



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

Fakulta elektrotechnická

Diplomová práce

Optimalizace výrobního procesu pomocí automatického monitorování provozu

Autor:	Bc. Pavel Chalupianský
Vedoucí práce:	Ing. Lukáš Zoubek
Studijní program:	Elektrotechnika, energetika a management
Studijní obor:	Ekonomika a řízení elektrotechniky
Vydáno:	2020 v Praze

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Chalupianský** Jméno: **Pavel** Osobní číslo: **434660**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Ekonomika a řízení elektrotechniky**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Optimalizace výrobního procesu pomocí automatického monitorování provozu

Název diplomové práce anglicky:

Production process optimization by automatic monitoring

Pokyny pro vypracování:

Popište stávající způsoby kontroly výrobního procesu akvaponie
Změňte časovou náročnost ručního monitorování kvality výroby
Navrhněte automatizaci tohoto procesu, zaměřte se na:
-senzory pro měření kvality vody
-automatické řízení čerpadel a vzduchování
-automatické upozorňování na zjištěné závady
-zajištění provozu při výpadku dodávky elektrické energie
Spočítejte ekonomickou efektivitu této automatizace a investici zhodnoťte

Seznam doporučené literatury:

TOMEK, Gustav a Věra VÁVROVÁ. Integrované řízení výroby: Od operativního řízení výroby k dodavatelskému řetězci. Praha: Grada Publishing, 2014. ISBN 978-80-247-4486-5.
HAMMER, Michael a James CHAMPY. Reengineering - radikální proměna firmy. Management Press, 1995. ISBN 80-85603-73-X.
DAVENPORT, Thomas H. Process Innovation: Reengineering work through information technology. USA: McGraw-Hill, 1993, 337 s. ISBN 0071033823.
SYNEK, Miloslav. Manažerská ekonomika. 5. Aktualizované a doplněné vydání. Praha: Grada Publishing, 2011. ISBN 978-80-247-3494-1.
KAVAN, Michal. Výrobní a provozní management. Praha: Grada Publishing, 2002. ISBN 80-247-0199-5.
KEŘKOVSKÝ, Miloslav a VALSA. Moderní přístupy k řízení výroby. 3. doplněné vydání. Praha: C. H. Beck, 2012, 176 s. ISBN 978-80-7179-319-9.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Lukáš Zoubek, Centrum znalostního managementu FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **31.01.2019** Termín odevzdání diplomové práce: _____

Platnost zadání diplomové práce: **20.09.2020**

Ing. Lukáš Zoubek
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
podpis děkana(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 3. ledna 2020

.....

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Lukášovi Zoubkovi za jeho odborné vedení, vstřícnost při konzultacích a cenné rady, které mi pomohly při zpracování této práce.

Anotace

Diplomová práce se zabývá návrhem optimalizace podpůrného procesu kontroly podmínek v akvaponickém systému. Optimalizace je zaměřena na automatizaci doposud manuálně prováděných činností. Na začátku práce je uvedena teorie nutná pro analýzu a optimalizaci podnikových procesů, dále teorie týkající se ekonomického hodnocení projektu. Následně se další část zabývá vlastnostmi a funkcí zkoumaného akvaponického systému a je analyzován současný stav daného podpůrného procesu. Na základě požadavků podniku a provedené analýzy současného stavu procesu je pak vytvořen návrh jeho optimalizace za využití technologií internetu věcí. V závěru práce je porovnáno navržené řešení optimalizace s řešením od specializované firmy a s řešením stávajícím. S ohledem na ekonomickou efektivnost jednotlivých řešení a po posouzení výhod i nevýhod, které s sebou nesou, je pak doporučeno nejvhodnější řešení pro daný podnik.

Annotation

Within the diploma thesis, I deal with the optimization of the support process that takes care of conditions control in the aquaponic system. Optimization is focused on the automation of manual activities performed so far. At the beginning of the thesis, I introduce a theory necessary for analysis and optimization of business processes as well as a theory about the economic evaluation of the project. Subsequently, I deal with the properties and functionality of the studied aquaponic system and analyse the current state of the support process. Based on the requirements of the company and the analysis of the current state of the process, I design its optimization using the technologies of the Internet of Things. At the end of the thesis, I compare my solution of optimization with a solution from a specialized company and the existing one. Concerning the economic efficiency of individual solutions and its advantages and disadvantages, then I choose the most suitable solution for the given company.

Klíčová slova

Podnikový proces, výrobní proces, řízení výroby, automatizace procesu, procesní analýza, analýza a měření práce, monitorování procesu, mapování procesu, UML notace, optimalizace procesů, reengineering procesu, klíčové ukazatele výkonnosti, akvaponie, ekonomická efektivnost investice, internet věcí, podniková inovace

Keywords

Business process, production process, production management, process automation, process analysis, analysis and measurement of work, process monitoring, process mapping, UML notation, process optimization, process reengineering, key performance indicators, aquaponics, economic efficiency of the investment, Internet of Things, business innovation

OBSAH

ÚVOD	12
CÍL PRÁCE.....	13
1 PODNIKOVÝ PROCES	14
1.1 Definice.....	14
1.2 Charakteristika procesu.....	14
1.3 Rozdělení podnikových procesů	14
1.3.1 Hlavní proces	14
1.3.2 Podpůrný proces	15
1.3.3 Řídící proces	15
2 MANAGEMENT VÝROBY	16
2.1 Výroba	16
2.2 Výrobní proces	16
2.2.1 Cíle v rámci výrobního procesu	16
2.3 Výrobní systém	16
2.4 Popis managementu výroby	16
2.5 Funkce výrobního managementu	17
2.6 Cíle managementu výroby.....	17
2.7 Poruchy ve výrobním systému.....	18
2.8 Kontrola výrobního procesu	18
3 ANALÝZA PODNIKOVÝCH PROCESŮ.....	20
3.1 Popis	20
3.2 Postup při zpracování procesní analýzy	20
3.2.1 Identifikace procesů, které budou analyzovány	20
3.2.2 Sestavení vhodného týmu	21
3.2.3 Mapování procesů	21
3.2.4 Definování procesu „AS IS“	21
3.2.5 Specifikace návrhu na vylepšení procesu	22
3.2.6 Modelování procesu „TO BE“	22
3.3 Využití procesní analýzy	22
4 MAPOVÁNÍ FIREMNÍCH PROCESŮ	23
4.1 Popis	23
4.2 Notace	23
5 UML NOTACE	24
5.1 Popis	24
5.2 UML diagramy.....	24

5.2.1	Diagram aktivit.....	24
6	ANALÝZA A MĚŘENÍ PRÁCE	27
6.1	Popis	27
6.2	Postup při analýze práce	27
6.3	Měření práce	27
6.4	Metody přímého měření práce	28
6.4.1	Popis.....	28
6.4.2	Příprava měření.....	28
6.4.3	Chronometráž	28
6.4.4	Snímek pracovního dne.....	29
7	KLÍČOVÉ UKAZATELE VÝKONNOSTI (KPI).....	30
7.1	Popis	30
7.2	SMART princip u KPI	30
8	OPTIMALIZACE PODNIKOVÝCH PROCESŮ	31
8.1	Popis	31
8.2	Reengineering a redesign procesů	31
8.2.1	Definice	31
8.2.2	Popis.....	31
8.2.3	Reengineering a redesign.....	32
8.2.4	IT a reengineering	32
8.2.5	Postup	32
8.3	Metody průběžného zlepšování (CI).....	33
8.3.1	Demingův cyklus (PDCA cyklus)	33
8.3.2	5 Whys	33
9	EKONOMICKÉ HODNOCENÍ PODNIKOVÝCH INVESTIC	35
9.1	Podnikové pojetí investic.....	35
9.2	Postup při hodnocení ekonomické efektivity investice	35
9.2.1	Určení kapitálových výdajů	35
9.2.2	Odhad budoucích peněžních příjmů	36
9.2.3	Určení podnikové diskontní míry	36
9.2.4	Výpočet současné hodnoty očekávaných peněžních příjmů (PVCF)	37
10	METODY HODNOCENÍ EKONOMICKÉ EFEKTIVNOSTI	39
10.1	Zvolení vhodného kritéria pro hodnocení investice.....	39
10.2	Základní rozdělení metod	39
10.3	Statické metody.....	39
10.4	Dynamické metody.....	39
10.4.1	Index ziskovosti (PI).....	40
10.4.2	Metody čisté současné hodnoty (NPV – Net Present Value)	40
10.4.3	Metoda vnitřního výnosového procenta (IRR).....	41

10.4.4	Doba návratnosti (PP).....	41
11	PODNIKOVÉ INOVACE	43
11.1	Popis	43
11.2	Dělení inovací.....	44
12	OPTIMALIZACE PODPŮRNÉHO PROCESU	46
12.1	Akvaponický systém produkce potravin	46
12.2	Popis akvaponického systému zákazníka	47
12.3	Kvalitativní parametry vody, vzduchu a světla	49
12.4	Analýza současného stavu podpůrného procesu.....	51
12.4.1	Identifikace procesu	51
12.4.2	Sestavení týmu	51
12.4.3	Mapování stávajícího stavu procesu měření kvalitativních parametrů vody	52
12.4.4	Analýza stávajícího procesu.....	53
12.5	Požadavky zákazníka na optimalizaci podpůrného procesu	55
12.6	Možnosti řešení optimalizace stávajícího procesu	56
12.7	Hodnocení optimalizace procesu	56
12.7.1	Klíčové ukazatele výkonnosti procesu (KPI)	56
12.7.2	Ostatní benefity plynoucí z optimalizace procesu.....	57
13	NÁVRH VLASTNÍHO ŘEŠENÍ OPTIMALIZACE.....	58
13.1	INTERNET OF THINGS	58
13.2	Architektura IoT systému	59
13.3	Návrh a popis systému v rámci nového řešení	59
13.3.1	Perceptuální vrstva	60
13.3.2	Síťová vrstva	62
13.3.3	Podpůrná vrstva	64
13.3.4	Aplikační vrstva.....	66
13.4	Měření kvalitativních parametrů	68
13.5	Úprava kvalitativních parametrů	68
13.6	Management vodních čerpadel a vzduchování	69
13.7	Kontrola stavu senzorů a ostatních aktuátorů	69
13.7.1	Kontrola senzorů	69
13.7.2	Kontrola stavu aktuátorů.....	70
13.8	Výběr základních zařízení	70
13.8.1	Senzory	70
13.8.2	Aktuátory	72
13.8.3	Senzorový uzel.....	72
13.8.4	Gateway	73
13.8.5	Relé modul	73
13.8.6	Xbee štít + modul.....	74
13.8.7	Senzorový štít	74

13.8.8	Isolátor signálu	74
13.9	Zajištění provozu při výpadku elektrické energie	75
13.10	Diagram optimalizovaného procesu	76
14	ŘEŠENÍ OD SPECIALIZOVANÉ FIRMY	77
14.1	Výběr firmy	77
14.2	Popis firmy	77
14.3	Odhad ceny řešení	77
15	HODNOCENÍ EKONOMICKÉ EFEKTIVNOSTI ŘEŠENÍ	79
15.1	Výdaje na jednotlivé způsoby řešení	79
15.1.1	Stávající způsob řešení	79
15.1.2	Vlastní řešení	79
15.1.3	Řešení specializované firmy	80
15.2	Odhad budoucích příjmů z investic do projektů	80
15.3	Určení podnikové diskontní míry	80
15.4	Očekávaná doba životnosti investice	80
15.5	Cash flow jednotlivých řešení	80
15.5.1	Stávající způsob řešení	81
15.5.2	Vlastní řešení	81
15.5.3	Řešení specializované firmy	81
15.6	Výběr vhodných metod	82
15.7	NPV jednotlivých řešení	82
ZÁVĚR		84
SEZNAM ZDROJŮ		87
SEZNAM ZKRATEK		91
SEZNAM TABULEK		94
SEZNAM OBRÁZKŮ		95
SEZNAM VZORCŮ		96
SEZNAM PŘÍLOH		96

ÚVOD

Žádný z podnikových procesů nikdy nebyl ani nebude dokonalý. Pro každý podnik by však mělo být důležité, aby se pokoušel své procesy k dokonalosti neustále přibližovat. To platí především pro dnešní dobu vysoce konkurenčního a dynamického podnikatelského prostředí, ve kterém hraje roli každá výhoda, kterou podnik disponuje. Ať už se jedná o průběžné zlepšování, nebo o kompletní reengineering procesů, je podstatné, aby podnik procesy neustále analyzoval, odhaloval jejich slabá místa a dále je rozvíjel. Pokud nemá správně nastavené procesy, nezáleží na tom, kolik úsilí nebo prostředků do podnikání vloží, nikdy bez nich nedosáhne nejlepších možných výsledků. Cílem procesní optimalizace je omezit plýtvání podnikovými zdroji, nalézt úzká místa v procesu a přitom dosahovat stanovených procesních cílů. Nutí podnik opravovat nejen viditelné chyby, ale také aktivně hledat a opravit ty skryté.

V moderní době, kdy se technologie vyvíjí závratným tempem, je pro podnik vhodné, aby je využil i v rámci svých procesů. To platí i pro podnik, kterým se zabývá tato práce. Podnik je zaměřen na produkci potravin s využitím moderní technologie pěstování, tzv. akvaponie. Akvaponie je inovativní technologie produkce potravin, která s sebou přináší řadu výhod oproti běžnému zemědělství. Jedná se především o mnohonásobně vyšší produkci potravin, možnost pěstování po celý rok, nižší spotřebu vody a minimum produkovaných odpadních látek. V České republice se v současné době teprve začínají objevovat první podniky, které se akvaponií zabývají, na rozdíl od USA nebo Austrálie, kde je akvaponie běžně využívána pro komerční účely.

Práce se zaměřuje na optimalizaci jednoho z nejdůležitějších procesů v rámci podniku. Jedná se o podpůrný proces, jehož cílem je zajistit správný chod akvaponického systému, tzn. udržet optimální podmínky pro organismy, které v něm žijí, a zajistit management zařízení nezbytných pro jeho provoz. Prozatím je tento proces vykonáván manuálně. Jednou z možností jeho optimalizace je využití moderních technologií, které umožní proces automatizovat a zastoupí tak část lidských zdrojů, jež podnik musí kvůli procesu vynakládat. Automatizace podpůrného procesu povede ke zvýšení jeho spolehlivosti a díky vyšší přesnosti měření kvalitativních parametrů, lepšímu monitoringu a rychlejší reakci na vzniklé problémy také zvýší efektivitu hlavního výrobního procesu.

CÍL PRÁCE

Hlavním cílem práce je pomoci podniku s nalezením ekonomicky efektivního řešení optimalizace podpůrného procesu pro kontrolu kvalitativních podmínek a management důležitých zařízení v rámci jeho akvaponického systému, které bude splňovat všechny jeho požadavky. Pro splnění hlavního cíle je nutné analyzovat současný stav podpůrného procesu a navrhnout vlastní řešení optimalizace v podobě automatizace procesu. Jeho ekonomická efektivnost pak bude porovnána se stávajícím řešením a řešením od specializované firmy, které splňuje stejné požadavky.

1 PODNIKOVÝ PROCES

1.1 Definice

Dle T. H. Davenporta lze definovat podnikový proces jako „jednoduše strukturovaný, měřený soubor činností, určených k produkci specifického výstupu pro konkrétního zákazníka, nebo trh“ [1]. Obecný proces popisuje jako „specifické uspořádání pracovních činností napříč časem a prostorem, se začátkem, koncem a jasně definovanými vstupy a výstupy“ [1].

1.2 Charakteristika procesu

Obecně lze podnikový proces popsat pomocí následujících charakteristik [2][3]:

- Jeho cíle naplňují vize a cíle podniku.
- Má jasně vymezené hranice.
- Skládá se z posloupnosti činností, stavů a dějů, které jsou mezi sebou propojeny a uspořádány v prostoru i čase.
- Vždy začíná vstupem nebo událostí. Vstupy jsou zdroje nebo informace pocházející od externího či interního dodavatele.
- Každá činnost se v procesu podílí při přeměně jeho vstupů na výstupy a spotřebovává přitom podnikové zdroje.
- Výstupem procesu je produkt, nebo služba s přidanou hodnotou pro zákazníka a definovanými kvalitativními parametry, nutnými pro jeho akceptaci.
- Za plánování, řízení, monitorování, a optimalizaci procesu odpovídá konkrétní osoba.
- Pro monitorování, hodnocení a následnou optimalizaci procesu se využívají klíčové ukazatele výkonnosti.
- Proces je opakovatelný, tudíž se nejedná o nahodilou soustavu činností.

1.3 Rozdělení podnikových procesů

Podnikové procesy lze rozdělit do tří základních kategorií v závislosti na tom, zda podniku nesou výnosy, kdo je jejich zákazníkem a zda má pro zákazníka výstup procesu přidanou hodnotu [2][4][5]:

1.3.1 Hlavní proces

Hlavní proces je klíčový proces zajišťující provozní výnosy podniku. Je viditelný navenek a obvykle je oproti procesům řídicím nebo podpůrným organizačně náročnější. Výstupem hlavního procesu je produkt nebo služba přinášející přidanou hodnotu pro zákazníka.

1.3.2 Podpůrný proces

Podpůrný proces zajišťuje prostředí pro efektivní fungování hlavních procesů, správu firemních zdrojů a fungování samotného podniku. Hlavní procesy by bez nich zpravidla nemohly fungovat. Jeho výstupem není konkrétní produkt nebo služba, a proto negeneruje přímý zisk.

1.3.3 Řídící proces

Řídící proces se stará o řízení zaměstnanců a plnění úkolů ve firmě s důrazem na dodržování zákonů a vnitřních podnikových norem. Je realizován strategickým managementem a řízením společnosti. Negeneruje přímý zisk.

2 MANAGEMENT VÝROBY

2.1 Výroba

„Výroba je každá činnost, která tvoří hodnotu. Výroba zahrnuje všechny hospodářské činnosti spojené se zajištěním výrobků a služeb.“ [5] Výroba představuje ekonomickou činnost lidského subjektu a zároveň patří mezi hlavní součást podnikového hodnotového řetězce. Má významný vliv na jeho efektivnost a na konkurenční schopnost výrobků [8].

2.2 Výrobní proces

„Výrobní proces je systém, v němž dochází k přeměně vstupů na výstupy, kterými jsou materiální nebo nemateriální výrobky a služby.“ [6]

2.2.1 Cíle v rámci výrobního procesu

Mezi hlavní cíle v rámci výrobního procesu patří [6]:

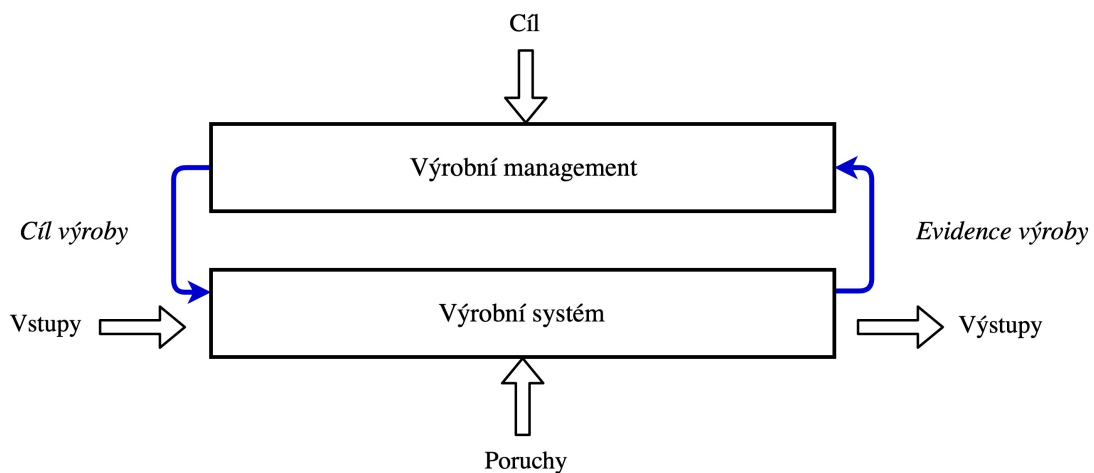
- Vyrobit produkt v požadovaném termínu a na stanoveném místě, v požadovaném množství, jakosti a při dodržení platné legislativy i podnikových norem.
- Vyrábět efektivně, tedy bez zbytečného plýtvání výrobními faktory a volbou vhodného portfolia výstupů.
- Vyrobit produkt přinášející přidanou hodnotu pro zákazníka.

2.3 Výrobní systém

Výrobní systém zahrnuje všechny aspekty ovlivňující výrobní proces jako provozní prostory, technická zařízení, informace, pracovníky, energie, výrobky a suroviny. Výrobní proces je určen portfoliem výrobků, použitými technologiemi a stabilitou, pružností, uspořádáním a organizací výroby [7].

2.4 Popis managementu výroby

Management výroby je zaměřen na optimální fungování výrobního systému s ohledem na stanovené cíle. Zabývá se sladěním prvků výrobního systému z hlediska věcného, prostorového a časového [7].



Obr. 1: Spojitost mezi managementem výroby a výrobním systémem [7] (upraveno)

2.5 Funkce výrobního managementu

Výrobní management zodpovídá za několik zásadních úkolů a zodpovědností nutných pro správný chod výrobního procesu. Mezi ně patří zejména plánování výroby, vedení účetnictví, stanovení výrobního rozpočtu, řízení zásob a zaměstnanců, dohled nad dodržováním předpisů a ochrana životního prostředí [9].

2.6 Cíle managementu výroby

Jedním z hlavních úkolů managementu výroby je stanovení a splnění cílů výroby, které naplňují jim nadřazené podnikové cíle na strategické, taktické i operativní úrovni. Mezi hlavní podnikové cíle obecně patří zvyšování hodnoty firmy. Z toho vychází i dva základní cíle managementu výroby [7]:

1. maximalizace uspokojení požadavků zákazníka
2. zajištění efektivního využití disponibilních výrobních zdrojů

K naplnění dvou výše uvedených cílů je přitom nutné plnit tyto dílčí cíle [7]:

- Zabezpečit vysokou kvalitu a technicko-ekonomickou úroveň v souladu s požadavky zákazníka.
- Udržovat plynulost materiálových toků a zajistit vysokou produktivitu.
- Zajistit podklady pro plánování disponibilních zdrojů.
- Optimalizovat využití disponibilních výrobních kapacit.
- Zkracovat průběžnou dobu výroby.
- Snižovat výrobní náklady a zásoby.

- Zajistit pružnost výroby tak, aby dokázala rychle a bez problémů reagovat na požadavky zákazníka týkající se především změny množství, kvality, ceny a termínů dodávky.
- Průběžně vylepšovat a rozšiřovat informační systém managementu výroby.
- Včas provádět technologické a výrobní inovace.
- Průběžně monitorovat dodržování podnikových cílů a norem.

2.7 Poruchy ve výrobním systému

Poruchou je myšlena jakákoliv změna ve výrobním systému a jeho okolí, na kterou není výrobní systém připraven. Mezi takové poruchy patří [7]:

- porucha výrobního zařízení
- zavedení nových technologií a postupů
- zvýšení nákladů na výrobní faktory
- nedostupnost výrobních vstupů
- změna objemu výroby
- nabídka nových nebo vylepšených výrobků
- změna priorit podniku

2.8 Kontrola výrobního procesu

Kontrola výrobního procesu je nedílnou součástí managementu výroby. Její hlediska jsou shrnuta v tabulce 1.

Tab. 1: Shrnutí hledisek kontroly výrobního procesu [10]

	Procesy	Inventář	Inspekce	Náklady
Pozorování	Měření produkce a zaznamenávání doby nečinnosti nebo prostojů	Zaznamenávání úrovně zásob	Kontrola materiálů a součástek	Shromažďování údajů o nákladech
Analýza	Porovnávání pokroku oproti plánu	Analýza poptávky po zásobách v rozdílných způsobech užití a v různých časech	Odhad schopnosti procesu vytvářet požadovaný výstup	Výpočet a porovnání nákladů vzhledem k odhadům
Nápravná opatření	Zrychlení	Vydávání objednávek a zadávání zakázek	Zahájení úplné kontroly a úpravy procesů	Úprava prodejní ceny produktu
Vyhodnocení	Odhady výrobní kapacity a plánů údržby	Vypracování doplňující politiky a systému inventury	Přehodnocení specifikací, zlepšování procesů a postupů	Hodnocení ekonomiky výroby a zlepšení dat

3 ANALÝZA PODNIKOVÝCH PROCESŮ

3.1 Popis

Procesní analýza se zabývá analýzou toků práce a informací, tedy analýzou jednotlivých podnikových procesů. Zaměřuje se na tok práce plynoucí od jedné činnosti k další. Zahrnuje v sobě přezkoumání složek procesů, včetně vstupů, výstupů, postupů, kontrol, účastníků, dat a technologií a jejich vzájemných interakcí. Pomáhá tak jednotlivé procesy identifikovat a dávat do vzájemných souvislostí [5].

Samotná analýza zahrnuje vyhodnocení časů, nákladů, kapacit a kvality procesu. Využívá statické a dynamické modely procesů, shromažďuje data v rámci celého procesu, analyzuje hodnotový řetězec, provádí end-to-end modelování a proces rozkládá na jednotlivé činnosti [5].

Jedná se o jednu z nejvýznamnějších analytických technik, kterou firmy v praxi využívají. Kvalitně provedená analýza pomůže popsat a vylepšit tok práce ve firmě a umožní procesy lépe pochopit a řídit. To vede ke zlepšení efektivity, účelnosti a profitabilitě u jednotlivých procesů, a tak i podniku jako celku. Procesní analýza je zároveň výchozím bodem pro optimalizaci a reengineering procesů [5].

Pokud je však provedena špatně, skrývá v sobě značné riziko. Nesprávné provedení může zapříčinit špatně zvolená metodika, nebo volba nástrojů procesní analýzy. Mnohdy jsou úsilí a náklady vložené do procesní analýzy vyšší než její skutečné přínosy [5].

3.2 Postup při zpracování procesní analýzy

Vzhledem k široké škále využití procesní analýzy, od popisu procesů pro vnitřní předpisy až jako podklad pro automatizaci procesů, nelze stanovit metodiku, která by popsala univerzální postup pro její zpracování. Existuje však několik základních kroků, které by měla procesní analýza dodržovat [11]:

3.2.1 Identifikace procesů, které budou analyzovány

Prvním krokem je identifikace procesů, které je výhodné analyzovat. Podle Petera Druckera je vhodné vybrat zejména procesy, bez kterých by podnik nemohl naplnit své poslání a strategické cíle. Dále se jedná zejména o procesy, které mají nejvyšší přidanou hodnotu a užitek pro zákazníka nebo stakeholdery, a procesy, jež nespĺňují firemní pravidla, účel a normy nebo mají nevyhovující hodnoty klíčových ukazatelů výkonnosti. Takových procesů mohou být v podniku někdy i desítky až stovky. V praxi však platí, že se analytici zaměřují pouze na menší dosažitelné cíle, a tak sniží i počet analyzovaných procesů.

3.2.2 Sestavení vhodného týmu

Při sestavování týmu je vhodné vybrat zaměstnance, kteří mají know-how o analyzovaných procesech. Ti znají nejen jednotlivé kroky procesu a jeho cíle, ale hlavně jeho slabá místa. Kromě těchto členů a procesních analytiků je také vhodné mít v týmu:

- vedoucí pracovníky procesů
- zaměstnance, kteří by uvítali vylepšení procesů
- vlivného zaměstnance z firmy, který posílí celkový vliv týmu, nejlépe zaměstnance z top managementu

Kromě získání know-how od pracovníků firmy je také žádoucí využít veškeré dostupné informační zdroje, zejména firemní informační systémy.

3.2.3 Mapování procesů

Mapování procesů je analytická technika, která vizualizuje procesy a poskytuje celkový pohled na jejich fungování. Lze tak snadněji zjistit, co v procesu funguje a co nikoliv. Více informací o mapování podnikových procesů lze nalézt v následující kapitole 4.

3.2.4 Definování procesu „AS IS“

Definování procesu „AS IS“ znamená definovat proces v jeho současném stavu, bez ohledu na to, jaký je nebo by měl být. Postup je následující:

1. **Získání dostupných informací o procesu.** Existuje mnoho technik pro získání informací o současném stavu procesu. Běžně používanými jsou rozhovory se zaměstnanci, pozorování procesu, čerpání z firemních informačních zdrojů nebo dotazníkový průzkum.
2. **Analyzování procesního modelu.** Ze získaných informací je potřeba vyvodit účel procesu, jeho KPI, jak je proces řízen, kde se nacházejí jeho slabá místa, jaká podniková pravidla dodržuje, zda a jak dochází k předávání práce či informací nebo zda během procesu existuje interakce se zákazníkem.
3. **Tvorba dokumentace.** Všechny informace a poznatky získané během procesní analýzy musí být zaznamenány v příslušných dokumentech, aby je bylo možné konzultovat nebo prezentovat také v budoucnu.

3.2.5 Specifikace návrhu na vylepšení procesu

Po analýze současného stavu následuje návrh na vylepšení procesu. V této fázi již pravděpodobně existují možné návrhy na zlepšení, a proto je důležité z nich vybrat pouze ty proveditelné a nezbytné. Pro výběr a návrh vhodných řešení je žádoucí se zaměřit na následující aspekty:

- interakce se zákazníkem – činnosti, ve kterých dochází k interakci se zákazníkem jsou jedny z nejdůležitějších činností v rámci procesu
- handsoff – proces předávání práce nebo informací od jednoho pracovníka nebo systému k dalšímu
- činnosti přinášející vysokou, vnímanou hodnotu pro zákazníka
- úzká místa procesu
- podniková pravidla

3.2.6 Modelování procesu „TO BE“

Modelování procesu „TO BE“ je činnost, jejímž výsledkem je vytvoření nového procesního modelu na základě předchozí specifikace návrhu na zlepšení procesu.

3.3 Využití procesní analýzy

Analýza procesů je v podniku využívána zpravidla ze tří hlavních důvodů [5]:

1. pro popis stávajícího stavu podnikových procesů
2. zlepšení řízení procesů
3. při přípravě na automatizaci nebo optimalizaci procesů

Procesní analýza se v praxi využívá například v těchto případech [5]:

- vytvoření podkladů pro řízení toků informací v podnikovém procesu, tedy procesní workflow
- vytvoření podkladů pro zavedení nebo vylepšení informačního systému
- optimalizace a reengineering procesů za účelem odstranění nedostatků, snížení nákladů a zjednodušení či zrychlení procesů
- popis procesů určený pro vnitřní předpisy a směrnice, pro stanovení pracovní náplně zaměstnanců nebo pro zákazníky a obchodní partnery

4 MAPOVÁNÍ FIREMNÍCH PROCESŮ

4.1 Popis

Mapování firemních procesů je činnost vykonávaná analytikem během procesní analýzy. Úkolem mapování je vizuálně zdokumentovat proces pomocí grafického modelovacího jazyka, konkrétně zachytit vztahy mezi jednotlivými kroky a rozhodnutími v procesu. Analytik přitom popisuje tok informací a materiálu, znázorňuje úkoly spojené s procesem a rozhodnutími, které jsou potřeba vykonat. Procesní mapování lze využít pro popis všech firemních procesů. Pomáhá řešit otázky spojené s designem procesu a výkonem zaměstnanců. Cílem procesního mapování je zdokumentovat procesy za pomoci informací získaných při procesní analýze a snadněji tak [11]:

- odhalit úzká místa, zbytečné smyčky a případné redundance v procesu
- porovnat skutečný tok činností a jejich vztahů oproti plánovanému
- zjistit, zda a kde je nutné proces změnit, zjednodušit nebo standardizovat
- přezkoumat, které části procesu mohou mít vliv na jeho výkonnost
- usnadnit týmu pochopení procesu a zjistit nesrovnalosti rozdílného chápání procesu u jednotlivých členů týmu
- identifikovat místa, která mohou poskytnout nové informace o procesu
- rozšířit firemní dokumentaci, která umožní rychlejší zaučení nových zaměstnanců, zajistí konzistenci a kontinuitu výstupů, případně ji lze využít jako podklad pro strategické rozhodování, měření metrik procesu a snadnější vytváření firemních reportů

4.2 Notace

Při mapování firemních procesů v praxi analytici často používají různé druhy notací. Notace je sada grafických symbolů. Slouží k vyjádření reality, resp. vizualizaci firemních procesů. Díky vizualizaci lze snadněji porozumět procesu. Existuje více konkrétních notací, z nichž má každá svou speciální sadu grafických symbolů a pravidel. Jednou z nejznámějších a nejpoužívanějších notací je notace UML [5].

5 UML NOTACE

5.1 Popis

UML je standardizovaný modelovací jazyk, vytvořený původně jako podpůrný nástroj, umožňující softwarovým vývojářům navrhnout architekturu softwarového systému. Používá se také pro mapování podnikových procesů a jiných nesoftwarových řešení [12][13].

Skládá se z množiny integrovaných diagramů, které obsahují především grafické symboly. Podporuje objektově orientovaný přístup, který analytici používají jako účinnou techniku modelování detailní logiky podnikových procesů. Modely lze využít nejen za účelem vytvoření dokumentace nebo pro optimalizaci podnikových procesů, ale i jako jednoduchý nástroj během komunikace mezi zadavatelem a řešitelem při analýze požadavků na nové řešení problému. Na UML tak lze nahlížet jako na osvědčenou praxi při modelování složitých systémů [12][13].

5.2 UML diagramy

Existují různé typy UML diagramů. Jako příklad lze uvést use-case diagram, sekvenční diagram, diagram aktivit nebo diagram stavů. Každý z nich je používán ke specifickým účelům na základě jeho vlastností. Ve této práci je využit diagram aktivit.

5.2.1 Diagram aktivit

Diagram aktivit popisuje dynamické aspekty systému. Je používán pro modelování procesů, workflow nebo procedurální logiky. Umožňuje tak jednoduše a přehledně znázornit, jak funguje podnikový proces [17][18].

Diagram aktivit se skládá z několika komponent. Každá komponenta je specifikována grafickým názvem i symbolem a má svůj jedinečný význam [17][18]:



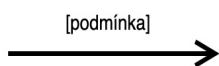
Obr. 2: UML počáteční bod

Počáteční bod (inicializace)

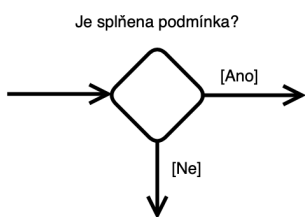
Počáteční bod reprezentuje akci nebo stav, po kterém začíná celý proces. Více počátečních bodů v jednom diagramu znamená, že je na začátku procesu spuštěno více paralelních toků najednou.



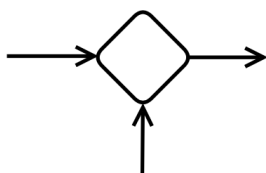
Obr. 3: UML aktivita



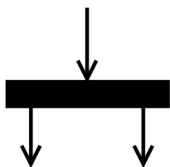
Obr. 4: UML řídicí tok



Obr. 5: UML rozhodnutí



Obr. 6: UML spojení



Obr. 7: UML paralelní rozdělení

Aktivita

Aktivita znázorňuje konkrétní, nepřerušovanou činnost odehrávající se uvnitř procesu.

Řídicí tok

Řídicí tok určuje v jakém pořadí mají být vykonávány jednotlivé kroky procesu. Pořadí jednotlivých kroků je zobrazeno pomocí orientovaných šipek. Řídicí tok je také možné omezit podmínkou.

Rozhodnutí

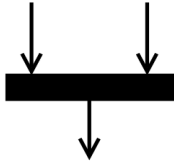
Reprezentuje rozhodnutí, které může nastat v rámci procesu. Nejedná se o samotnou aktivitu, ale pouze o informaci, že bude řídicí tok pokračovat jednou z větví řídicího toku, která splní danou podmínku.

Spojení

Pro spojení se používá stejný symbol jako pro „rozhodnutí“. Do spojení vstupuje více řídicích toků, které nejsou paralelní, a vystupuje pouze jeden.

Paralelní rozdělení

Symbolizuje rozdělení řídicího toku do dvou a více paralelně běžících řídicích toků.



Obr. 8: UML paralelní spojení

Paralelní spojení

Symbolizuje spojení dvou a více paralelně běžících toků do jednoho řídicího toku.



Čas

Obr. 9: UML časová událost

Časová událost

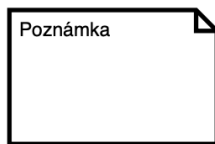
Časová událost pozastaví řídicí tok na stanovený čas.



Obr.10: UML odchozí událost

Odchozí událost

Jedná se o událost, kterou aktivita generuje pro jiný proces nebo pro jinou aktivitu. Vytvoření odchozí události nijak neovlivňuje řídicí tok aktivity.



Obr. 11: UML poznámka

Poznámka

Poznámka je určena pouze k popisu části procesu, ale nijak jej neovlivňuje. Slouží pouze pro lepší srozumitelnost a pochopení celého diagramu.



Obr. 12: UML konec řídicího toku

Konec řídicího toku

Představuje konec specifického řídicího toku, na jehož konci je umístěn, nikoliv konec celého procesu.



Obr. 13: UML konec procesu

Konec procesu

Představuje konec celého procesu.

6 ANALÝZA A MĚŘENÍ PRÁCE

6.1 Popis

Analýza a měření práce slouží k odstranění neefektivnosti a plýtvání při výkonu práce. Jedná se o další nástroj, který analytici používají při analýze podnikových procesů. Představuje systematické přezkoumávání spojené se stanovením definic optimálního pracovního postupu a určení objektivní normy spotřeby času práce pro jednotlivé pracovní činnosti. Samotná analýza práce zkoumá pracovní metody. Jejím cílem je metody zjednodušit, odstranit jejich neproduktivní činnosti a zamezit plýtvání při jejich vykonávání [19][20].

6.2 Postup při analýze práce

Analýza práce se skládá z několika kroků [19][20]:

1. výběr práce
2. zaznamenání vypovídajících faktů o dané práci
3. přezkoumání způsobu výkonu práce
4. navržení praktičtějších, hospodárnějších anebo efektivnějších způsobů výkonu zkoumané práce
5. zhodnocení různých alternativ pro zlepšení práce
6. definování, zavedení a udržování nové metody

Při analýze práce je nutné posuzovat jednotlivé činnosti a u každé z nich stanovit [19][20]:

- **CO** má být činností dosaženo a jak je důležitá pro výkon práce
- **KDE** je činnost vykonávána a proč zrovna na daném místě
- **KDY** je činnost vykonávána a proč právě v tuto dobu a sekvenci
- **KDO** činnost vykonává a proč
- **JAK** má být činnost vykonávána a proč zrovna tímto způsobem

Společně s měřením práce vedou tyto aktivity k zvyšování produktivity při poměrně nízkých investičních nákladech [19][20].

6.3 Měření práce

Měření práce je řídicí nástroj managementu, který zahrnuje techniky pro objektivní určení času potřebného pro výkon specifikovaných pracovních činností. Slouží především k racionalizaci

pracovních procesů a odstranění ztrátových činností. Na základě změřeného času lze přesněji stanovit náklady na lidské zdroje, které byly vynaložené pro danou činnost. Měření práce lze rozdělit na přímé a nepřímé měření. Pro účely této práce je vhodné použít pouze přímé měření [19][20].

6.4 Metody přímého měření práce

6.4.1 Popis

Přímé měření práce poskytuje informace o využití časového fondu, jeho struktuře a délce trvání pracovních i mimopracovních činností. Ke stanovení spotřeby času je nutné mít pouze stopky, tužku a formulář. Ty lze nahradit speciálním zařízením nebo softwarem, který usnadní elektronizaci a analýzu naměřených dat.

6.4.2 Příprava měření

Před samotným měřením je vždy nutné vykonat několik přípravných kroků. Prvním z nich je definovat samotný cíl zkoumání a na základě něj pak přizpůsobit další kroky, tak aby společně cíl naplnily [19][20]:

1. určení vhodného objektu zkoumání (co nebo koho budeme pozorovat)
2. zajištění spolupráce všech pracovníků, kterých se měření práce týká a potvrzení vedoucích pracovníků, že lze v daný čas a na daném místě provádět měření
3. zjištění identifikačních údajů měřených objektů, nutných pro pozdější identifikaci provedeného měření
4. zvolení vhodné metody pro určení spotřeby práce a přesné doby měření
5. příprava potřebných formulářů pro zaznamenávání naměřených údajů

Během samotného měření je nutné objektivně zaznamenávat spotřebu času a pracovní podmínky a kontrolovat přesnost a úplnost zaznamenaných údajů. Analytik také musí brát v úvahu stupeň výkonu pracovníka. Stupeň výkonu je vyjádřen procentuálně a udává odchylku tempa pracovníka od jeho běžného pracovního tempa dosažitelného během celé pracovní doby. Během hodnocení výkonu musí pozorovatel sledovat synchronizaci, koordinaci a rychlost pohybů pracovníka. Stupeň výkonu je ovlivněn také subjektivitou pozorovatele [19][20].

6.4.3 Chronometráž

Chronometráž je metoda určení doby trvání konkrétní pracovní činnosti. Principem metody je rozdělení měřené činnosti na několik jednotlivých úseků stanovením tzv. měřicích bodů.

Pozorovatel stopuje spotřebu času pro každý úsek a zaznamenává jej do předem připraveného formuláře. Chronometrůz vylučuje extrémní hodnoty u jednotlivých úseků především díky rozdělení činnosti na úseky, a to při zajištění vysoké spolehlivosti s možností balancování jednotlivých operací a definováním problematických úseků. Chronometrůz lze rozdělit na tyto typy [19][20]:

- výběrová – zaznamenávání času začátku a konce pouze u vybraných úseků činnosti
- plynulá – zaznamenávání času u všech úseků s pravidelným sledem úkonů. poskytuje skutečnou spotřebu času jak pro jednotlivé úseky, tak pro celou činnost
- obkročná – zaznamenávání času všech úseků v rámci činnosti s nepravidelným sledem jednotlivých úkonů. jedná se tedy o kombinaci plynulé chronometrůže a snímku pracovního dne

6.4.4 Snímek pracovního dne

Snímek pracovního dne je metoda pozorování, při které pozorovatel zaznamenává veškerou spotřebu času pracovníka během pracovní směny. Cílem je získat přehled o celkové spotřebě času, odhalit činnosti, které nepřidávají žádnou užitnou hodnotu a identifikovat plýtvání časem, případně navrhnout novou formu organizace práce. Snímek pracovního dne umožňuje získat podrobný popis průběhu práce. Získat podrobný snímek celého pracovního dne je však časově i finančně náročné. Existují různé varianty této metody. Lze jej vytvářet pro jednotlivce i pro celé skupiny. Během pozorování lze sledovat i správný průběh procesu. Pracovník také může vytvořit svůj vlastní snímek pracovního dne [19][20].

7 KLÍČOVÉ UKAZATELE VÝKONNOSTI (KPI)

7.1 Popis

KPI jsou indikátory, které vyjadřují požadovanou výkonnost procesu, služby, útvaru nebo celé organizace. Výkonnost u KPI představuje efektivnost, kvalitu nebo hospodárnost zkoumaného objektu. Jedná se tedy o měřitelné hodnoty, které ukazují, s jakou efektivností dosahuje zkoumaný objekt stanovených cílů. V podniku jsou KPI používány na všech úrovních řízení. Na vysokých úrovních jsou zaměřeny především na výkonnost celého podniku a na nižších úrovních na procesy v jednotlivých odděleních. Existují různé druhy ukazatelů, např. ekonomické, kvalitativní, nebo výkonnostní. Podobně jako podnikové cíle by KPI měly dodržovat principy SMART [5].

7.2 SMART princip u KPI

- **Specific** – ukazatel musí být konkrétně specifikovaný
- **Measurable** – hodnota ukazatele musí být kvantifikovatelná a jednoznačně i opakovatelně měřitelná
- **Acceptable/Achievable** – ukazatel musí být odsouhlasený pracovníky, kteří za něj nesou odpovědnost a musí být realistické přijmout toto opatření
- **Realistic** – ukazatel musí být relevantní a přispět ke kontrole konkrétního objektu
- **Trackable** – ukazatel musí být sledovatelný v čase

8 OPTIMALIZACE PODNIKOVÝCH PROCESŮ

8.1 Popis

Optimalizace podnikových procesů je zaměřena na vylepšování firemních procesů. Jedná se především o vylepšení určitých parametrů procesu, aniž by byla porušena jeho pravidla. Takové procesní parametry jsou například náklady, efektivita nebo potřebný čas na jeho vykonání. Jako součást návrhu a optimalizace procesů se udává i doporučení nástrojů, IS, SW aplikací nebo HW vybavení. Existuje mnoho metod a nástrojů, které pomáhají s procesní optimalizací. Metody lze rozdělit následujícím způsobem [5]:

- metody skokového zlepšení (reengineering)
- metody zlepšení nebo změny procesů (redesign)
- metody průběžného zlepšení

8.2 Reengineering a redesign procesů

8.2.1 Definice

Autoři pojmu reengineering M. Hammer a J. Champy jej definují jako „*radikální rekonstrukci (redesign) podnikových procesů tak, aby mohlo být dosaženo dramatických zdokonalení v klíčových indikátorech výkonnosti, jako jsou kvalita, služby a rychlost*“ [21].

8.2.2 Popis

Jedná se o manažerskou techniku, jejímž úkolem je navrhnout nové způsoby organizace činností, lidí a úkolů v procesu. Výsledný proces by měl přinášet maximální efekt při optimální spotřebě zdrojů a lépe tak podpořit podnikové cíle. Celý proces reengineeringu začíná identifikací klíčových procesů, pokračuje jejich analýzou a následně přepracováním pro jejich efektivnější fungování [5][21][22].

Reengineering podniky využívají, pokud chtějí radikální změnu v procesu. Takovou změnu mohou požadovat například při změně technologie, která může mít zásadní vliv na výkon procesu. Dle tohoto přístupu je pro podnik zásadní se soustředit na klíčové procesy, zajistit jejich plynulý chod a eliminovat úzká hrdla, dále odstranit nepodstatné vedlejší procesy, které pro něj mají nízkou přidanou hodnotu [5][22].

8.2.3 Reengineering a redesign

Termíny reengineering a redesign procesů se často zaměňují. Při reengineeringu se eliminuje původní proces a je nahrazen za nový. Naproti tomu při redesignu se jedná o vylepšení stávajícího procesu [27][5].

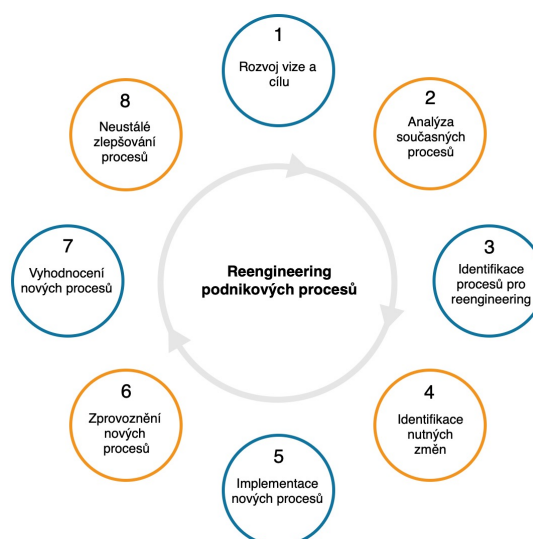
8.2.4 IT a reengineering

IT je v dnešní době klíčovým nástrojem pro reengineering. Proto je vhodné, aby měl ten, kdo jej provádí, znalost nejen podnikových procesů, ale také IT a znal jejich vzájemné vztahy. IT a reengineering podnikových procesů mají mezi sebou rekurzivní vztah. IT by mělo podporovat podnikové procesy a podnikové procesy by měly být upraveny tak, aby plně využívaly možnosti, které jim IT nabízí. Pomocí IT lze například [5][21][22]:

- nestrukturovaný proces převést do rutinních transakcí
- nahradit lidské zdroje a proces částečně, nebo úplně automatizovat
- získávat důležitá data z procesu a následně je analyzovat
- přinést do procesu nové informace
- podrobně sledovat stav jednotlivých úloh v procesu
- využít je jako komunikační kanál v rámci procesu

8.2.5 Postup

Reengineering obvykle začíná rozvojem podnikových vizí a cílů, jež mají proces naplňovat, a poté pokračuje analýzou současného stavu procesů v podniku. V rámci analýzy jsou vybrány procesy, které je nutné nahradit novými. Pak jsou navrženy nové procesy a následně implementovány a testovány, zpravidla v rámci pilotního testování. Pokud se osvědčí, je nutné je i nadále analyzovat a zlepšovat. Pro další analýzu a postupné zlepšování jsou vhodné zejména metody průběžného zlepšení.



Obr. 14: Reengineering podnikových procesů [23] (upraveno)

8.3 Metody průběžného zlepšování (CI)

Metody CI vycházejí z řízení jakosti. Využívají metodiky pro analýzu procesů a jsou založené na tzv. procesu neustálého zlepšování. Snahou podniku, který metody využívá, je postupné, ale přitom neustálé vylepšování procesů, produktů nebo služeb. [5]

Institute of Quality Assurance tyto metody definuje jako: „*Postupnou nikdy nekončící změnu, která je zaměřena na zvyšování efektivity a/nebo účinnosti organizace v plnění své politiky a cílů. Nemíjí limitovaná na podněty týkající se kvality. Zlepšení v obchodní strategii, obchodních výsledcích, zákaznických, zaměstnaneckých a dodavatelských vztazích je také předmětem neustálého zlepšování. Jednoduše se pořád dá zlepšovat.*”

Existuje mnoho metod průběžného zlepšování. Jako konkrétní příklady, které se v podnicích používají, lze uvést například následující metody.

8.3.1 Demingův cyklus (PDCA cyklus)

Demingův cyklus je iterativní čtyřfázová metoda, která má za cíl průběžně zlepšovat kvalitu. V podnikové praxi se jedná například o zlepšení kvality procesů, výrobků nebo služeb. Demingův cyklus je založen na cyklickém provádění čtyř základních činností – PDCA [5][24]:

1. **Plan** – plánování začíná analýzou současné situace, tedy shromážděním dostupných informací o daném problému a prověřením jeho výchozího stavu. Následuje plánování cílů, kterých chceme v konkrétním cyklu dosáhnout, včetně potřebných firemních zdrojů. Současně jsou v rámci této fáze navrženy také konkrétní možné způsoby řešení problému a je vybrán nejlepší z nich.
2. **Do** – znamená realizaci navrženého řešení z předchozího kroku. Je nutné měřit a sbírat data z výsledků realizace a na jejich základě vytvořit dokumentaci nového řešení.
3. **Check** – jedná se zejména o analýzu dat získaných z předchozí fáze. Zjišťují se odchylky získaných výsledků od plánovaných.
4. **Act** – v poslední fázi cyklu je vyhodnoceno nové řešení problému. Pokud s sebou nové řešení nese pozitivní výsledky, je zavedeno jako nový standard a firma se podle něj bude řídit. Pokud ne, firma zůstane u původního standardu.

8.3.2 5 Whys

Metoda 5 Whys je jednoduchý a účinný nástroj jak odhalit původní příčinu (root cause) problému, a to nejen v procesech. Nalezením a odstraněním původní příčiny je zabráněno tomu, aby se problém opakoval [25].



Obr. 15: Příklad metody 5 Whys [25] (upraveno)

Samotná analýza problému může poukázat na jeho neočekávanou příčinu. U problémů, které jsou považovány za technické, se často ukazuje, že jsou způsobeny buď lidskou chybou, nebo špatně navrženým procesem [25].

Klíčovým faktorem pro úspěšnou implementaci metody je informované rozhodnutí. Na začátku je tak vhodné sestavit tým ze zaměstnanců, kteří mají s danou problematikou zkušenosti. Po sestavení týmu následuje diskuze, při které je definován konkrétní problém. Definování konkrétního problému umožní nastavit jeho hranice a zaměřit se pouze na něj. Až poté se lze zaměřit na samotných „5 Whys“ otázek. Jejich odpovědi musí být založené na reálných datech, ne na emocích. Může se stát, že po odpovědi na jednotlivé otázky bude nalezeno více příčin problému. V takovém případě je nutné vytvořit matici, která bude obsahovat několik větví, kde každá z větví povede k možné, původní příčině [25].

9 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ PODNIKOVÝCH INVESTIC

9.1 Podnikové pojetí investic

Z finančního hlediska lze podnikovou investici charakterizovat takto: „*Jednorázově (v relativně krátké době) vynaložené zdroje, které budou přinášet peněžní příjmy během delšího budoucího období (v praxi obvykle nejméně po dobu jednoho roku).*“ [8].

Podnik vynaloží současné úspory s příslibem budoucího důchodu a cílem dosáhnout zisku z investice. Při investování musí brát ohled na riziko a dobu splácení investice. S vyšším rizikem logicky požaduje i vyšší výnos. Podnik může ovlivnit efektivnost investice v závislosti na vybraném zdroji jejího financování. Z toho plyne, že rozhodujícími kritérii pro hodnocení investice jsou [8]:

- **výnosnost** – vztah mezi výnosy za celou dobu jejího trvání a náklady na investici
- **rizikovost** – pravděpodobnost, že investice přinese méně, než je očekávaný výnos
- **doba splácení** – doba, za kterou bude investice přeměněna zpět do peněžní formy

Investice jsou důležité zejména pro podniky, které se chtějí dále rozvíjet, a tak obstát v konkurenčním prostředí. Investiční rozhodování patří mezi nejdůležitější manažerské činnosti. Investice totiž mohou tvořit dlouhodobý zdroj ekonomického růstu a efektivnosti podniku, zároveň však zatěžují podnik svými fixními náklady [8].

9.2 Postup při hodnocení ekonomické efektivnosti investice

Synek rozděluje celý proces hodnocení ekonomické efektivnosti investic do čtyř kroků [8]:

1. Určení kapitálových výdajů na investici (projekt)
2. Odhad budoucích peněžních příjmů a s nimi spojených rizik
3. Stanovení nákladů na vlastní kapitál
4. Výpočet současné hodnoty očekávaných výnosů a porovnání s vynaloženými kapitálovými výdaji na investici

9.2.1 Určení kapitálových výdajů

Určení kapitálových výdajů na pořízení hmotného majetku je obvykle přesné, jelikož je ve většině případech známá jeho cena. U výdajů na položky, jako je vývoj SW, instalace zařízení, přeškolení zaměstnanců apod., to však říci nelze, protože jsou závislé na odhadech ceny. V praxi se tak

skutečné výdaje na investici mohou od odhadnutých lišit o desítky, dokonce i stovky procent a často dochází k jejich podcenění [8].

Kapitálové výdaje jsou tvořeny [8]:

- pořizovací cenou investice (nákupními cenami a pořizovacími náklady)
- zvýšením čistého pracovního kapitálu
- daňovými a jinými vlivy
- výdaji na prodej a likvidaci nahrazovaného majetku

9.2.2 Odhad budoucích peněžních příjmů

Učinit správný odhad toku budoucích peněžních příjmů plynoucích z investice za celou dobu její životnosti je náročné. Je nutné brát v úvahu vliv faktorů, jako jsou inflace, čas, reakce konkurence, reklama a měnící se podmínky na trhu. Všechny faktory ovlivňují budoucí příjmy investice a vedou ke zvýšení míry rizika, že investice nedosáhne očekávaných výnosů. Riziko spojené s budoucími peněžními toky investice lze brát v úvahu přímo při odhadu budoucích výnosů nebo při výpočtu podnikové diskontní míry. Na rozdíl od určování kapitálových nákladů dochází běžně u odhadu budoucích příjmů k jejich přečeňování. Peněžní tok z investice je pro každý rok počítán jako [8]:

Budoucí peněžní tok z investice

= *přírůstek očekávaného zisku po zdanění*

+ *příjem z prodeje vyřazeného majetku z investice*

+ *odpisy ± změna pracovního kapitálu, který není započítán v kapitálových výdajích*

± *daňový efekt z prodeje dlouhodobého majetku koncem jeho životnosti*

9.2.3 Určení podnikové diskontní míry

Investice přináší příjmy a výdaje zpravidla po dobu několika let, a proto je při jejím hodnocení nutné brát v úvahu časovou hodnotu peněz. Je potřeba znát diskontní míru, pomocí které lze převést budoucí tok peněz na současnou hodnotu [8].

Stejně jako výrobní činitelé má i kapitál vlastní náklady, se kterými je nutné počítat při hodnocení investic. Pokud podnik financuje investici pouze z vlastního kapitálu, pak náklady představují jeho požadovaný výnos z kapitálu. Ten lze stanovit hned několika způsoby, například podle výnosů, kterých by podnik mohl dosáhnout z jiných investic. Některé podniky mají interně stanovenou hodnotu na základě zkušeností s podobnými projekty nebo z údajů o rentabilitě vlastního kapitálu v jejich odvětví [8].

Pokud podnik financuje celou investici pomocí cizích zdrojů, například pomocí úvěru, pak náklady tvoří právě úroky z úvěru. Úrok je pak nutné pomocí daňového štítu upravit na úroky po zdanění, tedy [8]:

$$\text{Úroková míra (po zdanění)} = \text{nominální úroková míra} * (1 - \text{daňová sazba}) \quad (1)$$

Pokud firma k uhrazení investice použije kombinaci vlastního kapitálu a cizích zdrojů, pak je obvykle diskontní míra stanovena na základě průměrných kapitálových nákladů.

$$WACC = \frac{E}{D + E} \times r_e + \frac{D}{D + E} \times r_d \times (1 - t) \quad (2)$$

kde E = objem vlastního kapitálu

D = výše cizího úročeného kapitálu

r_e = náklady na vlastní kapitál

r_d = náklady na cizí kapitál

t = sazba daní z příjmu

Při určování diskontní míry je nutné brát v úvahu především riziko spojené s investicí, pokud není bráno v potaz již při odhadu budoucích peněžních toků. Vyšší diskontní míry ovlivňují především [5][20]:

- **Náklady ušlé příležitosti** – náklady ušlé příležitosti patří mezi implicitní náklady a odpovídají hodnotě nejhodnotnější činnosti, které se investor vzdal ve prospěch zvolené činnosti. Spolu s tzv. explicitními náklady tvoří celkové ekonomické náklady.
- **Inflace** – inflace udává nárůst všeobecné cenové hladiny zboží a služeb v ekonomice nebo konkrétní zemi za určité časové období.
- **Investiční riziko** – investiční riziko je spojené s pravděpodobností budoucích výnosů. Čím je pravděpodobnost nedosažení očekávaných, budoucích výnosů vyšší, tím je vyšší i investiční riziko.

9.2.4 Výpočet současné hodnoty očekávaných peněžních příjmů (PVCF)

Jak již bylo zmíněno v předchozí části, u investice působí tzv. faktor času. Základním předpokladem je, že současná hodnota peněz je vyšší, než budoucí. Jelikož investice přináší výnosy po delší dobu, je potřeba přepočítat hodnoty budoucích výnosů na současnou hodnotu [8].

$$PVCF = \frac{CF_1}{(1+k)^1} + \frac{CF_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+k)^n} = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+k)^t} \quad (3)$$

kde PVCF = současná hodnota všech CF za období n

CF_t = očekávaná hodnota CF za období t

k = podniková diskontní míra

t = období 1 až n (let)

n = očekávaná životnost investice (roky)

10 METODY HODNOCENÍ EKONOMICKÉ EFEKTIVNOSTI

10.1 Zvolení vhodného kritéria pro hodnocení investice

Před hodnocením ekonomické efektivity investice je nejprve nutné stanovit kritérium, které bude udávat míru splnění jejího cíle. Pokud má investice například snížit náklady, používá se nákladové kritérium. Pokud má zvýšit zisk, je využíváno ziskové kritérium. Žádné z těchto kritérií ale plně nepostihuje celkovou efektivnost investice, resp. nezachycuje skutečný tok peněz do podniku. Proto je vhodné za obecný efekt investic považovat přímo cash flow. Za efektivní investici lze považovat takovou, jejíž příjmy jsou vyšší než náklady. Míra výnosnosti investice udává, kolik korun vynesou jedna investovaná koruna [5][8]:

$$\text{Míra výnosnosti} = \frac{\text{Obdržená částka} - \text{Investovaná částka}}{\text{Investovaná částka}} \quad (4)$$

10.2 Základní rozdělení metod

Existuje řada metod pro hodnocení efektivity investic. Obecně lze metody rozdělit na [5][8]:

- **Statické metody** – neberou v úvahu faktor rizika a faktor času pouze v omezené míře.
- **Dynamické metody** – berou v úvahu faktory rizika a času. Základem je diskontování vstupních parametrů.

Výsledky všech metod jsou závislé na předešlé finanční analýze. O metody hodnocení efektivity investice se tak lze při rozhodování opřít pouze tehdy, pokud je správně vytvořený finanční plán celé investice.

10.3 Statické metody

Statické metody jsou při hodnocení efektivity investic využívány zpravidla u méně významných projektů s krátkou dobou životnosti anebo s nízkým diskontním faktorem. Mezi statické metody patří například metoda průměrného ročního výnosu (AAR), průměrná doba návratnosti, doba návratnosti nebo průměrná procentní výnosnost [5][8].

10.4 Dynamické metody

S ohledem na významnost projektu pro samotný podnik a jeho dobu životnosti, je pro tuto práci vhodné využít následující dynamické metody.

10.4.1 Index ziskovosti (PI)

Vyjadřuje současnou hodnotu cash flow, kterou bude projekt generovat na jednotku počátečních kapitálových nákladů. Lze jej využít samostatně nebo jako doplňující ukazatel například k NPV [5][8].

$$PI = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t}}{IN} \quad (5)$$

kde	PI = index ziskovosti	PI > 1 ... investice je přijatelná
	CF _t = peněžní tok za období t	PI < 1 ... investice nepřináší hodnotu
	IN = počáteční kapitálový výdaj	
	r = diskontní úroková míra	
	n = doba životnosti projektu	

10.4.2 Metody čisté současné hodnoty (NPV – Net Present Value)

Hodnota NPV je rovna hodnotě PVCF očištěné od nákladů na investici. Její princip je tak stejný jako u PVCF (viz 9.2.4). Jedná se o jednu z nejpoužívanějších metod hodnocení investic. Počítá s časovou hodnotou peněz za celou dobu životnosti investice. Lze ji popsat pomocí libovolných peněžních toků a výsledkem je absolutní hodnota přínosu investice v dnešních cenách. Závisí na správném stanovení budoucích peněžních toků projektu a alternativních nákladech kapitálu. Výsledná hodnota NPV udává částku, kterou by firma realizací projektu získala [5][8].

$$NPV = PVCF - IN = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+k)^t} - IN \quad (6)$$

kde	NPV = čistá současná hodnota investice	NPV > 0 ... Investice přinese více, než je požadovaný výnos
	PVCF = současná hodnota CF	
	CF _t = očekávaná hodnota CF v období t	NPV = 0 ... Investice přinese přesně požadovaný výnos
	k = podniková diskontní míra	
	t = období 1 až n (let)	NPV < 0 ... Investice přinese méně, než je požadovaný výnos
	n = očekávaná životnost investice (roky)	

Pokud je dle NPV porovnáváno více investičních projektů, je preferován projekt s vyšší hodnotou NPV.

10.4.3 Metoda vnitřního výnosového procenta (IRR)

Pomocí metody IRR lze zjistit diskontní míru, při které se současná hodnota výnosů z investice rovná současné hodnotě nákladů na investici, resp. takovou diskontní míru, při které je NPV investice rovna nule. IRR tedy udává, kolik procent na projektu vyděláme, pokud počítáme s časovou hodnotou peněz. Nevýhodou IRR je náročnost výpočtu pro projekty s dobou životnosti delší než dva roky. Výsledek u IRR navíc může nabývat více hodnot nebo nemusí vůbec existovat [5][8].

$$\sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+k)^t} - IN = 0 \quad (7)$$

CF_t = očekávaná hodnota CF v období t

IN = počáteční kapitálový výdaj

k = hledaná diskontní míra

t = období 1 až n (let)

n = očekávaná životnost investice (roky)

Investice je pro podnik přijatelná, je-li IRR vyšší než podnikem požadovaná diskontní míra

Pokud jsou dva projekty A a B porovnávány zároveň podle NPV i IRR a nastane situace, že $NPV_A > NPV_B$ a $IRR_A < IRR_B$, je potřeba se zamyslet. Taková situace říká, že projekt A přinese do podniku více peněz než projekt B, na druhou stranu projekt B dokáže peníze vložené do investice lépe zhodnotit. Vše pak záleží na konkrétní strategii firmy, zda je zaměřena spíše na procentuální výnos nebo na zlepšování CF [5][8].

10.4.4 Doba návratnosti (PP)

Doba návratnosti udává dobu (počet let, resp. měsíců), za kterou se kumulované příjmy z investice vyrovnají původním nákladům za investici. Jsou-li příjmy v každém roce investice stejné, můžeme PP vypočítat jako [5][8]:

$$PP = \frac{IN}{CF} \quad (8)$$

kde kde PP = doba návratnosti (roky)

IN = náklady na investici

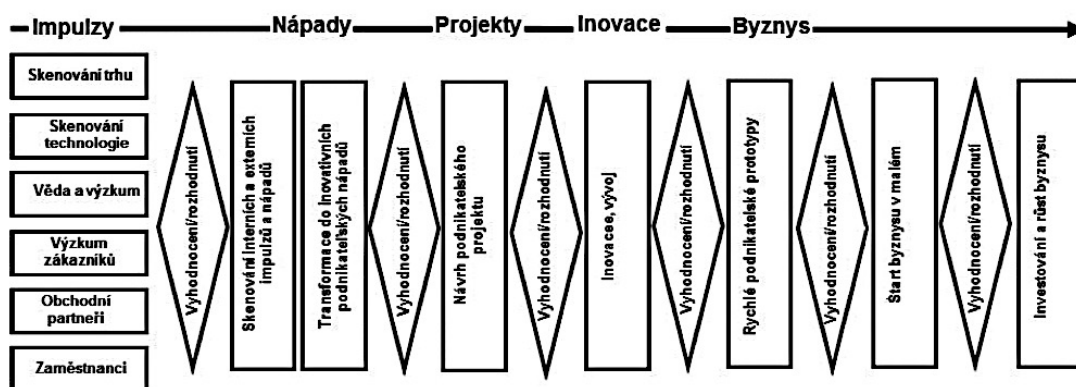
CF = roční CF (každý rok stejné)

Pokud jsou výnosy v každém roce rozdílné, pak se PP počítá postupným kumulováním ročních výnosů tak dlouho, dokud se kumulovaná částka nerovná nákladům na investici. Dynamická verze této metody počítá s diskontovanými hodnotami ročních výnosů. Aby byla investice přijatelná, musí být PP kratší než doba životnosti investice. Hlavní nevýhodou této metody je, že nebere v úvahu výnosy po době návratnosti. Metoda je tak nevhodná pro všeobecné hodnocení investic. Je naopak vhodná jako pomocná metoda, která poskytuje důležité informace o riziku a likviditě investice [5][8].

11 PODNIKOVÉ INOVACE

11.1 Popis

Inovaci lze popsat jako zdokonalení, kterému předchází komplexní proces, jenž začíná nápadem a pokračuje sérií finančních, obchodních, vědeckých, technických a organizačních činností. Inovace v celém procesu skutečně vzniká až po její případné realizaci. Důležitými aspekty inovace jsou kreativita a invence, které ale samy o sobě nestačí k naplnění inovace, protože nemusí být realizovatelné [5][8].



Obr. 16: Schéma inovačního procesu [26]

Je důležité si uvědomit, že na začátku každé inovace je impulz k jejímu zavedení, na základě kterého inovace vzniká v rámci komplexního procesu, a samotným vytvořením inovace celý proces nekončí.

Inovace jsou důležitým hybným faktorem vývoje organizace, díky kterým dochází například ke snižování nákladů, zvyšování efektivity práce nebo zlepšování kvality nabízených produktů. Peter F. Drucker pokládá inovaci za jednu ze dvou základních funkcí organizace: „Protože cílem existence podnikové organizace je vytvářet zákazníky, má tato organizace dvě – a pouze tyto dvě – základní funkce: marketing a inovace.“ [5].

Pro inovaci neexistuje jednotná teorie a názory různých autorů jsou často rozdílné, dokonce i protichůdné. Zakladatel inovační teorie J. A. Schumpeter inovaci nazýval jako „tvůřivou destrukci“ a za inovaci tak pokládal úplně nové, ještě nezavedené věci. Oproti tomu profesor Valenta definuje inovaci jako „jakoukoliv změnu ve vnitřní struktuře výrobního organismu“ [27]. Na rozdíl od Schumpetera nepovažuje stupeň novosti za rozhodující faktor inovace. Inovace podle něj nemusí být unikátní, ale měla by novým způsobem obohatit samotný podnik [5][8].

11.2 Dělení inovací

Podle současného statistického výkaznictví se inovace člení takto [8]:

- **Produktové inovace** – jde o vytvoření nových nebo významné vylepšení stávajících výrobků nebo služeb.
- **Procesní inovace** – jde o vytvoření nových procesů nebo významné vylepšení stávajících procesů. Jedná se například o podstatné vylepšení softwaru nebo zařízení, které vede ke snížení mzdových nákladů, snížení energetické spotřeby nebo zlepšení pracovních podmínek.
- **Marketingové inovace** – spočívají v zavedení nové marketingové metody, kterou podnik dosud nepoužíval.
- **Organizační inovace** – spočívají v zavedení nové organizační metody.

Inovace lze dále rozdělit podle jejich kvalitativní stránky [8]:

- **Inkrementální inovace** – představují malé postupné inovace, které zpravidla nevyžadují nijak značné investice. Díky své orientaci na známý trh představují pro podnik menší riziko. Tyto inovace zpravidla umožňují pouze mírné zvýšení produktivity práce a snížení nákladů. Nebezpečí těchto inovací tkví v tom, že místo přechodu na zásadní inovaci bude podnik neustále pokračovat pouze v drobných inovacích, které mu ale neumožní přesun na nejlepší technickou úroveň, která je pro něj možná.
- **Revoluční inovace** – oproti inkrementálním inovacím je zapotřebí vynaložit značné finance a s tím je spojené i vysoké riziko. Existuje riziko, že se inovace ukáže jako technicky nereálná nebo dojde k jejímu zpoždění.

Odlisný přístup k hodnocení kvalitativní stránky inovací navrhl profesor Valenta. Zavedl inovaci záporného řádu, strukturální a racionální inovaci a dále rozlišuje inovace na pět řádů kvalitativních změn: druhy, rody, varianty, generace a kmeny. Pro úspěšnou absorpci inovace vnitřní strukturou výrobního organismu je podle něj zapotřebí včasná identifikace jejího řádu [8].

Tab. 2: Členění řádů podle profesora F. Valenty [27]

Řád	Označení	Co se zachovává	Co se mění	Příklad
minus „n“	degenerace	nic	úbytek vlastností	opotřebení
0	regenerace	objekt	obnova vlastností	údržba, opravy
Racionalizace				
1	změna kvanta	všechny vlastnosti	četnost faktorů	další pracovní síly
2	intenzita	kvalita a propojení	rychlost operací	zvýšený posun pásu
3	reorganizace	kvalitativní vlastnosti	dělba činností	přesuny operací
4	kvalitativní adaptace	kvalita pro uživatele	vazba na jiné faktory	technologické konstrukce
Kvalitativní inovace				
5	varianta	konstrukční řešení	dílčí kvalita	rychlejší stroj
6	generace	konstrukční koncepce	konstrukční řešení	stroj s elektronikou
7	druh	princip technologie	konstrukční koncepce	tryskový stav
8	rod	příslušnost ke kmeni	princip technologie	netkaná textilie
Technologický převrat				
9	kmen	nic	přístup k přírodě	genová manipulace

12 OPTIMALIZACE PODPŮRNÉHO PROCESU

V následující části práce se zaměříme na optimalizaci podpůrného procesu, jehož úkolem je zajistit správné podmínky pro fungování celého akvaponického systému. Zajišťuje správný průběh hlavního výrobního procesu, na kterém je podnik závislý, neboť mu přináší přímý zisk z prodeje produktů. Proces je zaměřen především na kontrolu kvality vody, která hraje v akvaponickém systému klíčovou roli. Bez správně nastavených kvalitativních parametrů vody by nemohl akvaponický systém fungovat. Hodnoty parametrů vody, ale i vzduchu je nutné kontrolovat v pravidelných intervalech, protože se neustále mění kvůli okolním podmínkám a dějům probíhajícím v rámci akvaponického systému.

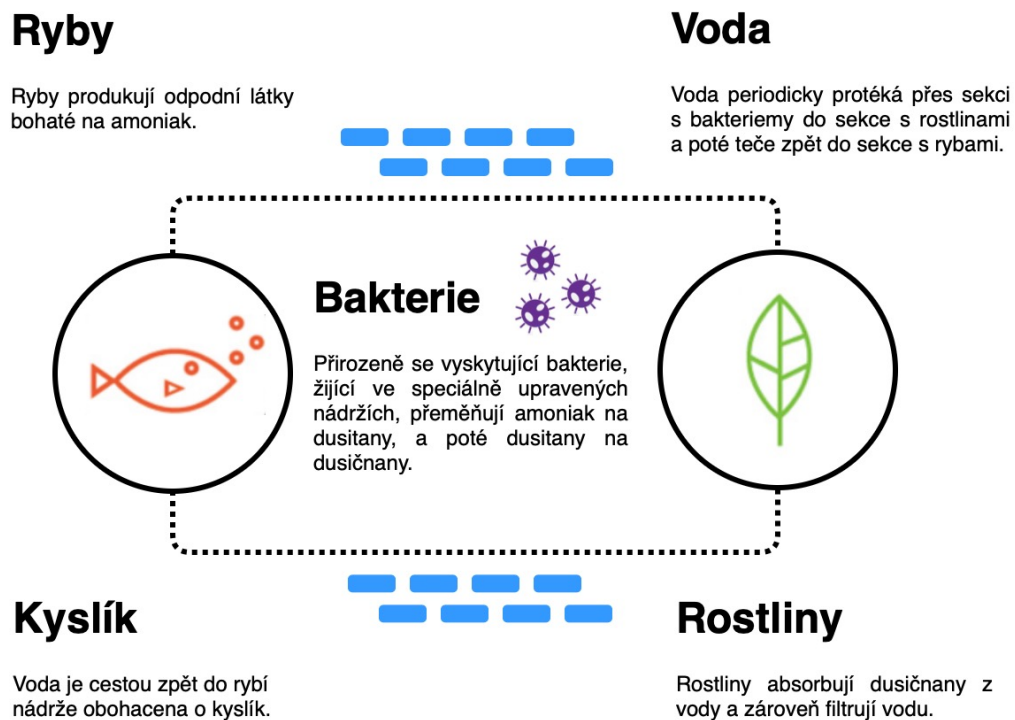
Dosavadní manuální vykonávání podpůrného procesu je pro podnik finančně náročné. Jedním z možných způsobů, jak by mohl snížit své pravidelné náklady, je automatizování procesu. Automatizace podpůrného procesu by pro samotný podnik znamenala, že bude muset podstoupit procesní inovaci revolučního charakteru, do které by musel z počátku investovat poměrně vysokou částku peněz, vzhledem k budoucím tržbám. Na druhou stranu od automatizace může očekávat snížení mzdových nákladů spojených s procesem a celkové zlepšení kvality podmínek v akvaponickém systému. To by mělo vést i ke zvýšení produkce hlavního výrobního procesu, což by se pravděpodobně pozitivně promítlo i v celkových tržbách podniku.

Podle profesora F. Valenty je důležitá včasná identifikace tzv. řádu inovace. Na základě jeho tabulky s jednotlivými řády inovací lze usoudit, že se jedná o inovaci šestého řádu, nazvanou generace, při které se zachovává původní koncepce kontroly kvality podmínek v akvaponii, ale mění se konstrukční řešení v podobě využití moderních technologií, jež nahrazují převážně manuální lidskou práci.

Cílem této části práce a samotného návrhu optimalizace je pomoci podniku s hledáním nejlepšího možného řešení automatizace jeho podpůrného procesu kontroly akvaponického systému.

12.1 Akvaponický systém produkce potravin

Akvaponie je integrovaný systém produkce potravin, který kombinuje chov ryb (**akvakultura**) a pěstování rostlin bez půdy (**hydroponie**). Jedná se o inovativní technologii produkce potravin, která efektivně využívá výhod i nevýhod akvakultury a hydroponie. Správným využitím těchto výhod, resp. nevýhod lze zajistit oproti běžnému pěstování rostlin v půdě až několikanásobnou produkci potravin na jednotku plochy při současném snížení potřebné práce. Dále akvaponie nabízí možnost celoročního pěstování a ekologičtějšího provozu s nižší spotřebou vody a s možnou absencí nebo výrazným snížením umělých hnojiv a chemických postřiků [28].



Obr. 17: Obecné schéma akvaponického systému [30] (upraveno)

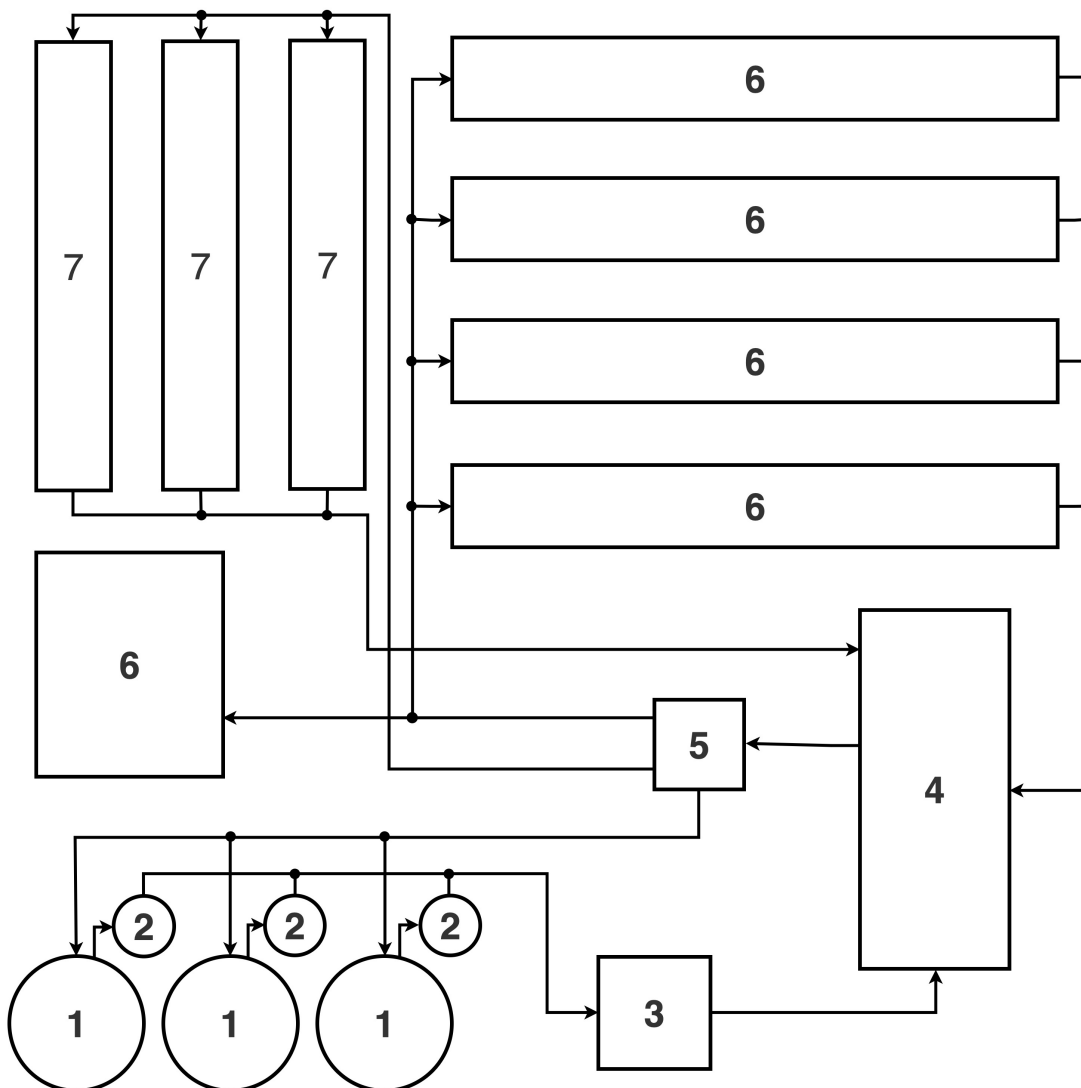
Jedná se o uzavřený, recirkulační systém, založený na symbiotickém soužití ryb, rostlin a bakterií.

Bakterie se v akvaponickém systému podílejí na dvou hlavních biologických procesech [28][29]:

- **Nitrifikace** je dvoufázový biologický proces oxidace amoniaku (NH_3). Během nitrifikace bakterie nejprve přemění amoniak na dusitan (NO_2) a poté dusitan na dusičnan (NO_3). Nitrifikace je klíčový proces, protože amoniak ani dusitan nejsou vhodnou živinou pro rostliny a pro ryby jsou i v malých koncentracích toxické. Dusičnan je naopak vhodná živina pro rostliny a ryby jej tolerují i při relativně vysoké koncentraci.
- **Mineralizace** je proces přeměny odpadních organických látek na jednodušší, anorganické a ve vodě rozpustné látky, které jsou vhodné jako výživa pro rostliny.

12.2 Popis akvaponického systému zákazníka

Jedná se o malý akvaponický systém, který slouží jako pilotní projekt, na kterém chce zákazník získat potřebné know-how předtím, než bude investovat do projektu většího rozsahu. Celý systém zabírá plochu do 150 m^2 .



Obr. 18: Schéma akvaponického systému zákazníka

Jednotlivé sekce schématu akvaponického systému s číslicemi označují:

- | | |
|-------------------------|-----------------------------------|
| 1 ... Nádrže s rybami | 5 ... Distribuční tank |
| 2 ... Sedimentační tank | 6 ... Nádrže s rafty s rostlinami |
| 3 ... Bio filtr | 7 ... Gravel beds |
| 4 ... Sběrná nádrž vody | |

Oproti běžným akvaponickým systémům, ve kterých voda proudí v jedné smyčce mezi akvakulturní a hydroponickou sekcí, se v tomto systému navíc nachází sběrná nádrž vody a tzv. distribuční tank. Sběrná nádrž je umístěna o úroveň níže než k ní napojené sekce, a tak do ní voda teče samospádem. Aby se voda ze sběrné nádrže dostala zpět, odkud přitekla, pumpuje se z ní pomocí čerpadla do tzv. distribučního tanku, který je umístěn o úroveň výše než k němu napojené sekce systému. Voda tak do napojených sekcí teče opět samospádem. Takto voda cirkuluje v celém systému pouze pomocí gravitace a jednoho vodního čerpadla. Předtím, než se

voda dostane z rybích nádrží do sběrné nádrže, proteče přes sedimentační tank, na jehož dně se usadí pevné odpadní látky a poté protéká přes bio filtr. V bio filtru jsou speciálně přizpůsobené podmínky pro život celé kolonie bakterií, která se podílí na procesu nitrifikace a mineralizace odpadních látek. K tomu slouží také tzv. „gravel beds“, tedy kontejnery, ve kterých je voda a speciální štěrky s velkou povrchovou plochou, na kterou se tak vejde více bakterií.

12.3 Kvalitativní parametry vody, vzduchu a světla

Akvaponický systém je závislý na řízení kvality podmínek, které se kvůli vlivu okolního prostředí i v důsledku biologických a chemických procesů v systému neustále mění, a proto je potřeba jejich pravidelné měření a případná úprava. Následující kvalitativní parametry vody jsou jedny z nejdůležitějších parametrů, které musí být v systému pravidelně monitorovány a upravovány [29][31]:

1. **Roztuštěný kyslík (DO)** – představuje množství rozpuštěného kyslíku v jednotce vody. Jedná se o nejdůležitější parametr, protože má nejrychlejší a nejdrastičtější efekt na všechny organismy v akvaponickém systému. Jeho množství závisí na velikosti plochy hladiny a jeho rozpustnost ve vodě zejména na teplotě vody. V akvaponickém systému musí být jeho hodnota udržována tzv. aerací neboli provzdušňováním vody.
2. **Dusík: amoniak, dusitan a dusičnan** – amoniak produkovaný rybami je v systému při procesu nitrifikace postupně přeměněn na dusitany a následně dusičnany. Zvýšená hladina amoniaku a dusitanu je velmi nebezpečná zejména pro ryby. Naopak nedostatek dusičnanu znamená nedostatek vhodné výživy pro rostliny.
3. **pH** – vyjadřuje poměr vodíkových kationů (H^+) k hydroxylovým anionům (HO^-). Určuje, zda voda reaguje kyselou ($pH < 7$, převaha H^+) nebo zásaditě. Rostliny, ryby i mikroorganismy mají své vnitřní pH a jsou na pH vody citlivé. Hodnota pH vody také ovlivňuje chemickou formu živin. Pokud není správná, rostliny nejsou schopny živiny správně metabolizovat.
4. **Teplota vody/vzduchu** – ryby, rostliny, mikroorganismy a biologické procesy vyžadují určitý rozsah teplot. Správný rozsah závisí na druhu ryb, rostlin a mikroorganismů.
5. **Elektrická vodivost (EC)** – EC vyjadřuje množství nabitých částic ve vodním sloupci. Pomocí EC lze zjistit salinitu vody, tedy koncentraci soli ve vodě, stejně tak jako množství živin ve vodě, což jsou ve skutečnosti také soli.
6. **CO₂** – pro správný průběh fotosyntézy potřebují rostliny optimální množství CO₂.

7. **PAR** – představuje množství světla, které se podílí na fotosyntéze. Jedná se o světlo o vlnové délce 400–700 nm. Množství tohoto světla se mění v závislosti na denní době a sezóně, a proto je potřeba kontrolovat, zda ho mají rostliny dostatek a případně zapnout přídatné osvětlení.

Tab. 3: Obecná tolerance organismů na kvalitu vody [31]

Typ organismu	DO (mg/l)	NH ₃ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁺ (mg/l)	pH (1-14)	Teplota (°C)
Teplomilné ryby	4–6	< 3,0	< 1,0	< 400	6–8,5	22–32
Studenomilné ryby	6–8	< 1,0	< 0,1	< 400	6–8,5	10–18
Rostliny	> 3	< 30,0	< 1,0	-	5.5–7,5	16–30
Bakterie	4–8	< 3,0	< 1,0	-	6–8,5	14–34
Akvaponický systém	> 5	< 1	< 1	5–150	6–7	18–30

Jelikož je voda společná pro všechny sekce, je nutné přizpůsobit její vlastnosti na základě biologických požadavků všech organismů, které se v akvaponickém systému vyskytují. Hodnoty kvalitativních parametrů vody budou měřeny ve sběrné nádrži s vodou, ale i v rybích nádržích, ve kterých se může dočasně zhoršit kvalita vody kvůli velkému množství ryb, jež produkují odpadní látky, a poměrně nízkému průtoku vody.

12.4 Analýza současného stavu podpůrného procesu

12.4.1 Identifikace procesu

Tab. 4: Hodnoty parametrů současného stavu procesu

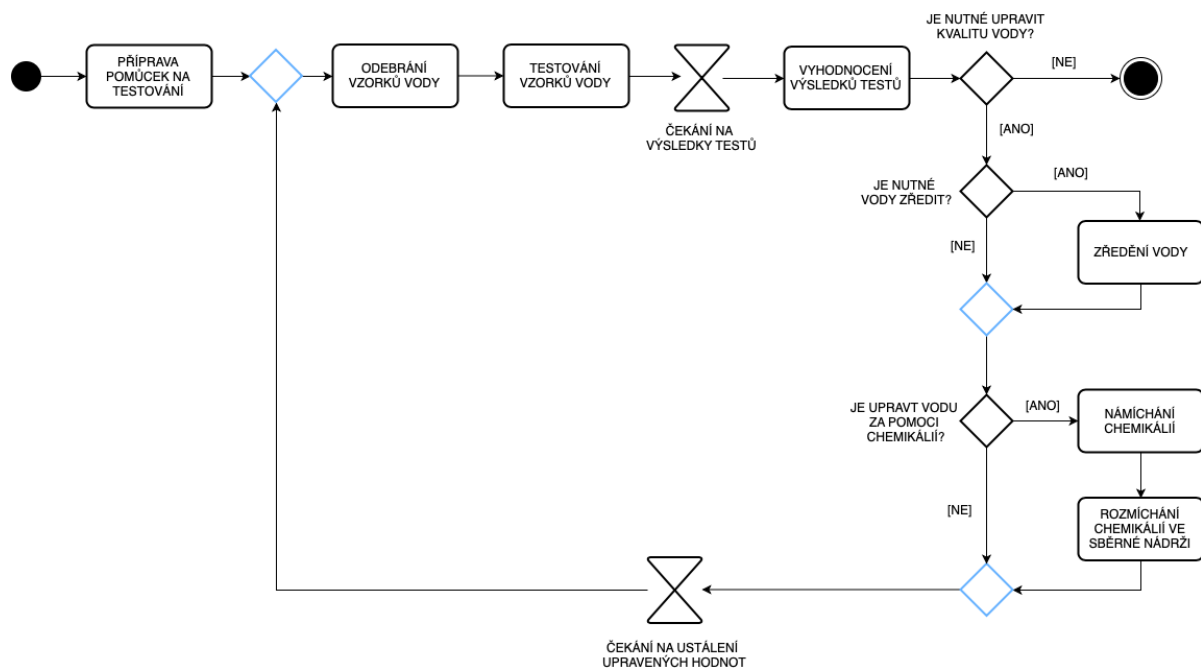
Parametry procesu	
Název procesu	Měření a úprava kvalitativních parametrů vody
Typ procesu	Podpůrný
Cíl procesu	Udržet požadovanou kvalitu vody v akvaponickém systému
Vstup procesu	Žádný
Výstup procesu	<ul style="list-style-type: none">• Zpráva o stavu systému• Zápis hodnot jednotlivých parametrů
Vlastník procesu (odpovědná osoba)	Zaměstnanec, který má na starosti kontrolu kvality podmínek hlavního procesu
Zákazník procesu	Podnik
Dodavatel procesu	Podnik
Kritéria pro měření procesu	<ul style="list-style-type: none">• Čas měření parametrů• Čas úpravy parametrů• Dodržení bezpečnostních pravidel při zacházení s chemikáliemi• Dodržení správného postupu při měření a úpravě vody
Související dokumentace	<ul style="list-style-type: none">• Tabulka naměřených hodnot parametrů vody• Postup při měření parametrů vody• Postup při úpravě parametrů vody
Speciální požadavky	Žádné

12.4.2 Sestavení týmu

Tým, se kterým jsem spolupracoval při analýze současného stavu procesu kontroly kvalitativních podmínek v akvaponickém systému a při jeho následné optimalizaci, měl toto složení:

- majitel firmy
- odborník na IT
- zaměstnanec, který se stará o kontrolu kvalitativních parametrů vody a vzduchu a má potřebné know-how o tom, jak akvaponický systém funguje
- odborník na chov ryb a kvalitu vody

12.4.3 Mapování stávajícího stavu procesu měření kvalitativních parametrů vody



Obr. 19: Diagram aktivit stávajícího procesu

12.4.4 Analýza stávajícího procesu

Způsoby kontroly a úpravy parametrů vody v původním procesu

Tab. 5: Způsob kontroly a úpravy parametrů v původním procesu

Parametr	Pomůcka pro měření	Cena (Kč)	Úprava
Teplota	Akvaristický teploměr	70	Ohřívač vody, chlazení vody
pH	Indikační papírky	100 (219)	Chemicky: kyseliny a hydroxidy
DO	Testovací kit nebo (oxymetr)	442 (4 500)	Vzduchování (vzdušný kyslík)
Amoniak	Kapací testy [testovací kit]	418	Výměna části vody
Dusitany	Testovací kit	318	Výměna části vody
Dusičnany	Testovací kit	376	Výměna části vody
EC	Konduktometr nebo TDS metr nebo refraktometr	min. 1 200	<i>Vysoká hodnota</i> = výměna vody <i>Nízká</i> = přidat živiny

Časová náročnost procesu

Z důvodu udržení dostatečné kvality vody v akvaponickém systému podniku je vhodné podpůrný proces opakovat průměrně 4krát denně, zejména v závislosti na počtu krmení ryb. Samotné měření parametrů zabere v průměru **25–35 minut**, protože není vždy nutné měřit všechny parametry. Případná úprava vody zabere zhruba **5–15 minut** v závislosti na tom, co je nutné upravit, a na zkušenostech konkrétního pracovníka. Pokud je nutné upravit některý z parametrů, je vhodné se kontrolním měřením přesvědčit, že byla úprava vody úspěšná.¹

Průměrný čas, který zaměstnanec denně stráví vykonáváním tohoto procesu, je okolo **200 minut, tj. 1 217 hodin/rok**, bere-li se v úvahu průměrné měření 4krát denně trvající 30 minut a úprava vody zhruba 2krát denně po 10 minutách s tím, že je nutné otestovat úpravu novým měřením.

Finanční náročnost procesu

Ze zkušeností pracovníka, který má na starost měření kvality vody, vyplývá, že průměrná cena základní sady pomůcek na měření kvality vody se s ohledem na jejich výdrž pohybuje okolo **14 000 Kč/rok**, pokud měření probíhá v průměru 4krát denně.

Celkové náklady na hodinu zaměstnance, který má na starost tento proces, jsou **252 Kč/hodinu**.

Kromě měření parametrů a ostatních činností probíhajících v provozu má pracovník na starost také kontrolu vodních čerpadel a vzduchování. Každý den mu kontrola zabere zhruba 40 až 60 minut, jelikož je nutné zařízení kontrolovat v pravidelných intervalech několikrát denně.

¹ Poznátky o měření jsou zjištěny od člena týmu, který se stará o kontrolu kvality vody. Hodnoty

V průměru tak kontrola zařízení zabere dalších **304 hodin/rok** a celkové náklady na tuto činnost jsou zhruba **76 608 Kč/rok**. Celkové náklady na proces jsou zhruba **397 292 Kč/rok**.

Nevýhody procesu

Jednou z hlavních nevýhod akvaponického systému je časová náročnost jeho údržby. O akvaponický systém je nutné neustále pečovat, tzn. že zaměstnanci, kteří provádí činnosti spojené s jeho údržbou, musí být přítomni nejen ve dne, ale i v noci.

Voda je v akvaponickém systému měřena v průměru pouze 4krát denně. Během jednotlivých měření může nastat doba, kdy nebude kvalita podmínek optimální. To může z dlouhodobého hlediska snižovat efektivitu celého výrobního procesu. Problém s měřením podmínek v systému však netkví pouze v jeho nízkém počtu opakování během dne. Dalším problémem je zpravidla jeho nedostačující přesnost a spolehlivost. Hodnota měření u jednotlivých parametrů je často závislá pouze na lidském odhadu barvy, kterou vyvolá chemická reakce při testování. Rychlost samotného měření, ale i úpravy vody navíc nemusí být vždy dostačující. V akvaponickém systému může kdykoliv nastat nehoda, která změní jeho kvalitativní podmínky, na které je nutné co nejrychleji reagovat. Rychlost při manuálním měření a úpravě podmínek nemusí být dostačující.

Naměřená data jsou zaznamenávána pouze na papír. To nejen zpomaluje samotné, již tak pomalé manuální měření, ale také téměř znemožňuje data dále analyzovat pomocí IT. Neexistuje tak v podstatě možnost efektivní analýzy dat, s jejíž pomocí by šlo například zjistit, jaké podmínky předcházely určitému problému. Díky tomu by bylo v budoucnu možné predikovat daný problém ještě předtím, než nastane, a pohotově na něj reagovat.

Dalším problémem je nedostatečná kontrola důležitých zařízení, na kterých je akvaponický systém závislý. Jedná se především o vodní pumpy a vzduchování. Bez nich nemůže systém fungovat a hrozí mu také nevratné škody v podobě úhynu organismů žijících v systému. Pokud bude mít některé ze zařízení poruchu, je nutné ho co nejdříve vyměnit za záložní. S nízkou četností dosavadních kontrol však nemusí být reakce na vzniklou poruchu dostačující.

Celý proces je navíc závislý zejména na lidském faktoru. Zaměstnanci mohou kdykoliv chybovat, například během měření nebo úpravy podmínek vody v systému. To může mít vzhledem k nízké intenzitě prováděných měření nebezpečné dopady pro celý akvaponický systém. Zaměstnanci také nemusí být vždy dostupní. Mohla by tak nastat situace, že se o správné podmínky v systému nikdo včas nepostará. To může vést i k úplnému zastavení produkce v rámci výrobního procesu.

12.5 Požadavky zákazníka na optimalizaci podpůrného procesu

Na základě konzultací se zákazníkem a jeho zaměstnancem, který se zabývá kontrolou kvalitativních podmínek v akvaponickém systému, jsem získal seznam následujících požadavků na optimalizaci podpůrného procesu.

1. Automatické měření a úprava hodnot parametrů vody a vzduchu v jednotlivých sekcích akvaponického systému (viz níže tab. 6):
 - měření a úprava hodnot vybraných kvalitativních parametrů
 - zaslání SMS a emailové notifikace o překročení přípustné hranice hodnoty
 - zobrazení aktuálního stavu kvalitativních parametrů vody a ovzduší na zařízení připojeném k internetu
 - zobrazení údajů o naměřených hodnotách za určené časové období (v řádech měsíců)
2. Automatický management připojených zařízení, nezbytných pro fungování akvaponického systému (vodní čerpadla, vzduchování a případně další důležitá zařízení použitá při návrhu řešení):
 - spuštění náhradního vodního čerpadla a vzduchování při výpadku hlavního vodního čerpadla resp. vzduchování
 - zobrazení stavu připojených zařízení (tzn. funguje/nefunguje, zapnuto/vypnuto) na zařízení připojeném k internetu
 - SMS a e-mailová notifikace při závadě na zařízení
3. Zajištění základních funkcionalit akvaponického systému při výpadku elektrického proudu nebo internetového připojení:
 - management vodních čerpadel a vzduchování (viz bod 2)
 - úprava kvalitativních parametrů vody (viz bod 1)
4. Minimalizace nákladů, při zajištění dostačující kvality měření a spolehlivosti řešení, pro daný akvaponický systém

Tab. 6: Seznam parametrů, které musí být kontrolovány a/nebo upravovány

Parametry	Sběrná nádrž		Akvakulturní s.		Hydroponická s.	
	monitor.	úprava	monitor.	úprava	monitor.	úprava
Kvalitativní parametry vody						
Rozpuštěný kyslík (DO)	✓	✓	✓	✓	x	x
Amoniak	✓	✓	✓	✓	x	x
Dusitan	✓	✓	✓	✓	x	x
Dusičnan	✓	✓	✓	✓	x	x
pH	✓	✓	✓	✓	x	x
Elektrická vodivost (EC)	✓	✓	x	x	x	x
Teplota vody	✓	✓	x	x	x	x
Výška vodní hladiny	✓	✓	x	x	x	x
Kvalitativní parametry vzduchu a světla						
CO ₂	x	x	x	x	✓	✓
Vlhkost	x	x	x	x	✓	✓
Teplota vzduchu	x	x	x	x	✓	✓
PAR	x	x	x	x	✓	✓

12.6 Možnosti řešení optimalizace stávajícího procesu

Na základě požadavků zákazníka na optimalizaci podpůrného procesu v podobě jeho automatizace a také zejména charakteru výkonu stávajícího procesu v podobě lidské manuální práce bude nutné provést kompletní reengineering celého procesu s použitím technologií, které automatizaci umožní. Částečný redesign procesu by nemohl za stávajících podmínek splnit požadavky zákazníka. Na základě toho navrhuji dvě možná řešení:

1. reengineering procesu na základě vlastního řešení automatizace procesu
2. reengineering procesu na základě řešení od specializované firmy, které automatizaci umožní

12.7 Hodnocení optimalizace procesu

Před samotnou optimalizací procesu je vhodné zvolit klíčové ukazatele výkonnosti, které pomohou s hodnocením jednotlivých řešení optimalizace. Na základě nich a ostatních možných benefitů pak lze snadněji určit, které z nalezených řešení bude pro podnik nejvýhodnější, případně zda by raději neměl zůstat u stávajícího způsobu řešení.

12.7.1 Klíčové ukazatele výkonnosti procesu (KPI)

- výdaje
- čas potřebný pro měření kvalitativních parametrů

- čas potřebný pro úpravu kvalitativních parametrů
- spolehlivost akvaponického systému

Spolehlivost nedodrží SMART principy, a proto je nutné ji přesněji definovat:

- četnost kontrol kvalitativních parametrů
- četnost kontrol důležitých zařízení

12.7.2 Ostatní benefity plynoucí z optimalizace procesu

Jedná se především o benefity, které mohou, ale nemusí nastat a bude možné je odhalit až po samotné optimalizaci procesu. Pro rozhodování jsou však klíčové, protože mohou zásadně ovlivnit budoucí vývoj podniku. Nikdy však není možné predikovat všechny vlivy, které bude optimalizace na podnik mít. Jedny z možných benefitů, které může optimalizace procesu přinést, jsou:

- zvýšení efektivity výrobního procesu
- zvýšení šance zaujmout nové investory
- využití optimalizace pro marketingové účely
- možnost prodávat know-how ostatním podnikatelům v oboru

13 NÁVRH VLASTNÍHO ŘEŠENÍ OPTIMALIZACE

Na základě požadavků zákazníka a nalezených nevýhod ve stávajícím procesu je vhodné provést jeho reengineering. V nově navrženém procesu budou využity technologie používané v rámci IoT. Jsou schopné nahradit většinu manuální práce v rámci podpůrného procesu, zvýšit přesnost i četnost měření a úprav kvalitativních parametrů v akvaponickém systému a zároveň častěji kontrolovat důležitá zařízení nezbytná pro fungování systému, a tak zvýšit jeho celkovou spolehlivost.

Na základě požadavků zákazníka budou v nově vzniklém řešení kontrolovány i kvalitativní parametry vzduchu a světla, které jsou nezbytné zejména pro správný růst rostlin. Nově vzniklé řešení také rozšíří to původní o management zařízení v akvaponickém systému, jako jsou vodní čerpadla nebo vzduchovací motory.

13.1 INTERNET OF THINGS

„Internet věcí je síť, která spojuje jednoznačně identifikovatelné „věci“ k internetu. „Věci“ mají schopnost snímat/ovládat a jsou programovatelné. Prostřednictvím využití jedinečné identifikace a snímání mohou být shromažďovány informace o „věci“ a stav věci lze měnit odkudkoliv, kdykoliv a pomocí čehokoliv.“ [33]

Jedná se o dynamickou globální síť „věcí“, napojených na již existující síťovou infrastrukturu, která jim umožňuje vzájemné propojení a komunikaci pomocí standardizovaných komunikačních protokolů. „Věc“ je fyzický nebo virtuální, neživý objekt, který má potřebný HW a SW, jenž umožňuje propojení a sdílení dat s ostatními „věcmi“. Uživatelům a „věcem“ je tak umožněno vzdáleně přes internet kontrolovat a zjišťovat informace od ostatních napojených „věcí“. Typickými charakteristikami IoT jsou [34]:

- **Propojení** – v rámci IoT může být cokoli propojeno s globální informační a komunikační infrastrukturou.
- **Heterogenita** – připojená zařízení mají zpravidla rozdílný typ HW a SW, i přesto jsou mezi sebou schopna komunikovat.
- **Připojení** – připojení umožňuje přístup k síti a vzájemnou kompatibilitu připojených „věcí“.
- **Dynamické změny** – stavy připojených „věcí“ se v čase dynamicky mění.
- **Bezpečnost** – jelikož jsou „věci“ připojené k internetu, je nutné dbát na hrozby, které se v rámci internetu vyskytují, a zabezpečit pohyb dat na síti a samotná koncová zařízení.

Vše začíná zapojením „věcí“ do sítě a sběrem dat z okolí, které jsou následně posílány přes síť na jiná zařízení, na kterých jsou data analyzována. Na základě analýzy dat jsou poté provedeny akce přinášející užitnou hodnotu.

Při návrhu každého IoT systému je důležité si uvědomit, že data které jsou získávána, musí mít vyšší užitnou hodnotu než náklady na jejich samotný sběr, analýzu a správu. Celý koncept IoT je tady postavený na získávání, sdílení, vyhodnocování a využití dat. Přiřazením významu k datům vznikají informace a zasazením informací do kontextu následně znalosti, které lze aplikovat na reálné problémy. Na základě získaných znalostí mohou IoT systémy činit rozhodnutí a autonomně provádět naprogramované činnosti.

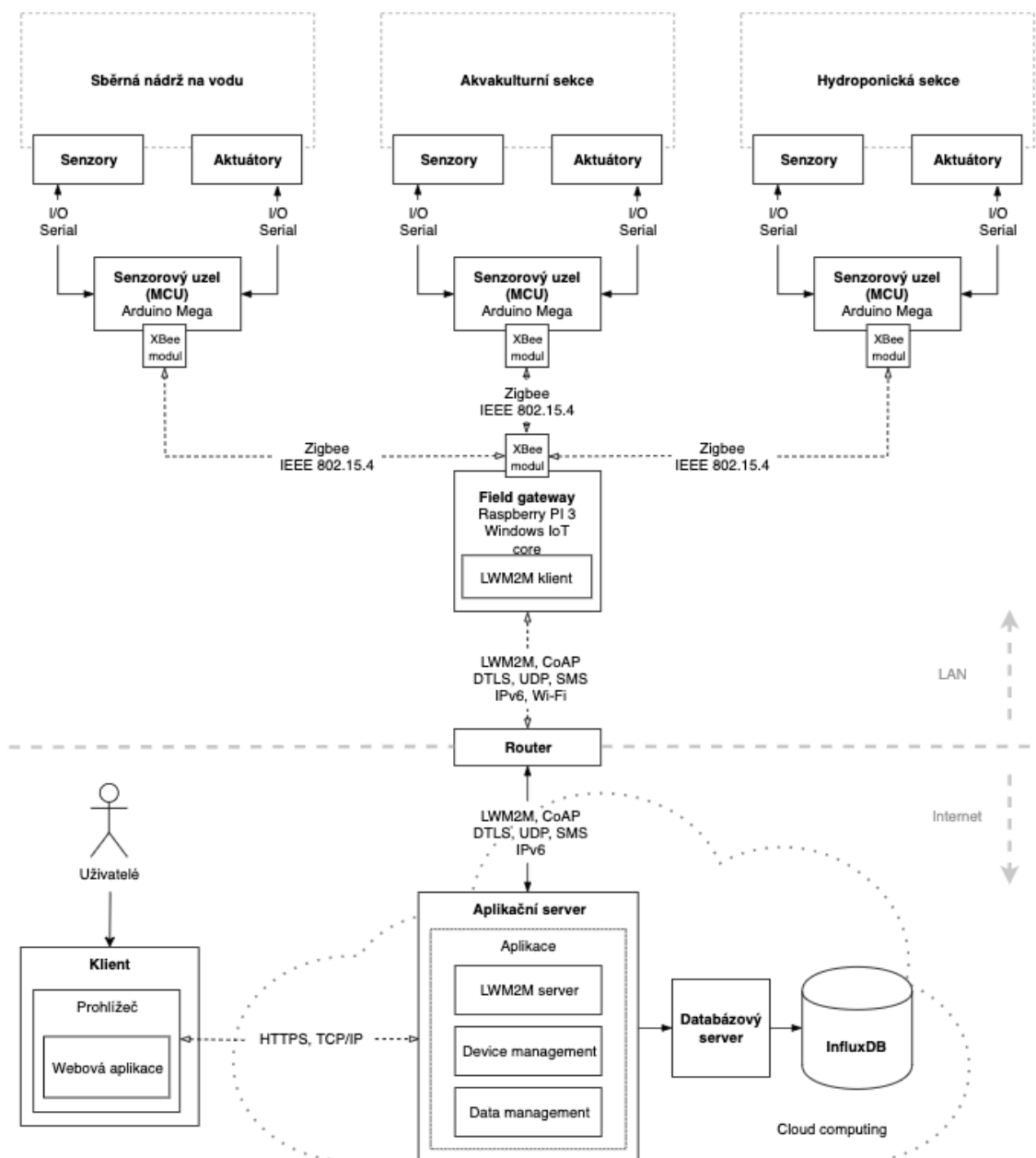
IoT má mnoho využití jak v průmyslovém, tak spotřebitelském segmentu. Nachází uplatnění například v dopravním a energetickém průmyslu, zdravotnictví nebo chytrých domácnostech. V rámci této práce ho využiji pro návrh automatického monitoringu a správy kontroly podmínek a zařízení v akvaponickém systému.

13.2 Architektura IoT systému

Architektura IoT systému se skládá ze tří základních komponent, kterými jsou: HW, MW a SW. HW představuje fyzická zařízení, která generují data, tvoří komunikační i výpočetní infrastrukturu a datová úložiště. MW je programové vybavení, které poskytuje jednotné rozhraní pro aplikace a překrývá heterogenitu samotných aplikací, HW, OS a komunikačních systémů. SW bude v systému využito zejména k analýze dat a aplikaci získaných znalostí.

13.3 Návrh a popis systému v rámci nového řešení

Při návrhu nového systému se budu zabývat především potřebným HW a komunikačními protokoly, které jsou nutné k propojení a komunikaci mezi jednotlivými HW komponentami v systému. Dále se zaměřím na specifikaci základních požadavků na SW, na jejímž základě lze zjistit, jak bude nové řešení fungovat, a zároveň odhadnout přibližnou dobu a cenu jeho implementace. Následující obrázek popisuje architekturu nově navrženého řešení, které bude použito v rámci optimalizace podpůrného procesu [35].



Obr. 20: Návrh nového řešení za pomoci IoT

Výše zobrazená architektura IoT systému je navržena na základě čtyřvrstvé IoT architektury, která se skládá z perceptuální, síťové, podpůrné a aplikační vrstvy.

13.3.1 Perceptuální vrstva

Hlavním úkolem perceptuální vrstvy je snímat hodnoty fyzikálních veličin z okolního prostředí, které je součástí navrženého řešení, a transformovat je na data v digitální podobě, určené k počítačovému zpracování. Jedná se o první a zároveň nejnižší vrstvu architektury, kterou lze rozdělit na dvě podvrstvy [36].

První podvrstva je vrstva okolního prostředí. V této vrstvě se nacházejí objekty, ze kterých senzory získávají data. Konkrétně se jedná o akvaponický systém, který je v návrhu rozdělen na

akvakulturní a hydroponickou sekci a sběrnou nádrž vody. V každé sekci bude IoT systém monitorovat různé podmínky a každá tedy tvoří pro navržený IoT systém samostatnou jednotku vrstvy okolního prostředí [36].

Další vrstva je nazývána hardwarová. V hardwarové vrstvě se nacházejí hardwarové komponenty IoT systému, jako jsou senzory, aktuátory a sensorové uzly [36].

Senzor

Senzor je zařízení, které propojuje fyzický a digitální svět. Jedná se o zařízení schopné detekovat změny vlastností prostředí, ve kterém se nachází. V reálném čase měří fyzikální jevy ze svého okolí a transformuje hodnoty na elektrický signál, který lze dále ukládat a zpracovávat pomocí digitálních technologií. Široká nabídka senzorů umožňuje navrhnout řešení, které zajistí měření všech požadovaných parametrů v akvaponickém systému [37].

Aktuátor

Aktuátor neboli akční člen je v podstatě opakem senzoru. Přijímá elektrický signál ze systému, na jehož základě vykoná fyzickou akci, která ovlivňuje objekty v jeho vrstvě okolního prostředí [22].

Data ze senzorů jsou posílána do kontrolního prvku, který data vyhodnocuje a reaguje vysláním signálu do aktuátorů. Pomocí senzorů a aktuátorů tak lze monitorovat hodnoty kvalitativních parametrů akvaponického systému, reagovat na jejich změny a případně parametry upravit na požadovanou hodnotu. Všechny senzory a aktuátory jsou v návrhu pomocí vodičů napojeny do mikrokontrolérů (MCU), které tvoří tzv. sensorové uzly.

Senzorový uzel

Senzorový uzel je MCU zařízení, které poskytuje fyzické rozhraní pro napojení senzorů a aktuátorů. Obsahuje embedded programy, díky kterým je schopno kontrolovat stav připojených komponent, vysílat řídicí signály do aktuátorů, shromažďovat data ze senzorů a filtrovat data tak, aby se dále neposílala stejná data do jiných zařízení, která je dále zpracují, neboť by se zbytečně zahlcovala síť. Samotný sensorový uzel většinou nemá dostatečný výkon ani paměť, aby data zpracoval lokálně. Ve většině případů provádí pouze jednoduché výpočty předtím, než data sdílí s ostatními komponentami v síti [38].

Na každou akvaponickou sekci náleží právě jeden sensorový uzel, na který jsou pomocí sériových sběrnic jako SPI nebo I2C napojeny všechny senzory a aktuátory pro danou sekci. Spolu s připojenými senzory a aktuátory tvoří v návrhu fyzicky samostatnou jednotku, která s ostatními komponentami v IoT systému komunikuje bezdrátově. Takové řešení podpoří modulárnost IoT systému, ke kterému lze připojit novou jednotku pomocí dalšího sensorového uzlu a k němu

nápojených senzorů a aktuátorů. Zároveň je snížena hrozba poškození fyzického vodiče, který by vedl ze všech sensorových uzlů do gateway. Komunikaci mezi sensorovými uzly a gateway, další komponentou v systému, ke které jsou všechny uzly napojené, zprostředkovávají bezdrátové moduly Xbee, které lze snadno připojit k sensorovým uzlům i ke gateway. Komunikace mezi jednotlivými komponentami v systému patří do síťové vrstvy, tedy další vrstvy IoT architektury navrhovaného řešení.

13.3.2 Síťová vrstva

Hlavní odpovědností síťové vrstvy je zprostředkovat zabezpečený přenos dat mezi perceptuální a aplikační vrstvou. V rámci návrhu i mezi perceptuální a podpůrnou vrstvou. Zajišťuje komunikaci mezi jednotlivými komponentami v IoT systému. Stará se o zpracování dat z perceptuální vrstvy, dále o adresaci síťových komponent, směrování dat po síti, zabezpečení přenosu dat a o detekci a opravu chyb při komunikaci [36].

Xbee

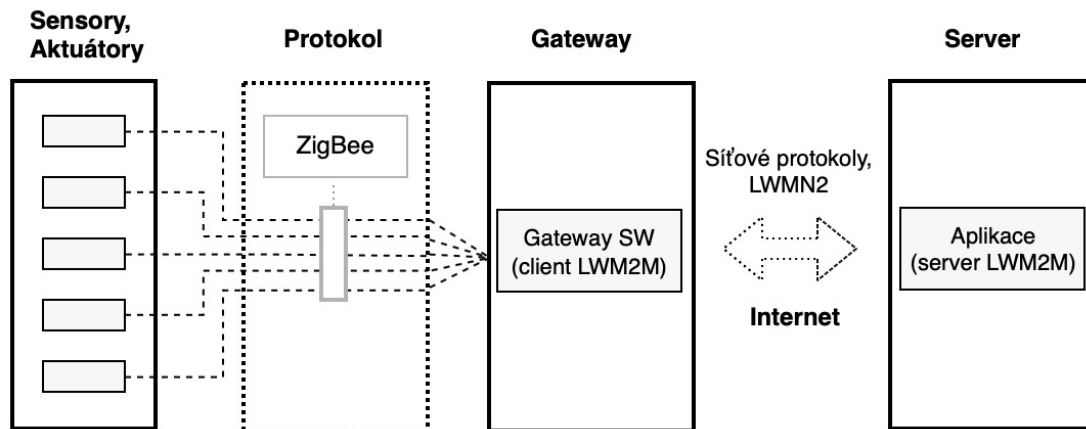
O bezdrátovou komunikaci mezi sensorovými uzly a gateway se v rámci návrhu stará bezdrátový modul Xbee. Xbee je rodina bezdrátových zařízení, která při komunikaci používá různé komunikační frekvence a liší se dosahem i používanými protokoly. V tomto návrhu slouží jako prostředník (router) pro komunikaci mezi senzory, aktuátory a koordinátorem (gateway) v rámci sítě se stromovou topologií. Xbee moduly mezi sebou komunikují pomocí komunikačního protokolu pro bezdrátovou komunikaci ZigBee [39].

ZigBee

ZigBee je open-source protokol pro bezdrátovou komunikaci, založený na standardu IEEE 802.15.4. Je oficiálně schválený jako mezinárodní standard organizací IEEE. Oproti ostatním WPAN protokolům jako Wi-Fi nebo Bluetooth je mnohem jednodušší. Byl záměrně vytvořený pro nízkovýkonová zařízení, jako jsou použité senzory, která přenášejí pouze malé množství dat. Vyznačuje se jednoduchou implementací protokolů s minimálními požadavky na paměť i HW a nízkou spotřebou energie. Počítá se tak i s případným bateriovým pohonem. Přenos dat je zabezpečen pomocí asymetrického šifrování se 128bitovým klíčem. Přenosová rychlost je v rámci EU, kde pracuje, v pásmu 868 MHz, 20 kbit/s. Protokol je vhodný zejména pro přerušovaný přenos menšího objemu dat, tedy i pro senzory a komponenty v akvaponickém systému, které budou posílat malý objem dat v určitých časových intervalech. Přenos dat je kvůli nízké spotřebě energie omezen na 10–100 m, v závislosti na výkonu a charakteristikám prostředí. Jelikož se akvaponický systém rozkládá pouze na malé ploše zhruba 150 m², je tato vzdálenost plně dostačující. Vzdálenost lze případně zdvojnásobit přidáním dalšího uzlu, který komunikuje

pomocí ZigBee. Jak již bylo zmíněno, XBee slouží ke komunikaci mezi sensorovými uzly a gateway [40].

Gateway



Obr. 21: Způsob propojení lokálních zařízení se vzdáleným serverem

IoT gateway je hardwarové zařízení nebo software. V návrhu slouží jako spojovací bod mezi LAN a internetem a prochází přes něj veškerá komunikace. Chová se tedy jako router. V celém návrhu hraje klíčovou roli, protože vytváří IoT řešení poskládané ze senzorů, aktuátorů, sensorových uzlů a protokolů, které v tomto případě samy o sobě „nejsou IoT“. Bez gateway totiž nejsou připojeny k internetu. Existují samozřejmě i senzory, aktuátory atd., které lze k internetu připojit napřímo bez použití gateway, ovšem jejich cena je několikanásobně vyšší a jejich funkcionality není zpravidla tak komplexní, jak ji poskytuje gateway. Gateway v systému vykonává základní funkce jako [41][42]:

- připojení LAN k internetu
- překlad protokolů a datový můstek (tedy schopnost přenášet data mezi systémy, které komunikují pomocí různých komunikačních protokolů a datových formátů)
- agregace, filtrace a zpracování dat ze senzorů a jiných zařízení
- oboustranné zabezpečení komunikace mezi koncovými zařízeními v LAN a aplikačním serverem

Novější gateway jsou dnes velmi všestranné a v rámci návrhu tak umožňují vytvořit další, tzv. podpůrnou vrstvu.

13.3.3 Podpůrná vrstva

Podpůrná vrstva se v návrhu nachází na pomezí síťové a aplikační vrstvy a zahrnuje tzv. fog computing.

Fog computing

Fog computing je typ architektury, ve které jsou umístěny výpočetní, úložné a síťové služby na tzv. edge zařízení, kterým je v tomto případě gateway. Používá se v systémech, ve kterých je výhodnější jmenované služby využívat přímo v rámci lokální sítě, aniž by se data musela posílat přes internet na server a zpět, což by pro určité aplikace mohlo znamenat příliš dlouhou latenci při čekání na odpověď serveru. Používá se proto například tehdy, pokud systém pracuje v reálném čase nebo neexistuje dostatečně rychlé připojení k internetu, případně by systém při jeho výpadku nefungoval. Tím, že se zpracování dat provádí lokálně, lze dosáhnout nižší latence, nezávislosti na internetovém připojení a vyšší spolehlivosti i bezpečnosti přenosu dat [35].

Architektura tohoto systému je navržena jako hybrid, kombinující fog computing a funkcionality vzdáleného serveru. Fog computing je použit zejména proto, aby řešení pro samotnou kontrolu akvaponického systému fungovalo nezávisle na internetovém připojení, a pro filtrování dat směřovaných na server. Server nachází v návrhu využití spíše v aplikační než v podpůrné vrstvě. Slouží zejména pro ukládání, zpracovávání a sdílení dat ze systému pomocí zařízení připojeného k internetu a pro vzdálené ovládání systému přes webovou aplikaci na straně uživatele.

IoT gateway v návrhu funguje jako platforma, na které bude nasazena aplikace zajišťující funkcionality v rámci fog computingu. V návrhu se stará o automatizaci kontroly akvaponického systému, tak aby mohl fungovat i bez připojení k internetu. Gateway zajišťuje následující funkcionality [15, 16]:

- pravidelná vyhodnocování hodnot kvalitativních parametrů v akvaponickém systému na základě hodnot získaných ze senzorů
- spouštění a vypnutí aktuátorů, pokud je potřeba upravit hodnoty měřených parametrů přesahující stanovenou mez
- kontrola a řízení vodních čerpadel a vzduchování; zapnutí náhradního zařízení při výpadku hlavního zařízení
- posílání dat o změnách stavu připojených zařízení a měřených kvalitativních parametrů na server
- rozhraní pro ovládání aktuátorů a získávání dat z akvaponického systému pro aplikace na serveru

- cachování, agregace a filtrace dat ze senzorů před jejich odesláním na server
- dočasné ukládání naměřených dat v případě výpadku spojení se serverem
- zajištění integrity sítě a systému v obou směrech komunikace
- notifikace při výpadku elektrické energie a přechodu na náhradní zdroj

Ačkoliv gateway zajišťuje základní funkce nezbytné pro automatické řízení akvaponického systému, je nutné připojit celý systém k internetové síti tak, aby mohl posílat a přijímat data ze serveru a naplňovat požadavky zákazníka na optimalizaci výrobního procesu.

Stejně tak, jako jsem zvolil komunikační protokol ZigBee pro komunikaci v rámci lokální sítě, je nutné zvolit vhodný komunikační protokol pro komunikaci mezi gateway a serverem na internetu. Pro tento účel jsem vybral komunikační protokol LWM2M, který v navržené architektuře patří do síťové vrstvy.

LWM2M

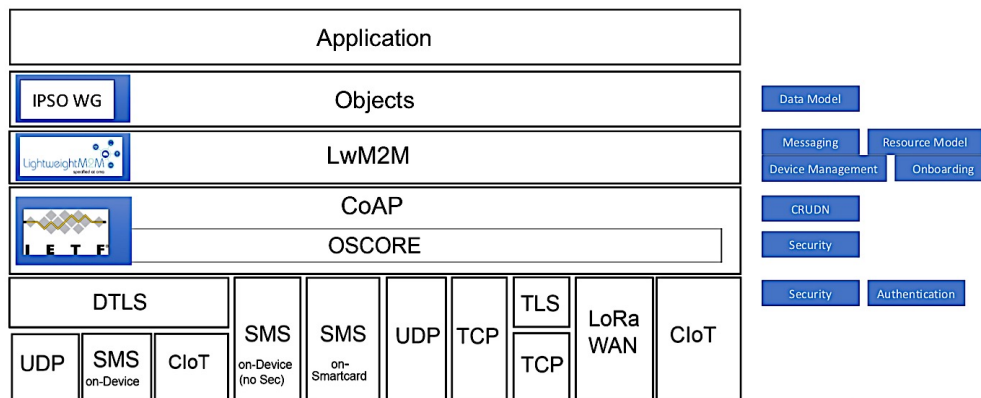
LWM2M je komunikační protokol od OMA, kombinující technologie, které poskytují vhodný standard pro IoT řešení. Je určený pro nízkoenergetické zařízení a implementace zahrnující edge komponenty, jako je IoT gateway v navrhovaném řešení. Pro návrh je vhodný, protože umožňuje přenos dat získaných ze senzorů, vzdálené ovládání a správu M2M a nabízí tyto další funkcionality [43][44]:

- bootstrapping a vzdálená konfigurace připojených zařízení
- vzdálený update firmware
- diagnózu připojených zařízení (např. stav baterie, nebo paměti)
- registrace klientů
- sledování konektivity mezi zařízeními
- reportování o stavu připojených zařízení

Díky těmto funkcionalitám lze na server nasadit aplikaci, která bude uživatele informovat o stavu jednotlivých zařízení a kvalitativních parametrů, o výpadku elektrického proudu nebo přerušení komunikace mezi serverem a gateway.

Design architektury LWM2M je založený na architektuře REST. Jedná se tak o bezstavový klient-server protokol umožňující základní manipulaci s daty CRUDN. Definiuje rozšiřitelný zdrojový a datový model. Nabízí standardy pro datové typy ze senzorů jako teplota, tlak a mnoho dalších. Stejně tak i standardy pro typické funkce správy zařízení [43][44].

Komunikace se odehrává mezi LWM2M klientem a LWM2M serverem. Klient je v navrženém systému umístěn na gateway a server na vzdáleném aplikačním serveru. Spolu budou komunikovat pomocí LWM2M protokolu a protokoly, nad kterými je postaven.



Obr. 22: Protokolový zásobník [43]

LWM2M je obvykle implementován jako nadstavba protokolu CoAP, který používá buď UDP, nebo TCP. Nabízí zabezpečení podle designu CoAP over UDP, resp. TCP. Při použití UDP je komunikace chráněna pomocí DTLS [43][44]. Pomocí protokolu LWM2M bude gateway připojena k aplikačnímu serveru, který v návrhu spadá do aplikační vrstvy.

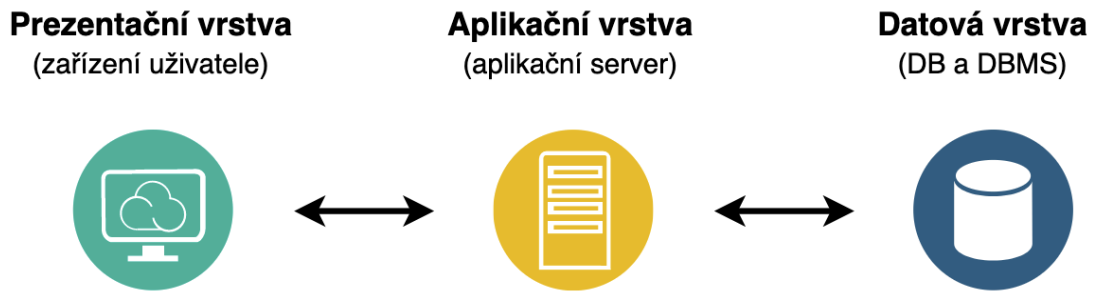
13.3.4 Aplikační vrstva

Aplikační vrstva tvoří vrchní vrstvu v navržené architektuře. Hlavním úkolem aplikační vrstvy je vyplnit mezeru mezi uživatelem a IoT systémem a poskytnout mu služby, které využívají získaná data ze systému a naplňují potřeby uživatele. Hlavní komponentou v aplikační vrstvě je aplikační server, který poběží spolu s ostatními komponentami jako databáze, DNS a mailový server na virtuálním serveru v rámci služby aplikačního hostingu [14].

Architektura samotné serverové části je založena na třívrstvé architektuře, která poskytuje vhodné prostředí pro webovou aplikaci, pomocí které je uživatel propojen s IoT systémem.

Třívrstvá architektura

Třívrstvá architektura se skládá z prezentační, aplikační a datové vrstvy, jak ukazuje schéma na obr. 23 níže [46].



Obr. 23: Schéma třívrstvé architektury

- 1. Prezentační vrstva.** Hlavní účelem prezentační vrstvy je zprostředkování komunikace mezi uživatelem a aplikační vrstvou prostřednictvím uživatelského rozhraní zobrazovaném na webovém prohlížeči, na kterém lze zobrazovat stav systému, historická data a statistiky a ovládat připojená zařízení.
- 2. Aplikační vrstva.** V aplikační vrstvě se nachází aplikační server, který zajišťuje služby spojené s provozem nasazené aplikace. Aplikace spolu s infrastrukturou na které je nasazena zajišťuje veškerou business logiku, která naplňuje požadavky zákazníka:

 - zobrazení dat ze senzorů a informací o stavu připojených zařízení
 - vzdálené ovládání připojených aktuátorů a správa gateway
 - zpracovávání, vyhodnocování a ukládání získaných dat
 - zobrazování historických dat o stavu akvaponického systému
 - zprostředkování komunikace s databází
 - posílání SMS a e-mailových notifikací o změnách stavu v akvaponickém systému
 - zajištění autorizace a autentifikace uživatele
- 3. Datová vrstva.** V datové vrstvě se nachází DB a také DBMS, které tvoří rozhraní mezi aplikací a DB. Umožňuje aplikaci získávat data z DB, zajišťuje integritu dat, autentizaci, autorizaci a spouštění uložených databázových procedur a triggerů. Jako databázi jsem zvolil open-source databázi InfluxDB, která je vhodná pro rychlé ukládání a analýzu time-series dat v reálném čase, která jsou typická právě pro IoT senzory. InfluxDB lze propojit s open-source softwarem Grafana, který v mém řešení poslouží jako nástroj pro monitorování a analýzu získaných dat.

Aplikační hosting

Jelikož zákazník nemá potřebnou infrastrukturu, na které by mohla běžet webová aplikace, ani zaměstnance, kteří by ji spravovali, rozhodli jsme se pro tento projekt využít služeb aplikačního hostingu.

Aplikační hosting je služba, která za poplatek poskytuje škálovatelné a cenově efektivní výpočetní prostředky pro běh aplikace na virtuálním privátním serveru, o jehož správu se stará firma, která službu nabízí. V rámci toho si zákazník může zvolit např. kolik potřebuje jader CPU, paměti RAM, prostoru na disku a jiné vlastnosti virtuálního privátního serveru. Cena služby závisí na potřebách výsledné aplikace. Konfigurace virtuálního serveru pro podobné webové aplikace, jako je ta v navrhovaném řešení, se pohybuje zhruba kolem 1 000 Kč/měsíc, což je pro firmu, která se nezabývá IT, výrazně levnější než nákup a správa vlastní IT infrastruktury. O konfiguraci serverů, databáze a nasazené aplikace se může vzdáleně starat programátor, který aplikaci vytvoří, případně jiná osoba.

13.4 Měření kvalitativních parametrů

Pro měření každého z jednotlivých kvalitativních parametrů je vždy použit příslušný IoT senzor napojený na senzorový modul.

13.5 Úprava kvalitativních parametrů

Způsob úpravy kvalitativních parametrů se liší podle každého z parametrů. Způsob úpravy kvalitativních parametrů v navrženém systému ukazuje následující tabulka 7.

Výměnu, odčerpání a napouštění vody bude systém provádět pomocí elektromagnetických vodních ventilů, přímo napojených na přívod a odtok vody, které mají určitý průtok vody za jednotku času, takže je možné kontrolovat průtok přesného množství vody. Budou otevírány a zavírány pomocí relé, pomocí kterého budou spouštěny i ostatní aktuátory v systému. Úprava pH vyžaduje přimíchání speciálních roztoků do nádrže s vodou. Pro tento účel budou použity dvě nádoby s roztoky pH+ a pH-, ze kterých se bude roztok do nádrží čerpat pomocí miniaturních, peristaltických, vodních čerpadel, které umožňují přesné dávkování roztoku.

Tab. 7: Způsob úpravy kvalitativních parametrů v navrženém systému

Parametr	Stav	Způsob úpravy
Amoniak, dusitan, dusičnan, EC	Nadbytek	Výměna části vody (zředění vody v nádržích)
	Nedostatek	Neupravuje se
Rozpuštěný kyslík	Nadbytek	Vypnutí hlavního i pomocného vzduchování
	Nedostatek	Zapnutí pomocného vzduchování
pH	Příliš vysoké	Přidání pH- roztoku
	Příliš nízké	Přidání pH+ roztoku
Teplota vody	Příliš vysoká	Zapnutí vodního chlazení/výměna vody
	Příliš nízká	Zapnutí ohřívače vody/výměna vody
Výška hladiny	Nadbytek vody	Odčerpání části vody
	Nedostatek vody	Přilítí nové vody
Alkalinita	Příliš vysoká	Neupravuje se (pouze notifikace)
	Příliš nízká	Neupravuje se (pouze notifikace)
CO ₂	Nadbytek	Spuštění ventilace
	Nedostatek	Spuštění generátoru CO ₂
Vlhkost	Příliš vysoká	Spuštění ventilace
	Příliš nízká	Spuštění zvlhčovače vzduchu
Teplota vzduchu	Příliš vysoká	Spuštění klimatizace
	Příliš nízká	Spuštění horkovzdušného ventilátoru
PAR	Příliš vysoké	Neupravuje se
	Příliš nízké	Zapnutí pomocného osvětlení

13.6 Management vodních čerpadel a vzduchování

Vodní čerpadla a vzduchování budou spouštěny pomocí relé, případně, pokud to bude vhodné, napojením MCU přímo k jejich řídicí jednotce. Kontrola jejich funkčnosti bude probíhat dvěma způsoby. První způsob je připojení proudového senzoru k vodiči, aby se zjistilo zda do zařízení teče proud ze zdroje. Druhý způsob kontroly spoléhá na to, že obě zařízení produkují poměrně silný proud vody, který lze měřit pomocí senzorů vodního toku. Tím je zajištěno, že pokud do zařízení teče elektrický proud, ale je poškozené, tak lze tento stav detekovat, zapnout náhradní zařízení a poslat notifikaci o stavu zařízení.

13.7 Kontrola stavu senzorů a ostatních aktuátorů

13.7.1 Kontrola senzorů

Funkčnost senzorů lze ověřit jednoduše tak, že bude SW kontrolovat, zda posílají naměřené hodnoty. U senzorů časem dochází k jejich opotřebování, a tak ztrácejí svoji přesnost měření. Po instalaci senzorů je nutné všechny senzory kalibrovat a ověřit jejich správnou funkčnost pomocí

jiných zařízení, které dokáží změřit stejné parametry. V provozu je pak vhodné stejným způsobem pravidelně ověřovat, zda senzory stále měří správně. Problém s funkčností senzorů lze zjistit i tak, že senzor nebude adekvátně reagovat na úpravu měřených parametrů. Adekvátní reakci senzorů je možné zjistit z historických dat měření před a po úpravě parametru.

13.7.2 Kontrola stavu aktuátorů

Elektromagnetický ventil a peristaltické vodní čerpadlo

Kontrola těchto zařízení bude probíhat pomocí senzorů toku vody, umístěných u ústí ventilů resp. na konci hadice vodní pumpy, jelikož při každém jejich spuštění se v jejich blízkosti zvýší průtok vody.

Zařízení pro ohřev a chlazení vody a vzduchu

Zařízení pro ohřev a chlazení vody budou kontrolovány pomocí teploměrů vody resp. vzduchu, umístěných v jejich blízkosti a senzorů průtoku elektrického proudu mezi zařízením a zdrojem.

Generátor CO₂

Funkčnost generátoru CO₂ bude kontrolována pomocí senzorů průtoku elektrického proudu a senzoru CO₂ umístěném v jeho blízkosti.

Osvětlení

Kontrola osvětlení bude probíhat manuálně, zejména z toho důvodu, že osvětlení se skládá z několika desítek lamp a není vhodné kontrolovat každou zvlášť pomocí senzorů.

13.8 Výběr základních zařízení

13.8.1 Senzory

Při výběru senzorů pro navrhovaný akvaponický systém je nutné brát ohled na několik kritérií [47]:

- **Přesnost** – udává maximální rozdíl mezi skutečnou hodnotou a hodnotou ze snímače senzoru. Lze ji vyjádřit jako procento z plného rozsahu nebo jako absolutní hodnotu. Měření hodnot v akvaponickém systému vyžaduje určitou přesnost. Je proto nutné tuto přesnost při výběru senzoru dodržet, ale nemá cenu kupovat senzor s vyšší než požadovanou přesností, protože je zpravidla i několikanásobně dražší.
- **Rozsah** – udává minimální, resp. maximální hodnotu, kterou je schopen senzor změřit.
- **Doba odezvy** – udává čas potřebný k tomu, aby se výstup ze senzoru změnil z předchozího stavu na novou ustálenou hodnotu.

- Životnost
- Cena²
- Dodavatel³

Tab. 8: Hodnoty základních kritérií u použitých senzorů

Senzory	Přesnost	Rozsah	Odezva [s]	Životnost [rok]
DO	± 0,2 mg/L (< 10 mg/L) ± 0,4 mg/L (> 10 mg/L)	0 ~ 20 mg/L	± 40	1 *
Amoniak	± 10 %	1–18 000 mg/L	?	1 *
Dusitan	0.4 ppm	0.5 ppm – 4600 ppm	?	?
Dusičnan	± 10 %	1–10 000 mg/L	?	1 *
pH	± 0,2	0 ~ 14	?	5
EC	1 % z rozsahu	0 - 20 000 µS/cm,	15	5
Teplota vody	± 5 °C (-85 °C - +85 °C)	-55 °C ~ 125 °C	< 0.75	?
Výška hladiny	0 ~13 mm	?	< 0.5	?
Proudění vody	± 5 % (při 2–30 l/min)	1 ~ 30 l/min	?	?
CO ₂	± (50 ppm + 3 % čtení)	0 ~ 5000 ppm	120	> 5
Vlhkost vzduchu	± 2 RH (10... 90 % RH)	0 ~ 100 % RH	< 4	?
Teplota vzduchu	± 0,3 °C (25 °C)	-40 °C ~ 128.8 °C	< 4	?
PAR	± 5%	0 to 2000 µmol m ⁻² s ⁻¹	?	5
Elektrický proud	?	20 A	?	?

Legenda:

- ? Prodejce senzoru tento parametr neudává. Doba životnosti lze částečně odhadnout na základě podobných senzorů s podobnou cenou, ale od jiných výrobců. U senzoru dusitanu se doba životnosti běžně pohybuje okolo jednoho roku (resp. jeho elektrody), u ostatních senzorů zhruba okolo 5 let.
- * V průměru jednou za rok je nutné vyměnit elektrodu. Životnost samotného senzoru je 5 let.

² Cena senzoru v navrhovaném řešení je uvedena v příloze této práce (viz příloha 1).

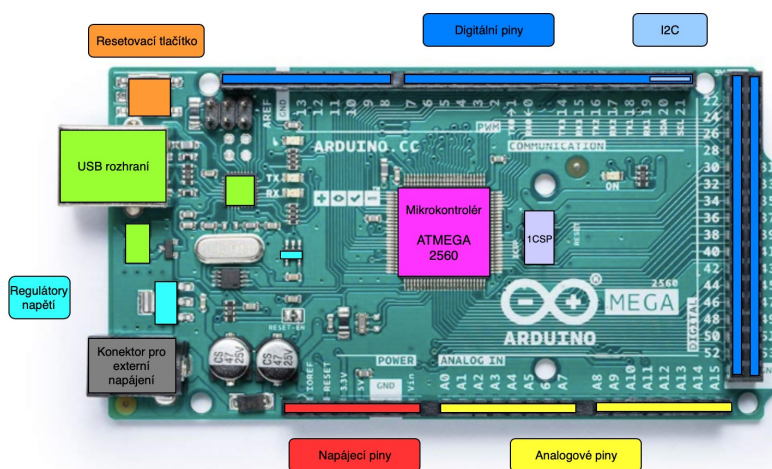
³ Dodavatel senzoru v navrhovaném řešení je rovněž uveden v příloze této práce (viz příloha 1).

13.8.2 Aktuátory

Většinu dražších aktuátorů, jako je vodní čerpadlo nebo osvětlení, si chce majitel akvaponického systému vybrat sám nebo je již zakoupena. Výjimku tvoří levnější z aktuátorů, a to peristaltické vodní čerpadlo. Aktuátory bude možné ovládat pomocí relé nebo připojením sensorového uzlu na řídicí jednotku aktuátorů.

13.8.3 Sensorový uzel

Jako sensorový uzel jsem vybral open-source vývojovou desku od Arduino, konkrétně Arduino Mega 2560.

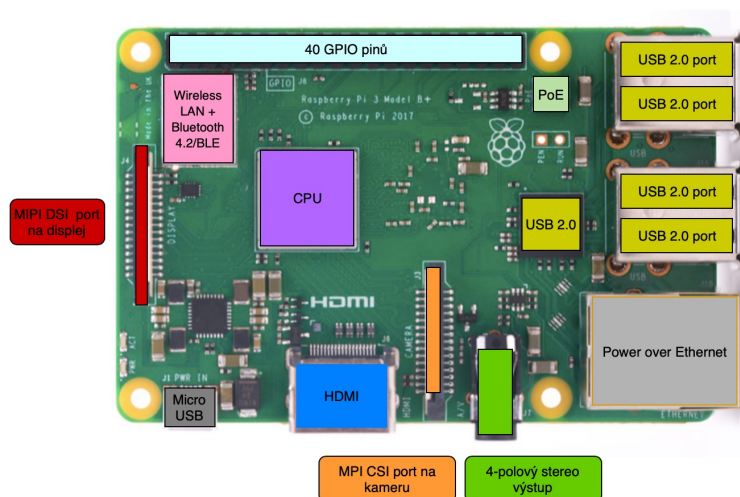


Obr. 24: Popis základních komponent Arduino Mega 2560 [48] (upraveno)

Arduino je jednodeskový počítač založený na programovatelném mikrokontroléru. Na mikrokontroléru běží řídicí program vyvinutý v IDE na PC, který je do Arduino nahrán přes USB. Arduino se používá zejména pro hardwarově orientované projekty. Běžně se používá i pro podobné projekty, jako je tento. Deska se skládá ze samotného mikrokontroléru, paměti, časovače, I/O analogových a digitálních pinů, napájecího konektoru a dalších komponent, které umožňují čtení dat ze sensorů, ovládání aktuátorů, provádění výpočtů na získaných datech, jejich odesílání a přijímání kontrolních dat z jiných zařízení. S ostatními zařízeními může komunikovat pomocí různých komunikačních protokolů díky přídatným modulům, které lze k desce jednoduše připojit. Existuje mnoho typů Arduino, které se od sebe liší například počtem pinů, velikostí paměti a použitým mikrokontrolérem. Pro tento projekt jsem zvolil typ Arduino Mega, který má dostatečný výkon, paměť a počet pinů pro připojení použitých sensorů a aktuátorů. Pokud by v budoucnu výkon Arduino nestačil, lze do navrženého systému díky jeho modulárnosti jednoduše dokoupit a připojit nové, které pokryje potřebnou část výkonu [48].

13.8.4 Gateway

Gateway poběží na malém, open-source jednodeskovém počítači Raspberry Pi 3B+, který má svůj operační systém a jeho výkon je srovnatelný se slabším desktopovým PC.



Obr. 25: Popis základních komponent Raspberry Pi 3B+ [49] (upraveno)

Na rozdíl od Arduina se Raspberry používá spíše na softwarové projekty, i když má několik GPIO pinů, které mu umožňují ovládat i hardwarové zařízení. Oproti Arduinu má výkonnější mikroprocesor, vyšší paměť, běží na něm operační systém a obsahuje rozhraní jako USB 2.0, HDMI, Micro USB, PoE aj. Další odlišností od Arduina je, že Raspberry umožňuje spustit více komplexních programů najednou, které lze naprogramovat v různých jazycích [50].

13.8.5 Relé modul



Obr. 26: 8kanálový relé modul [51]

Relé je elektromagnetický spínací prvek, který po přivedení napětí na jeho cívku spíná nebo rozepíná kontakty v obvodu. Relé tak v návrhu umožňuje například zapnout nebo vypnout vodní čerpadla [52].

13.8.6 Xbee štít + modul

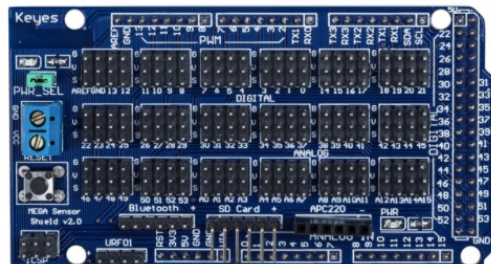


Xbee štít je hotové řešení pro rozšíření funkcionality Arduina. Poskytuje rozhraní pro radiový komunikační modul XBee. Spolu s modulem rozšiřuje funkcionalitu Arduina o bezdrátovou komunikaci. Má charakteristické rozložení konektorů, takže ho není nutné k Arduinu nijak pájet nebo propojovat, stačí ho pouze zapojit na jeho piny [53].

Obr. 27: XBee štít s XBee modulem [53]

13.8.7 Senzorový štít

Senzorový štít je určený k jednoduchému propojení externích modulů, jako jsou senzory, aktuátory aj., s vývojovou deskou Arduino pomocí DuPont konektorů. Na štítu jsou obvykle umístěny všechny I/O piny z Arduina spolu s dalšími piny například pro připojení servomotorů, napájení nebo vyvedení sériových sběrnic [55].



Obr. 28: Senzorový štít pro Arduino Mega [56]

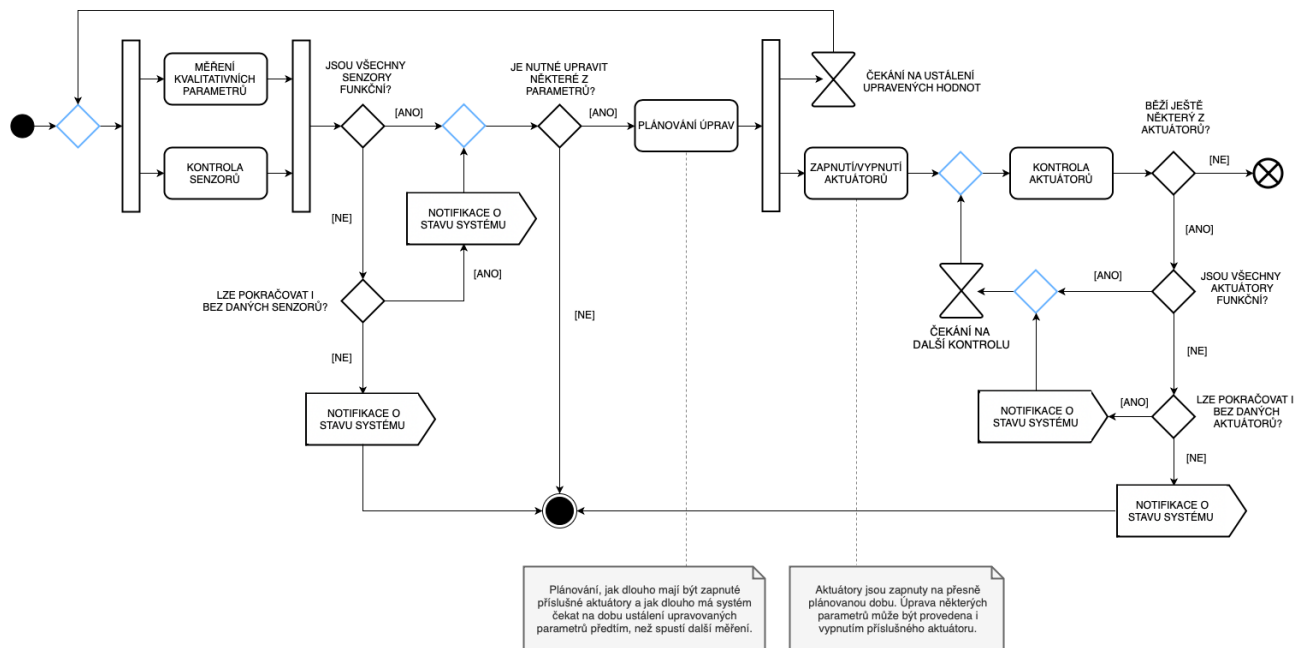
13.8.8 Isolátor signálu

Isolátor signálu zabraňuje vzájemnému rušení mezi jednotlivými senzory pro měření kvalitativních parametrů vody, které jsou umístěné ve stejné nádobě a připojeny ke stejnému zdroji. Některá sensorová čidla, např. čidla pro měření pH nebo elektrické vodivosti, se mohou vzájemně rušit a neposkytovat tak spolehlivá data, proto je nutné mezi tyto senzory a mikrokontrolér umístit izolátor signálu [57].

13.9 Zajištění provozu při výpadku elektrické energie

Podnik je domluvený s majitelem budovy o napojení akvaponického systému na online UPS zařízení, které se nachází přímo v budově. UPS zařízení zajišťuje napojeným elektrickým zařízením souvislou dodávku elektrické energie při výpadku a nevzniká při něm žádná prodleva při přepnutí na záložní zdroj. Obsahuje komunikační rozhraní, do kterého bude připojena gateway z navrženého řešení. Pomocí komunikačního rozhraní informuje UPS gateway o přepnutí na záložní zdroj. Na základě toho může gateway poslat zprávu na aplikační server, který dále notifikuje uživatele webové aplikace o výpadku elektrického proudu. To umožňuje také uložení naměřených dat a bezpečné vypnutí aktuátorů a jiných zařízení, která nejsou za dané situace nutná pro přežití organismů v akvaponickém systému. Energie z UPS tak bude využita pouze na nejdůležitější zařízení, jako jsou vodní pumpy a vzduchování.

13.10 Diagram optimalizovaného procesu



Obr. 29: Diagram optimalizovaného procesu

14 ŘEŠENÍ OD SPECIALIZOVANÉ FIRMY

14.1 Výběr firmy

Jako firmu vhodnou pro řešení daného problému jsem se rozhodl vybrat takovou, která má zkušenosti s podobným projektem a se kterou již v minulosti podnik, pro který tuto práci zpracovávám, navázal kontakt. Majitel podniku potvrdil, že se jedná o vhodnou firmu, která splňuje jeho požadavky a souhlasil s navázáním možné spolupráce.

14.2 Popis firmy

Firma působí na trhu již od počátku osmdesátých let a specializuje se na vývoj a výrobu vlastních řídicích systémů používaných např. pro řízení větrání, vytápění, klimatizace a technologických procesů. Jedná se zejména o volně programovatelné regulátory, které mají komunikační výbavu, jejímž prostřednictvím komunikují např. s PC operátorským pracovištěm, GSM modemem pro odesílání SMS zpráv o poruchách či jiným zařízením vybaveným standardním komunikačním rozhraním. Dále firma provádí veškeré služby spojené s nasazením svých řešení do provozu, jako jsou projekce, dodávka, montáž, nasazování, poradenství a servis.

Firma již v minulosti prováděla podobný projekt kompletní automatizace procesu pro kontrolu podmínek a řízení akvakulturního systému. Její systém zabezpečoval monitoring a ovládání průtočného a recirkulačního systému pro chov ryb, monitoring důležitých zařízení a jističů a dále měření a úpravu kvalitativních parametrů vody a vzduchu (např. pH, teplota vody nebo UV záření).

14.3 Odhad ceny řešení

Po několika konzultacích mezi námi a firmou, během kterých jsme firmě popsali akvaponický systém a požadavky na automatizaci podpůrného procesu (viz 12.5), nám byla schopna na základě našich požadavků a jejich zkušeností s podobným projektem sdělit předběžný hrubý odhad ceny. Cenu akce takového rozsahu a funkcí firma odhaduje na 1 500 000 Kč až 2 000 000 Kč. Cenu servisu a údržby celého systému odhaduje zhruba na 80 000 Kč až 120 000 Kč za rok.

Tab. 9: Odhad ceny jednotlivých částí projektu

Části projektu	Odhad ceny (Kč)
Projektová dokumentace	70 000
Montáže	300 000
Řídicí systém měření a regulace včetně rozvaděče	250 000
PC operátorské pracoviště serverového typu	100 000
Vizualizace procesu, DB pro ukládání trendů, vzdálené ovládání a monitoring	250 000
Snímače hladin, teplot a vlhkostí	50 000
Snímače průtoků	50 000
Snímače ostatních veličin	150 000
Akční členy (topení/chlazení)	20 000
Kooperace s ostatními profesemi	100 000

15 HODNOCENÍ EKONOMICKÉ EFEKTIVNOSTI ŘEŠENÍ

V této kapitole je porovnávána ekonomická efektivnost stávajícího způsobu řešení a obě varianty investic do řešení jeho optimalizace. Závěrem kapitoly tedy bude zjištění, která z možných variant by byla pro podnik nejvýhodnější z ekonomického hlediska. Tento výsledek bude hrát klíčovou roli při rozhodování podniku o jejím výběru, případně při rozhodnutí, zda raději nezůstat u stávajícího způsobu kontroly.

15.1 Výdaje na jednotlivé způsoby řešení

V následujících tabulkách jsou uvedeny jednotlivé položky v horizontu pěti let.

15.1.1 Stávající způsob řešení

Nejvyšší položku výdajů podniku tvoří výdaje na platy zaměstnanců, kteří se v rámci podpůrného procesu kontroly hlavního procesu starají o měření a úpravu kvalitativních parametrů a management zařízení akvaponického systému.

Tab. 10: Výdaje na stávající způsob řešení

Výdaje na stávajícího způsob řešení (Kč)					
Činnosti	1	2	3	4	5
Měření a úprava kvality parametrů	306 684	306 684	306 684	306 684	306 684
Management zařízení systému	76 608	76 608	76 608	76 608	76 608
Vybavení pro měření a úpravu	14 000	14 000	14 000	14 000	14 000

15.1.2 Vlastní řešení

Oproti stávajícímu způsobu tvoří u vlastního řešení nejvyšší výdaj počáteční investice. Naopak výdaje na údržbu řešení v průběhu celé životnosti investice jsou oproti výdajům stávajícího způsobu výrazně nižší.⁴

Tab. 11: Stručný přehled výdajů na vlastní řešení

Výdaje na vlastní řešení (Kč)						
	0	1	2	3	4	5
Výdaje za HW a jeho údržbu	205 844	32 506	50 634	32 506	50 634	32 506
Výdaje za SW vývoj & podpora	420 000	120 000	120 000	120 000	120 000	120 000
Ostatní výdaje	14 000	12 000	12 000	12 000	12 000	12 000

⁴ Podrobnější rozpis výdajů na vlastní řešení lze nalézt v příloze (viz příloha 1).

15.1.3 Řešení specializované firmy

Výdaje na řešení od specializované firmy jsou stanoveny na základě jejího odborného odhadu, který se odvíjí zejména od specifikace našich požadavků na řešení a od předchozích zkušeností s podobným projektem. Jelikož firma odhadla cenu projektu na částku mezi 1 500 000 až 2 000 000 Kč, rozhodl jsem jako počáteční investici zvolit průměr těchto dvou částek. To samé jsem provedl i u nákladů na servis a údržbu systému.

Tab. 12: Výdaje na řešení od specializované firmy

Výdaje na řešení od specializované firmy (Kč)						
	0	1	2	3	4	5
Kompletní řešení	1 750 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000

15.2 Odhad budoucích příjmů z investic do projektů

Jelikož se jedná o projekty optimalizace podpůrného procesu, jejichž hlavním účelem je primárně zajistit kvalitní podmínky pro produkční proces, zvýšit jeho spolehlivost a snížit potřebný čas a náklady oproti stávajícímu podpůrnému procesu, nepřináší pro podnik, podobně jako stávající způsob řešení, žádné příjmy, se kterými lze počítat při hodnocení ekonomické efektivity. Je pravděpodobné, že v budoucnu bude mít optimalizace podpůrného procesu za následek zvýšení produktivity hlavního výrobního procesu, což se pozitivně projeví i na příjmech z prodeje produktů. To však nelze dopředu spolehlivě predikovat.

15.3 Určení podnikové diskontní míry

Podnik bude celou investici do řešení optimalizace financovat pouze z vlastního kapitálu. Po konzultaci s majitelem firmy byla zjištěna podniková diskontní míra na základě toho, kolik by v současné situaci mohl podnik zhruba získat investováním do oportunitní investice. Podniková míra byla majitelem podniku stanovena na 5 %. Jelikož bude investice financována pouze z vlastního kapitálu, není nutné brát v potaz efekt daňového štítu.

15.4 Očekávaná doba životnosti investice

Jedná se o pilotní projekt jehož celková životnost je majitelem podniku odhadnuta zhruba na pět let. Předpokládaná životnost celé investice je tedy 5 let.

15.5 Cash flow jednotlivých řešení

Cash flow jednotlivých řešení optimalizace i stávajícího způsobu se skládá pouze z výdajů. Tabulky, v nichž je cash flow uvedeno, tedy reflektují jejich výdaje.

15.5.1 Stávající způsob řešení

Tab. 13: Cash flow stávajícího řešení

Cash flow stávajícího řešení (Kč)					
	1	2	3	4	5
Měření a úprava kvality parametrů	306 684	306 684	306 684	306 684	306 684
Management zařízení systému	76 608	76 608	76 608	76 608	76 608
Vybavení pro měření a úpravu	14 000	14 000	14 000	14 000	14 000
Celkové CF za období	397 292	397 292	397 292	397 292	397 292
Diskontované CF	378 373	360 356	343 196	326 853	311 289

15.5.2 Vlastní řešení

Tab. 14: Cash flow na vlastní řešení

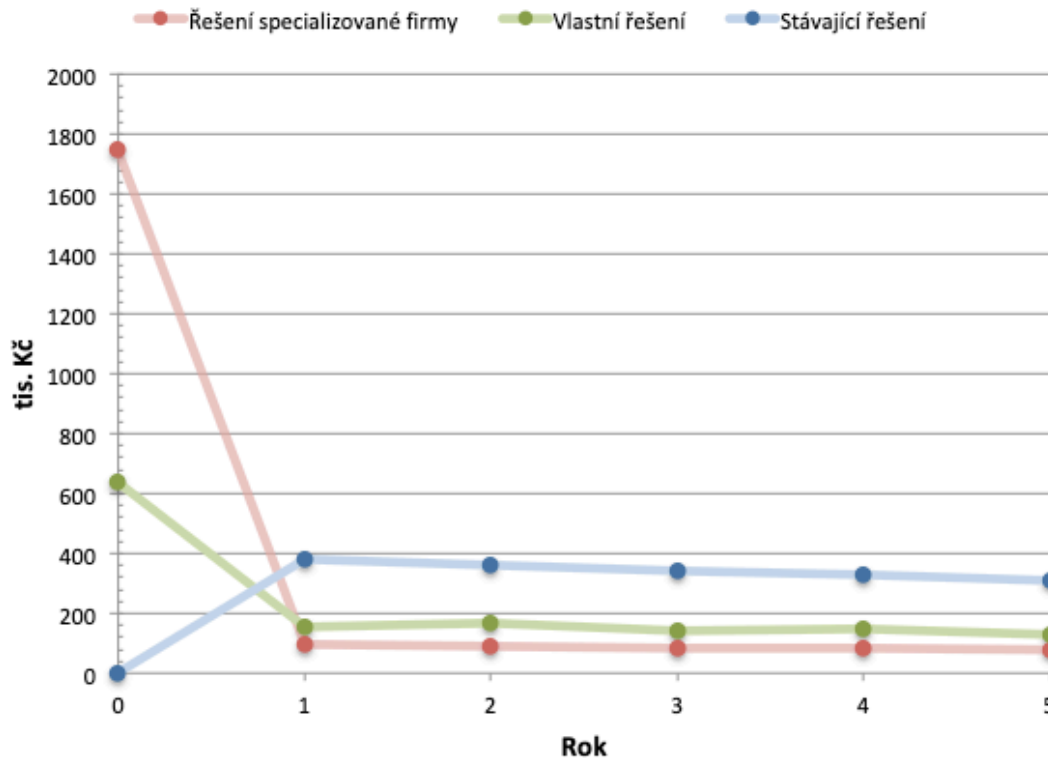
Cash flow vlastního řešení (Kč)						
	0	1	2	3	4	5
Výdaje za HW a jeho údržbu	205 844	32 506	50 634	32 506	50 634	32 506
Výdaje za vývoj SW & podpora	420 000	120 000	120 000	120 000	120 000	120 000
Ostatní výdaje	14 000	12 000	12 000	12 000	12 000	12 000
Celkové CF za období	639 844	164 506	182 634	164 506	182 634	164 506
Diskontované CF	639 844	156 672	165 654	142 106	150 253	128 895

15.5.3 Řešení specializované firmy

Tab. 15: Cash flow řešení specializované firmy

Výdaje na řešení od specializované firmy (Kč)						
	0	1	2	3	4	5
Kompletní řešení	1 750 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000
Celkové CF za období	1 750 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000
Diskontované CF	1 750 000	95 238	90 703	86 384	82 270	78 353

Porovnání diskontovaného CF jednotlivých řešení



Obr. 29: Porovnání diskontovaného CF jednotlivých řešení

15.6 Výběr vhodných metod

Jak již bylo uvedeno v předchozí části práce (viz 15.2), žádná z hodnocených investic nepřináší firmě příjmy, se kterými lze počítat při hodnocení ekonomické efektivity. Investice do jednotlivých projektů optimalizace tak nelze hodnotit pomocí metod jako IRR a obecně metod, u kterých je nutné příjmy znát. Jako jedno z vhodných řešení pro tuto situaci se nabízí použít metodu čisté současné hodnoty (NPV), pomocí které lze porovnávat podobné projekty a zároveň brát v úvahu i časovou hodnotu peněz, která se kvůli podnikem stanovené diskontní míře pro jednotlivé roky investice liší.

15.7 NPV jednotlivých řešení

Tab. 16: Porovnání NPV jednotlivých řešení

NPV (Kč)	
Stávající řešení	- 1 720 066
Vlastní řešení	- 1 383 425
Řešení od specializované firmy	- 2 182 948

Z hlediska NPV se jeví jako nejvýhodnější vlastní řešení optimalizace procesu. Je výrazně levnější než řešení od specializované firmy a oproti stávajícímu způsobu je pro podnik spolu se všemi výhodami, které oproti stávajícímu řešení přináší, výhodnější.

ZÁVĚR

Hlavním cílem práce bylo nalézt vhodné řešení optimalizace podpůrného procesu pro kontrolu podmínek v rámci akvaponického systému podniku, které zautomatizuje dosavadní manuální vykonávání procesu a bude co nejlépe vyhovovat všem požadavkům, které podnik stanovil.

Před samotnou optimalizací procesu jsem nejprve potřeboval pochopit jak funguje samotný akvaponický systém, který podnik vlastní. V rámci toho jsem zkoumal nejen samotný systém, ale také jak funguje hlavní výrobní proces, jaké jsou jeho základní parametry, na čem je závislý a jak s ním souvisí podpůrný proces, který jsem optimalizoval.

Po prozkoumání akvaponického systému jsem se zaměřil na analýzu dosavadního podpůrného procesu. Nejprve bylo nutné sestavit tým, který mi pomůže jak s analýzou současného stavu procesu, tak s jeho optimalizací. Tým se skládal z majitele firmy, zaměstnance podniku, který se stará o dosavadní podpůrný proces, odborníka přes kvalitu vody a odborníka na IT. Poté jsem začal analyzovat samotný proces, přičemž jsem zjistil, jaké jsou jeho parametry a jak přesně probíhá. Proces jsem dále zmapoval, zjistil, kolik zdrojů na něj musí podnik vynaložit a jaká jsou jeho slabá místa. Jedním z cílů analýzy bylo také zjistit časovou náročnost vykonávání procesu, kterou jsem nakonec nemusel provádět, neboť jeden ze zaměstnanců ji již provedl v rámci své diplomové práce a mohl jsem jeho poznatky využít.

Po samotné analýze začaly konzultace mezi mnou a podnikem, během kterých jsme na základě předešlé analýzy společně stanovili požadavky na optimalizaci procesu. Požadavky souvisely především s částečnou automatizací procesu a s možností jeho vzdáleného monitoringu. Na základě požadavků jsem hledal možná řešení optimalizace procesu. Uvědomil jsem si, že pokud budu chtít naplnit všechny, bude nutné provést reengineering procesu. Prvním řešením, které mě napadlo byla automatizace procesu pomocí technologií, které jsou používány v rámci tzv. internetu věcí (Internet of Things). Dalším možným způsobem bylo poptat řešení u specializované firmy, která se zaměřuje na podobnou problematiku.

Abych mohl v závěru práce určit, které z navržených řešení bude nejvýhodnější, nebo zda raději nezůstat u stávajícího způsobu vykonávání podpůrného procesu, musel jsem stanovit klíčové ukazatele výkonosti procesu, podle kterých bude jednotlivé řešení optimalizace porovnávat. Při návrhu vlastního řešení jsem využil technologie používané v rámci Internet of Things. Můj návrh řešení umožňuje automatizaci podpůrného procesu, díky které lze v akvaponickém systému monitorovat i upravovat všechny parametry vody a vzduchu, jež podnik požadoval, dále obstarává management zařízení akvaponického systému a dokáže upozornit na poruchy v systému.

Podpůrný proces lze navíc monitorovat a ovládat i vzdáleně pomocí uživatelského rozhraní webové aplikace. Oproti stávajícímu stavu podpůrného procesu se optimalizovaný proces vyznačuje zlepšením všech stanovených klíčových ukazatelů výkonnosti. Díky automatizaci procesu lze provádět monitoring a úpravu parametrů častěji než u stávajícího způsobu řešení, což zabezpečuje vyšší spolehlivost akvaponického systému. Veškerá důležitá zařízení jsou neustále monitorována, v případě poruchy systém zašle notifikaci a spustí náhradní zařízení, pokud je k dispozici. Doba kontroly a úprav parametrů se navíc oproti stávajícímu stavu sníží až o desítky minut, a tak bude možné rychleji reagovat na výchylku hodnot parametrů od jejich stanovených hraničních hodnot. Optimalizace procesu také výrazně sníží náklady na vykonávání procesu, zejména díky tomu, že z velké části nahradí finančně náročné lidské zdroje. To způsobí, že i přes poměrně vysokou počáteční investici se optimalizace oproti současnému stavu vyplatí i z ekonomické stránky.

Po vytvoření vlastního řešení jsem se zaměřil na jeden z dílčích cílů práce, který se týká zajištění provozu akvaponického systému při výpadku dodávky elektrické energie. Po konzultaci s majitelem podniku jsem zjistil, že tento problém nebudu muset v rámci mé práce řešit, neboť je již domluvený s majitelem budovy, ve které bude systém umístěn, o napojení celého systému na zdroj nepřerušovaného napájení. Tento zdroj je schopný zajistit souvislou a nepřerušovanou dodávku elektrické energie. Obsahuje také komunikační rozhraní, s jehož pomocí lze spojit zdroj se systémem v rámci mého řešení, který díky tomu může na výpadek hlavního zdroje reagovat.

Další možností optimalizace procesu bylo využít řešení od specializované firmy. Po několika konzultacích nám byla zvolena firma schopna nabídnout své řešení, které splňovalo požadavky podniku. Odhad ceny jejich řešení je výrazně vyšší než cena návrhu mého vlastního, ovšem je nutné podotknout, že se jedná o profesionální řešení firmy, která má mnoholeté zkušenosti a zaměřuje se právě na podobné projekty. Podobně jako mé řešení zlepšuje i jejich řešení všechny klíčové ukazatele podpůrného procesu. S ohledem na profesionální řešení lze předpokládat, že všechny tyto ukazatelelepší více než moje.

Po nalezení dvou vhodných řešení jsem spočítal ekonomickou efektivnost investice do každého z nich, kterou jsem porovnal s efektivností stávajícího způsobu řešení. Problém nastal v tom, že samotný podpůrný proces nepřináší podniku žádné přímé zisky, se kterými lze při ekonomickém hodnocení počítat. Jako metodu pro porovnání ekonomické efektivnosti jednotlivých řešení jsem proto zvolil metodu čisté současné hodnoty, podle které vyšlo jako nejlepší řešení to mé, a to s poměrně výrazným odstupem jak od řešení specializované firmy, tak i stávajícího způsobu řešení.

Hlavním cílem práce bylo nalezení nejvhodnějšího řešení pro podnik. Obě nová řešení přinášejí oproti stávajícímu stavu procesu výrazné zlepšení jeho klíčových ukazatelů výkonnosti a splňují všechny nové požadavky na jeho optimalizaci. Obě nová řešení navíc mohou podniku přinést, a pravděpodobně i přinesou, další benefity, které se týkají zejména zvýšení efektivity hlavního výrobního procesu, což povede i ke zvýšení zisků podniku. S ohledem na ekonomickou efektivitu a nevýhody, které s sebou přináší stávající řešení, mohu podniku doporučit, aby si vybral jedno z nových řešení optimalizace procesu. Vybrat však to nejvhodnější řešení není jednoduché. Obě řešení jsou si co do funkcionality velmi podobná. Mé řešení optimalizace je výrazně levnější, ale zato není pravděpodobně tak spolehlivé jako řešení od specializované firmy. S ohledem na to, že nový akvaponický systém představuje pro podnik pouze pilotní projekt, který má omezenou dobu životnosti stanovenou na dobu pěti let, je nutné brát ohled zejména na ekonomickou stránku. Proto bych podniku doporučil vybrat právě mé řešení, které sice nebude pravděpodobně tak profesionální jako řešení od specializované firmy, ale zato nabídne stejné funkcionality, jejichž vlastnosti jsou pro podobný projekt přinejmenším dostačující. Oproti řešení od specializované firmy navíc nabízí jednu podstatnou výhodu. Pokud by se podnik rozhodnul pro implementaci mého řešení, mohl by ho dále nabízet i jiným podnikům v oboru a dále tak zvýšit své zisky.

Závěrem tedy mohu konstatovat, že se mi podařilo splnit jak hlavní cíl práce, který pomůže podniku s výběrem vhodného řešení, tak i všechny dílčí cíle. Pokud se podnik rozhodne využít mé řešení optimalizace podpůrného procesu, lze tuto práci dále rozšířit o implementační část.

SEZNAM ZDROJŮ

- [1] DAVENPORT, Thomas H. *Process Innovation: Reengineering work through information technology*. USA: McGraw-Hill, 1993, 337 s. ISBN 0071033823.
- [2] CIMPL, Lukáš. *Způsoby srovnání notací pro modelování byznys procesů*. Praha, 2015. Dostupné také z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/62774/F8-DP-2015-Cimpl-Lukas-thesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Diplomová práce. ČVUT. Vedoucí práce Ing. Pavel Náplava.
- [3] KOTKOVÁ, Jitka a Tomáš MIČÁNEK. *Podnikové procesy a jejich optimalizace* [online]. , 5-6 [cit. 2018-10-14]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1456/podzim2009/BPH_MAN1/um/13_2_091023_-_Procesy_a_jejich_optimalizace__17485p_-_zkracena_verze_v03.pdf
- [4] LUKASÍK, Petr, Jaroslav PROCHÁZKA a Vladimír VANĚK. *Procesní řízení: text pro distanční studium* [online]. [cit. 2018-10-14]. Dostupné z: <https://www.yumpu.com/xx/document/view/16449235/skripta-procesni-rizeni-ostavska-univerzita-v-ostrove>
- [5] *Management mania* [online]. [cit. 2018-10-14]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/>
- [6] POČTA, Jan. *Řízení výrobních procesů* [online]. Ostrava, 2014 [cit. 2018-10-27]. Dostupné z: <http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/RVP/Rizeni%20vyrobnich%20procesu.pdf>. Učební text. VŠB – Technická univerzita Ostrava.
- [7] KEŘKOVSKÝ, Miloslav a VALSA. *Moderní přístupy k řízení výroby*. 3. doplněné vydání. Praha: C. H. Beck, 2012, 176 s. ISBN 978-80-7179-319-9.
- [8] SYNEK, Miloslav. *Manažerská ekonomika*. 5. Aktualizované a doplněné vydání. Praha: Grada Publishing, 2011. ISBN 978-80-247-3494-1.
- [9] SPACEY, John. 14 Examples of Production Management. *Simplifiable* [online]. 29.8.2015 [cit. 2018-10-28]. Dostupné z: <https://simplifiable.com/new/production-management>
- [10] HOLSTEIN, William K. Production management: Industrial engineering. *Encyclopædia Britannica* [online]. Encyclopædia Britannica, 8.8.2012 [cit. 2018-10-28]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/production-management>
- [11] L. BAILEY, Margare. *Process mapping: LEIT 564: Performance Technology and Training* [online]. Northern Illinois University, , 1-2 [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: <https://cedu.niu.edu/~bailey/ftf564/pmapping.pdf>
- [12] RICHTA, Karel. *Unifikovaný modelovací jazyk UML* [online]. katedra počítačů, FEL ČVUT v Praze Karlovo nám. 13, 121 35 Praha 2 [cit. 2018-12-02]. Dostupné z: http://www.kiv.zcu.cz/~mautner/Pt/UML_richta.pdf
- [13] What is Unified Modeling Language (UML)?. *Visual paradigm* [online]. [cit. 2018-12-02]. Dostupné z: <https://www.visual-paradigm.com/guide/uml-unified-modeling-language/what-is-uml/>
- [14] *Object management group: About The business process model and notation specification version 2.0* [online]. 2011 [cit. 2018-12-02]. Dostupné z: <https://www.omg.org/spec/BPMN/2.0/>
- [15] NEUMANN, Marek. *Míry kvality procesních modelů*. Praha, 2017. Dostupné také z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/66210/F8-BP-2016-Neumann-Marek-thesis.pdf?sequence=-1>. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Ing. Radek Hronza.

- [16] UML Activity Diagram Tutorial. *Lucidchart* [online]. [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://www.lucidchart.com/pages/uml-activity-diagram>
- [17] *Lucidchart* [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.lucidchart.com/pages/bpmn>
- [18] Activity diagram. *Smartdraw* [online]. [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://www.smartdraw.com/activity-diagram/#activityDiagramSymbols>
- [19] *Techniky analýzy a měření práce I: Analytické metody PI* [online]. Academy of Productivity and Innovations - Institut průmyslového inženýrství [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: https://www.e-api.cz/wcd/docs/vzdelavani/cespi-xvii/blok-2/technikyanalyzamenprcei_tiskupravene.pdf
- [20] BIRT, Jacqueline, Keryn CHALMERS, Suzanne MALONEY, Albie BROOKS a Judy OLIVER. *Accounting: Business Reporting For Decision Making*. 5th edition. John Wiley, 2014. ISBN 978-1118624180.
- [21] HAMMER, Michael a James CHAMPY. *Reengineering - radikální proměna firmy*. Management Press, 1995. ISBN 80-85603-73-X.
- [22] YIH-CHANG, Chen. *Empirical modelling for participative business process reengineering*. 2011. Ph.D. thesis. University of Warwick. Department of Computer Science.
- [23] VAKOLA, Maria a Yacine REZGUI. *Critique of existing business process re-engineering methodologies: The development and implementation of a new methodology*. *Business Process Management Journal*. 6. 238-250[online]. 2000 [cit. 2019-05-22]. DOI: 10.1108/14637150010325453.
- [24] Plan-Do-Check-Act (PDCA): Continually Improving, in a Methodical Way. *Mind tools* [online]. [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: https://www.mindtools.com/pages/article/newPPM_89.htm
- [25] 5 Whys: The Ultimate Root Cause Analysis Tool. *Kanbanize* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://kanbanize.com/lean-management/improvement/5-whys-analysis-tool/>
- [26] KOŠTURIÁK, Ján. Úvod do inovací (školicí materiál). Žilina: IPA Slovakia, 2011, 86 s.
- [27] VALENTA, František. *Inovace v manažerské praxi*. Praha: Velryba, 2001. Podnikání a management. ISBN 80-858-6011-2.
- [28] RICHTER, Jan. Permakultura. <https://www.permakulturacs.cz> [online]. [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <https://www.permakulturacs.cz/article/17/akvaponie>
- [29] LENNARD PHD, Wilson. Aquaponic System Design Parameters: Basic System Water Chemistry. *Aquaponic* [online]. [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <https://www.aquaponic.com.au/Water%20Chemistry.pdf>
- [30] *Inhibitat* [online]. [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://inhabitat.com/aquasprouts-lets-you-turn-your-kitchen-counter-into-a-stylish-aquaponic-garden/digram-aquasprouts/>
- [31] SOMERVILLE, Christopher, Moti COHEN, Edoardo PANTANELLA, AustinStankus STANKUS a Alessandro LOVATELLI. *Small-scale aquaponic food production: Integrated fish and plant farming* [online]. Rome: Food and Agriculture organization of the United Nations, 2014 [cit. 2019-03-15]. ISSN 2070-7010. Dostupné z: <http://www.fao.org/3/a-i4021e.pdf>
- [32] TŮMOVÁ, Veronika. *Projekt akvaponické jednotky*. Praha, 2017. Diplomová. Česká zemědělská univerzita v Praze. Vedoucí práce Prof. Ing. Lukáš Kalous, Ph.D.

- [33] MINERVA, Roberto, Abyi BIRU a Domenico ROTONDI. *Towards a definition of the Internet of Things (IoT)* [online]. IEEE Internet Initiative, 2015 [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: https://iot.ieee.org/images/files/pdf/IEEE_IoT_Towards_Definition_Internet_of_Things_Issue1_14_MAY15.pdf
- [34] SALAZAR, Carlos. *Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges*[online]. Faculty of Technology and Engineering-MSU, Vadodara, Gujarat, India, 2016-05 [cit. 2019-08-26]. DOI: 10.4010/2016.1482. ISSN 2321 3361. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Carlos_Salazar70/publication/330425585_Internet_of_Things-IOT_Definition_Characteristics_Architecture_Enabling_Technologies_Application_Future_Challenges/links/5c3f8a24299bf12be3ccc584/Internet-of-Things-IOT-Definition-Characteristics-Architecture-Enabling-Technologies-Application-Future-Challenges.pdf
- [35] POHANKA, Pavel. Internet věcí. *Zajímavosti ze světa internetu věcí, průmyslového internetu a integrace* [online]. [cit. 2019-08-25]. Dostupné z: <http://i2ot.eu/internet-of-things/>
- [36] BILAL, Muhammad. *A Review of Internet of Things Architecture, Technologies and Analysis Smartphone-based Attacks Against 3D printers* [online]. Department of Computer Science Zhejiang University Hangzhou, China [cit. 2019-09-29]. Dostupné z: <https://arxiv.org/pdf/1708.04560.pdf>
- [37] LITTLE, Kayla. IoT Systems: Sensors and Actuators. *DZone: IoT Zone* [online]. [cit. 2019-08-29]. Dostupné z: <https://dzone.com/articles/iot-systems-sensors-and-actuators>
- [38] Prototyping a Sensor Node and IoT Gateway with Arduino and Raspberry Pi. *THE NEW STACK* [online]. [cit. 2019-09-10]. Dostupné z: <https://thenewstack.io/tutorial-prototyping-a-sensor-node-and-iot-gateway-with-arduino-and-raspberry-pi-part-1/>
- [39] TINYLAB: BEZDRÁTOVÝ MODUL XBEE. *Arduino.cz* [online]. [cit. 2019-09-20]. Dostupné z: <https://arduino.cz/tinylab-bezdratovy-modul-xtbee/>
- [40] *Zigbee Alliance* [online]. [cit. 2019-09-28]. Dostupné z: <https://www.zigbee.org>
- [41] TREADWAY, John. Using an IoT gateway to connect the 'things' to the cloud. *IoT Agenda* [online]. [cit. 2019-09-29]. Dostupné z: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/feature/Using-an-IoT-gateway-to-connect-the-Things-to-the-cloud>
- [42] [16] Selecting right IoT Gateway for your IoT application. *Sensegrow* [online]. [cit. 2019-09-28]. Dostupné z: <http://www.sensegrow.com/blog/selecting-right-iot-gateway-your-iot-application>
- [43] LWM2M v1.1: Lightweight Machine to Machine Open Mobile Alliance. *OMA SpecWorks* [online]. Open Mobile Alliance, 2019 [cit. 2019-09-29]. Dostupné z: http://www.openmobilealliance.org/release/LightweightM2M/Lightweight_Machine_to_Machine-v1_1-OMASpecworks.pdf
- [44] HILTON, Steven. IoT alphabet soup: When should an enterprise use MQTT versus LWM2M?. *Network world* [online]. 11. listopad 2018 [cit. 2019-10-01]. Dostupné z: <https://www.networkworld.com/article/3304254/iot-alphabet-soup-when-should-an-enterprise-use-mqtt-versus-lwm2m.html>
- [45] Co je cloud computing?. *Microsoft Azure* [online]. [cit. 2019-10-20]. Dostupné z: <https://azure.microsoft.com/cs-cz/overview/what-is-cloud-computing/>
- [46] 3-Tier Architecture: A Complete Overview. *JReport* [online]. [cit. 2019-10-29]. Dostupné z: <https://www.jinfont.com/resources/bi-defined/3-tier-architecture-complete-overview/>

- [47] Sensor Terminology. *National Instruments* [online]. 19. března 2019 [cit. 2019-10-29]. Dostupné z: <http://www.ni.com/cs-cz/innovations/white-papers/13/sensor-terminology.html>
- [48] *Arduino: ARDUINO MEGA 2560 REV3* [online]. In: . [cit. 2019-11-01]. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/mega-2560-r3>
- [49] Raspberry Pi. In: *Raspberry Pi* [online]. [cit. 2019-11-03]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>
- [50] Documentation: Raspberry Pi Documentation. *Raspberry Pi* [online]. [cit. 2019-11-07]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/documentation/>
- [51] 8-Channel 5V Relay Module. In: *SainSmart* [online]. [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <https://www.sainsmart.com/products/8-channel-5v-relay-module>
- [52] BEŠŤA, M. *STYKAČE A RELÉ* [online]. [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <http://www.mbest.cz/wp-content/uploads/2013/01/T1.2-Stykač-a-relé.pdf>
- [53] Xbee Shield. *Arduino* [online]. [cit. 2019-11-14]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoXbeeShield>
- [54] Communication Shield with XBee module. In: *Generation robots* [online]. [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: <https://www.generationrobots.com/en/401117-communication-shield-xbee-bluetooth-rfid-xbee-shield.html>
- [55] Shieldy pro vývojové desky Arduino. *Actrl.cz* [online]. [cit. 2019-11-14]. Dostupné z: <http://actrl.cz/blog/index.php/2016/shieldy-pro-vyvojove-desky-arduino/>
- [56] Arduino MEGA Sensor Shield. In: *ELAB PEERS* [online]. [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: <https://www.elabpeers.com/arduino-mega-sensor-shield.html>
- [57] Analog signal isolator. *DFROBOT* [online]. [cit. 2019-11-22]. Dostupné z: <https://www.dfrobot.com/product-1621.html?search=signal>

SEZNAM ZKRATEK

Zkratka	Originální význam	Český význam
AAR	Average Annual Return	průměrný roční výnos
BLE	Bluetooth Low Energy	nízkoenergetické Bluetooth
CF	Cash Flow	peněžní tok
CI	Continuous Improvement	průběžné zlepšování
CloT	Cellular Internet of Things	internet věcí přes mobilní data
CoAP	Constrained Application Protocol	-
CPU	Central Processing Unit	centrální procesorová jednotka
CRUDN	Create, Read, Update, Delete, Notify	vytvořit, přečíst, změnit, smazat, notifikovat
CSI	Channel State Information	-
DB	Database	databáze
DBMS	Database Management System	system řízení báze dat
DMAIC	Define, Measure, Analyse, Improve, Control	definovat, měřit, analyzovat, zlepšovat, řídit
DNS	Domain Name System	system doménových jmen
DO	Dissolved Oxygen	rozpuštěný kyslík
DSI	Display Serial Interface	-
DTLS	Datagram Transport Layer Security	-
EC	Electric Conductivity	elektrická vodivost
EU	European Union	Evropská unie
GPIO	General-Purpose Input / Output	-
GSM	Global System for Mobile communication	globální system pro mobilní komunikaci
HDMI	High-Definition Multimedia Interface	-
HW	Hardware	hardware
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství
IDE	Integrated Development Environment	vývojové prostředí
IoT	Internet of Things	Internet věcí
IPSO WG	Internet Protocol for Smart Objects Working Group	-
IRR	Internal Rate of Return	vnitřní výnosové procento
IS	Information System	informační system
IT	Information Technology	informační technologie

I2C	Inter-Integrated Circuit	multi-master počítačová sériová sběrnice
I/O	Input / Output	vstup/výstup
KPI	Key Performance Indicator	klíčový ukazatel výkonnosti
LAN	Local Area Network	lokální síť
LoRaWAN	Long Range Wide Area Network	-
LWM2M	Lightweight Machine To Machine	-
MCU	Microcontroller Unit	jednočipový počítač
MIPI	Mobile Industry Processor Interface	-
MPI	Multipath Phase Indication	-
MW	Middleware	middleware
M2M	Machine To Machine	komunikace mezi stroji
NPV	Net Present Value	Čistá současná hodnota
OMA	Open Mobile Alliance	-
OS	Operating System	operační Systém
OSCORE	Object Security for Constrained Restful services	-
PAR	Photosynthetically active radiation	fotosynteticky aktivní záření
PC	Personal Computer	osobní počítač
PDCA	Plan, Do, Check, Act	naplánavat, provést, ověřit, jednat
pH	Potential of Hydrogen	potenciál vodíku
PI	Profitability Index	index ziskovosti
PoE	Power over Ethernet	napájení po datovém síťovém kabelu
PP	Payback Period	doba návratnosti
PVCF	Present Value Cash Flow	současná hodnota peněžního toku
RAM	Random Access Memory	-
REST	Representational State Transfer	-
SMART	Specific, Measurable, Acceptable, Realistic, Trackable	specifický, měřitelný, akceptovatelný, realistický, sledovatelný
SMS	Short Message Service	služba krátkých textových zpráv
SPI	Serial Peripheral Interface	sériové periferní rozhraní
SW	Software	software
TCP	Transmission Control Protocol	-
TDS	Total Dissolved Solid	celkové množství ve vodě rozpuštěných pevných látek
TLS	Transport Layer Security	-
UDP	User Datagram Protocol	-

UML	Unified Modelling Language	unifikovaný modelovací jazyk
UPS	Uninterruptible Power Supply	zdroj nepřerušovaného napájení
USB	Universal Serial Bus	univerzální sériová sběrnice
WACC	Weighted Average Cost of Capital	vážený průměr nákladů kapitálu

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Shrnutí hledisek kontroly výrobního procesu [10].....	19
Tab. 2: Členění řádů podle profesora F. Valenty [27]	45
Tab. 3: Obecná tolerance organismů na kvalitu vody [31]	50
Tab. 4: Hodnoty parametrů současného stavu procesu	51
Tab. 5: Způsob kontroly a úpravy parametrů v původním procesu	53
Tab. 6: Seznam parametrů, které musí být kontrolovány a/nebo upravovány	56
Tab. 7: Způsob úpravy kvalitativních parametrů v navrženém systému	69
Tab. 8: Hodnoty základních kritérií u použitých senzorů	71
Tab. 9: Odhad ceny jednotlivých částí projektu	78
Tab. 10: Výdaje na stávající způsob řešení.....	79
Tab. 11: Stručný přehled výdajů na vlastní řešení.....	79
Tab. 12: Výdaje na řešení od specializované firmy.....	80
Tab. 13: Cash flow stávajícího řešení	81
Tab. 14: Cash flow na vlastní řešení.....	81
Tab. 15: Cash flow řešení specializované firmy	81
Tab. 16: Porovnání NPV jednotlivých řešení	82

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Spojitost mezi managementem výroby a výrobním systémem [7] (upraveno).....	17
Obr. 2: UML počáteční bod	24
Obr. 3: UML aktivita	25
Obr. 4: UML řídicí tok	25
Obr. 5: UML rozhodnutí.....	25
Obr. 6: UML spojení.....	25
Obr. 7: UML paralelní rozdělení	25
Obr. 8: UML paralelní spojení	26
Obr. 9: UML časová událost	26
Obr.10: UML odchozí událost	26
Obr. 11: UML poznámka	26
Obr. 12: UML konec řídicího toku	26
Obr. 13: UML konec procesu.....	26
Obr. 14: Reengineering podnikových procesů [23] (upraveno).....	32
Obr. 15: Příklad metody 5 Whys [25] (upraveno)	34
Obr. 16: Schéma inovačního procesu [26]	43
Obr. 17: Obecné schéma akvaponického systému [30] (upraveno)	47
Obr. 18: Schéma akvaponického systému zákazníka	48
Obr. 19: Diagram aktivit stávajícího procesu.....	52
Obr. 20: Návrh nového řešení za pomoci IoT.....	60
Obr. 21: Způsob propojení lokálních zařízení se vzdáleným serverem	63
Obr. 22: Protokolový zásobník [43].....	66
Obr. 23: Schéma třívrstvé architektury	67
Obr. 24: Popis základních komponent Arduino Mega 2560 [48] (upraveno).....	72
Obr. 25: Popis základních komponent Raspberry Pi 3B+ [49] (upraveno)	73
Obr. 26: 8kanálový relé modul [51]	73
Obr. 27: XBee štít s XBee modulem [53]	74
Obr. 28: Senzorový štít pro Arduino Mega [56].....	74
Obr. 29: Diagram optimalizovaného procesu	76

SEZNAM VZORCŮ

Vzorec 1: Úroková míra po zdanění.....	37
Vzorec 2: WACC	37
Vzorec 3: PVCF.....	38
Vzorec 4: Míra výnosnosti.....	39
Vzorec 5: Index ziskovosti	40
Vzorec 6: Čistá současná hodnota	40
Vzorec 7: Vnitřní výnosové procento.....	41
Vzorec 8: Doba návratnosti	41

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Kalkulace_reseni.xlsx