-diagram hagyományosan hat fő okcsoportot különít el, amelyek mindegyike hozzájárulhat a végső problémához. Ezek a következők:

1. Dolgozók: Ebbe a kategóriába tartoznak az emberi tényezők, például a munkavállalók tudása, készségei, tapasztalata és képzése, valamint az elkötelezettség és motiváció hiányosságai, amelyek a folyamatok hibáihoz vezethetnek.
2. Gépek: Ez a csoport a gépekkel, berendezésekkel és eszközökkel kapcsolatos okokat foglalja magában, például az elavult gépeket, a pontatlan eszközöket vagy a gyakori meghibásodásokat, amelyek negatívan befolyásolják a termelést.

3. Alapanyag: Az alapanyagok minőségével kapcsolatos problémák, mint például a nem megfelelő alapanyagok vagy az ingadozó anyagminőség, szintén okozhatnak hibákat a végtermékben.
4. Környezet: Ez a kategória magában foglalja azokat a környezeti tényezőket, mint a hőmérséklet, páratartalom, zajszint vagy a munkakörnyezet fizikai állapota, amelyek hatással lehetnek a folyamat hatékonyságára és a termék minőségére.
5. Karbantartás: A karbantartással kapcsolatos problémák, mint például a nem megfelelő karbantartási ütemezés vagy elhanyagolt berendezések, amelyek befolyásolják a gépek megbízhatóságát és élettartamát.
6. Folyamat: Ide tartozik minden olyan eljárás, szabályozás vagy munkafolyamat, amely nem megfelelően van kialakítva vagy optimalizálva, így akadályozhatja a hatékony működést és a kívánt eredmények elérését.

Ezek az okcsoportok segítenek rendszerezni a problémák forrásait, lehetővé téve a mélyebb megértést és a megfelelő intézkedések meghozatalát a minőségjavítás érdekében.

Az Ishikawa-diagram alkalmazásának lépései

1. A probléma meghatározása: Először pontosan meg kell határozni a problémát, amelyet vizsgálni szeretnénk. Ez lesz a diagram „feje”.
2. Az okok csoportosítása: A fő okcsoportok megjelölése után minden egyes kategórián belül további okokat kell összegyűjteni. Például, ha a gépek kategóriáját vizsgáljuk, akkor ide tartozhat a gépek elhasználódása vagy a hiányos karbantartás.
3. Részletezés és elemzés: Minden fő kategórián belül alokokat és további részleteket érdemes felvenni, hogy minél alaposabban feltárható legyen a probléma oka.
4. Prioritás felállítása és intézkedési terv: Miután minden lehetséges okot összegyűjtöttünk, azokat priorizálni kell, hogy az elemzés során kiderüljön, mely tényezők okozzák leginkább a problémát. Ezen információk alapján konkrét javító intézkedések készíthetők.

3.2.1 Az Ishikawa-diagram előnyei

Az Ishikawa-diagram egyszerű, vizuális formát biztosít az okok strukturált elemzéséhez, ami segít abban, hogy az ok-okozati összefüggések áttekinthetővé váljanak. Mivel lehetővé teszi

a probléma minden aspektusának részletes vizsgálatát, a csapatok közötti együttműködést is erősíti. Az eszköz rávilágít, hogy a problémákat rendszerben kell kezelni, és segít megérteni a legfontosabb fejlesztési pontokat, amelyeken változtatni szükséges a minőség vagy a hatékonyság növelése érdekében.

3.3 Spagetti diagram

A spaghetti diagram egy vizuális eszköz, amelyet a folyamatok és munkafolyamatok áramlásának elemzésére használnak. Fő célja, hogy azonosítsa a folyamat során felmerülő felesleges lépéseket, mozgásokat és interakciókat, ezzel hozzájárulva a hatékonyság növeléséhez és a pazarlás csökkentéséhez.

A spaghetti diagram felépítése

A spaghetti diagram a folyamat térbeli elrendezését és az abban részt vevő elemek közötti kapcsolatokat ábrázolja. A diagramon a különböző tevékenységek, helyszínek és erőforrások közötti mozgásokat vonalakkal jelölik, amelyek az áramlást szemléltetik. A vonalak kanyarodása és összekapcsolódása hasonlít a spaghetti tésztára, innen ered a neve. A diagram célja, hogy világosan megmutassa, hol vannak redundáns vagy nem szükséges mozgások, valamint hol lehet javítani a folyamatokat.

A spaghetti diagram alkalmazásának lépései

1. A folyamat azonosítása: Először ki kell választani a vizsgált folyamatot, amelynek elemzése a cél. Ez lehet például egy termelési folyamat, anyagkezelés vagy szolgáltatásnyújtás.
2. A jelenlegi állapot feltérképezése: A folyamat lépéseit, helyszíneit és a résztvevőket részletesen fel kell térképezni, hogy megértsük a folyamat aktuális állapotát és az abban zajló interakciókat.
3. A diagram elkészítése: A folyamat lépéseit és helyszíneit ábrázolni kell a térképen, a mozgásokat vonalakkal összekötve. Fontos, hogy a diagramon jól látható legyen, hol fordul elő felesleges mozgás vagy redundancia.
4. Elemzés és azonosítás: Az elkészült diagramot elemezni kell, hogy feltárjuk a pazarlást okozó területeket, mint például a túlzott lépéseket, a gyakori visszatéréseket vagy az időpazarló mozgásokat.

5. Fejlesztési javaslatok: Az elemzés eredményei alapján javaslatokat kell tenni a folyamat javítására, amely magában foglalhatja a lépések egyszerűsítését, a folyamat újratervezését vagy a munkakörnyezet optimalizálását.

3.3.1 A spagetti diagram előnyei

A spagetti diagram egyik legnagyobb előnye, hogy vizuálisan ábrázolja a folyamatok áramlását, így könnyen azonosíthatók a problémás területek. Az eszköz egyszerűsége és hatékonysága lehetővé teszi, hogy a csapatok könnyen és gyorsan áttekinthessék a folyamatokat, és a szükséges módosításokat végrehajtsák. Ezen kívül a spagetti diagram segít a kommunikáció javításában a csapat tagjai között, mivel minden érintett fél könnyen megértheti a folyamatok aktuális állapotát és a javasolt fejlesztéseket. Az eszköz alkalmazása hozzájárul a termelékenység növeléséhez, a költségek csökkentéséhez és a munkafolyamatok hatékonyságának javításához.

3.4 CTQ (Critical to Quality) és CTB (Critical to Business)

A CTQ (Critical to Quality) és CTB (Critical to Business) fogalmak alapvető fontosságúak a minőségmenedzsment és a folyamatfejlesztés területén. Ezek a mutatók segítenek azonosítani a legfontosabb minőségi és üzleti igényeket, amelyek közvetlen hatással vannak a termékek vagy szolgáltatások sikerére.

3.4.1 CTQ (Critical to Quality)

A CTQ fogalom a minőség szempontjából elengedhetetlen követelmények és jellemzők összességét jelenti, amelyek a vevők valódi igényeit tükrözik. Az üzleti siker érdekében fontos, hogy a szervezetek pontosan meghatározzák ezeket a CTQ-kat, amelyek lehetnek például a termék megbízhatósága, teljesítménye, esztétikai jellemzői vagy akár a szállítási határidők betartása. A CTQ-mátrix segít a vállalatoknak a vevői igények és a vállalati célok közötti összhang megteremtésében, ezáltal a termékek és szolgáltatások minőségének javításában.

3.4.2 CTB (Critical to Business)

A CTB mutatók a vállalat üzleti sikerének kulcsfontosságú tényezőit jelentik. Ezek magukban foglalják a költséghatékonyságot, a profitabilitást, a piaci részesedést és a vevői elégedettséget. A CTB-k az üzleti teljesítmény és a versenyképesség fenntartásához szükséges tényezők azonosításában játszanak szerepet. A CTB-mátrix segít a vállalatoknak abban,

hogy a stratégiai céljaikhoz igazodó prioritásokat állítsanak fel, ezáltal hatékonyabb döntéseket hozhassanak.

3.5 Measurement Matrix

A Measurement Matrix (Mérési mátrix) egy strukturált eszköz, amely lehetővé teszi a különböző folyamatok és termékek minőségi jellemzőinek nyomon követését és elemzését. Ez a mátrix segít a vállalatoknak abban, hogy meghatározzák, mely tényezők kritikusak a minőség szempontjából, és ezeket mérésekkel támasszák alá.

A Measurement Matrix felépítése

A mérési mátrix általában tartalmazza a következő elemeket:

- **Jellemzők:** A termék vagy folyamat kulcsfontosságú minőségi jellemzői, amelyeket mérni kívánunk (pl. méretpontosság, felületi minőség).
- **Mérési módszerek:** Azok a technikák, amelyek segítségével a jellemzők mérése történik (pl. kalibrált mérőeszközök, statisztikai elemzés).
- **Célértékek:** A jellemzők elvárt értékei, amelyeket a minőség biztosítása érdekében teljesíteni kell.
- **Eredmények:** A mérések során kapott adatok, amelyek lehetővé teszik a teljesítmény értékelését és az esetleges eltérések azonosítását.

3.6 Input-Process Measurement Matrix

Az Input-Process Measurement Matrix a folyamatok bemeneti és kimeneti jellemzőit kapcsolja össze, lehetővé téve a különböző tényezők hatásainak elemzését és a folyamatok hatékonyságának javítását.

Az Input-Process Measurement Matrix felépítése

Ez a mátrix a következő elemeket tartalmazza:

- **Bemenetek:** A folyamatba belépő tényezők, mint például az alapanyagok, eszközök, munkaerő és információk.
- **Folyamatok:** A különböző lépések és eljárások, amelyek a bemeneti tényezőkből a végtermék vagy szolgáltatás előállításához vezetnek.
- **Mérési jellemzők:** A folyamatok kimeneti eredményei, amelyek alapján a teljesítmény értékelhető (pl. selejt arány, gyártási idő).

- Elemzési lehetőségek: A bemenetek és kimenetek közötti kapcsolat vizsgálata, amely segít azonosítani a folyamatok gyenge pontjait és javítási lehetőségeit.

4 Megvalósítás

4.1 A folyamat bemutatása

Az általam választott folyamat egy kelet-magyarországi közép vállalkozás egyik termékének a gyártási folyamata. A gyártott termék egy innovatív megoldás a csapadékvíz elvezető csatornák építésének témakörében. Jelenleg jellemzően autópályák és utak mellé tervezett víz elvezető árkok kialakítása előre gyártott mederlapok használatával történik. Ezeket az elemeket kézi erővel hordják a helyükre és építik össze, majd a lapokat tömítő habarcs használatával teszik vízzáróvá. Ez a beépítési folyamat lassú, nagy a munkaerőigénye, mivel a mederlapokat egy ember nem emelheti meg a szabályozások értelmében. Emellett az elkészült műtárgy megjelenésével kapcsolatban javulást vár el a megrendelő. A szükséges mederlapokat gazdaságosan csak földnedves betonból lehet legyártani, mivel ezek vibrálás és préseles után kizsaluzhatók, állékonyak és néhány nap után elérik a kellő szilárdságot, hogy raklapra lehessen szedni és csomagolni.

Ezen piaci igények alapján a társaság termékfejlesztésbe, majd piacteremtő beruházásba kezdett. Az elem képlékeny, szálerősítéses betonból készül. Előbbi a felületi megjelenést határozza meg, ilyen konzisztenciájú beton használatával lehet elérni a kívánt minőséget. Utóbbi lehetővé teszi az elem vastagságának, valamint a szükséges armatúra méreteinek csökkentését. További előnye, hogy könnyebb elemek gyártását teszi lehetővé, így csökken az anyagfelhasználás és a szállítási költség is. A termékek 1 méter hosszban kerülnek gyártásra, beépítéshez szintén szükséges vízzáró habarcs használata, azonban kb. 60%-kal kevesebb. A nagy mennyiségű habarcs hajlamos pár év után megrepedni, elveszíteni vízzáróságát. A társaság által gyártott elemek illesztési hézaga kb. 5 mm, így ezt a problémát is orvosolja. További előnyei közé tartozik, hogy elegendő az árokban tömörített homokos kavics ágyazatot kialakítani, nincs szükség helyszíni betonozásra.

A fejlesztett termék jelenleg egyedülálló a piacon, jelentősen meggyorsítja a kivitelezést, emellett költséghatékonyabb megoldást is kínál, míg az elkészült műtárgy esztétikája is jelentősen jobb.

A társaság néhány termékcsalád gyártásával foglalkozik, ezek mind egyedi termékek. Jellemzően a projektek pár hónapot ölelnek fel rövid határidővel, ezek számos terméket tartalmaznak. Csak megrendelésre történik a gyártás, mivel gyakran előfordulnak egyedi igények, amelyhez gyártás során alkalmazkodni kell. Az általam említett tényezők miatt nem rentábilis a folyamat teljes automatizálása.

Az általam megvizsgált termékből először naponta 1 darabot gyártottak, majd miután a partner meg volt elégedve a szállított elemekkel, több sablont vásároltak és a megrendelések szerint elkezdődött a gyártás.

A sablonok és megrendelések száma, valamint a szükséges technológiai idők betartása miatt az egyes gyártó csapatok egy műszakban 3–5, de akár 10 féle terméket is gyártanak. Az általam vizsgált terméket is ilyen módon gyártja a társaság, én azonban csak egy termék folyamatait vizsgáltam. Ebből a vizsgálatból levont következtetéseket át lehet ültetni a többi termék gyártási folyamatára is, mivel azok lényegileg megegyeznek. A vizsgálatot értékfolyamat térképezéssel kezdtem, majd a társaság minőségellenőrzési csapatának tapasztalatait felhasználva ok-okozati diagramot készítettem. Az esetleges problémák, vevői és társasági igények kapcsolatáról CTQ, CTB, mérési, valamint input-process mátrixokat készítettem.

4.2 Value Stream Mapping

Az 1. ábra diagramján látható a gyártás jelenállapotú értékfolyamat-térképének első része [11].

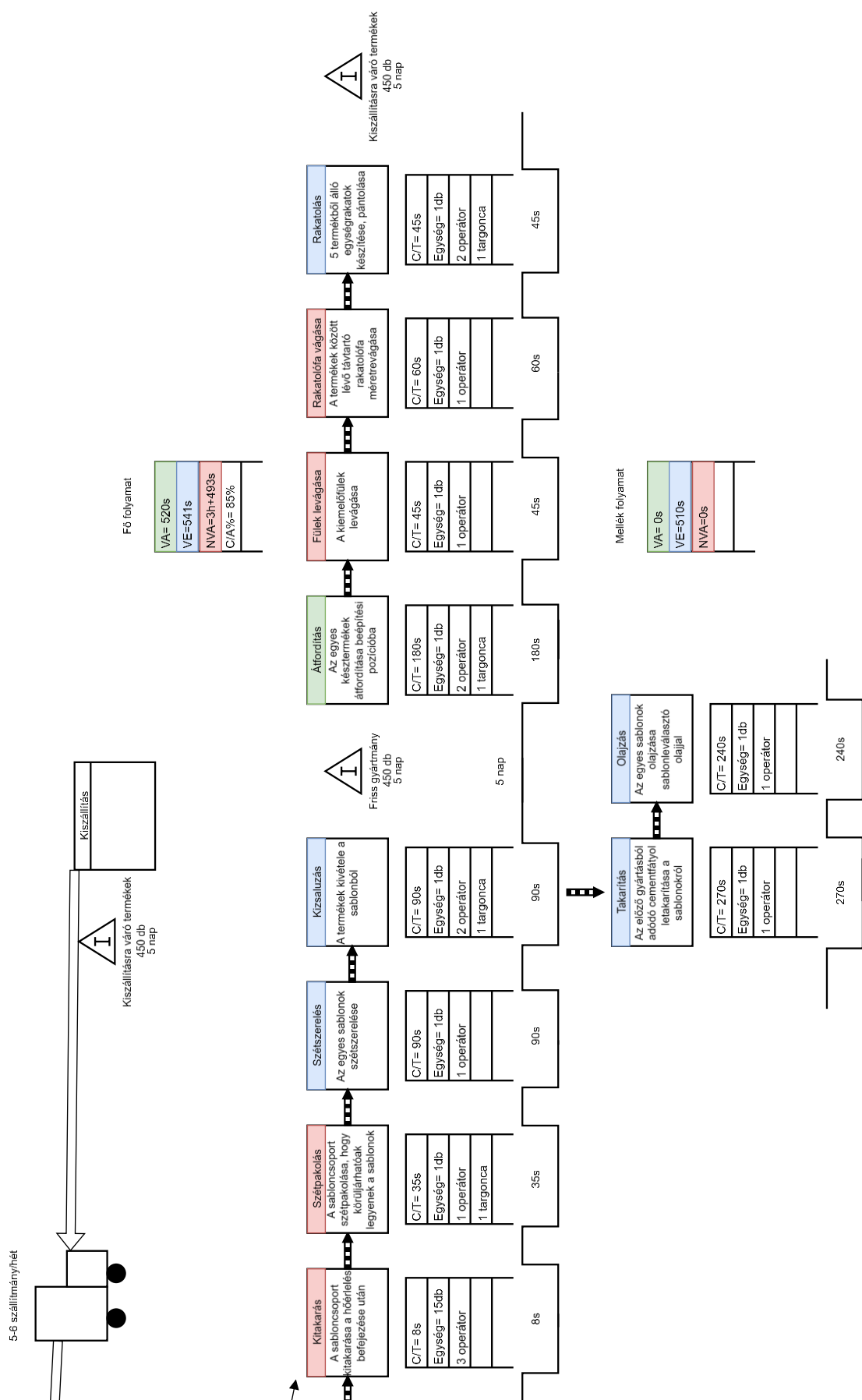
A VSM-en látható, hogy a megrendelő 450db terméket igényel hetente, ezt a társaság 30 sablon használatával oldja meg, 3 operátorral 3 műszakban. A megrendelővel a termékmenedzserek tartják a kapcsolatot, ebbe beleértve a szállítások ütemezését is. A termékmenedzserek a szükséges információkat továbbítják a termelésvezetésnek, amely szervezeti egység feladata megszervezni az igényelt mennyiségű termékeket az adott határidőig. Továbbá a beszállítókkal is tartják a kapcsolatot, napi rendeléseket leadva a szükséges alapanyagokra. A folyamatokat 3 osztályba soroltam: értékteremtő, értékteremtést támogató és értéket nem teremtő folyamatokra. Ezeket színekkel jelöltem, zöld, kék és piros ebben a sorrendben.

A VSM felrajzolását a vasalat elhelyezésével kezdtem, mivel ennél a műveletnél dől el egyértelműen, hogy melyik terméket gyártjuk, mivel a vasalat változtatásával a terhelési osztály is változik. Ezután történhet meg a technikai furat kialakításához szükséges műanyag cső levágása és behelyezése a sablonba. Ezt követően a sablont összeszerelik. A sablonok csoportosan kerülnek beöntésre, ennél a terméknel két 15 darabos sabloncsoporttal gyártanak a csapatok.

Miután az összes sablon összeszerelésre került 300 másodperc telik el azzal, hogy az operátor a targoncára szerelje a betonhordáshoz használt konténert és elmenjen a keverőegységhez, amely 0.5 m^3 beton megkeverésére alkalmas. A betonozó konténerek mérete is ekkora, ez a mennyiség 3 sablonba elegendő. Minden keverés után targoncával kerül kiszállításra a frissbeton.

A betont a sablonokba tölti a targoncakezelő, míg egy másik operátor tűvibrátorral tömöríti az alapanyagot. Ezt követően a szabad felületet kézi simítóval le kell simítani. Ha az összes sablonban lévő termék le lett simítva a sablonokat targoncával összepakolják közel egymáshoz, hogy minél kisebb alapterületen férjenek el. A sablonokat egy ponyvával letakarják, hogy megakadályozzuk a túlzott kipárolgást, ami hajszálrepedések kialakulásához vezet. Továbbá a takarás lehetővé teszi a hőérlelési folyamatot. A 3 órás hőérlelési folyamat pihentetéssel kezdődik, utána a sablonokat gőzzel melegítik, végül ismét pihentetés következik. Természetesen amíg a hőérlelési folyamat zajlik az operátorok más sabloncsoportokon dolgoznak.

A 2 ábra diagramján látható a VSM másik része.



2 ábra: Jelenállapot VSM 2. része

A hőérlelési folyamat után a termelésvezetés utasítást ad a csapatoknak a gyártási folyamat megkezdésére. Ez a sabloncsoport kitakarásával kezdődik. Ezután a sablonokat szét kell pakolni, hogy szétszerelhetők legyenek. A szétszerelt sablonokból a termékek kiszaluzhatóak.

A termék ezután raktározásra kerül 5 napig. Erre azért van szükség, mert az elemek megrepednének vagy akár el is törnének, ha azelőtt lennének átfordítva, mielőtt elérik a kívánt szilárdságot. Ha letelt ez a várakozási idő a termékeket beépítési pozícióba forgatják a vevői igényeknek megfelelően. Ezután a beépítéshez is használt beemelőszerkezettel kell a termékeket megfogni, a kiemelőfüleket levágnák, a méretre vágott rakatolófákat használva 5 termékből álló rakatokat képeznek raklapokra.

Ezek a kiszállításra váró termékek raktározásra kerülnek kb. 5 napra. Ez az idő attól függ, hogy a megrendelő milyen ütemben tudja fogadni a megrendelt termékeket.

Miután megtörtént a kiszaluzás a sablonokat meg kell takarítani az előző gyártásból visszamaradt cementfátyoltól, valamint a sablon külsejére tapadt betontól. Ezután a sablon betonnal érintkező felületei leolajozhatók sablonleválasztó olajjal a könnyebb kiszaluzhatóság és szebb felület érdekében.

A folyamat jellemző időtényezőit nap, óra és másodperc formátumban adom meg, ahol a napok és órák olyan technológiai idők, amelyeket kénytelenek vagyunk betartani. Ezek az 5 napos raktározás az átfordítás előtt, valamint a 3 órás hőérlelési folyamat.

A teljes folyamat komplex átfutási ideje 5 nap 3 óra és 2064 másodperc.

A szállítási idő 15 termékre 5 nap 3 óra és 18810 másodperc.

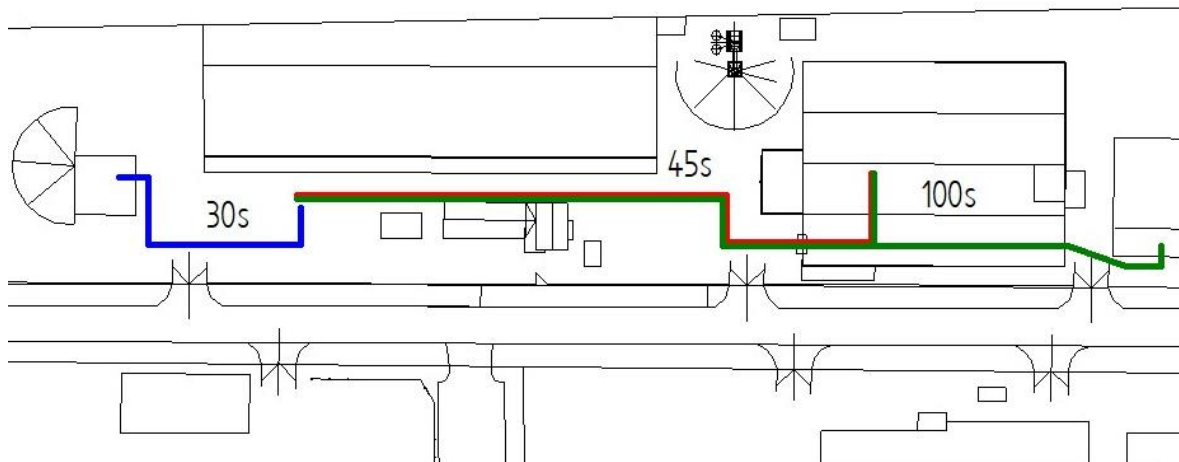
Az átfutási idő 5 nap 3 óra és 1554 másodperc.

A fő folyamatban az értékteremtő folyamatok 520 másodpercig, az értékteremtést támogató folyamatok 541 másodpercig, míg az értéket nem teremtő folyamatok 3 óra és 493 másodpercig tartanak. A mellék folyamatban 510 másodpercnyi értékteremtést támogató folyamat szerepel.

A teljes folyamat végén az 1. osztályú termékek aránya kb. 85%. A többi termék túlnyomó része javítható, ezt a javítást külön csapat végzi. Ez plusz költséget jelent, valamint rontja a késztermék összeképét.

4.3 Spagetti diagram

A jelenállapotú folyamatról készült spaghetti diagramot a 3. ábra mutatja.

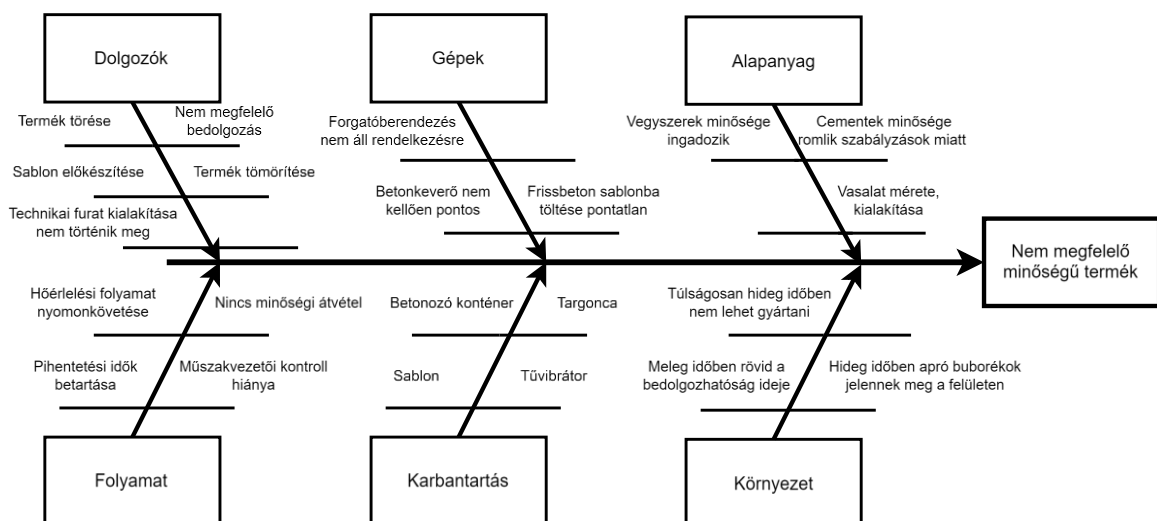


3. ábra: Spagetti diagram

A diagramon három mozgás látható. Kék színnel jelöltem a beton kihordásához tartozó útvonalat. Zölddel jelöltem az útvonalat, amely a gyártóterülettől a raktárhelyiségig, majd a fűrészelő állomásig tart. Itt kerül levágásra a technikai furat kiképzéséhez szükséges kirekesztő elem. Ezután ezeket a piros útvonalon viszi vissza az operátor a gyártóterületre.

4.4 Ishikawa

A 4. ábra tartalmazza az ok-okozati diagramot és azokat a tényezőket, amelyek a legyártott elemek nem megfelelő minőségét okozzák [12]. A 4. ábra mutatja, ahogy hat kategóriába soroltam a tényezőket, amelyek: Dolgozók, Gépek, Alapanyag, Folyamat, Karbantartás és Környezet.



4. ábra: Ishikawa diagram

4.4.1 Dolgozók

Az emberi tényezők gyakran befolyásolják a termék minőségét. Ezen termék gyártása közben a leggyakoribb hiba a sablon nem megfelelő előkészítése, valamint a frissbeton kellő tömörítésének elmulasztása, amelyek az elkészült betontermék megjelenését, illetve minőségét rontják. A frissbeton bedolgozása és a technikai furat kiképzése is kiemelten fontos folyamatok, a helyes kivitelezésüktől nagyban függ a partner beépítési sebessége. Ezeken kívül jellemzően a forgatási művelet közben törhetnek el a termékek.

4.4.2 Gépek

A gépek esetében a diagram kiemeli a forgatóberendezés hiányát, mivel a jelenleg időigényes folyamat során sérülnek is az elemek. Emellett nagy problémát jelent a betonkeverő egység pontatlansága, amely túréson kívül esik, főként a víztartalom tekintetében. A frissbeton víztartalma és bedolgozhatósága szoros kapcsolatban van, illetve az elkészült betontermék megjelenését is meghatározza. Előfordulhat olyan mértékű pontatlanság is, hogy az adott egységet nem lehet bedolgozni, azt ideiglenes tárolóba kell borítani. Az így felgyűlt anyag később elszállításra kerül, ez további költséget jelent a cég számára. További hullóbetonképződést jelent a frissbeton sablonokba töltése, ami jelenleg targoncával, hidraulikus munkahengerek használatával történik. Így gyakran előfordul a túlságosan sok frissbeton betöltése, ami a sablonok oldalára és alá kerül, emiatt több takarítás szükséges és a sablonok hamarabb elhasználódnak.

4.4.3 Alapanyag

A piacon megvásárolható cementek minősége a környezetvédelmi szabályozások miatt egyre romlik, a korábban használt cement már nem is kapható. Emiatt hosszabb kötési idővel kell számolni, illetve adott mennyiségre vetítve több cement használata szükséges. A frissbeton tartalmaz különböző vegyszereket, ezeknek minősége ingadozó. A betontermék tartalmaz vasalatot is, amely a megadott névleges méretektől eltérhet bizonyos mértékig. Ha az eltérés ezt meghaladja a termék élettartama csökkenhet a csökkenő betontakarás miatt, szélsőséges esetben kilátszódhat a felületből, amely hibát javítani kell. Elkerülhetetlen az alapanyagok minőségi átvétele a telephelyre történő szállítást követően.

4.4.4 Folyamat

A sablonok előkészítése majd beöntése rendszerint műszakvezetői jelenlét nélkül történik, így sok a visszatérő hiba, ami elkerülhető lenne. A fizikai állomány nem rendelkezik a szükséges tudással és jogkörrel adott problémák megoldásához, döntések meghozásához. A késztermékek kizsaluzása után nem történik minőségi átvétel, az I. osztályú és javításra szoruló termékek egy rakatba kerülnek, amiket később szét kell válogatni vezetői jelenléttel. Ezek miatt a műszakvezető jelenléte a gyártás során elkerülhetetlen. A pihentetési idők nem mindig kerülnek betartásra, ha túl hamar kezdődik a hőérlelési folyamat az elemek „elporlanak”. Ha a hőérlelési folyamat után nincs megvárva a kellő idő a termékek megrepedhetnek. A hőérlelési folyamatról jelenleg semmilyen adattal nem rendelkezünk, tapasztalat alapján vannak megválasztva a technológiai idők. Ezek optimalizálásra szorulnak a költségek csökkentése érdekében.

4.4.5 Karbantartás

A gépek, sablonok karbantartása elengedhetetlen a minőségi termékek gyártásához. Sablonok esetében ez elsősorban a megfelelő tömítettséget jelenti, hogy a termék felületén ne jelenjenek meg megfolyások. Gépek tekintetében kiemelt fontosságú a tűvibrátor megbízhatósága, mivel, ha öntés közben romlik el, az adott termék nagy valószínűséggel nem lesz kellően tömör, valamint darázsfészkes felületet kapunk. A sablonok, termékek és frissbeton mozgatásához is targoncát használnak a dolgozók, így ezeknek a gépeknek a meghibásodása elmaradt gyártást eredményez.

4.4.6 Környezet

Hideg időben más összetételű sablonleválasztó olajat lehet alkalmazni, amely nem kristályosodik ki a felületen, azonban ilyenkor a felületen apró buborékok jelennek meg. Túlságosan hideg időben nem lehet gyártani betontechnológiai okok miatt, mivel ilyenkor nem tud elindulni a cement hidratációja. Túlságosan meleg időben csökken a bedolgozhatóság ideje, illetve megnő a veszélye a zsugorodási repedések megjelenésének. Utóbbi problémákat feszes munkavégzéssel minimalizálni lehet.

4.5 CTQ mátrix

Az 1. táblázat tartalmazza a termék vizsgálata során felrajzolt CTQ mátrixot.

Reklamáció	Megoldás	Specifikáció	Valódi igény	CTQ Critical to Quality
Túl későn kaptam meg a termékeket, ezért nem tudom tartani az általam vállalt határidőt			Adott időpontig kell a terméknek megérkeznie	A szerződésben meghatározott ideig leszállítani a termékeket
A termékek megjelenése nem megfelelő			Szép termék	A termék ne legyen légbuborékos, foltos, elszíneződött. A felület egyéges legyen
		Adott betonminőségű terméket szeretnék	Specifikációknak megfelelő anyagminőség	Minden terméket az előírt minőségű anyagból kell legyártani. Az anyagok minőségét vizsgálni kell a szabványoknak megfelelően
	Olyan terméket szeretnék, amivel könnyű dolgozni		Egymással könnyen összeépíthető, beépíthető termék	A termékeknek a hozzájuk tartozó szerszámmal beépíthetőnek kell lenniük, beépítés után az elkészült műtárgyon "fogáság" nem megengedett

1. táblázat: CTQ mátrix

Ez a CTQ (Critical to Quality) mátrix azonosítja a vállalkozás szempontjából kritikus minőségi követelményeket, amelyek elengedhetetlenek a vevői igények teljesítéséhez. A táblázatban megjelenített reklamációk a termékek késedelmes kézbesítésétől kezdve a megjelenési és anyagminőségi problémákon át a termékek egyszerű beépíthetőségéig több területet lefednek. Minden reklamáció esetében meghatározásra került a vevők valódi igénye, valamint az ennek való megfeleléshez szükséges specifikáció. Például a vevők elvárják, hogy a termékek időben érkezzenek, a szerződésben meghatározott időpontig, és hogy azok vizuálisan is megfeleljenek az esztétikai elvárásoknak (például ne legyenek légbuborékosak). Az ilyen CTQ mátrix alkalmazása segít a vállalatnak pontosan meghatározni, milyen minőségi paramétereket szükséges kontrollálni és javítani annak érdekében, hogy a vevők elégedettsége javuljon, és a gyártási folyamatok hatékonysága növekedjen.

4.6 CTB mátrix

Az 2. táblázat tartalmazza a termék vizsgálata során felrajzolt CTB mátrixot.

Reklamáció	Megoldás	Specifikáció	Valódi igény	CTB Critical to Business
		Legalább 5%-kal csökkentenünk kell az önköltséget	Önköltség csökkentése	Ráfördított idő csökkentése 10%-kal
Magas a javításra költött összeg			Javítási költségek csökkentése	Javításra szoruló elemek csökkentése 20%-kal
			Selejtszám csökkentés	Selejtarány csökkentése 5%-kal

2. táblázat: CTB mátrix

Ez a CTB (Critical to Business) mátrix olyan kulcsfontosságú üzleti tényezőket azonosít, amelyek alapvetően befolyásolják a vállalkozás hatékonyságát és versenyképességét. Az elemzésben szereplő fő üzleti célok az önköltség, a javítási költségek, valamint a selejtszám csökkentése. Az önköltség csökkentésének érdekében legalább 5%-os megtakarítást kell elérni, amelyet a ráfordított idő 10%-os csökkentésével lehet támogatni. A javítási költségek csökkentése érdekében célkitűzés a javításra szoruló elemek arányának 20%-os csökkentése, míg a selejtszám csökkentése érdekében a selejtarányt legalább 5%-kal szükséges mérsékelni. Az ilyen CTB mátrix alkalmazása hozzájárul a szervezet működési hatékonyságának növeléséhez és a költségmegtakarítási lehetőségek pontosabb azonosításához, ezáltal segítve a hosszú távú üzleti célok elérését.

4.7 Measurement Matrix

A CTQ és CTB mátrixokban megfogalmazott mérhető tulajdonságokat a terméken és gyártása, kiszállítása közben elvégezhető méréseket táblázatba rendeztem. Ezekből measurement matrixot készítettem a tulajdonágok és a mérések közötti kapcsolat erőssége alapján. Ezt a mátrixot mutatja a 3. táblázat (● = erős kapcsolat, ○ = közepes kapcsolat, ▲ = gyenge kapcsolat, ■ = nincs kapcsolat, ✓ = kiválasztott mérés).

Critical to Customer	Eltérés a szállítási időpontja és a határidő között (nap)	A termék foltos, elszíneződött	A termék felülete légbuborékos	Megfelelő betonminőség	A termék méreteinek eltérése a névleges méretekhez képest (mm)	Gyártási idő 1 elemre vonatkozóan (perc)	Javításra szoruló elemek aránya (%)	Selejt elemek aránya (%)
A szerződésben meghatározott ideig leszállítani a termékeket	●	■	■	■	■	■	■	■
A termék ne legyen légbuborékos, foltos, elszíneződött. A felület egyéges legyen	■	●	●	■	■	■	■	■
Minden terméket az előírt minőségű anyagból kell legyártani. Az anyagok minőségét vizsgálni kell a szabványoknak megfelelően	■	■	■	●	■	■	■	○
A termékeknek a hozzájuk tartozó szer számmal beépíthetőnek kell lenniük, beépítés után az elkészült műtárgyon "fogasság" nem megengedett	■	■	■	■	●	■	■	■
Critical to Business								
Ráfordított idő csökkentése 10%-kal	■	■	■	■	■	●	■	■
Javításra szoruló elemek csökkentése 20%-kal	■	■	○	○	○	■	●	■
Selejtarány csökkentése 5%-kal	■	■	○	○	●	■	■	●
Kiválasztott mérések	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

3. táblázat: Measurement mátrix

Ez a Measurement Matrix a vevői és üzleti szempontból kritikus követelményeket és a hozzájuk kapcsolódó mérési pontokat tartalmazza. Az Critical to Customer (CTC) szempontok a szállítási időpont, a termék vizuális és minőségi jellemzői (például foltok, légbuborékok, anyagminőség, méretpontosság) köré szerveződnek, amelyek közvetlenül hatnak a vevői elégedettségre. Az Critical to Business (CTB) szempontok az önköltség csökkentésére és a

gyártási folyamatok hatékonyságának javítására fókuszálnak, ideértve a ráfordított idő, a javításra szoruló és a selejt termékek arányának csökkentését. Az egyes kritikus mérőszámok mind a vevői elvárások teljesítésére, mind a költséghatékonyság növelésére szolgálnak, és mindkét kategóriában gondosan kiválasztott mérési pontok (például szállítási idő eltérése, felületi hibák, javításra és selejtre vonatkozó arányok) segítik a minőségi célok elérését.

4.8 Input-Process Measurement Matrix

Az ok-okozati diagramban szereplő problémák és a vevő, illetve a társaság által megfogalmazott igények között az input-process measurement mátrix keretében jelöltem a kapcsolatokat. Ezeket a 4. táblázat, 5. táblázat és 6. táblázat tartalmazza.

	Dolgozók					Gépek		
Kimenet mérések	Termék törése	Nem megfelelő be-dolgo-zás	Sablon előké-szítése	Termék tömörí-tése	Techni-kai furat kialakí-tása nem tör-ténik meg	Forga-tóberen-dezés nem áll rendelkezésre	Beton-keverő nem kellően pontos	Frissbe-ton sab-lonba töltése pontatlan
Eltérés a szállít-ás időpontja és a határidő kö-zött (nap)	■	■	■	■	■	○	■	■
A termék foltos, elszíneződött	■	■	■	■	■	■	○	■
A termék felü-lete légbuboré-kos	■	■	○	●	■	■	■	■
Megfelelő be-tonminőség	○	■	■	■	■	■	●	■
A termék mére-teinek eltérése a névleges mére-tekhez képest (mm)	■	■	○	■	○	■	■	■
Gyártási idő 1 elemre vonatko-zóan (perc)	■	■	▲	■	■	●	■	○
Javításra szoruló elemek aránya (%)	●	●	●	○	■	■	▲	■
Selejt elemek aránya (%)	●	●	○	○	●	▲	▲	■

4. táblázat: Input-Process Measurement Matrix: Dolgozók és Gépek

Kimenet mérések	Alapanyag			Folyamat			
	Vegyszer minősége ingadozik	Cementek minősége romlik szabályozások miatt	Vasalat mérete, kialakítása	Hőérlelési folyamat nyomonkövetése	Nincs minőségi átvétel	Pihentési idők betartása	Műszakvezetői kontroll hiánya
Eltérés a szállítás időpontja és a határidő között (nap)	■	■	■	■	■	■	■
A termék foltos, elszíneződött	●	■	■	■	■	■	■
A termék felülete légbuborékos	○	■	■	■	▲	■	○
Megfelelő betonminőség	○	●	■	▲	■	▲	■
A termék méreteinek eltérése a névleges méretekhez képest (mm)	■	■	■	■	▲	■	○
Gyártási idő 1 elemre vonatkozóan (perc)	■	■	▲	■	■	▲	■
Javításra szoruló elemek aránya (%)	○	■	■	■	●	■	●
Selejt elemek aránya (%)	■	■	▲	▲	●	○	●

5. táblázat: Input-Process Measurement Matrix: Alapanyag és Folyamat

	Karbantartás				Környezet		
Kimenet mérések	Betonozó konténer	Targonca	Sablon	Tűvibrátor	Túlságosan hideg időben nem lehet gyártani	Meleg időben rövid a bedolgozhatóság ideje	Hideg időben apró buborékok jelennek meg a felületen
Eltérés a szállítás időpontja és a határidő között (nap)	■	■	■	■	●	■	■
A termék foltos, elszíneződött	■	■	■	■	■	■	■
A termék felülete légbuborékos	■	■	○	●	■	■	●
Megfelelő betonminőség	■	■	■	■	○	▲	■
A termék méreteinek eltérése a névleges méretekhez képest (mm)	■	■	▲	■	■	■	■
Gyártási idő 1 elemre vonatkozóan (perc)	●	●	●	●	■	▲	■
Javításra szoruló elemek aránya (%)	■	■	■	■	■	■	▲
Selejt elemek aránya (%)	■	▲	○	■	○	▲	■

6. táblázat: Input-Process Measurement Matrix: Karbantartás és Környezet

Ez az Input-Process Measurement Matrix a termelési folyamat különböző aspektusait rendszerezi, amelyek a gyártott termékek minőségére és a folyamat hatékonyságára egyaránt hatással vannak. A mátrix négy fő tényezőt vizsgál: a dolgozók, gépek, alapanyagok és folyamatirányítás, valamint a karbantartás és környezeti hatások hatásait. Az ezekhez kapcsolódó hibák feltárása és azok hatásainak mérése segíti a termelési folyamat optimalizálását és a veszteségek csökkentését.

A dolgozók és gépek szerepe alapvető, hiszen ezek a folyamat alapvető tényezői. A dolgozói oldalon a nem megfelelő bedolgozás, a sablon előkészítésének hibái, illetve a termék tömörítésének pontatlansága közvetlenül hozzájárulhatnak a selejtek és a javításra szoruló elemek

arányának növekedéséhez. A gépekkel kapcsolatos problémák közé tartozik például a forgatóberendezés és a betonkeverő pontatlansága, amelyek miatt felületi hibák, légbuborékok, foltok jelenhetnek meg, vagy a szállítási határidő csúszhat, ami vevői reklamációkat eredményezhet.

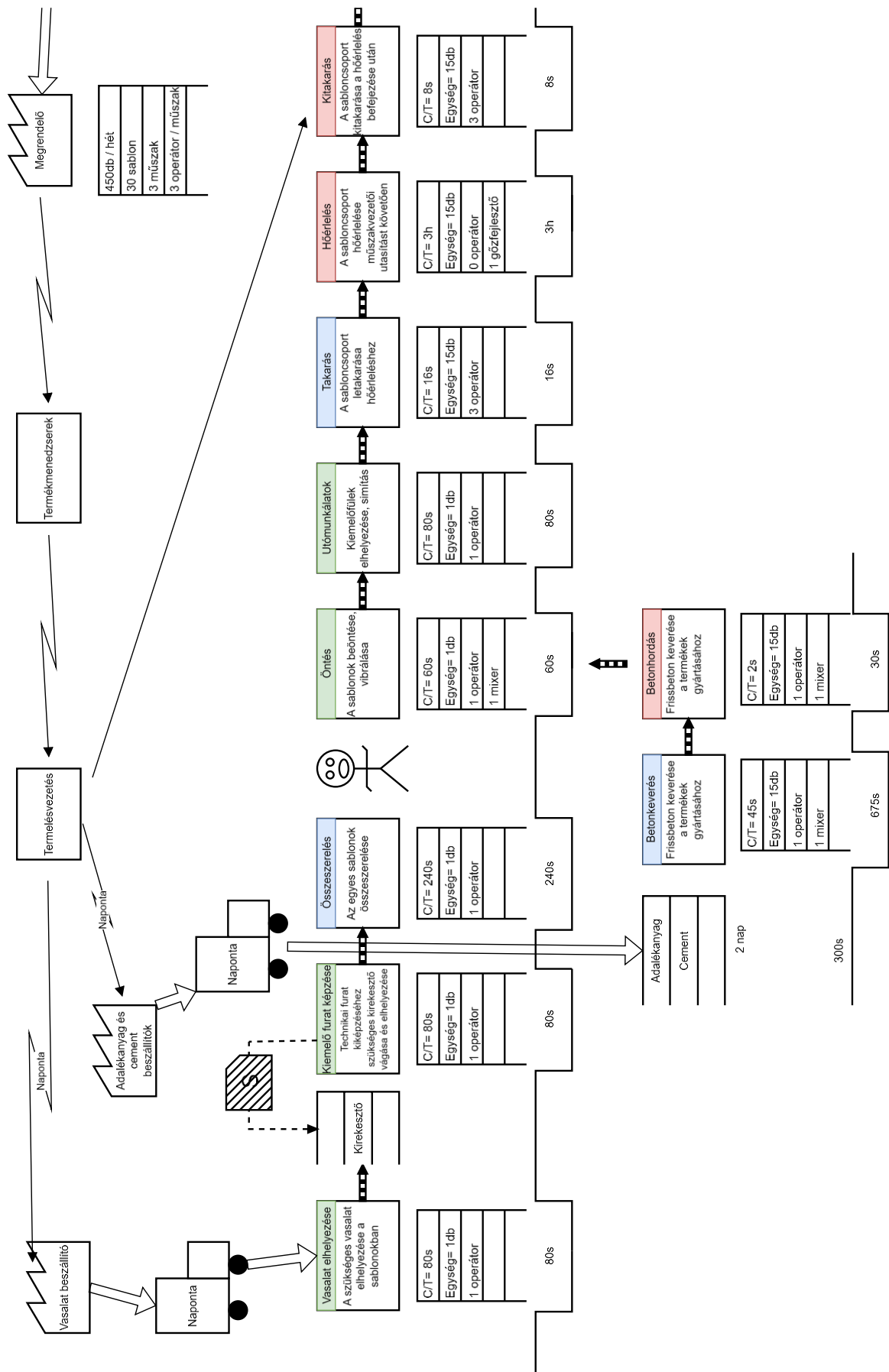
Az alapanyagok minősége és a folyamatirányítás a másik két kritikus tényezőcsoport. Az alapanyagok oldalán a cement és egyéb vegyszerek minőségének ingadozása veszélyezteti a termék egységességét és tartósságát. A hőérlelési folyamat megfelelő ellenőrzése, illetve a pihentetési idő betartása ugyancsak szükséges ahhoz, hogy a termékek megfeleljenek a minőségi követelményeknek. Az ellenőrzési és minőségátvételi folyamat hiányosságai tovább növelhetik a selejtszámot, így a szabályozott folyamatirányítás létfontosságú a termék stabil minőségének biztosításához.

A karbantartás és környezeti hatások területén például a targonca, sablonok és tűvibrátor megfelelő karbantartása és használata befolyásolja a termelési hatékonyságot és a végtermék minőségét. Hideg időben a termékek felületén apró buborékok jelenhetnek meg, ami esztétikai hibákhoz vezethet, míg meleg időben a beton bedolgozhatósági ideje csökkenhet, ami a gyártási folyamat pontatlanságát okozhatja.

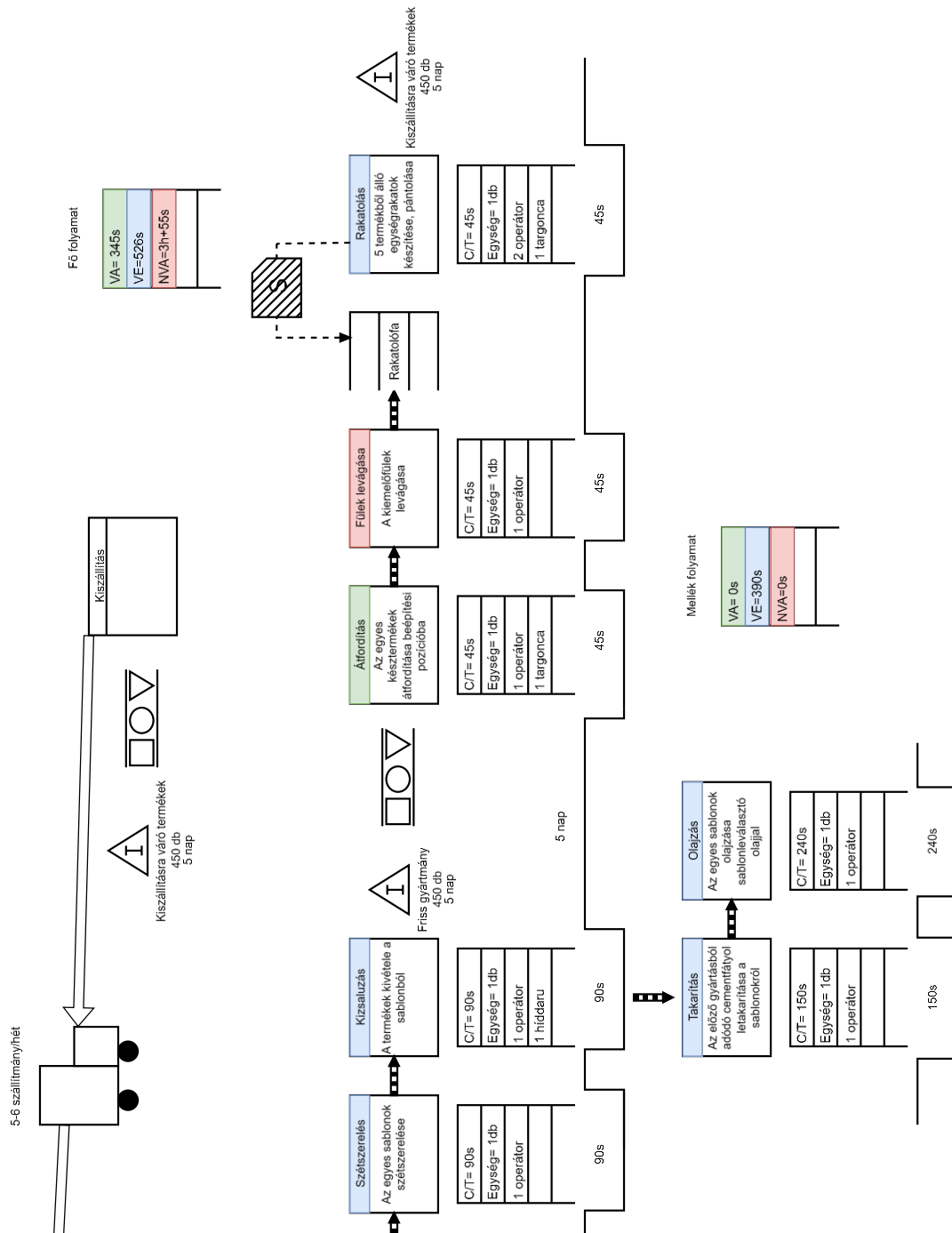
Összességében a mátrix olyan kritikus pontokra mutat rá, amelyek figyelembevételével javítható a gyártási folyamat minősége és hatékonysága. A folyamat minden szintjén végzett pontos mérés és kontroll hozzájárulhat ahhoz, hogy csökkenjen a selejtek, javításra szoruló elemek aránya, valamint a szállítási késések, ami javítja a vevői elégedettséget és a cég versenyképességét.

4.9 Jövőállapot

Az 5. ábra és a 6. ábra diagramján látható a folyamat jövőállapotának értékfolyamat térképe. A két állapot közötti különbségeket és az ezekhez szükséges változtatásokat mutatom be.



5. ábra: Jövőállapot VSM első része



6. ábra: Jövőállapot VSM második része

4.9.1 Sablonok előkészítése

A kirekesztőket méretre vágva kell beszerezni, így az operátoroknak nem kell feleslegesen elmenniük a raktárba az anyagért és a fűrészhöz, hogy levágják. Ez egy beszállítói kanbannal oldható meg. Így termékenként 40s gyártási idő takarítható meg. A sablonokat csak az egész csoport összeszerelése után lehet önteni, melyre a műszakvezető ad engedélyt, miután a sablonokat öntésre alkalmasnak nyilvánította.

4.9.2 Betonkeverés és hordás

A betonhordást targonca helyett mixerrel célszerű megoldani, így az esetleges mérlegelési hibák korrigálhatók a további keverésekkel, pontosabb adagolást tesz lehetővé és csökkenthető vele a mozgások száma. A betonkeverés a sablonok előkészítésével párhuzamosan zajlik. A ciklusideje is csökkent az egyes keveréseknek, mivel folyamatosan egy típusú betont keverünk, így keverés közben már a keverőegység mérlegelni tudja az alapanyagokat.

4.9.3 Öntés

A beton bedolgozásához elegendő 1 operátor zsaluvibrátor használatával. Emellett a vibrálási idő nem fog változni, a frekvenciaváltó mindig ugyanannyi ideig vibrálja a termékeket, így a légbuborékos, darázszerű felületek problémáját is megoldhatjuk. Az összes sablonba be kell dolgozni a betont, csak ezután haladhat tovább a folyamat.

4.9.4 Hőérlelés

A sablonokat egy vonalban kell elhelyezni a megfelelő távolságra, így az összepakolási folyamatra nincs szükség. A sablonokat ezután nem kézzel, szőtt ponyvával kell letakarni, hanem ipari, harmonikaszerűen összecukható, PVC ponyvából készült hőérlelő alagúttal. Ezek várható élettartama is hosszabb.

4.9.5 Kizsaluzás

A kizsaluzási művelethez híddaru használatával csak 1 operátor szükséges, emellett a termék törésére is kisebb az esély a lassabb emelés miatt. A kizsaluzott termékeket FIFO elven kell raktározni, így garantálva, hogy minden termék azonos szilárdsági értéken kerül átfordításra.

4.9.6 Sablontakarítás

A sablonok takarítását a korábbi kézi módszer helyett gőzborotva használatával kell elvégezni, így jelentősen rövidíthető a folyamat.

4.9.7 Rakatolás

Az átfordítási művelet jelentősen lerövidül a termékhez fejlesztett, targoncára szerelhető megfordítószerkezet használatával. Így nincs szükség a termék többszöri megfogására és a gépkezelőn kívül operátorokra sem. A megfordítószerkezet használatával a terméket megfogjuk, megfordítjuk, majd egyből a rakatra helyezzük. A rakatoláshoz szükséges stafliákat

is méretre vágva kell beszerezni beszállítói kanban rendszerrel, ezáltal rövidítve a ciklusidőket. Az elkészült rakatokat FIFO elven kell tárolni kiszállításig.

A teljes folyamat komplex átfutási ideje 5 nap 3 óra és 1294 másodperc.

A szállítási idő 15 termékre 5 nap 3 óra és 12849 másodperc.

Az átfutási idő 5 nap 3 óra és 957 másodperc.

5 Összegzés

Dolgozatomban a Lean Construction alkalmazását vizsgáltam egy magyar betonelem-előregyártó vállalkozás példáján. A cél az volt, hogy bemutassam, hogyan lehet minimalizálni a pazarlást és optimalizálni a gyártási folyamatokat, különös tekintettel a hatékonyság és minőség javítására.

5.1 Eddig elért eredmények

A projekt keretében több Lean eszközt teszteltem, például a Value Stream Mapping (VSM), Ishikawa-diagram és Spagetti-diagram alkalmazását a vállalat gyártási folyamataiban. Ezek a módszerek lehetővé tették a veszteségek azonosítását és a folyamatok elemzését.

- Value Stream Mapping (VSM): A vállalat gyártási folyamatainak vizualizációjával világossá vált, mely pontokon jelentkezik a pazarlás. Az eredmények azt mutatták, hogy az átfutási idők és az értéket nem teremtő folyamatok rövidítésével jelentős fejlesztéseket lehetne elérni. Például a túlzott anyagmozgatás és a felesleges mozgások minimalizálásával csökkenthető az átfutási idő és növelhető a hatékonyság.
- Ishikawa-diagram: Az ok-okozati diagram segítségével a termékek minőségi problémáit részletesen elemeztem, és azonosítottam a legfőbb hibaforrásokat. Ez az eszköz segít a gyártás során jelentkező hibák forrásainak megszüntetésében, hozzájárulva a minőségi termékek előállításához.
- Spagetti-diagram: A munkafolyamatok vizsgálata során a felesleges lépések és anyagmozgatások lehetőséget biztosítottak a folyamat egyszerűsítésére, amely csökkentheti az idő- és energiafelhasználást.

5.2 További lehetséges fejlesztési irányok

A Lean Construction módszerek alkalmazásának következő lépései a következők lehetnek:

- Minőségellenőrzési rendszer fejlesztése: A dokumentum rávilágít, hogy a gyártás során a minőségellenőrzés nem elég szigorú. Javasolt lenne egy rendszer bevezetése, amely lehetővé teszi a problémák azonnali szűrését, így csökkentve a javításra szoruló termékek számát.

- Képzési programok a dolgozók számára: A Lean módszertan sikeres alkalmazásához elengedhetetlen a dolgozók képzése, hiszen a folyamatokat az ő megértésük és elköteleződésük alakítja. A dokumentumban az is megjelenik, hogy a dolgozók gyakran nem rendelkeznek a megfelelő ismeretekkel és jogkörökkel bizonyos problémák kezeléséhez.
- Hőérlelési folyamat optimalizálása: A jelenlegi tapasztalati alapú hőérlelési eljárást egy tudományosan megalapozottabb megközelítéssel lehetne kiváltani, például szenzorok használatával, amelyek pontos adatokat nyújtanak az optimális időkről és hőmérsékletről. Ez javíthatná a termékek minőségét és csökkenthetné a selejtarányt.
- Pénzügyi és vezetői támogatás biztosítása: A Lean módszertan bevezetéséhez stabil pénzügyi háttér és a vezetés folyamatos támogatása szükséges. A továbbiakban fontos lenne, hogy a vállalat vezetősége stratégiai szinten is támogassa a Lean fejlesztéseket, hiszen ennek hiányában a projekt fenntarthatósága kérdéses lehet.

Összefoglalva, a Lean Construction alkalmazása már eredményeket hozott a vállalkozás működésében, különösen a veszteségek és a hibák azonosítása terén. A további fejlesztési irányok középpontjában a minőségellenőrzés javítása, a dolgozók képzése és a gyártási folyamat további optimalizálása állhat.

- [1] James P. Womack, Daniel T. Jones, és Daniel Ross, *The Machine That Changed the World*. 2007.
- [2] James P. Womack és Daniel T. Jones, *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. 2003.
- [3] James M. Morgan és Jeffrey K. Liker, *The Toyota Product Development System: Integrating People, Process And Technology*. 2006.
- [4] M. V. P. Pessôa, W. Seering, E. Rebentisch, és C. Bauch, „Understanding the Waste Net: A Method for Waste Elimination Prioritization in Product Development”, 2009, o. 233–242. doi: 10.1007/978-1-84882-762-2_22.
- [5] M. V. P. Pessôa és L. G. Trabasso, „Lean Thinking”, in *The Lean Product Design and Development Journey*, Cham: Springer International Publishing, 2017, o. 43–53. doi: 10.1007/978-3-319-46792-4_3.
- [6] „www.toyota-global.com/company/vision_philosophy/toyota_production_system/”. Elérés: 2024. november 4. [Online]. Elérhető: www.toyota-global.com/company/vision_philosophy/toyota_production_system/
- [7] C. KARLSSON és P. AHLSTROM, „The difficult path to lean product development”, *Journal of Product Innovation Management*, köt. 13, sz. 4, o. 283–295, júl. 1996, doi: 10.1016/S0737-6782(96)00033-1.
- [8] P. Achanga, E. Shehab, R. Roy, és G. Nelder, „Critical success factors for lean implementation within SMEs”, *Journal of Manufacturing Technology Management*, köt. 17, sz. 4, o. 460–471, jún. 2006, doi: 10.1108/17410380610662889.
- [9] John R Bicheno és Matthias Holweg, *The Lean Toolbox 5th Edition: A Handbook for Lean Transformation*. 2016.
- [10] William R. Seed, *Transforming Design and Construction: A Framework for Change*. 2010.
- [11] Mike Rother és John Shook, *Learning to See*. 2018.
- [12] Alexander John, Renata Meran, Olin Roenpage, és Christian Staudter, *Six Sigma + Lean Toolset*. 2008.

- [13] I. Nahmens és M. A. Mullens, „Lean Homebuilding: Lessons Learned from a Precast Concrete Panelizer”, *Journal of Architectural Engineering*, köt. 17, sz. 4, o. 155–161, dec. 2011, doi: 10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000037.
- [14] S. Ahmad, R. Soetanto, és C. Goodier, „Lean approach in precast concrete component production”, *Built Environment Project and Asset Management*, köt. 9, sz. 3, o. 457–470, júl. 2019, doi: 10.1108/BEPAM-02-2018-0051.
- [15] X. Li, Z. Li, és G. Wu, „Lean Precast Production System based on the CONWIP Method”, *KSCE Journal of Civil Engineering*, köt. 22, sz. 7, o. 2167–2177, júl. 2018, doi: 10.1007/s12205-017-2009-4.
- [16] G. Ballard, N. Harper, és T. Zabelle, „Learning to see work flow: an application of lean concepts to precast concrete fabrication”, *Engineering, Construction and Architectural Management*, köt. 10, sz. 1, o. 6–14, febr. 2003, doi: 10.1108/09699980310466505.
- [17] S. Gupta és S. K. Jain, „A literature review of lean manufacturing”, *International Journal of Management Science and Engineering Management*, köt. 8, sz. 4, o. 241–249, nov. 2013, doi: 10.1080/17509653.2013.825074.