

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ, PROJEKTOVÁNÍ A
METROLOGIE



DIPLOMOVÁ PRÁCE

NÁVRH STRATEGICKÉ IMPLEMETACE KONCEPTU PRŮMYSL 4.0

DESIGN OF INDUSTRY 4.0 CONCEPT STRATEGIC
IMPLEMENTATION

AUTOR: BC. MILAN ZAJÍC

STUDIJNÍ PROGRAM: N 2348 PRŮMYSL 4.0

VEDOUCÍ PRÁCE: ING. TOMÁŠ KELLNER

PRAHA 2019

Zadání diplomové práce

pro: Bc. Milana Zajíce

obor: Průmysl 4.0

Název: Návrh strategické implementace konceptu Průmysl 4.0

Název anglicky: Design of Industry 4.0 Concept Strategic Implementation

Zásady pro vypracování:

1. Rešerše problematiky Průmysl 4.0
2. Analýza výrobních procesů v zároprůmyslu
3. Návrh konceptů implementace
4. Výběr vhodné varianty řešení

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Tomáše Kellnera a že jsem použil pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne

.....

podpis

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Tomáši Kellnerovi za jeho odbornou pomoc, cenné rady, poskytnuté materiály a čas který mé práci věnoval. Dále bych chtěl poděkovat zaměstnancům firmy P-D Refractories CZ a.s, kteří mi poskytli své zkušenosti z provozu.

Anotace

Diplomová práce je zaměřena na problematiku implementace Průmyslu 4.0 do reálného provozu. Je zde představen koncept Průmysl 4.0. Je zde rozebrán keramický průmysl a jako jeho součást také žárovzdorný průmysl, hodnotící modely využívané v praxi, již provedené projekty týkající se Průmyslu 4.0 v keramickém průmyslu, a také modelová společnost. V praktické části je provedena analýza současného stavu v modelové společnosti. Na základě této analýzy vznikly návrhy na implementaci jednotlivých prvků Průmyslu 4.0 do současného stavu modelové společnosti.

Klíčová slova: Průmysl 4.0; senzor; Smart factory; koncept Průmysl 4.0; žárovzdorný průmysl; výrobní procesy; monitoring

Annotation

The master thesis is focused on problems of implementation Industry 4.0 to real-world production. At the beginning of the master thesis is introduced concept Industry 4.0. There are discussed ceramic industry and as one part of it also refractory industry, evaluation models in practice, projects which were made in Industry 4.0 and model company. Current condition in the model company was made in practice part of the thesis. Based on the analysis, the design of the implementation of individual elements of Industry 4.0 to the current state in the model company was created.

Keywords: Industry 4.0; sensor; Smart factory; concept of Industry 4.0; refractory industry; manufacturing process; monitoring

Obsah

Zadání diplomové práce.....	2
Prohlášení.....	3
Poděkování.....	4
Anotace	5
1 Úvod	8
2 Výrobní proces	9
2.1 Definice Průmyslu 4.0	10
2.2 Popis konceptu Průmysl 4.0.....	11
2.3 Hlavní principy Průmyslu 4.0.....	11
2.4 Hlavní charakteristiky Průmyslu 4.0.....	14
2.5 Technologie	16
2.6 Software pro Průmysl 4.0.....	18
2.7 Smart factory.....	18
2.8 Průmyslové senzory	24
3 Rešerše stavu keramického průmyslu.....	27
3.1 Keramický průmysl.....	27
3.2 Hodnotící modely Průmyslu 4.0.....	29
3.3 Průmysl 4.0 v keramickém průmyslu	31
4 Analýza současného stavu v modelové společnosti	33
4.1 Modelová společnost.....	33
4.2 Analýza výroby žárovzdorných výrobků.....	34
5 Návrh implementace prvků konceptu Průmyslu 4.0.....	44
5.1 Shrnutí hlavních faktorů pro návrhy	45
5.2 Koncepční řešení skladu vstupních surovin	46
5.3 Koncepční řešení přípravy výrobní směsi.....	53
5.4 Koncepční řešení kontroly.....	57
5.5 Koncepční řešení řízení výrobního procesu	64

6	Zhodnocení návrhů	76
6.1	Skladování suroviny.....	76
6.2	Příprava výrobní směsi	79
6.3	Kontrola.....	81
6.4	Řízení výrobního procesu.....	83
6.5	Návrh strategické implementace	85
7	Závěr.....	88
	Citovaná literatura	89
	Seznam obrázků	92
	Seznam tabulek.....	93
	Seznam grafů.....	93

1 Úvod

Tato diplomová práce má název „Návrh strategické implementace konceptu Průmysl 4.0“ a zabývá se problematikou zavedení prvků Průmyslu 4.0. do žárovzdorného průmyslu. Jako modelová společnost pro tuto práci slouží společnost P-D Refractories CZ a.s., která se zabývá výrobou žárovzdorných výrobků. V této modelové společnosti bude provedena analýza výroby na základě, které dojde k návrhu konceptu prvků Průmyslu 4.0, které je možné zavést do výroby v žárovzdorném průmyslu i přes všechna úskalí, která se v tomto výrobním odvětví vyskytují. Cílem diplomové práce je navrhnout koncepční řešení v jednotlivých částech výrobního procesu modelové společnosti a vytvořit strategickou implementaci těchto návrhů.

První část diplomové práce je věnována teoretické části, která je nejdříve věnována obecně Průmyslu 4.0, kde je popsán koncept Průmysl 4.0 a jeho charakteristické rysy. Dále je zde rozebrán keramický a žárovzdorný průmysl, na které je tato práce zaměřena. Také práce obsahuje modely využívané při zavádění Průmyslu 4.0 a projekty zavádění konceptu Průmysl 4.0 do keramického průmyslu.

Druhá část je věnována analýze současného stavu výroby a výrobních procesů v modelové společnosti. V této části je podrobně popsán celý proces žárovzdorné výroby v této společnosti. Od dopravy vstupních surovin přes uskladňování výrobních surovin, přípravu směsi, extruzi směsi, sušení a závěr výroby, čímž je vypálení produktu a jeho konečná kontrola a expedice.

Třetí část se zabývá návrhem koncepčních řešení výroby pomocí prvků modernizace v oblasti monitoringu a řízení samotné výroby tak aby, na základě těchto prvků došlo k monitorování více částí výrobního procesu a jeho řízení, které by vedlo ke zvýšení kvality výrobků a efektivity výrobního procesu. Zavádění modernizace je navrženo ve čtyřech částech výrobního procesu, které jsou: skladování vstupních směsí, kontrola vlhkosti při přípravě směsi, kontrola a řízení výrobního procesu.

Závěrečná část diplomové práce je věnována vyhodnocení všech navrhovaných konceptů implementace. Návrhy jsou hodnoceny z pohledu možnosti realizace v modelové společnosti. V Na závěr práce je návrh strategické implementace koncepčních řešení do současného provozu modelové společnosti.

2 Výrobní proces

Tato práce se zabývá novým pohledem na fungování výrobních procesů, jejich monitorováním a řízením v rámci žárovzdorného průmyslu, proto je důležité tyto pojmy definovat.

Výrobní proces ve výrobním závodě je charakterizován souhrnem technologických, manipulačních, kontrolních a řídicích činností. Úkolem těchto činností je změna tvaru, rozměrů, složení, jakosti a spojení výchozích materiálů a polotovarů z hlediska požadovaných technicko-ekonomických podmínek výroby. [1]

Technicko-organizační úroveň výrobních systémů, která se skládá ze specializační struktury, automatizace, mechanizace, kooperace a integrace, je závislá na souznění řady požadavků a prvků. Nejdůležitějšími jsou materiál a polotovar, výrobní, dopravní a kontrolní zařízení, technologie, pracovníci, energie a organizace. [1]

Monitoring je prvním a důležitým krokem k určení kvality výroby. Pomocí monitoringu se získávají data o průběhu a stavu výroby a výrobků. Monitoring je důležitý především pokud je výroba řízena nebo kontrolována její kvalitou. Z tohoto důvodu je důležitý mít celý monitorovací proces správně nastavený, aby se na správných místech výrobního procesu vyhodnocovala správná data. [2]

Cílem řízení výrobního procesu je dosáhnout ideálního fungování celého výrobního systému v závislosti na stanovených podmínkách. Výrobní systém je pojem, který pokrývá všechny účastníky zasahující do výrobního procesu jako jsou provozní prostory, zařízení, suroviny, polotovary, energie, informace, pracovníci, výrobky a další. V řízení jde především o sladění věcné, časové a prostorové části výrobního procesu. Řízení výroby se zabývá sladěním činitelů ovlivňujících výrobní proces nebo do něj zasahujících, dále je také pomocí řízení celého výrobního systému možné změnit výrobní parametry tak, aby byl vyroben výrobek o odlišných parametrech. [3]

Řízení výrobního procesu je realizovatelné v případě, že je proces monitorován a z monitorování dochází k získání dat o průběhu procesu. Řízení posléze probíhá na základě těchto monitorovaných dat. [2]

2.1 Definice Průmyslu 4.0

V následujících podkapitolách bude rozebrán koncept Průmysl 4.0, který se zabývá novým přístupem k výrobním procesům. Tyto následující podkapitoly obsahují představení celého konceptu Průmyslu 4.0, z hlediska jakých principů funguje, druhy integrace tohoto konceptu a hlavní technologie, které jsou v něm používány. Dále je zde popsána Smart factory, která by měla být výsledným produktem zavedení Průmyslu 4.0 do reálné průmyslové výroby. V praktické části se bude tato práce zabírat využitím Průmyslu 4.0 v reálné výrobě.

Termín Průmysl 4.0 byl poprvé představen na veletrhu v Hannoveru v roce 2011. Průmysl 4.0 je považován za čtvrtou průmyslovou revoluci přicházející po předchozích třech průmyslových revolucích, které proběhly v minulosti první proběhla mechanizace, která začala koncem 18. století. Přibližně o sto let později s příchodem elektrické energie přišla druhá průmyslová revoluce vyznačující se sériovou výrobou. Třetí průmyslová revoluce přišla s větším využitím počítačů ve výrobě a je spojována s automatizací. Čtvrtá revoluce je založena na inteligentní automatizaci kyberneticko fyzikálních systémů s decentralizovaným řízením a pokročilým propojením jednotlivých systémů. [4] [5]

Pro Průmysl 4.0 existuje několik definicích. Zde jsou dva příklady definic:

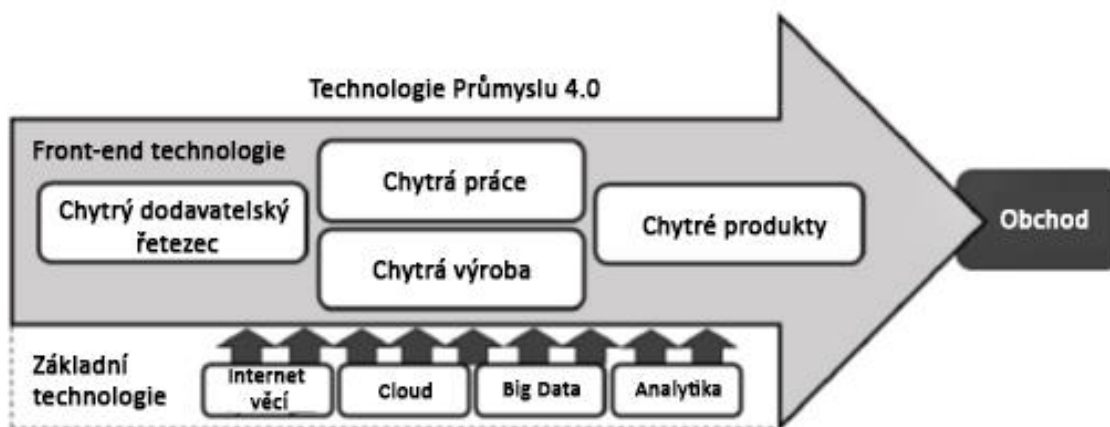
- „Oblast Průmyslu 4.0 závisí na 1) digitalizaci a horizontální a vertikální integraci hodnotových řetězců. 2) Digitalizaci produktů a služeb. 3) Zavedení inovovaných business modelů.“ [6]
- „Průmysl 4.0 je kolektivní výraz pro technologie a koncepty organizace hodnotových řetězců. V rámci modulárních strukturovaných inteligentních továren Průmysl 4.0 kyberneticko fyzikální systém sleduje fyzické procesy a vytváří virtuální obraz fyzického světa a přijímá decentralizované rozhodnutí. Přesto internet věcí a kyberneticko fyzikální systém komunikují a spolupracují mezi sebou a s lidmi v reálném čase. Prostřednictvím internetu služeb jsou účastníkům hodnotového řetězce nabízeny a využívány jak interní, tak i externí služby.“ [6]

2.2 Popis konceptu Průmysl 4.0

Koncept Průmyslu 4.0 vychází z celkového propojení výrobních strojů, výrobků, polotovarů a všech ostatních celků vyskytujících se ve výrobním systému průmyslových podniků. Tento koncept předpokládá síť propojující všechna oddělení v podniku jako výrobní, ekonomické, logistické a další. Každý člen v řetězci je reprezentován modulem, který pracuje nezávisle, ale zároveň dokáže spolupracovat a navazovat na ostatní moduly. [7]

Princip Průmyslu 4.0 je využitelný, pokud je možné komunikovat mezi kyberneticko fyzikálním systémem (CPS), lidmi a všemi komponenty v podniku prostřednictvím internetu věcí (IoT) a internetu služeb (IoS). Další důležitá schopnost je propojení fyzických systémů s virtuálními modely. Rozhodování a řízení celého systému probíhá paralelně v každé entitě v reálném čase. Řízení v reálném čase je důležité pro správnost rozhodnutí a řízení systému. [7]

Na následujícím Obr. 1 je vidět spolupráce základních technologií využívané v konceptu Průmysl 4.0 s jeho výstupy, které jsou vidět pro pracovníky ve výrobě a koncové uživatele.



Obr. 1: Technologie Průmyslu 4.0 [8]

2.3 Hlavní principy Průmyslu 4.0

Jeden ze základních principů konceptu Průmysl 4.0 je propojení systémů, strojů a pracovníků s cílem vytvořit inteligentní síť napříč celým řetězcem hodnot. Jednotlivé jednotky zapojené do tohoto řetězce mohou pracovat samostatně a ovládat se autonomně, ale zároveň pracovat v návaznosti na ostatní jednotky. [6]

Koncept Průmysl 4.0 má několik konstrukčních principů, které jsou využívány při zavádění digitalizace či automatizace výrobních procesů. Dále je popsáno šest důležitých principů při zavádění prvků Průmyslu 4.0. [6]

2.3.1 Interoperabilita

Interoperabilita je schopnost spolupracovat, komunikovat či se společně spojovat prostřednictvím sítě. Interoperabilita vyžaduje, aby v celém výrobním prostředí probíhala interakce plynule a flexibilně mezi všemi zúčastněnými systémy. [6] [9]

V rámci interoperability je také možné zaměňovat stroje od různých výrobců se stejnou funkcionalitou. Při správné volbě strojů může dojít ke zvýšení produktivity výroby a prodloužení životnosti strojů. Zároveň to firmám umožní využívat nejmodernější technologie bez nutnosti změny celého výrobního procesu. [9]

2.3.2 Decentralizace

V systémech vyznávajících koncept Průmyslu 4.0 je decentralizace podporována. Jde o samostatné rozhodování jednotlivých komponent bez ztráty směru k hlavnímu cíli produkce. [6]

Decentralizace je chápána podle Průmyslu 4.0 jako přesunutí rozhodování do lokálních partií systému, ať už mezi operátory lidské nebo strojní, to zapříčiní snížení využívání centrálního počítače. V lokálních částech mohou entity využít svých znalostí k lepšímu řešení problému. Přesun rozhodování na nižší úroveň procesu odpovídá přesunu od klasické hierarchie k decentralizované samoorganizaci. Vytváří se flexibilnější prostředí pro výrobu a je možné lépe přizpůsobovat jednotlivé výrobky každému klientovi. Pouze v případě problému jsou problémové úlohy předány k výše postaveným rozhodujícím systémům. [9] [10]

2.3.3 Virtualizace

Virtualizace znamená, že pomocí dat sbíraných ze senzorů z výrobního procesu, virtuálního modelu a simulačního modelu se vytvoří virtuální simulační kopie reálného světa, v současné době také nazývaná jako „digitální dvojče“. [9]

Virtualizace systému usnadňuje náhled na sbíraná data pomocí monitoringu, a také řízení virtualizovaného systému. Je možné pomocí simulovaného modelu predikovat problémy, které mohou nastat v průběhu využívání výrobního procesu. Další výhodou je možnost zjistit před fyzickou změnou systému reálný dopad na tento systém, což vede k rychlejšímu a snadnějšímu rozběhu reálných výrobních procesů. [6] [9] [10]

2.3.4 Modularita

Systémy jsou vyráběny ze subsystémů, které je možné skládat různými způsoby do celku. Subsystémy je možné skládat tak, aby bylo možné pomocí nich vytvářet různé požadované výrobky. Systém může být jeden stroj, který se bude modulárně skládat a bude docházet k záměnám jednotlivých částí stroje. Další možností je modularita výrobní linky, která by pak znamenala záměnu celých strojů ve výrobní lince, aby docházelo k požadované výrobě. [9] [10]

Modularita může ušetřit hodně času při plánování, návrhu, uvádění strojů do provozu, ale také umožňuje rychlé přenastavení výrobního systému na jinou činnost tak, aby bylo vyhověno potřebám zákazníka. Je to způsob, jak může závod rychle reagovat na změny, ať už pro určitého klienta, přechod k jinému produktu, upravení produktu pro další sezónu či přidání nové technologie do výroby. S využitím modularity je možné mnoho výrobních procesů, jako je návrh, plánování výroby, výroba a služby možné částečně simulovat pro více výrobků najednou. [6] [9] [10]

2.3.5 Funkčnost v reálném čase

Průmysl 4.0 je zaměřen tak, že vše funguje v reálném čase. Proto je nutné data shromažďovat a analyzovat je, aby bylo možné na jejich základě se rozhodovat. Průmysl 4.0 jde ve schopnosti reálného času ještě o krok dále, když tato data dokáže využívat v reakci na poptávku koncového zákazníka. Také je důležitá schopnost reagovat na selhání jednotlivých strojů. Pak je potřeba výrobu zastavit a ze stroje mimo provoz výrobu předat na ostatní funkční stroje, případně změnit celý výrobní plán tak, aby to bylo nejvýhodnější. Toto také přispívá k dobré flexibilitě a optimalizaci výroby. [6] [9] [10]

2.3.6 Zaměření na služby

V rámci principu orientace na služby jsou obchodní, lidské i CPS služby poskytovány skrz Internet služeb (IoS) účastníkům, kteří jsou pro závod cizími. Takovéto služby je možné nabízet interně, ale také i externě. Lidé a chytrá zařízení se na výrobě musí být schopna se připojit na IoS a jeho prostřednictvím si získat data pro vytvoření produktu založeného na zákaznických požadavcích. Takováto orientace umožňuje organizacím být dostatečně flexibilní a reagovat na změny trhu rychleji než dříve. [9] [10]

2.4 Hlavní charakteristiky Průmyslu 4.0

Tato kapitola se bude věnovat nejčastějším třem charakteristikám Průmyslu 4.0, a těmi jsou:

- Vertikální integrace
- Horizontální integrace
- Průnikové inženýrství napříč řetězcem hodnot

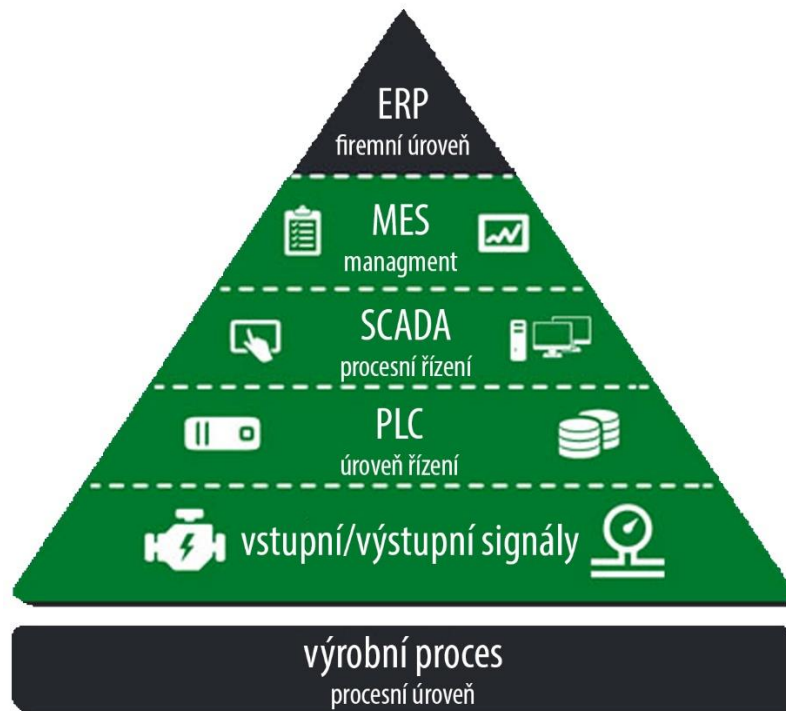
Tyto charakteristiky popisují komunikaci napříč výrobními systémy tak, aby bylo předávání informací systematicky správné.

2.4.1 Vertikální integrace

Inteligentní továrny, které jsou základem Průmyslu 4.0, nemohou pracovat jako samostatné jednotky. Je zde potřeba komunikace mezi jednotlivými smart factory, chytrými produkty, dodavateli a dalšími výrobními i nevýrobními články zapojenými do výroby. Podstata využití vertikálního propojení sítí pramení v použití kyberneticko fyzikálních výrobních systémů, které umožňují továrnám a výrobním závodům rychle reagovat na různé proměnné, jako jsou poptávka, obsazenost skladů, stav používaných strojů a nepředvídané odstávky. Podobný má komunikace a síťové propojení vliv na logistiku, marketingové služby organizace a další služby. [6]

Za předpokladu, že výroba je přizpůsobována každému zákazníkovi individuálně, i marketing a další služby musí být zaměřené speciálně na každého zákazníka. Hlavním důvodem takto rozsáhlé komunikace je co největší zvýšení produktivity a ekonomického využívání zdrojů. [6] [11]

Na Obr. 2 je schéma vertikální hierarchie, kde lze pozorovat postup od zisku dat v základní vrstvě, přes jejich zpracování a řízení na základě jednotlivých signálů až po vyhodnocení procesu. Naznačuje to Vertikální řízení, které jde od spodu nahoru a postupně dochází k předávání a zpracovávání dat.



Obr. 2: Vertikální hierarchie [12]

2.4.2 Horizontální integrace

Horizontální integrace znamená, že komunikace probíhá nejen v rámci jednoho výrobního závodu, ale v celém dodavatelském řetězci. Takže mezi sebou komunikují výrobní závod s dodavateli, poskytovateli různých služeb či energií a další. Tento způsob komunikace může znamenat změnu obchodních modelů napříč celými zeměmi nebo dokonce i kontinenty. Hlavním cílem tohoto propojení je zvýšení efektivity výroby a co nejekonomičtější využití zdrojů. [6] [11]

Na Obr. 3 je znázorněno, jak funguje horizontální integrace. Je zde znázorněna komunikace mezi všemi zúčastněnými subjekty (zásobováním, závodem a distribucí) a zároveň, které úrovně výroby, s kým komunikují.



Obr. 3: Horizontální integrace [13]

2.4.3 Průnikové inženýrství napříč řetězcem hodnot

V průmyslu je na celý hodnotový řetězec dohlíženo průnikovým inženýrstvím, které dohlíží na životní cyklus výrobku od návrhu až po recyklaci. V rámci různých odvětví je na tento problém jinak dohlíženo. Například v oděvnictví je postaráno o návrh, samotnou výrobu a odbyt výrobku. Toto odvětví se nestará o to, jak zákazník naloží například s košilí, kterou již nehodlá nosit. Protože je to výrobek relativně levný, nevyplatí se ho různě upravovat tak, aby byl pro zákazníka znovu atraktivní. Oproti tomu v průmyslu jde především o kvalitu. V důsledku toho, že tyto výrobky také nebývají úplně levné, tak kupující očekávají i patřičný servis. Průmysl 4.0 pokrývá celý životní cyklus výrobku a věnuje se tak od návrhu, dodání polotovaru, výrobě, dodání výrobku až po prediktivní údržbu a zavolání servisu. [6]

2.5 Technologie

Pro praktickou část práce je důležité si osvojit problematiku jednotlivých hlavních technologií, které v ní mohou být využity. Především pak problematika internetu věcí a zpracování dat.

Pro implementaci inteligentní výroby a konceptu Průmyslu 4.0 jsou důležité některé nové technologie. Tyto technologie na sebe navzájem navazují nebo mohou být propojené. Mezi základní technologie Průmyslu 4.0 patří Internet věcí, průmyslový internet věcí, internet služeb, cloud, big data a analýza dat. Tyto technologie jsou základními, protože jsou obsaženy ve všech rozměrech průmyslu 4.0. O těchto technologiích je v následujících podkapitolách napsáno více. [14] [8]

2.5.1 Internet věcí

Internet věcí (IoT) je dynamická síť, která propojuje různé objekty. Tyto objekty mohou komunikovat mezi sebou nebo s vnějším okolím pomocí standardních protokolů. IoT by šlo také nazvat jako Internet všeho, protože IoT propojuje všechny podružené sítě, které jsou známé jako průmyslový internet věcí (IIoT), Internet služeb (IoS), Internet lidí (IoP) a další. Hlavní rysy IoT jsou souvislosti, všudypřítomnost a optimalizace. Souvislost odkazuje na pokročilou interakci objektu s okolním prostředím a okamžitou reakci na změny. Všudypřítomnost znázorňuje zisk všemožných dat, například o poloze, fyzických vlastnostech nebo podmínkách okolního prostředí. Optimalizace ilustruje neustálou optimalizaci procesů výroby pomocí objektů připojených do sítě IoT. [8] [15]

2.5.2 Průmyslový internet věcí

Průmyslový internet věcí (IIoT) spočívá v tom, že zahrnuje nejen běžná síťová zařízení, jako jsou třeba mobily a další bezdrátová zařízení, ale především spojuje pomocí sítě zařízení, která se objevují ve výrobních závodech, jako jsou průmyslové senzory, ze kterých jsou data nahrávána na cloud a následně zpracovávána, výrobní stroje a další. IIoT je způsob, jak se zbavit nedostatků mezi oblastmi IT a průmyslu. [16]

IIoT musí být vybaveno různými síťovými protokoly a dalšími vlastnostmi umožňujících komunikaci s různými typy zařízení, které jsou potřeba protože různé typy zařízení většinou komunikují pomocí různých komunikačních protokolů. [17]

IIoT by po integraci do výrobního závodu mělo přinést zpřístupnění monitoringu výroby. IIoT lze využívat společně s technologiemi zabývajícími se Big Data pomocí kterých lze různě optimalizovat výrobní procesy za využití dat z výroby a jejich vyhodnocením. [6]

2.5.3 Internet služeb

Internet služeb (IoS) je síťová infrastruktura podporující části systému zabývající se službami napříč celou organizací. K těmto službám je možné přistupovat jak interně, tak i externě. Například mají externí dodavatelé přístup do hodnotového řetězce tak, aby byl průběh

objednávky optimální. Interně si zase zaměstnanec jednoho oddělení může objednat nějaký typ součástky od jiného oddělení v rámci jednoho výrobního závodu. [18] [19]

2.5.4 Big Data a analýzy

Sběr a vyhodnocování dat z mnoha odlišných výrobních zařízení a systémů, jako jsou i výrobní systémy, se stanou běžnými při rozhodování během výroby v reálném čase. Sběr a analýza Big data má čtyři hlavní parametry: objem dat, variace, rychlost sběru a hodnota dat. [6] [20] [21]

V dnešní době je v průmyslu sbíráno velké množství dat. Big data je třeba správně uchovávat, třídit a vyhodnocovat tak, aby byla prospěšná. Data mohou být sbírána během celého průběhu výrobního procesu a podle nasbíraných a vyhodnocených dat proběhnou navazující výrobní akce. Analýza dat se využívá ke zjištění, proč došlo k určitým problémům ve výrobě nebo také k predikci nových nepříjemností a zajištění, aby se tyto problémy neopakovali, případně se jim úplně předešlo. Dále lze Big data využít pro vylepšení stávajících výrobků. [6] [20] [21]

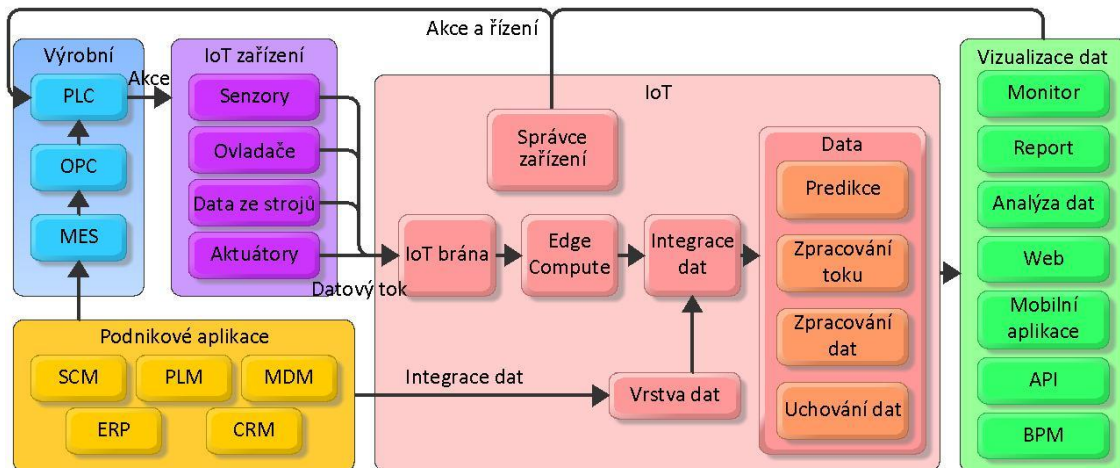
2.6 Software pro Průmysl 4.0

Softwary jsou pro Průmysl 4.0 velice důležité. Jsou potřeba pro řízení procesů nebo strojů, předávání informací mezi jednotlivými fázemi výroby, a také pro řízení celého podniku. Jedná se o programy typu ERP, MES, PLM, řídicí systémy strojů a robotů a další. [6]

2.7 Smart factory

Smart factory (v překladu chytrá továrna) je centrem všech chytrých výrobních procesů. Smart factory dokáže mít produktivitu daleko nad naše očekávání, to je možné z toho důvodu, že tato továrna využívá technologie, které jsou schopny ideálně optimalizovat svoji produktivitu. V této továrně nejsou chytré stroje, které mezi sebou umí pouze komunikovat, ale také dokáží reagovat na změny ve výrobě, respektovat výrobní procesy a složité algoritmy. [6]

Na Obr. 4 je spolupráce jednotlivých částí Smart factory jak spolupracují od zisku dat až po jejich zpracování a vizualizaci pro monitorování výrobního procesu ve Smart factory.



Obr. 4: Referenční architektura IoT ve výrobě [22]

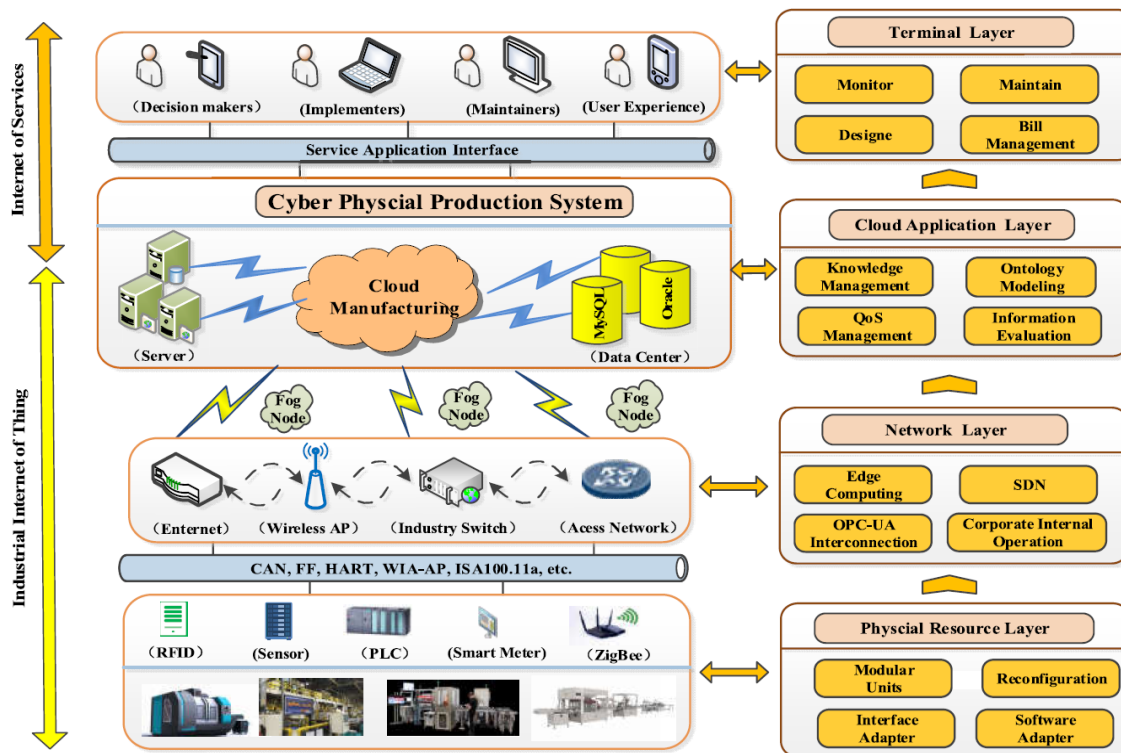
2.7.1 Případová studie smart factory

Příklad smart factory je ukázán na výrobní lince šampónu. Ve smart factory může být současně vyráběno několik druhů šampónu, včetně různých barev a speciálních přísad na jedné lince a každý s jinou etiketou. V tradiční výrobě by bylo nutné mít pro každý produkt speciální výrobní linku. Speciální linka pro každý druh je výhodná, pokud se vyrábí velký počet výrobků jednoho druhu. Pokud se, ale jedná o výrobu individuální a každý vyráběný šampón je jiného druhu, pak je výhodnější varianta smart factory. Ve smart factory je jedna linka, na které jdou napříč výrobou s jednotlivými lahvemi na šampón i informace o tom, co má obsahovat, jakou má etiketu a další charakteristiky, které si zákazník zvolí. Podle těchto informací pak probíhá celá výroba a je možné, aby každá vyráběná lahev vypadala úplně jinak a měla jiný obsah. [6]

2.7.2 Organizace smart factory

Smart factory je založena na digitální a automatizované továrně využívající informační technologie (např. cloud a IIoT) pro vylepšení nakládání s výrobními zdroji, kvality služeb a výroby. Důvod postavení chytré továrny je zlepšení výroby a marketingu, zároveň by mělo dojít ke zlepšení ovladatelnosti výrobního procesu a snížení zásahů lidí do výroby. Pomocí analýzy výrobních dat může továrna pružně reagovat na výrobu, dynamicky se překonfigurovat a optimalizovat svou výrobu. To je vhodné pro vyhovění změnám v poptávce po vyráběných produktech. [5] [21]

Při vzniku chytré továrny je využíváno IIoT k integraci základních prvků ve výrobním procesu. To umožňuje výrobnímu systému vnímat, propojovat a integrovat data. Analýza Big data se využívá k dosažení výrobního plánu, servisu zařízení a kontrole kvality výrobků ve smart factory. Dále je zaveden IoS pro virtualizaci výrobních zdrojů v lokální databázi na cloud. Pomocí interakce člověk – stroj je vybudován globální proces spolupráce smart factory s poptávkovým řízením. Smart factory je tedy systém, který se vyznačuje pomocí tří hlavních aspektů: propojení, spolupráce strojů s lidmi a realizace. Smart factory se skládá ze čtyř vrstev: vrstva fyzických zdrojů, vrstva síťového propojení, vrstva datové aplikace a zobrazovací vrstva. Organizace a propojení těchto vrstev je obsažena na Obr. 5. Za účelem změny moderní továrny na smart factory jsou důležité všechny technologie v každé vrstvě. [21]



Obr. 5: Hierarchie smart factory [21]

Vrstva fyzických zdrojů

Vrstva fyzických zdrojů zahrnuje všechna výrobní zařízení, která se zapojí do životního cyklu výrobku a jsou důležitými prvky k dosažení inteligentní výroby. Z tohoto důvodu je potřeba řešit problémy klíčových technologií potřebných ve smart factory. Tyto fyzické zdroje je nutné měnit

tak, aby bylo možné dosáhnout konfigurovatelnosti jednotlivých výrobních zařízení či celých linek a získávání dat z těchto jednotek. [21]

Konfigurovatelnost výrobních jednotek

Dnešní výrobní zařízení jsou obvykle konstruována nedostatečně flexibilně a konfigurovatelně, což má za následek nízký rozsah využití těchto zařízení. Z toho vyplívá nízká možnost přizpůsobení se změnám výrobního prostředí. Výrobní zařízení, která je možné modulárně upravovat, zlepšují dynamiku plánování výroby. Navíc řízení je konfigurovatelné a nabízí rozšíření funkcí výrobního zařízení. [21]

Úroveň inteligence chytré továrny je úzce spjata s modulárními výrobními jednotkami, a proto je důležité, aby jejich inteligence byla co nejvyšší. Je několik návrhů konstrukce modulárních výrobních jednotek.

- Modulární výrobní jednotky by měly vzájemně spolupracovat, aby dosáhly splnění hlavních úkolů, kde je kladen důraz na vzájemné vnímání a spolupráci mechanismu s inteligentními moduly.
- Funkce různých modulárních výrobních jednotek se může překrývat, a proto je důležité vybrat ty správné, které nebudou své funkce příliš zdvojit.
- Každá výrobní jednotka musí nejen splňovat výrobní požadavky produktu, ale také zlepšovat efektivitu výroby a samoorganizace.

Konfigurovatelnost řídicího systému znamená, že je možné přidávat, vyměňovat nebo opakovaně používat hardwarové nebo softwarové komponenty systému. Řádná konfigurace řídicího systému může zlepšit konfigurovatelnost výrobní jednotky, která rozšíří možnost jednotky při spolupráci s více aplikacemi. V tomto případě se výrobní jednotka může přizpůsobit rychle změnám provozních podmínek. [21]

Konfigurovatelnost výrobní linky

Konfigurovatelnost výrobní linky může vytvořit velkou šíři různých výrobků díky své variabilitě, škálovatelnosti a rozmělnitelnosti, které jsou základem výroby ve smart factory. Problém současných linek je v silné specializaci. Cílem je tyto specializované linky nahradit konfigurovatelnými, které bude možno měnit a reagovat tak na změny na trhu. [21]

Inteligentní získávání dat

Pro sběr dat ve výrobní oblasti se využívá několik na sobě nezávislých druhů senzorů. Nasbíraná data jsou různorodá s různou kvalitou, proto je důležité, aby komunikační rozhraní smart factory bylo dostatečně kompatibilní s dostatečným počtem druhů komunikačních protokolů. Sensory pro sběr dat by měly být snadno ovladatelné. Výrobní zdroje by měly podporovat sběr dat. Systém využívající sběr dat může data využívat také pro predikci údržby výrobních strojů, aby nedošlo k jejich poškození. [21]

Vrstva síťového propojení

Průmyslové sítě dokáží propojit několik druhů síťových technologií jako jsou sběrnice, router nebo senzory. Síťová vrstva, jež je charakterizována vnímáním a kontrolou, je důležitou součástí smart factory. Vzhledem k rozšiřování cloudových úložišť, zpracovávání dat v reálném čase, sdílení dat a přenosu dat je důležité mít kvalitní síťové propojení. Je několik technologií, které již splňují požadavky na správný přenos dat, například Industrial wireless sensor networks (IWSNs) a field bus. I ostatní technologie se nadále vylepšují, aby požadavkům na přenos velkých dat dokázaly vyhovět. V síťových technologiích je ale stále dost problémů. Mezi zásadní patří usměrnění dat, řízení přetížení a zpracování chyb. [21]

IWSNs zastupují rozšiřující se bezdrátové sítě určené do průmyslové výroby. Bezdrátové sítě IWSNs by měly splňovat nejvyšší standardy v latenci, spolehlivosti, přenosové rychlosti a nízké spotřebě energie. [21]

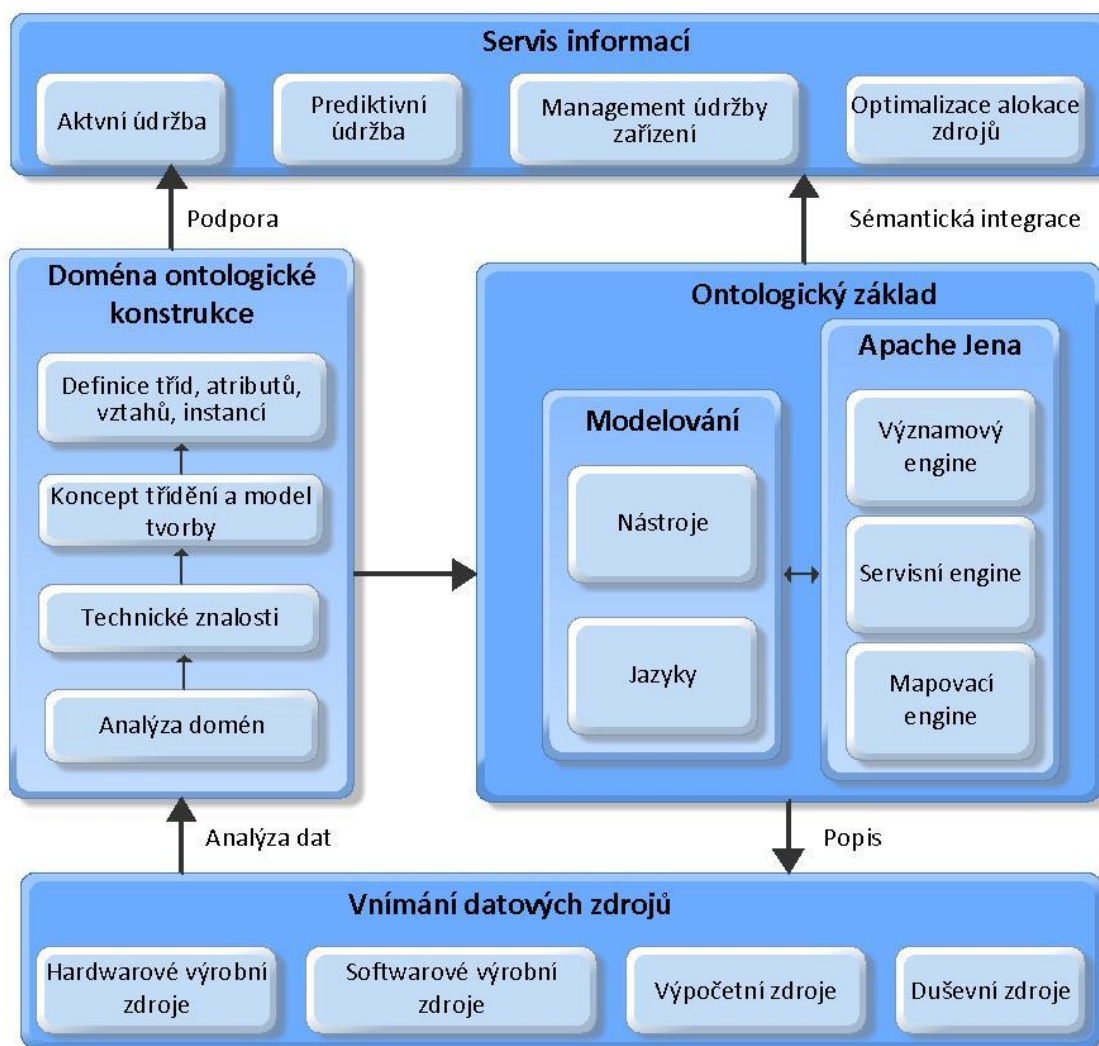
Vrstva datové aplikace

Podstatou datové aplikace je získání znalostí z datových zdrojů a určení hodnotových řetězců pro výroby. Průmyslová Big data převážně zahrnují strukturovaná a polostrukturovaná data. Data získávána během výroby budou nadále pomáhat k dalším rozvojem inteligentní výroby. Druhá možnost datové vrstvy je pomocí ontologického modelu. [21]

Ontologický model

Ontologický model výrobních zdrojů je nový technický pohled na konstrukci smart factory. Vzhledem k zdokonalení konfigurací výrobního systému ontologický model podporuje interoperabilitu. Tento model je také schopný aplikovat optimalizované řízení výrobních zdrojů, a také zajišťovat sémantické podklady pro konzistentní popis mezi různými aplikacemi. Navíc by

ontologický model měl sjednotit i další kritéria důležitá pro výrobu, jako jsou jasnost, konzistentnost, rozšiřitelnost a minimální odchylky. Jak je vidět na modelu Obr. 6, ontologický model je založen jednak na získaných datech, ale také na databázi dat, která jsou využívána pro sémantiku. [21]



Obr. 6: Model ontologické domény [21]

Zobrazovací vrstva

Hlavními prvky zobrazovací vrstvy jsou koncová zařízení uživatelů, jako počítače, tablety, mobily, atd. Koncová zařízení jsou rozmístěna po výrobním závodě pro účel monitoringu, vizualizací, analýzy dat, změny řízení a také pro podporu údržby. [21]

2.8 Průmyslové senzory

V této podkapitole jsou popsány senzory a jejich dělení. Senzory jsou zařízení, která jsou v průmyslové výrobě velmi důležitá, především pro monitoring a řízení výroby, což je jeden z cílů praktické části této práce.

2.8.1 Definice senzorů

Pojmem senzor je myšleno zařízení, které reaguje na podnět, stav nebo změnu prostředí (měřenou veličinu) a převádějí jej na výslednou odezvu nebo informaci (výstupní veličinu). Ekvivalentními pojmy k senzoru jsou čidlo a snímač. V dnešní době jsou využívány takzvané Smart sensors, které jsou schopné řídit se, převádět měřenou veličinu a komunikovat s ostatními zařízeními. [23]

Smart sensors jsou poměrně pokročilá zařízení, která nevytváří pouze samotná data, ale dokáží také s těmito daty různě pracovat. Senzory jsou schopny měřená data vyhodnocovat a na jejich základě vytvářet predikci dalšího vývoje měření. Například jsou senzory schopny porovnat současné nastavení s předem nakonfigurovanými daty hraničních hodnot a zajistit tak vlastní autodiagnostiku. V poslední době došlo ke značnému zlevnění a zmenšení senzorů, což učinilo senzory mnohem využitelnějšími, ať už kvůli snazší instalaci na stroje ve výrobě nebo i finanční náročnosti. [6]

Pokroky senzorů v nedávné době byly podporovány vylepšováním a zlevňováním vysokorychlostních elektrických obvodů a změnou přístupu ke zpracovávání dat. V současnosti již neplatí, že každý senzor musí být připojen pomocí kabelu, ale existují i bezdrátové senzory, kterým dokonce stačí pouze jejich interní baterie na provoz i po dobu několika let. Tyto bezdrátové senzory komunikují na bázi radiových vln, kde často využívají technologie Bluetooth nebo IoT sítě jako je ZigBee, LoRa a další. Tato inovace velice pomohla rozšíření senzorů, protože již všude, kde je senzor nemusí být natažený kabel s elektrickou a internetovou sítí. Toto přináší své výhody, jako využívání senzorů ve špatně dostupných místech, ať už ve venkovních prostorech nebo i ve vnitřních prostorech. Přinášejí také svá omezení, když jsou kladeny vysoké nároky na optimalizaci přenášených dat, protože některé senzory jsou schopny využít pouze několik bajtů za minutu a také na bezpečnost přenosu dat. Schopnost senzorů

přenášet data záleží jednak na vnitřní architektuře senzoru, ale také na zvolené technologii, pomocí které senzor data přenáší. [6]

Požadavky na senzory:

- 1) Jednoznačná závislost výstupní veličiny na vstupní veličině
- 2) Přesnost senzoru
- 3) Vhodné dynamické vlastnosti
- 4) Minimální ovlivnitelnost vnějšími vlivy
- 5) Minimální zatěžování měřeného objektu
- 6) Jednoduchá konstrukce, minimální velikost, snadná údržba, nízká cena

2.8.2 Rozdělení senzorů

Senzory je možné dělit podle toho, jakou veličinu snímají, jak provádí snímání, na jakém principu senzory fungují, či jakým způsobem je měřená veličina prezentována a mnoho dalších rozdělení. Mezi nejběžnější rozdělení patří tyto: [24] [25]

Rozdělení podle vstupní veličiny:

- Kinematické veličiny – poloha, rychlost, zrychlení
- Síla, tlak
- Průtok
- Hladina
- Teplota
- Optické veličiny
- Magnetické veličiny
- Fyzikální a chemické vlastnosti tekutin

Rozdělení podle výstupní veličiny:

- Elektrický signál
- Optické veličiny
- Mechanické veličiny

Dle styku senzoru a měřené veličiny

- Bezkontaktní
- Kontaktní

Konstrukční rozdělení:

- Aktivní – senzory se chovají jako zdroje elektrické energie
- Pasivní – senzory mění některý ze svých parametrů v závislosti na měřené veličině

Výstupní signál

- Analogový
- Digitální

[24] [25]

3 Rešerše stavu keramického průmyslu

V následujících podkapitolách bude popsán samotný keramický průmysl a jeho rozdělení. Vzhledem k zaměření této práce bude dále podrobněji popsáno odvětví keramického průmyslu v podobě žárovzdorného průmyslu. Dále zde budou popsány modely Průmyslu 4.0, které využívají některé technologické či konzultační společnosti a nakonec některé již realizované aplikace prvků Průmyslu 4.0 do keramického průmyslu, protože žárovzdorný průmysl vychází z keramického průmyslu a principiálně funguje stejně.

3.1 Keramický průmysl

Keramické materiály jsou popisovány jako soudržné, ve vodě prakticky nerozpustné, polykrystalické látky, které mohou obsahovat skelné fáze a byly získány z anorganických nekovových surovin, nejobvykleji na bázi silikátů. Keramické materiály jsou zpracovány do požadovaného tvaru a vypalovány. Během výpalu dojde pomocí slinování keramické směsi ke zpevnění a zároveň vytvoření nové mikrostruktury výrobku. Po tomto procesu mají keramické výrobky požadované fyzikální a mechanické vlastnosti. Zjednodušený proces výroby keramiky je v tomto pořadí příprava směsi, extruze výrobku, sušení a pálení. [26] [27] [28]

Hlavní prvky, které nemohou chybět v žádné keramické směsi, jsou ostřivo (např. křemen, škvára, korund, ...) a pojivo (např. jíl, portlandský křemen, ...). Směs může obsahovat i nějaké další látky, pomocí kterých je možné upravit vlastnosti, které jsou očekávány od konečného výrobku. [27]

Pro keramické výrobky tvoří základ surovinové směsi plastické horniny obsahující jíl. Naprostá většina keramických výrobků vzniká pomocí tváření jílovité směsi ve studeném stavu. Dále je důležitá vlhkost keramické směsi. Jsou výrobní postupy, které vyžadují směs vlhčí, ale také které potřebují směs sušší. Pro extruzi je požadována směs s nižší vlhkostí. [27]

3.1.1 Rozdělení keramického průmyslu

Keramické výrobky lze dělit podle několika kritérií, zde jsou vypsána a popsána tři základní rozdělení. [27]

Struktura	Obsah pórů	Použití výrobků
jemná	pórovitý	stavební
hrubá	polohutný	zdravotnické
	hutný	technické
	poloslinutý	žárovzdorné materiály
	slinutý	

Rozdělení podle struktury

Keramické výrobky dělené podle struktury se dělí podle jemnosti zrn použitého ostřiva na jemné a hrubé. Při výrobě keramiky se nevyužívají složky pouze jedné zrnitosti, ale tato velikost je různá v určitém rozsahu. Hlavními rysy jemné keramiky jsou hladký povrch, tenký a jemnozrný stěp. Hlavní využití jemné keramiky je porcelán, obkládačky, zdravotnická a technická keramika. Keramika s hrubou strukturou má stěp silnostěnný a hrubozrný. Tento typ struktury je využíván u cihel, kameniny a žárovzdorných výrobků. [27] [28]

Rozdělení podle obsahu pórů

Toto rozdělení má vliv na hmotnost materiálu. Čím vyšší pórovitost tím je materiál lehčí. Při využívání vysoce pórovitých materiálů je třeba brát zřetel na to, že tyto materiály absolutně netěsní a mohou propouštět vzduch. Toto rozdělení se určuje pomocí nasákavosti a jednotkou jsou procenta hmotnosti. Nejvíce pórů obsahuje rozdělení pórovité s $n_m > 10 \%$, následuje polohutné s $n_m=6-10 \%$, hutné s $n_m=3-6 \%$, poloslinuté s $n_m=1,5-3 \%$ a nejméně pórovité rozdělení se nazývá slinuté s $n_m < 1,5 \%$. [27] [28]

Rozdělení podle použití výrobku

Další rozdělení je podle využívání výrobků. Největším segmentem keramického sektoru jsou stavební materiály, kam spadají cihly, dlažba a obklady. Jako zdravotnické keramické výrobky se označují předměty do laboratoří, hygienických zařízení atd. Jsou sem zařazena i umyvadla, pisoáry, vany a další podobné výrobky. Do technické keramiky patří výrobky využívané k izolaci elektřiny, nádrže na chemikálie a části elektrických a tepelných strojů. Mezi žárovzdorné keramické výrobky patří materiály schopné odolávat vysokým teplotám. Tyto materiály nachází největší využití v hutnictví, sklářství, slévárenství a v podobných odvětvích průmyslu, kde se pracuje s materiálem za vysokých teplot. [27] [28] [29]

3.1.2 Žárovzdorný průmysl

Tato diplomová práce se týká žárovzdorného odvětví keramického průmyslu, a proto bude v této kapitole detailněji popsána tato část průmyslu.

Do žárovzdorných materiálů patří materiály, které jsou schopny trvale odolávat teplotám přesahující 1500°C aniž by došlo k tavení těchto keramických produktů. Nezbytným předpokladem pro takovou odolnost je vysoký bod tání všech jednotlivých složek vstupní směsi. Žárovzdorné materiály jsou pro svou schopnost odolávat vysokým teplotám specifické a pro některé aplikace nenahraditelné. Jedná se především o vysoké a sklářské pece, koksovny, komíny atd. [28]

Na žárovzdornost má vliv složení vstupní směsi a kvalita přísad do ní vložených. Konečnou schopnost odolávat vysokým teplotám ale také ovlivňuje výrobní proces, kde je možné manipulovat s různými parametry, jako je vlhkost vstupní směsi, doba a teplota sušení, doba a teplota pálení a hutnost směsi při extruzi. [28] [30]

Žárovzdorné materiály je možné rozdělit na tvarové a netvarové. Mezi tvarové materiály můžeme zařadit tvarové kameny, zatímco do netvarových materiálů patří různé malty a tmely. Obě tyto rozdělení, jak tvarové, tak netvarové lze dále rozdělit na části hutné a izolační. [30]

3.2 Hodnotící modely Průmyslu 4.0

Tato podkapitola popisuje hodnotící modely jednotlivých firem, které se věnují Průmyslu 4.0. Jednak je u modelů popsáno, jakým stylem na tento problém nahlíží, a také je popsáno, jak si vyhodnocují fáze implementace prvků Průmyslu 4.0. Je třeba říci, že některé firmy, které zde budou zmíněny, jako třeba PwC, se danou problematikou zabývají pouze na bázi poradenství a konzultací, ale některé například Rockwell Automation se zabývají i implementací prvků Průmyslu 4.0 přímo u svých zákazníků. Hodnotící modely z praxe jsou popsány v **Chyba!**
Chybný odkaz na záložku..

Tab. 1: Modely pro vyhodnocení průmyslu 4.0 [26]

Průmysl 4.0 – Hodnotící model	Popis modelu	Fáze modelu
PwC, 2017	Online samohodnotící model pro Průmysl 4.0 byl vytvořen celosvětovou konzultační firmou. Navrhuje: 1. provedení online sebehodnocení 2. identifikaci potřebných akcí 3. srovnávací hodnocení ostatních firem	Tento model zahrnuje čtyři fáze. Digitalizaci, vertikální integraci, horizontální spolupráci, finální digitalizaci a šest dimenzí: business model a portfolio produktů, přístup k zákazníkovi, řetězec hodnot a procesů, architektura IT, dodržování práva, organizaci a kulturu.
Rockwell Automation, 2014	Specialisté ve firmě Rockwell Automation, který je lídr na trhu v průmyslové automatizaci, navrhli model firemního propojení vospělosti. Model nabízí postup implementace síťových operačních technologií a informačních technologií.	Pět fází od hodnocení po spolupráci
Isaka, Nagayoshi, Yoshikawa, Yamada, & Kakeno, 2016	Vospělý model pro produkční systémy vyvinutý od firmy Hitachi. Tento model navrhuje využití obrazů analýzy jako snímací techniky.	Zařízení první úrovně využívá data pro vizualizaci své sítě. Zařízení druhé úrovně může monitorovat produkty. Zařízení třetí úrovně mohou analyzovat a pracovat automaticky a optimalizovat práci. Zařízení čtvrté úrovně mohou měřit, identifikovat a řešit výrobní překážky. Pátá úroveň znamená predikci. Poslední, šestá, úroveň vyznačuje symbiózu, ve které jsou optimalizované zdroje a výrobní plány s dodavateli.
Leyh et al., 2017	Model vospělosti integrace systému Průmysl 4.0 má čtyři fáze. Vertikální integraci, horizontální integraci, vývoj digitálních produktů a kritéria průřezových technologií.	Tento model má pět úrovní hodnocení. První stupeň je základní úroveň digitalizace a postupně je možno dosáhnout až pátého stupně, kterým je plně optimalizovaná digitalizace.
Schumacher, Erol, & Sihn, 2016	Model obsahuje sociální, technické a organizační rozměry pro posouzení připravenosti výroby na Průmysl 4.0. Tito autoři určili celkem devět dimenzí, každá z nich	Stupně se hodnotí od jedné do pěti jako výsledek váženého průměru.

	měla hodnotu váženého průměru různých položek. Jde o komplexní model s grafy pro vizualizaci dat a identifikaci priorit.	
Ganzarain & Errasti, 2016	Model se zaměřuje na proces změny strategií diverzifikace. Je nezbytné definovat vizi, zavést postup a implementovat projekty Průmysl 4.0 a zajistit školení a řízení rizik.	Je zde pět fází od první, kde nejsou žádné prvky Průmyslu 4.0 až po nejvyšší pátý stupeň detailní transformace obchodního plánu.

3.3 Průmysl 4.0 v keramickém průmyslu

V Tab. 2 jsou popsány jednotlivé, již realizované implementace prvků Průmyslu 4.0, které proběhly v rámci keramického průmyslu.

Tab. 2: Průmysl 4.0 v keramickém průmyslu [26]

Průmysl 4.0 Pilotní projekty	Popis
Mobilní výrobní realizační systém (mMES)	Tento projekt realizovalo CTCV – Technologické centrum pro keramiku a sklo v Portugalsku. Cílem tohoto projektu bylo vytvoření MES na cloudu pro mobilní zařízení. Hlavním účelem tohoto systému je pomoci malým podnikům v keramickém průmyslu, které používají všechnu dokumentaci v papírové podobě, v digitalizaci. Tento program by měl pomoci při nahlížení do záznamů informací dodavatelům a zákazníkům v reálném čase. Využití mobilních technologií minimalizuje finanční nároky a zjednodušuje adaptaci systému.
Cloudová laboratoř informačního řídicího systému (cLIMS)	Keramické výrobky často vyžadují testování pro kontrolu splnění normy nebo požadavků zákazníka. Velké firmy s digitalizací těchto dat nemají problém, ale menší firmy stále používají pouze papír nebo obyčejné tabulky v počítači. Tento systém integruje data z testovacích laboratořích s firemními a také má speciální rozhraní pro zákazníky.
Digitalizace forem	Formy jsou velice náročné na skladovací prostor. Většinou každý zákazník chce jeden druh výrobků, a proto je potřeba je uchovávat. Tento projekt se věnuje digitalizaci těchto forem a v případě potřeby vytisknutím forem na 3D tiskárně. U tohoto projektu občas dochází k problémům při digitalizaci, především u forem, které jsou složené z více částí.
Management energií pomocí	Řízení spotřeby energií není nic nového, nicméně většina existujících systémů pouze upozorňuje na vyšší odběr energií. Simulace a integrace

simulací, cloudy a IoT	s výrobními linkami zajistí přidanou funkcionalitu současnému energetickému managementu, který zahrnuje různé senzory.
Big Data pro marketing a internacionalizaci	Analýza velkých dat může poskytnout důležité informace pro designery. Design se postupem času mění po celém světě. Potenciál velkých dat je v současnosti používán k podpoře trendů v designu a prodeji.
Snímání keramiky	Tradiční produkty keramického průmyslu jako jsou dlažky, mohou obsahovat např. senzory a solární systémy, které se pak mohou uplatnit v chytrých domech. Takto nově přidané prvky vytvoří digitální informace.
Monitorovací systém	Využití QR kódů v keramickém průmyslu může pomoci s řízením výroby, kontrolou kvality a poskytnout informace v digitální podobě spotřebitelům. V poslední době portugalská firma dává QR kódy na konečné produkty, aby bylo možné zjistit přesné informace o výrobě tohoto produktu (např. informace o šarži, charakteristice kvality a způsobu výroby).
Keramika Průmysl 4.0 – model zralosti	Vytvoření modelu zralosti pro keramický průmysl je ve vývoji v Portugalsku. Pracují na něm univerzity, firmy a asociace keramického průmyslu. Projekt je zaměřen na vytvoření modelu, ze kterého bude možno čerpat různá řešení pro každý subsektor keramického průmyslu.

4 Analýza současného stavu v modelové společnosti

Tato kapitola je věnována analýze současného stavu výroby v modelové české společnosti P-D Refractories CZ a.s. Společnost byla vybrána ke spolupráci na této diplomové práci, protože patří mezi největší společnosti ve svém oboru v České republice a zároveň má zájem o neustálé vylepšování vlastní výroby, které by vedlo k jejímu zkvalitnění, a také, jak je v dnešní době trendem, k minimalizaci lidské práce. Modelová společnost bude využita v dalších kapitolách práce pro vytvoření návrhů implementace prvků Průmyslu 4.0. Je zde popsána samotná modelová společnost a jak probíhá výroba žárovzdorných výrobků v jejím výrobním závodě. Analýza bude také obsahovat všechny v současnosti zavedené prvky monitoringu a řízení výroby. Celá analýza proběhne za účelem, co nejlépe vybrat místa výroby, kam bude možné zavést prvky modernizace spojené s Průmyslem 4.0.

4.1 Modelová společnost

V této podkapitole bude představena modelová společnost P-D Refractories CZ a.s.

P-D Refractories CZ a.s. je jedním z největších výrobců a dodavatelů žárovzdorných výrobků a surovin v Evropě. Společnost vyrábí a dodává materiál pro celou i částečnou vyzdívku pro různá tepelná zařízení jako jsou koksové pece, vysoké pece, sklářské pece, elektrolyzéry primární výroby hliníku a další. Většina výrobků je vyráběna na základě objednávky, ale jsou vyráběny i některé výrobky na sklad. Portfolio výrobků společnosti P-D Refractories CZ a.s. je poměrně obsáhlé, když vyrábí šamotové kameny, vysoce hlinité kameny, dinasové kameny, izolační kameny, či žárovzdorné jíly, malty, tmely a betony. Dále se také zabývají výrobou komínových vložek, na jejichž výrobní linku bude tato práce zaměřena. [31]

Společnost P-D Refractories CZ a.s. spadá do koncernu Preiss-Daimler Group, kam spadají i další skupiny jako P-D FiberGlas group, která se zabývá výrobou a zpracováním sklolaminátů a společnost P-D Services, která se zabývá ochranou životního prostředí. [31]

P-D Refractories CZ a.s. má v České republice čtyři závody. Hlavní závod je ve Velkých Opatovicích, kde sídlí hlavní vedení společnosti a také je zde výrobní část. Zde se vyrábí tvarové kameny pomocí vibrolití a dále komínové vložky, žárovzdorné tmely, betony a akumulační kameny do kamen. Tento závod se nachází na ploše o rozloze 28,8 hektarů. Druhý výrobní závod se nachází ve Svitavách. Zde probíhá především výroba dinasových tvarových kamenů a také se

zde vyrábí komínové vložky. Tento závod je svou rozlohou téměř třetinový, oproti závodu v Opatovicích a zabírá plochu 9,6 hektarů. Linka, kterou se tato práce zabývá se nachází právě ve Svitavách. Třetí závod se nachází v Březině, kde je v současné době zastavený důl, a pouze se zde využívají šachtové pece. Poslední závod se nachází v Březince. Zde se těží jíly, které jsou posléze využívány pro výrobu žárovzdorných materiálů ve Velkých Opatovicích. [31]

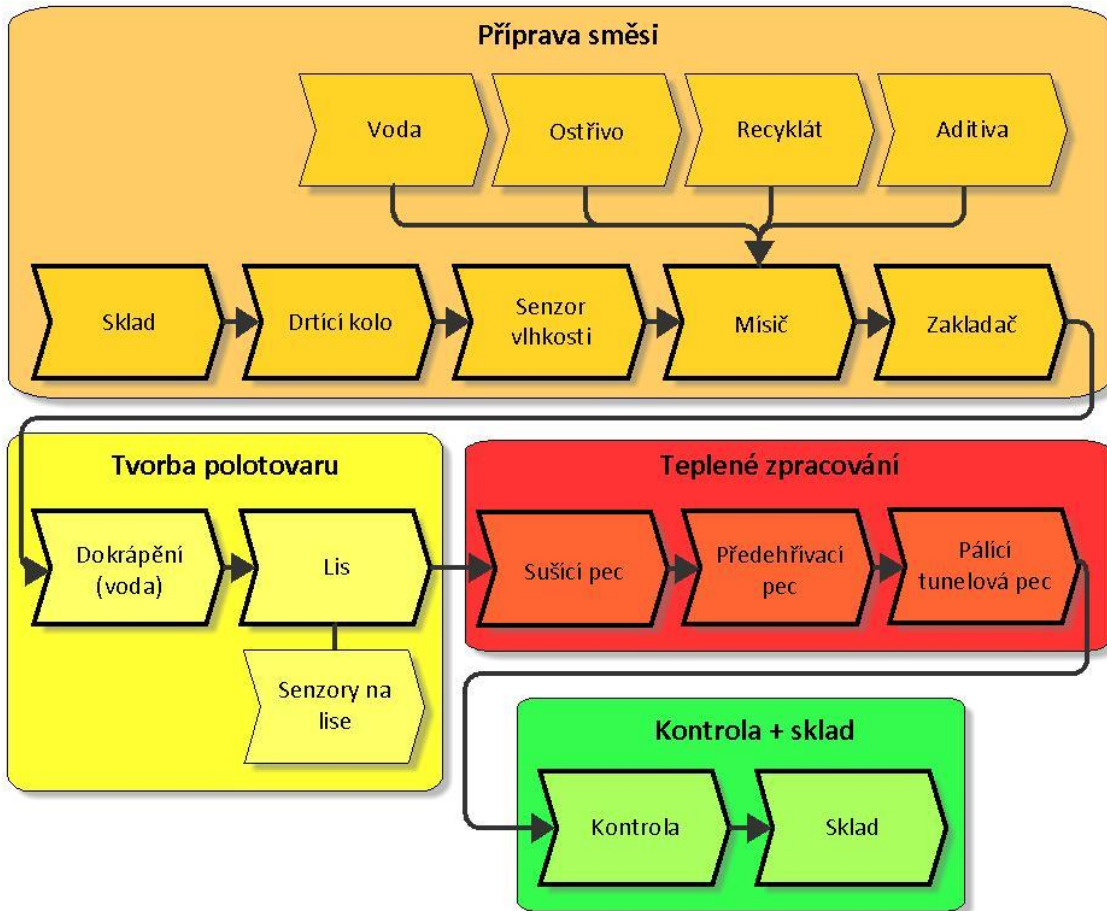
4.2 Analýza výroby žárovzdorných výrobků

Žárovzdorné výrobky jsou ze směsi kameninových a žárovzdorných jílu a ostřiv. Jsou pro ně charakteristické vlastnosti jako nízká nasákavost, nízká propustnost plynů a vysoká pevnost v tlaku. Všechny tyto vlastnosti samozřejmě platí za vysokých teplot. Jsou využívány k odvodu spalin jakýchkoliv druhů paliv.

Celá výroba začíná dopravou používaných výrobních surovin do areálu výrobního závodu pokračuje jejich uskladněním a poté proběhne úprava frakce výrobních surovin na požadovanou velikost. Po přípravě všech výrobních složek dojde k namíchání výrobní směsi. Tato výrobní směs se nechá uležet v zakladači. Po vyzrání směsi dochází k extruzi výrobků na lise podle požadovaných rozměrů. Z lisu jsou výrobky převezeny pomocí sušárenských vozů do sušící pece, kde začíná tepelné zpracování výrobku. Po proběhnutí sušení dojde k překládce výrobků ze sušárenských vozů na vozy pecní. Tyto vozy absolvují cestu nejdříve do předehřívací pece, kde dojde k patřičnému předehřátí výrobků pro vstup do tunelové pálící pece.

V současné době se ve výrobě modelové společnosti spoléhá především na lidský faktor. Lidé na základě zkušeností určují všechny hlavní parametry, ať už jde o to, kolik vody se má přidávat do mísiče, o případné dokrápění před lisem, pokud z lisu vychází nevhodné výlisky či o kontrolu tvaru na konci či v průběhu výroby.

Celý proces výroby probíhá prochází částmi: Příprava směsi, Tvorba polotovaru, Tepelné zpracování a Kontrola + sklad. Proces je zobrazen na schéma na obrázku Obr. 7 a podrobněji je rozebráno v dalších podkapitolách.



Obr. 7: Blokové schéma výroby

4.2.1 Doprava, skladování a příprava výrobní směsi

Vstupní suroviny do výrobní směsi jsou do výrobního závodu dopravovány buď pomocí nákladních aut nebo po trati vlaky. Dopravené suroviny, které mají největší zastoupení ve výrobní směsi, jsou uchovávány v hlavním skladu. Jsou jimi jíla, ostřivo, které je převáženo a skladováno v pytlích, a také recyklát. Skladování ostřiva a jílu je vidět na Obr. 8: Sklad jílu a ostřiva a recyklát je vidět na Obr. 9. Všechny tyto materiály jsou skladovány v jednom skladu, který je rozdělený na více částí. Sklad je zastřešen, ale z některých stran nemá stěny, aby byla umožněna snadná manipulace se skladovanými surovinami. Správné skladování má již vliv na výsledný výrobek, protože jednou z nejnáročnějších proměnných výroby je vlhkost výrobní směsi, která se v případě špatného skladování může výrazně měnit a ovlivnit celý průběh výroby, v nejhorším může ovlivnit kvalitu výsledného výrobku. Během tohoto uskladnění dochází

k homogenizaci jílu, aby s ním byla během celého výrobního procesu co nejjednodušší práce. Ostatní příměsi, které nedosahují takového objemu jsou skladovány v blízkosti mísiče.



Obr. 8: Sklad jílu a ostřiva



Obr. 9: Sklad páleného recyklátu

Ze skladu jsou tyto hlavní materiály přemístěny pomocí jeřábu a dopravníku do přípravných vstupních surovin. Zde dochází k rozmělnění jednotlivých složek směsi pomocí dvou drtičů na potřebnou velikost frakcí. Odsud jsou pak dopravovány přímo do mísiče. Zde je pomocí konstrukce na dopravním zařízení umístěn senzor vlhkosti. Senzor je možné vidět na Obr. 10. Přestože je zde nainstalovaný senzor vlhkosti, tak není využíván. Během výběru byl zvolen nevhodný typ senzoru a nesnímá správně hodnoty při měření jílovitých materiálů.



Obr. 10: Senzor vlhkost

V přípravě směsi je také velín, kde se pomocí programu na bázi SCADA určuje receptura směsi. V tomto programu se určuje hmotnost jednotlivých surovin vstupujících do výrobní směsi. Těmito surovinami jsou žárovzdorný jílu, ostřivo a voda. Tento program požadované hmotnosti odešle na váhy, kde je hmotnost dané suroviny nadávkována a přes přípravnou směs přepravena do mísiče. Zde dochází ke vzniku výrobní směsi ze vstupních surovin.

V mísiči dochází k promíchání všech složek výrobní směsi, vody, jílu, ostřiva a dalších aditiv. Suroviny jsou promíchávány tak, aby došlo k homogenizaci celé směsi. Zde je problém s určováním vlhkosti, která je zásadní pro další zpracování směsi, kvůli nefunkčnímu senzoru vlhkosti před vstupem jílu do mísiče. V mísiči dochází k hlavnímu zvlhčení výrobní směsi. Zároveň v mísiči dochází ke vzniku základní výrobní směsi. Z mísiče již putuje namíchaná výrobní směs po dopravníkovém páse do zakladače. V zakladači je výrobní směs uchovávána po dobu určenou pro potřebnou homogenizaci výrobní směsi. Doba homogenizace je přibližně 24 hodin. Do zakladače směs průběžně přichází nová směs a je odebírána ta která je zde nejdéle. Je zde praktikován způsob zásobníku FIFO. Na následujícím obrázku Obr. 11 je na levé straně vidět zakladač a na pravé straně je dopravník, který výrobní směs dopravuje ze zakladače k lisům. Po požadované homogenizaci výrobní směsi pro extruzi je směs vytlačena ze zakladače na dopravník, který směřuje k části výroby, kde dochází k extruzi.



Obr. 11: Zakladač

4.2.2 Tvorba polotovaru

Ze zásobníku je směs po zmíněných 24 hodinách postupně vyskladňována a pokračuje k dalšímu zpracování. Ze zásobníku směs putuje k lisu na dopravníku. Na tomto dopravníku je instalováno dokrápění, pomocí kterého je možné v případě nedostatečné vlhkosti směsi směs zvlhčit. Zde je poslední místo ve výrobním procesu, kde je možné do výrobní směsi zasáhnout. Zda směs zvlhčit, nebo ne, je opět pouze na uvážení pracovníka obsluhující lis či na technologovi. Jak již bylo předesláno, následně putuje směs do lisu. Před samotnou extruzí prochází směs přes předlisovací komoru, kde se nachází horizontální šnekový lis. Zde pomocí vakua dochází k odvodu celého výrobní směsi, což je důležité pro kvalitu výrobků a jejímu ztuhnutí. Z lisu je extrudováno nekonečné pásmo výrobků, které je podpíráno vnitřním trnem. Vnější tvar extrudovaného pásma určuje ústí lisu, vnitřní tvar a rozměr určuje trn podpírající extrudované pásmo. Následně je za litem pásmo děleno na požadovanou délku.

Lis je osazen senzory, které sledují tlak lisu, otáčky motoru, zatížení lisu a hodnotu vakua v předlisovací komoře. Hodnoty, které senzory naměří, je možné monitorovat online na řídicí jednotce lisu. Z těchto monitorovaných parametrů je pro kvalitu extrudované vložky nejdůležitější parametr tlaku lisu. Tato hodnota znázorňuje tlak, za kterého byla vložka extrudována. Dále je také důležitá hodnota vakua v předlisovací komoře, aby docházelo k odvodu směsi. Z lisu je zaznamenávána hodnota tlaku a rozměry vybraného výrobku. To se děje jednou za směnu v papírové formě v záznamových arších. Vzhledem k vysokému tlaku při extruzi a charakteru výrobní směsi, která je vysoce abrazivní, dochází k velkému opotřebování všech součástí lisu, které jsou ve styku s výrobní směsí.

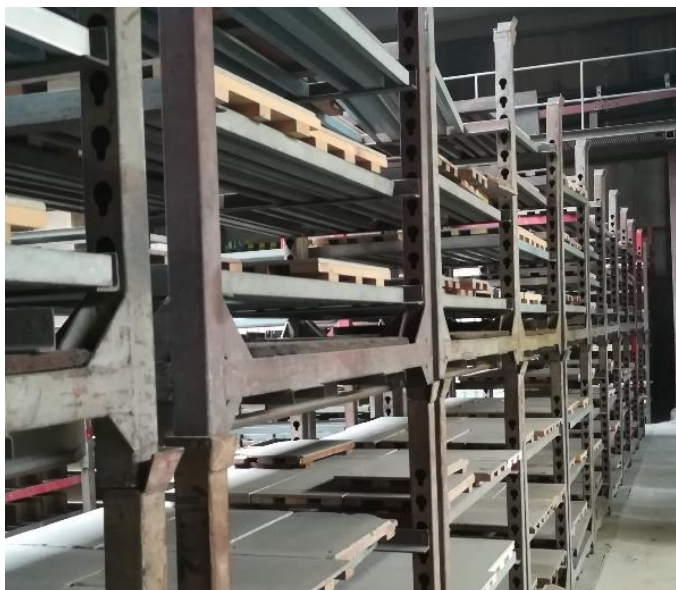
Dělení je prováděno pomocí drátové pily, která je vyobrazena na Obr. 12 v pravé části obrázku. Tato drátová pila funguje na principu silového působení drátu na nekonečné pásmo, a tím vznikají jednotlivé výrobky. Pokud je potřeba může být výrobek pomocí přípravku podpírán, aby nedocházelo k jeho deformaci kvůli působení drátu. Lože, na kterém je výrobek dělen, má tvar uzpůsobený tak, aby nedocházelo k deformování výrobku, ale naopak aby ho podpíralo.



Obr. 12: Drátová pila

Následně je výrobek posouván na dopravníku dále od lisu. Přesun od pily provádí manipulátor, který uchopí výrobek a přenesení na dopravník, který výrobek přesune k další části výrobního procesu. Zde se nachází válcovací stolice, která má za účel kalibrovat tvar každého procházejícího výrobku na požadovaný tvar. Za válcovací stolicí je vložka uchopena manipulátorem využívajícím podtlakové savky a přenesena výrobek na další stanoviště. Další pracoviště ve výrobním procesu je očištění výrobku po dělení. To je důležité především z důvodu, aby byly dodrženy požadované rozměry a kvalita výrobku. Po procesu tepelné úpravy již očištění není možné, což je důvod k provedení této činnosti právě za dělení. Čištění je prováděno pomocí tlaku vzduchu. Dále dochází k výrobě osazení výrobků tak, aby na sebe pasovaly. Nakonec je výrobek přesunut na pozici, odkud je odebírán pracovníkem. Manipulace mezi dopravníkem před očištěním a místem k odebírání výrobků je prováděna podtlakovým manipulátorem.

Z odběrového místa je vložka lidským operátorem skládána do sušárenských vozů viz Obr. 13. Každý vůz je umístěný na kolejích a musel být k lisu dopraven pomocí lidské síly a posléze plný musí být také ručně odvezen. Do těchto vozů se vejde 48 vložek, které musí být skládány systematicky od spodu nahoru.



Obr. 13: Sušárenský vůz

4.2.3 Tepelné zpracování

Po naložení do sušárenských vozů jsou tyto vozy po kolejkách lidskou silou dotlačeny až k sušícím pecím. V sušících pecích dochází k prvnímu tepelnému zpracování výrobků. Výrobky prochází sušením, aby došlo k odpaření přebytečné vlhkosti, která zůstala ve výrobní směsi. Vlhkost je ve směsi potřebná pro správnou extruzi směsi na lise, ale během vypalování je již vlhkost ve výrobku nežádoucí. Sušící proces se provádí kvůli tomu, aby nedošlo k poničení výrobků během pálení. Výrobek by během pálení v pálící peci vlivem vnitřního prnutí popraskal. Samotný proces sušení probíhá v průběžné vícekomorové sušící peci za teploty 100°C a po dobu přibližně jednoho dne. Doba sušení je závislá na typu produktu, jeho velikosti a přesné výrobní směsi. Sušící pece mají výstup z druhé strany, odkud jsou sušárenské vozy převezeny na nakládku na speciální pecní vozy. Na Obr. 14 je sušící pec a před vjezdem do pece jsou výrobky připravené na sušení.



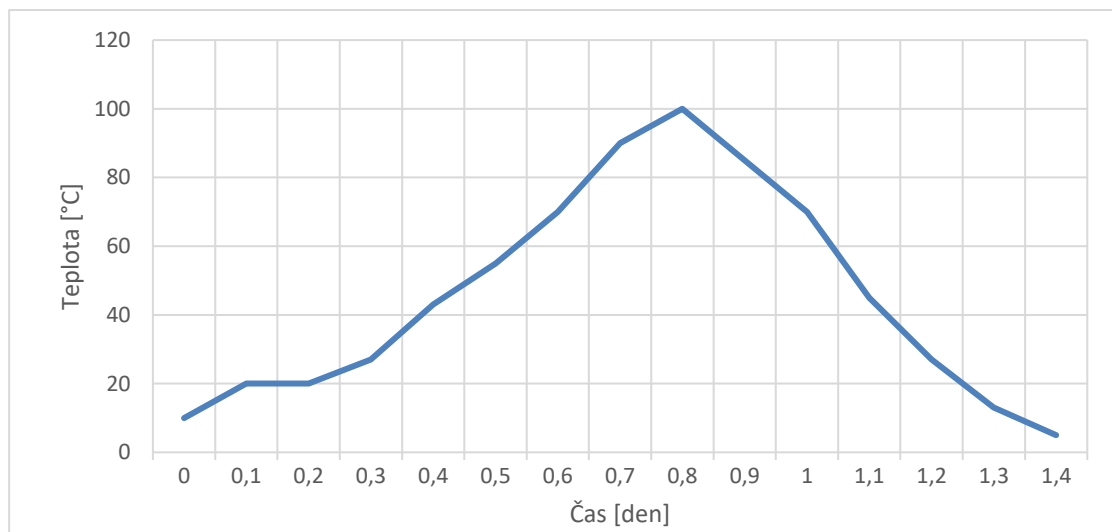
Obr. 14: Sušící pec

Ze sušárenských vozů se výrobky překládají na pecní vozy, tato činnost je prováděna lidmi. Pecní vozy jsou složeny z několika platforem a typů materiálu, aby byla kompenzována teplotní roztažnost materiálů, ze kterých jsou pecní vozy vyrobeny. Pokud by tomu tak nebylo, mohlo by dojít k deformaci vypalovaných výrobků, v nejhorším případě k úplnému zhroutilí výrobků na pecním voze. Na pecní vůz jsou výrobky skládány do speciálního rozmístění, aby došlo ke správnému proudění tepla napříč všemi výrobky naloženými na pecním voze. Toto rozmístění výrobků na voze přibližně kopíruje tvar tunelové pece viz Obr. 15. Na jeden pecní vůz se vejde 240 kusů výrobků, což je pět sušárenských vozů.



Obr. 15: Pecní vůz s komínovými vložkami

Tunelová pec je přibližně 200 metrů dlouhá, v celé peci je několik žárových pásem. Průběh teploty od začátku stoupá, až dosáhne v polovině procesu teplotního vrcholu a opět postupně tato teplota klesá. Teplotní průběh je znázorněn na Graf 1. Teploty jsou z důvodu zachování výrobního tajemství změněny, ale vývoj změn teplot je zachován, zároveň nejsou uvedeny ani správné jednotky času. Během pálení je důležitý postupný nárůst teploty a její následný pokles, aby došlo ke správnému vypálení a nedošlo k popraskání vypalovaných výrobků. Postupný nárůst teploty je dosahován v peci pomocí několika žárových pásem a pomalým posunem pecních vozů napříč pecí, když výrobky projdou procesem vypalování za přibližně jeden celý den.



Graf 1: Průběh teplot při pálení [30]

4.2.4 Kontrola a sklad

Po tepelném zpracování výrobků vyjede pecní vůz z tunelové pece, kde došlo k finální tepelné úpravě. Pecní vůz je odvezen na místo, kde dochází k ručnímu třídění výrobků. Ruční třídění spočívá v kontrole všech výrobků. Nejprve proběhne vizuální kontrola prasklin a trhlin, poté jsou výrobky kontrolovány na poklep, zda se nezboří. Nakonec jsou kontrolovány rozměry výrobku pomocí kalibru. Výrobky, které splňují všechny požadavky jsou skládány na europaletu, která je následně zabalena a převezena do části expedice. Nevyhovující vložky jsou přemístěny do jim určeného kontejneru, ve kterém jsou posléze přemístěny do skladu, kde jdou znovu do výrobního procesu, jako jedna z příměsí do výrobní směsi.

4.2.5 Řízení a monitoring výroby

Cílem této práce je zaměřit se především na řízení a monitoring výroby, a proto v této podkapitole dojde ke shrnutí těchto prvků ve výrobě. Během celého výrobního procesu je několik míst kde se projevuje určitý druh řízení a monitoringu výroby.

První místo ve výrobě, kde dochází k řízení výroby, je hned v úvodu celého výrobního procesu, a to při určování receptury výrobní směsi. V přípravně směsi je využito SCADA programu, který je připojený na dávkovací váhy do mísiče, a pomocí tohoto programu jsou určovány hmotnosti jednotlivých složek výrobní směsi

Dalším místem, kde dochází k regulaci, jsou pece. Všechny tři pece jsou regulovány tak, aby bylo dosaženo potřebných teplot k vypálení výrobků. Tyto pece jsou samozřejmě zároveň monitorovány pomocí teplotních senzorů tak, aby byla známá teplota uvnitř pecí.

Před pecemi se monitoring vyskytuje během výroby i na dalších místech. První místo ve výrobním procesu, kde byl zaznamenán pokus o monitorování, je místo, kde dochází k dopravě vstupních surovin do mísiče. Zde je instalován senzor vlhkosti. Nicméně k nepřesnému měření je tento senzor vyřazen z provozu.

Další místo, kde dochází ve výrobním procesu k monitoring, je na lise. Lis je osazen několika senzory, které sledují jeho pracovní charakteristiky – tlak lisu, zatížení lisu a hodnotu vakua v předlisovací komoře. Tyto hodnoty jsou live zobrazovány na monitoru u lisovací linky. Lisovací tlak jednou za směnu zaznamenán do papírového záznamového archu.

5 Návrh implementace prvků konceptu Průmyslu 4.0

Kapitola Návrh implementace prvků konceptu Průmysl 4.0 navrhuje jednotlivé koncepty, které je možné zavést do současné výroby modelové společnosti. Návrhy konceptů se zabírají čtyřmi částmi, v kterých je možné zavést modernizaci. Koncepty pro implementaci do výrobního procesu modelové společnosti budou popisovány v podkapitolách. Koncepty se budou věnovat skladování, přípravě směsi, kontrole a řízení výrobního procesu.

Dle dlouhodobého zkoumání firmy P-D Refractories CZ a.s. výroba vykazuje až 10 %. Zmíněná 10% neshoda výrobků s kalibrem je u komínových vložek. Neshodné výrobky v tomto případě tvoří 1500 tun a finanční ztrátu blížící se 20 milionům korun za rok. Oněch 10 % neshodných výrobků je žádoucí snížit na 4 %, tyto neshodné vložky se pak využijí jako příměs do nové výrobní směsi. Pomocí implementace vhodných optimalizačních opatření v modelové společnosti dochází ke snižování neshodných výrobků.

Důležité je podotknout, že všechny cenové údaje v návrzích a hodnoceních byly řešeny s výrobcem nebo dodavatelem jednotlivých zařízení. I přesto je cenové údaje brát orientačně, protože se vždy jedná o cenu samotných zařízení. V ceně jsou odhadovány ceny za instalaci zařízení a uvedení do provozu.

V dalších kapitolách budou navrhovány jednotlivá řešení:

- **Koncepční řešení skladu vstupních surovin**
 - A - Velký sklad Přesouvání skladované suroviny
 - B - Přesouvání skladované suroviny
 - C - Monitorování skladované suroviny
 - D - Monitorování skladovacích podmínek
- **Koncepční řešení přípravy výrobní směsi**
 - A - Kontrola vlhkosti před mísičem
 - B - Kontrola vlhkosti v mísiči
 - C - Kontrola vlhkosti před extruzí směsi
- **Koncepční řešení kontroly**
 - A - Robotické pracoviště
 - B - Kontrolní linka - lidský operátoři
 - C - Kontrolní linka - robotický operátoři

- **Koncepční řešení řízení výrobního procesu**

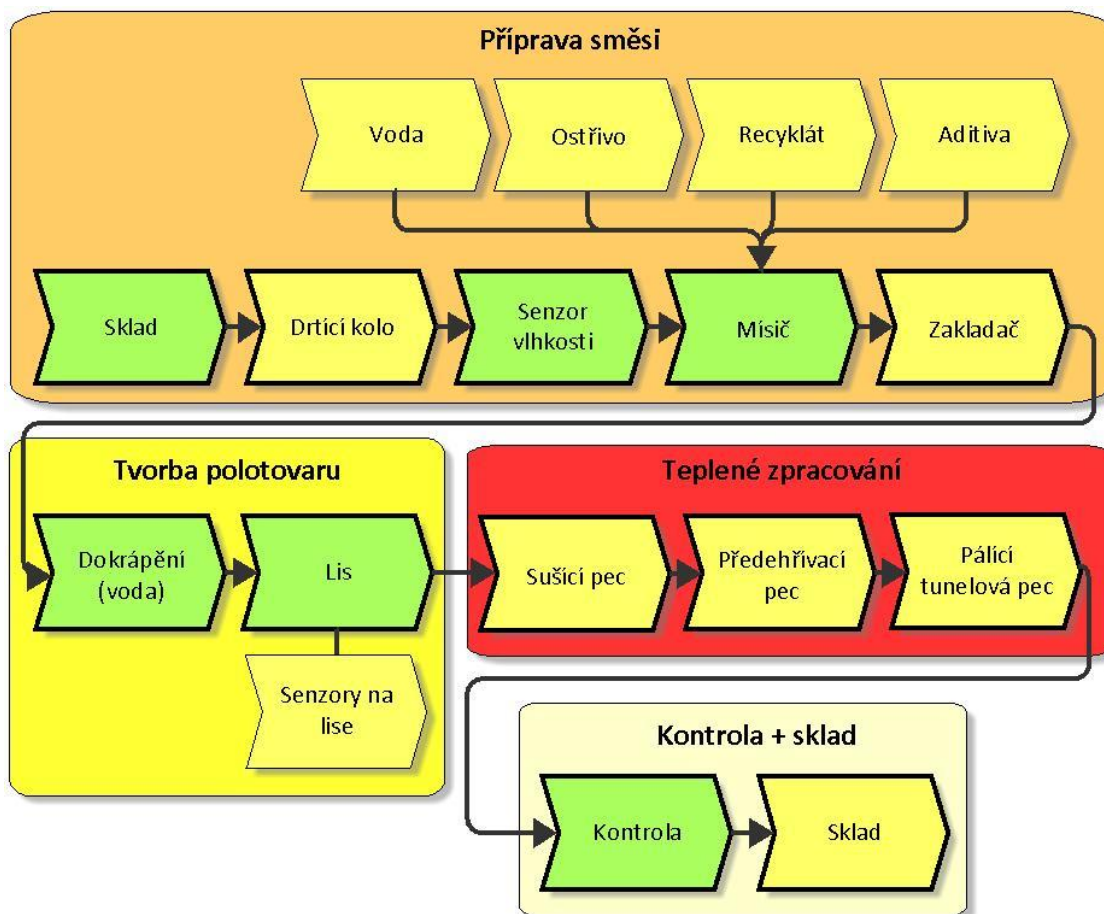
A - Hlavní řídicí systém

B - Decentralizované řízení

5.1 Shrnutí hlavních faktorů pro návrhy

Po analýze výrobní linky na žárovzdorné výrobky jsou určena kritická místa výroby, která jsou vhodná k modernizaci a zavedení prvků Průmyslu 4.0, což bude provedeno v úvodu této kapitoly. Na základě dlouhodobé zkušenosti firmy P-D Refractories CZ a.s. vytváří největší problémy ve výrobním procesu žárovzdorných výrobků kvalita výrobní směsi. U směsi je pak největší problém její vlhkost. Surovina, která má největší nestálost vlhkosti, je jíla. Jíla nejvíce ovlivňuje směs, protože přibližně polovina směsi je tvořena právě jílem. Vlhkost jíla je proměnlivá, z důvodu různých venkovních podmínek během těžby, dopravy do závodu i různých podmínek při skladování. Přimíchávání správného množství vody do výrobní směsi by bylo možné stabilizovat kvalitu směsi a snížit množství výrobků, které neprojdou kontrolou. Dále je potřeba navrhnout informační systém nad celou výrobou, kde budou zaznamenávána data z celého jejího průběhu. V dnešní době je možné dohledat různá výrobní data, například z lisu. Také lze u pálící pece dohledat čas vstupu a výstupu, avšak není zde zaznamenána žádná teplota, která je také důležitým faktorem pro správný výpal. Nikde však nejsou tato data uchovávána ucelená. Data jsou vedena v záznamových knihách po výrobním závodě. V případě, že jsou zaznamenávána elektronicky, nejsou v jednom programu pro celý výrobní proces, ale jsou zaznamenány do jednotlivých programů nebo souborů.

Na blokovém schéma Obr. 16 jsou zelenou barvou zvýrazněny části výrobního procesu, kde bude práce navrhovat implementaci nových prvků v modelové společnosti.



Obr. 16: Blokové schéma pro implementaci

5.2 Koncepční řešení skladu vstupních surovin

V této části budou nastíněna řešení skladování vstupní suroviny. Jedná se o blok Sklad ve schématu na Obr. 16.

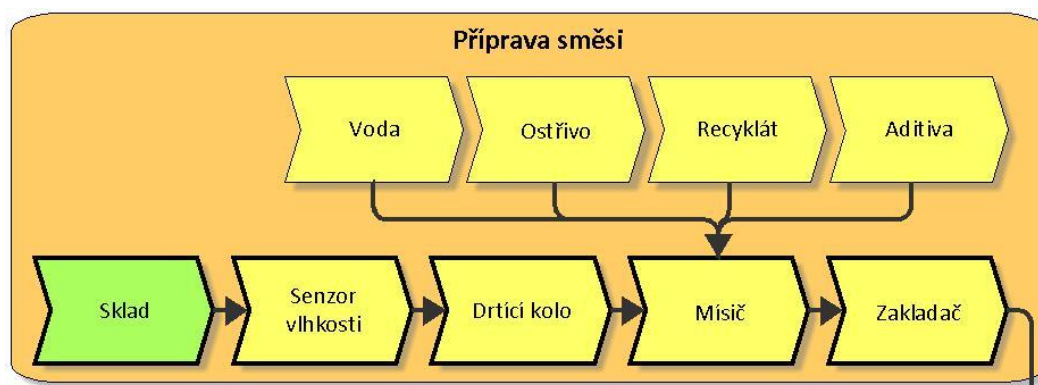
První instancí, kde se vstupní suroviny objeví ve výrobním závodě, je sklad. Do té doby jsou vstupní suroviny pod dohledem dodavatelů a výrobní závod nemůže ovlivnit podmínky, za kterých jsou dodávány. Všechny vstupní suroviny jsou ovlivňovány okolním počasím, především pak vzdušnou vlhkostí a teplotou. Podmínky okolního prostředí nedokáže ovlivnit ani dodavatel, jelikož jsou určeny ročním obdobím. V zimě je vlhkost vysoká a kolísá, zatímco v létě je nízká a stabilní.

Důležité je začít správným skladováním vstupních surovin, především takových, které mohou nejvíce ovlivnit výrobní směs. Hlavní složkou výrobní směsi je jíla, který tvoří přibližně polovinu z přísad v závislosti na receptuře. Dle zkušeností pracovníků v modelové společnosti je během výroby důležitá vlhkost právě jílu. Další složkou, která tvoří přibližně čtvrtinu obsahu výrobní směsi, je lupek. Lupek je hornina, ale není příliš náchylná na změnu vlastností a je přepravována v pytlích viz. Obr. 8. Tento druh skladování horninu chrání před vnějšími vlivy a jen je potřeba pytle chránit před poškozením. Poslední hlavní přísadou výrobní směsi je vypálený recyklát z výroby, který bývá obsažen v jedné pětině směsi. Vzhledem k tomu, že tento materiál již prošel celým výrobním procesem je styl skladování velice podobný a stačí je také pouze chránit před zásadními vlivy počasí. Pro toto postačí podobný sklad, jako je na Obr. 9. Sklad by měl recyklát především chránit od přímého slunce a vlivů dalšího počasí jako je déšť, sníh a další.

Je důležité správně skladovat všechny suroviny. Největší podíl ve výrobní směsi má jíla, a proto je důležité mu věnovat největší pozornost. Vlastnosti jílu jsou ovlivňovány již při jeho těžbě, pak při dopravě do výrobního závodu, a nakonec i ve výrobním závodě.

Pro vhodné skladování a co nejlepší homogenizaci by bylo vhodné před jakýmkoliv uskladněním jíla rozmělnit na malou frakci. Toto rozmělnění by i v dalším zpracování bylo vhodné pro měření vlhkosti jílu.

Pro co nejlepší práci s jílem v pozdějších stádiích výroby je vhodné, aby výrobní dávka jílu byla správně homogenizována. Tento proces zajistí v jílu především stejnou vlhkost napříč celou skladovanou dávkou, a také shodné ostatní vlastnosti. Dále bude práce věnována návrhu uskladnění jílu. Na následujícím blokovém schéma Obr. 17 je znázorněn „Sklad“ což je část výrobního procesu, kterému se budou věnovat následující podkapitoly.



Obr. 17: Blokové schéma - sklad

5.2.1 A - Velký sklad

První varianta, jak vyřešit problém s nedostatečně homogenním jílem, je mít dostatečně velké skladovací prostory, které by sloužily k dlouhodobě homogenizaci jílu. Tento proces homogenizace by dle zkušeností pracovníků modelové společnosti trval půl roku. To by znamenalo mít dostatek skladované suroviny, i v případě výpadku dodavatele. Při současné spotřebě jílu 33 tun za den, spotřebuje společnost 6 022 tun za půl roku. Při rezervě 15 % by pak bylo potřeba mít připravený sklad na 6 925 tun jílu, pro zjednodušení zaokrouhlo na 7 000 tun. Na takovéto množství by při skladovací výšce 3 metry bylo potřeba 2 333m². Poté sklad o takovéto úschovné ploše včetně operačních ploch by zabíral přibližně 2 500 m².

Tento návrh má velkou výhodu v tom, že dojde k dostatečné homogenizaci jílu tak, aby se s ním dalo v následných částech výroby dobře pracovat. Nicméně je třeba počítat s tím, že skladovaná surovina nikdy nedosáhne ideálního stavu, protože například část skladované suroviny, která bude na vrchu, bude vystavena většímu působení okolního vzduchu než ta, která bude ve spodu skladované suroviny.

Nevýhody jsou u tohoto návrhu především finanční. První náklady na zřízení varianty velkého skladu jsou v pořízení pozemku, protože na pozemku modelové společnosti není prostor pro další sklad. Hned další finanční výdaje by byly potřeba na samotnou stavbu skladu. Dále bude potřeba skladovanou surovinu dopravovat do haly přípravný směsi. To lze v případě výstavby skladu v blízkosti přípravný směsi vyřešit dopravníkem. Pro dopravu mimo sklad by bylo vhodné využít hadicový dopravník, který je uzavřený a nedochází k ovlivnění přepravované suroviny vnějším okolím. V případě vzdálenějšího skladu by bylo potřeba zaměstnat pracovníky, kteří by surovinu dopravovali pomocí nákladních vozů do přípravný směsi ve výrobním závodě. Jedna z posledních nevýhod je uložení peněz ve velkém množství skladovaného materiálu.

V Tab. 3 jsou shrnuty jednotlivé náklady na provedení návrhu Velký sklad. Jednotlivé sumy byly získané na jednotlivých internetových stránkách. Cena pozemku byla stanovena podle běžných cen v okolí závodu modelové společnosti. Cena dopravníku byla určena poptáním firmy zabývající se danou problematikou, ale nepřeje si být jmenována.

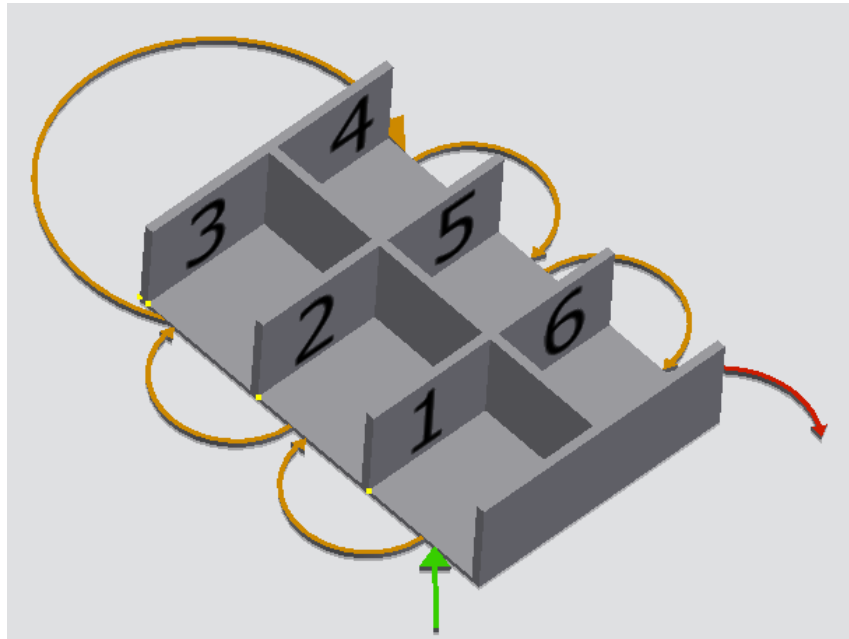
Tab. 3: Cenový souhrn – Velký sklad

Objekt	Propočet	Zdroj ceny
Cena uloženého materiálu	7000 tun*145Kč	Cluz.cz
Cena pozemku	5000 m ² * 500 Kč/m ² = 2 500 000 Kč	Sreality.cz
Cena skladu	2500 m ² * 10 m * 1731 Kč/m ³ = 43 275 000 Kč	cenovemapycy.cz,
Hadicový dopravník 200m	200 m * 30 000 Kč/m = 6 000 000 Kč	Odhad
Celkem	51 775 000 Kč	

5.2.2 B - Přesouvání skladované suroviny

Další návrh je založen na manipulaci se skladovanou surovinou v průběhu skladování. V průběhu skladování suroviny by se v určitých intervalech skladovaný jíl přesouval, čímž by došlo ke změně vrstev uskladnění, jejich promísení a lepší homogenizaci jílu.

Návrh funguje na základě principu znázorněném na Obr. 18. Surovina by byla naskladněna do skladu 1, kde by ležela po specifickou dobu. Poté by byla přesunuta do skladu 2. Přeprava suroviny by probíhala pomocí nakladače. Surovina by byla odebírána od vrchních vrstev ke spodním tak, aby došlo k jejich záměně a promíchání. Princip skladování by šel od prvního skladu až do šestého. Z šestého skladu by byla surovina odebírána a přemísťována do přípravné směsi. Tento princip skladování by bylo možné uplatnit na současný stav skladů v modelové společnosti s minimálními stavebními úpravami. Jedná se o rozdělení skladu na jednotlivé podsklady.



Obr. 18: Model skladu - Přesouvání skladované suroviny

Výhodou jsou nízké náklady vzhledem k realizaci na současném stavu skladu. Díky tomuto návrhu dojde k dobré homogenizaci směsi, během skladování. Zároveň je, ale potřebné dodat, že nikdy nedojde k ideálnímu výsledku.

Nevýhodou je delší doba sledování, jak dlouhý musí být interval mezi změnou skladů, aby došlo ke správné homogenizaci suroviny. Dále je pro tuto variantu nutné pořídit nakladač a zajistit jeho kvalifikovanou obsluhu, která by se o skladování jílu starala. Mzda pracovníka přijde při průměrné mzdě 30 000 Kč hrubého na 500 000 Kč za rok a nakladač typu Volvo L 70 H se prodává za 4 500 000 Kč. Další náklady budou vydávány na naftu potřebnou k provozu, ale i na pravidelnou údržbu. Je potřeba brát v úvahu i přestavbu skladu, jejíž náklady jsou odhadovány na 1 000 000 Kč. Ceny jsou shrnuty v následující tabulce Tab. 4.

Tab. 4: Cenový souhrn - Přesouvání skladované suroviny

Objekt	Propočet	Zdroj ceny
Nakladač	4 500 000 Kč	machineryzone.cz
Zaměstnanec	500 000 Kč / rok	
Stavební úpravy	1 000 000 Kč	
Celkem	5 000 000 Kč	

5.2.3 C - Monitorování skladované suroviny

Další z možností je monitorovat skladovanou surovinu při současném zachování stavu skladu a opatřit ho senzory. Vzhledem k tomu, že výroba je závislá především na vlhkosti suroviny, tak by se začala monitorovat vlhkost skladované suroviny. V budoucnu by se monitoring mohl rozšířit například o monitorování teploty skladované suroviny a další. Tento způsob však není úplně snadné navrhnout, jelikož se jedná o monitorování několika desítek tun jílu.

V tomto návrhu lze uplatnit IoT senzory, které by byly instalovány do podlahy a stěn skladu, a v pravidelných intervalech by odesílaly informace o naměřených hodnotách. Tyto informace by byly odesílány do řídicího systému, který by s daty dále pracoval.

Velkou výhodou tohoto návrhu skladování je znalost vlhkosti jílu do výrobní směsi. Znalost vlhkosti je vhodná, pro určení dávkované vody do výrobní směsi.

Určit metodiku snímání takového množství jílu by bylo velice náročné a vzhledem k neustálému změně množství skladované suroviny. Další z nevýhod je, že skladovaná surovina neprosychá rovnoměrně a na povrchu bude vlhkost odlišná od vnitřku skladované suroviny.

Nákup senzorů a jejich zapojení je dle vybraného řešení řešením otázky desetitisíců případně jednotek statisíců. Jedním z vhodných průmyslových senzorů vlhkosti je PCE-MWM 240-A, který v přepočtu vyjde na 120 000 Kč. V tomto návrhu by bylo nutné počítat s více senzory tak, aby docházelo k relevantnímu zisku dat. Přesný počet by závisel na rozloze skladu. V modelové společnosti by pak stačilo umístit 20 senzorů půlka z nich by byla umístěna v podlaze a půlka ve stěnách skladu. Dále je nutné počítat se zařízením, kde se monitorovaná data budou promítat, kabeláž od senzorů k zařízení pro monitorování a zavedení celého systému do skladu, ceny za tyto položky jsou odhadnuty v

Tab. 5.

Tab. 5: Cenový souhrn - Monitorování suroviny

Objekt	Propočet	Zdroj ceny
Kontaktní senzory vlhkosti PCE-MWM 240	20 * 120 000 Kč = 2 400 000 Kč	pce- instrumentals.com
Monitorovací zařízení + kabeláž	400 000 Kč	eibabo.cz, tme.eu
Zprovoznění + instalace	300 000 Kč	
Celkem	3 000 000 Kč	

5.2.4 D - Monitorování skladovacích podmínek

Návrh monitoringu skladovacích podmínek se věnuje monitorování okolní teploty a vlhkosti ve skladu v průběhu skladování. Skladovací podmínky mají zásadní vliv na změnu vlastností uchovávaných surovin. V budoucnosti by bylo možné zavedení monitorování více parametrů, jako je rosný bod a další. Návrh lze aplikovat ve všech předchozích variantách skladování surovin.

Pomocí tohoto návrhu v kombinaci s monitoringem skladované suroviny by bylo možné monitorovat, jaký má vliv stav okolního prostředí na vlhkost skladované suroviny.

Monitorování požadovaných parametrů zvládne průmyslový senzor typu EE33, který je nabízen za 32 000 Kč. Pro tyto účely by postačil jeden vhodně umístěný snímač na celý sklad. Dále je nutné počítat s propojením senzoru a monitorovacího zařízení a jeho zprovoznění. Tyto částky jsou odhadnuty v Tab. 6, kde je uveden i celkový cenový souhrn.

Tab. 6: Cenový souhrn - Monitorování skladovacích podmínek

Objekt	Propočet	Zdroj ceny
--------	----------	------------

Senzor – EE33	32 000 Kč	instrumart.com
Monitorovací zařízení + kabeláž	100 000 Kč	eibabo.cz, tme.eu
Zprovoznění + instalace	50 000 Kč	
Celkem	182 000 Kč	

5.3 Koncepční řešení přípravy výrobní směsi

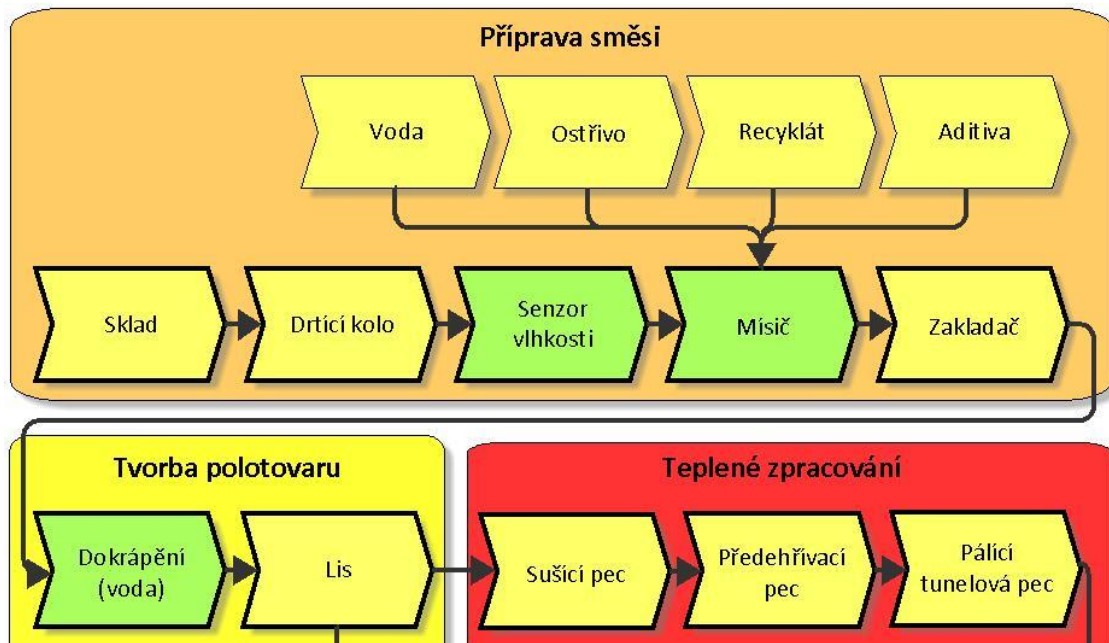
Příprava výrobní směsi následuje ihned po skladování surovin. Zde dochází k prvním úpravám jednotlivých vstupních surovin, pro potřeby dalšího výrobního procesu.

V této části jde o to připravit správnou výrobní směs. Do výrobní směsi vstupuje několik různých surovin. Množství těchto surovin je určeno podle receptury, která je pro výrobu stanovena technologem. Součástí této podkapitoly je i doprava vstupních surovin ze skladu do mísiče a posléze z mísiče do zakladače.

Hlavním úkolem je v přípravě výrobní směsi dodržet parametry udané recepturou. Je důležité, aby všechny prvky směsi přišly do mísiče ve správném množství. Pokud je tak učiněno, mísič má předpoklady k tomu, aby připravil kvalitní výrobní směs. V současném stavu výrobního procesu je schopnost navázat správné množství surovin plně vyhovující. Nejde však určit vlhkost jílu pro výpočet hmotnosti přimíchané vody.

Jak již bylo několikrát zmíněno, hlavním faktorem, který ovlivňuje kvalitu výroby, je vlhkost jílu. Proto je tato část zaměřena právě na možnosti monitoringu vlhkosti jílu a následnému reagování mísiče při přípravě směsi.

Na následujícím blokovém schéma Obr. 19 jsou zelenou barvou znázorněny oblasti, na které je tato část práce zaměřena, přestože „Dokrápění“ je v blokovém schématu zařazeno do „Tvorba polotovaru“ lze jej vnímat i jako přípravu směsi.

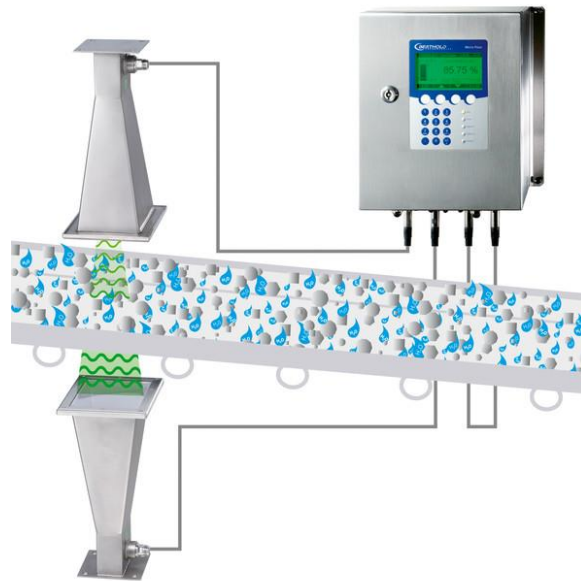


Obr. 19: Blokové schéma - vlhkost

5.3.1 A - Kontrola vlhkosti před mísičem

Na dopravník transportující jíl z přípravné směsi se umístí senzor vlhkosti, který by dokázal kontrolovat vlhkost jílu vstupujícího do přípravy výrobní směsi. Senzor by zároveň data i vyhodnocoval a určil by průměrnou vlhkost přidávaného jílu do mísiče. Na základě této průměrné vlhkosti by došlo k určení požadovaného přídatku vody, která by byla přidána do výrobní suroviny.

Využit lze několik typů senzorů, jako jeden z typů vhodných pro aplikaci monitoringu jílu na dopravníku se jeví senzory na bázi mikrovln. Například snímací systém od firmy Berthold Technologies viz Obr. 20. Cenové náklady na pořízení senzoru, který dokáže online vyhodnocovat naměřená data, jsou 750 000 Kč. Vzhledem k schopnostem senzoru vyhodnocovat data je pouze nutné zajistit propojení s programem na dávkování surovin. Cena instalace senzoru a zavedení do výroby je odhadnuta na 200 000 Kč. Souhrn ceny je vidět v Tab. 7.



Obr. 20: Mikrovlnný senzor [32]

Tab. 7: Cenový souhrn – Kontrola vlhkosti před mísičem

Objekt	Propočet	Zdroj ceny
Mikrovlnný senzor vlhkosti	750 000 Kč	S.S.K., a.s.
Instalace + zavedení do výroby	250 000 Kč	
Celkem	1 000 000 Kč	

5.3.2 B- Kontrola vlhkosti v mísiči

Stejně jako v předchozím návrhu, zde dochází k monitoringu vlhkosti. Rozdíl mezi tímto a předchozím návrhem je v místě monitoringu a také v typu senzorů. Tento systém by monitoroval vlhkost celé promíchané směsi a nacházel by se uvnitř mísiče. Z toho plyne, že by muselo dojít k úpravám mísiče.

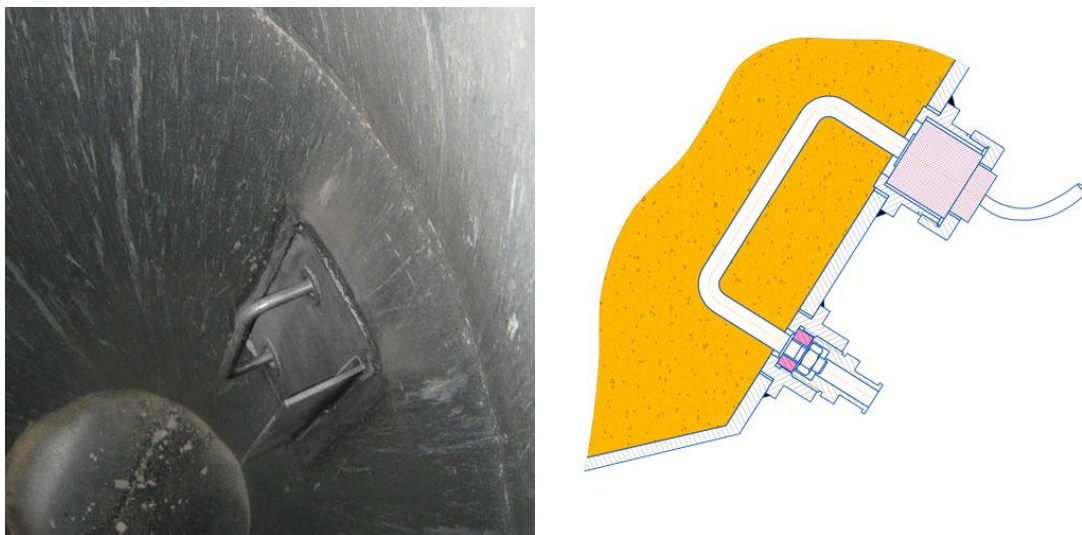
Hlavním zásahem do současného stavu by byla instalace vlhkoměrů dovnitř mísiče. Po obvodu mísiče by se instalovaly čtyři senzory a z nich by se hodnoty vyhodnocovaly a průměrovaly.

Namíchání výrobní směsi by probíhalo následně. Nejdříve by se nadávkovaly všechny vstupní suroviny a pomocí dopravníků transportovaly do mísiče, kde by se promíchaly. Po dostatečném

promísení všech surovin, by došlo k určení vlhkosti směsi pomocí instalovaných senzorů. Následně by se vypočetl potřebný přírůstek vody do směsi. Voda by se nadávkovala a opět by se celá dávka výrobní směsi promíchala. Poté by byla výrobní směs odeslána k dalšímu zpracování.

Hlavní výhodou návrhu snímačů uvnitř mísiče, je určení vlhkosti směsi jako celku. Problém by však mohlo nastat, pokud by došlo k nedostatečnému promísení a homogenizace všech vstupních složek. Tím by nedošlo přesnému naměření vlhkosti směsi.

Jeden z možných snímačů, který lze instalovat dovnitř mísiče a je vhodný pro kontakt se vstupními surovinami, je stejný typ senzoru jako při návrhu v kapitole 5.2.3. Cena navrhovaných snímačů by byla $4 * 120\,000\text{ Kč} = 480\,000\text{ Kč}$. Dále je nutné propojit senzory s dávkováním surovin do mísiče a upravit program pro mísení, což je v tabulce Tab. 8. uvedeno jako cena za instalaci s částkou 100 000 Kč .



Obr. 21: Snímač vlhkosti [33]

Tab. 8: Cenový souhrn – Kontrola vlhkosti v mísiči

Objekt	Propočet	Zdroj ceny
4* kontaktní senzor vlhkosti	4 * 120 000 Kč	pce-instrumentals.com
Instalace	300 000 Kč	
Celkem	780 000 Kč	

5.3.3 C - Kontrola vlhkosti před extruzí směsi

Kontrola vlhkosti před extruzí směsi je poslední možnost, jak reagovat na nedostatečnou vlhkost výrobní směsi. Dále je už směs extrudována na výrobek. V této fázi by bylo vhodné umístit vlhkoměr podobný jako je v návrhu 5.3.1 a určovat tak vlhkost putující do lisu. Na tento vlhkoměr by bylo navázáno dávkování vody, takzvané dokrápěcí zařízení, které je v současnosti ve výrobě již instalováno. Dokrápění by bylo řízeno na základě naměřených dat vlhkoměru a jejich vyhodnocení vůči receptuře.

Důvod využití je především z důvodu změn podmínek uvnitř výrobního závodu, kde se výrobní směs od mísiče pohybuje. Není možné udržet stálé podmínky vlhkosti a teploty a toto zařízení by mohlo vlivy těchto výkyvů na výrobní směs omezit či úplně neutralizovat.

Pro realizaci tohoto návrhu by bylo potřeba pořídit senzor vlhkosti. Jak již bylo zmíněno lze použít stejný jako v návrhu 5.3.1, jehož cena je 750 000 Kč. Dále by bylo potřeba pořídit zařízení pro dávkování vody reagující na senzor vlhkosti. Cena je zobrazena v Tab. 9.

Tab. 9: Cenový souhrn – Kontrola vlhkosti před extruzí směsi

Objekt	Propočet	Zdroj ceny
Mikrovlhkoměr	750 000 Kč	S.S.K., a.s.
Dávkovací čerpadlo	100 000 Kč	e-cerpadla.cz
Řízení + instalace	100 000 Kč	S.S.K., a.s.
Celkem	950 000 Kč	

Návrh by tedy zautomatizoval proces, který v současné době ve výrobě ovládají lidé na základě vlastních zkušeností.

5.4 Koncepční řešení kontroly

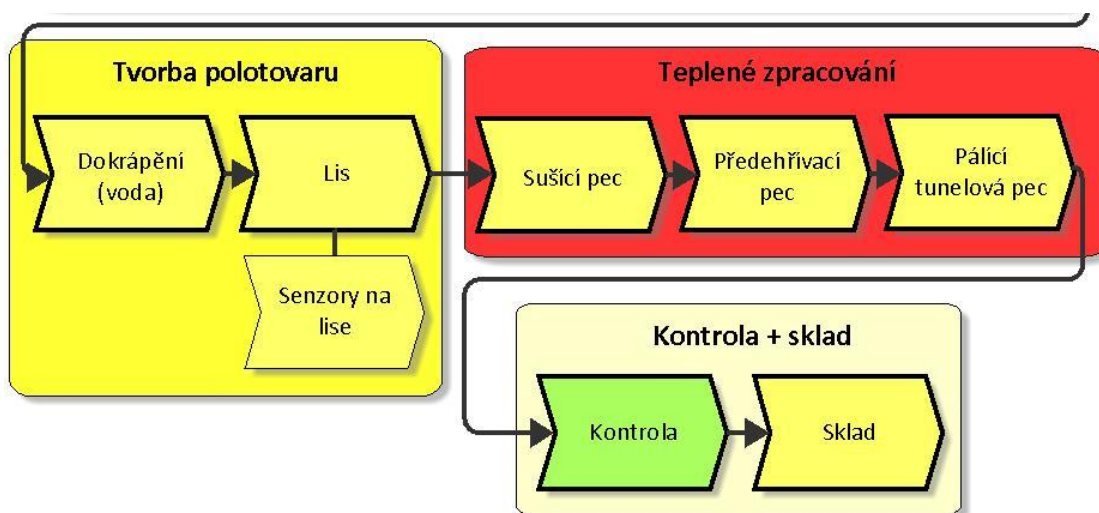
Kontrolní pracoviště přichází na řadu ve výrobním procesu hned po tom, co vypálené výrobky na pálcím voze vyjedou z tunelové pece. Z pece je vůz odvezen na určené místo pro provedení kontroly. Na pracovišti kontroly dochází nejprve k odebrání výrobku z pecního vozu. Poté

k určení kvality výrobku, shodu/neshodu výrobku s kalibrem a složení výrobku na paletu, na které jsou výrobky na dále skladovány a posléze expedovány. V případě nevyhovění nějakému parametru kvality jsou výrobky složeny do kontejneru pro neshodné výrobky.

Tento proces lze celý zautomatizovat ať co do vyhodnocování kvality jednotlivých výrobků, tak manipulace s nimi.

Kontrolní pracoviště je velice důležité v celém výrobním procesu. Důležitost tohoto pracoviště spočívá v tom, aby nedocházelo k expedici nekvalitních výrobků či nesplňující zaručené rozměry, protože kvalitní výrobky jsou hlavní prezentací společnosti.

V následujících podkapitolách jsou návrhy možného koncepčního řešení pro proces kontroly. Na Obr. 22 jsou zelenou barvou označeny části kterých se to bude týkat. Dále je zde také vidět, že se jedná o závěrečnou část celého výrobního procesu.



Obr. 22: Blokové schéma - Kontrola

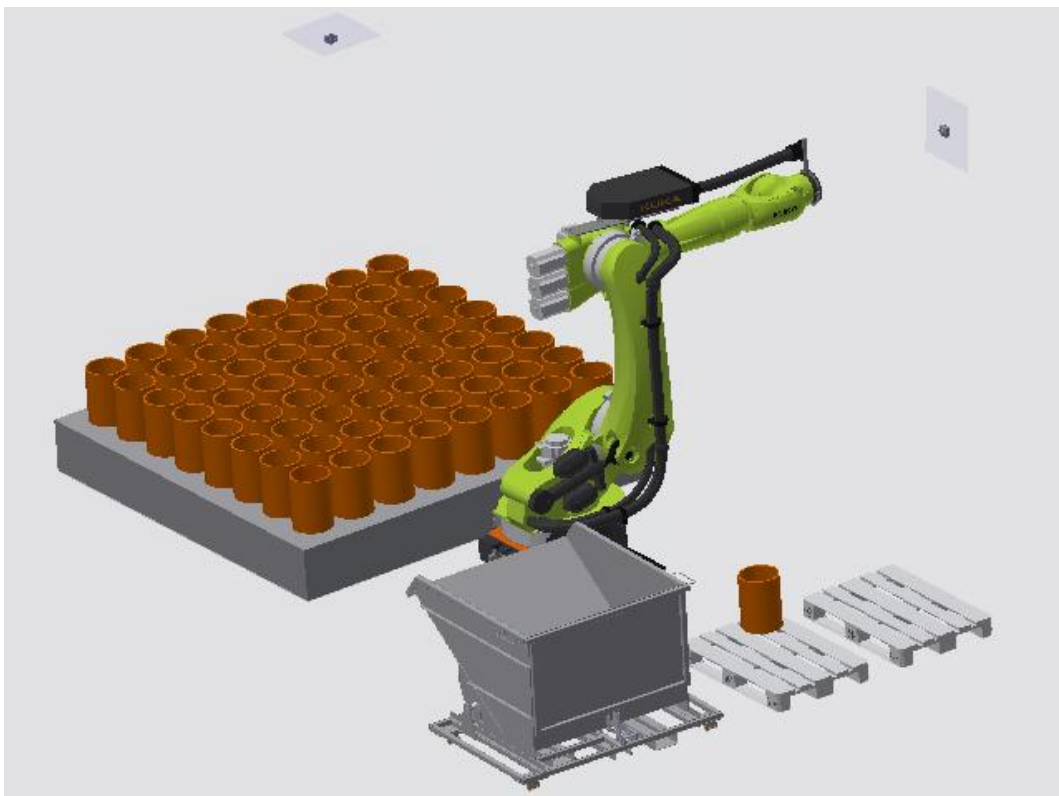
5.4.1 A - Robotické pracoviště

Prvním návrhem je vyřešit celé kontrolní pracoviště pomocí robota, tudíž by během kontroly nedocházelo k žádné lidské práci.

Na kontrolní robotické stanoviště by byl dopraven vůz s výrobky. Vůz by byl nasnímán přídatnou inteligentní kamerou, která by dokázala odlišit jednotlivé výrobky a zároveň by zjistila, jak má

robot postupovat při odebrání výrobků z vozu. Robot by postupoval tak, že uchopí výrobek, vloží ho před inteligentní kameru, která sama dokáže vyhodnotit, zda se jedná o výrobek shodný s požadovanými rozměry a zda na výrobku nejsou vady. Dále robot na základě vyhodnocení kamerou výrobek odloží na paletu shodných výrobků nebo na místo určené pro neshodné výrobky.

Na obrázku Obr. 23 je znázorněn schématický návrh pracoviště, kdy na něm jsou dvě inteligentní kamery, vůz s výrobky, robot, palety pro shodné výrobky a kontejner pro neshodné výrobky. Znázorněny nejsou ochranné prvky, které každé robotické pracoviště vyžaduje a uchopovací efektor robota. Model byl vytvořen s pomocí modelů z knihoven na kuka.com – model robota, ni.com – model kamery a grabcad.com – model palety a kontejneru.



Obr. 23: Robotické kontrolní pracoviště

Robotické stanoviště má několik úskalí. Prvním z nich je kvalita snímání výrobků na voze. Vzhledem k tomu, že na voze jsou výrobky skládány do několika vrstev je nutné snímat vůz po každé odebrané vrstvě a vyhodnotit snímek tak, aby robot mohl uchopit správně další výrobky. Problém s nestálým naskládáním výrobků na vůz by spočíval především v případě, že budou výrobky skládány pomocí lidských operátorů, ne pomocí robotických. Druhé úskalí

u kamer jsou okolní podmínky. Je důležité, aby kamery snímaly výrobky za co nejstálějších podmínek. Jedná se především o světlo a viditelnost. Tyto dva parametry jsou velmi důležité pro stálost snímání a vyhodnocování výrobků pomocí kamer. Další úskalí je velikost pracoviště. Kontrolní pracoviště bude poměrně rozlehlé a robot bude manipulovat s výrobkem napříč celým kontrolním pracovištěm, z tohoto důvodu je potřeba, aby robot byl dostatečně rychlý. Je možné, že by jeden robot nebyl schopný zvládat takt linky a bylo potřeba kontrolních pracovišť více. Dalším úskalím je, že se vůz s výrobky musí vždy dopravit do přesně definované pozice, aby tato varianta byla realizovatelná.

U robotického pracoviště nelze zanedbat bezpečnost celého pracoviště, aby mohlo být uvedeno do provozu musí být splněna všechny zákonem určené ochrany.

Úskalí tohoto řešení kontroly za pomoci robota je velký rozsah robota. Robot musí odebrat výrobky až na konci pecního vozu a přenést ho před kameru a poté až na paletu, která je na druhé straně robota než pecní vůz.

V tabulce Tab. 10 jsou vypočteny náklady základních prvků robotického kontrolního pracoviště. Je zde také odhadnuta cena za zavedení do výroby a propojení robotů s inteligentními kamerami.

Tab. 10: Cenový souhrn – Robotické kontrolní stanoviště

Objekt	Propočet	Zdroj ceny
Robot KR-240-R3330 + efektory	1 500 000 Kč + 500 000 Kč	kuka.com
2x inteligentní kamera ISC 1783 – National Instruments	2*145 000 Kč = 290 000 Kč	atesystem.cz
Zavedení do výroby	500 000 Kč	
Celkem	2 790 000 Kč	

5.4.2 B - Kontrolní linka - lidský operátoři

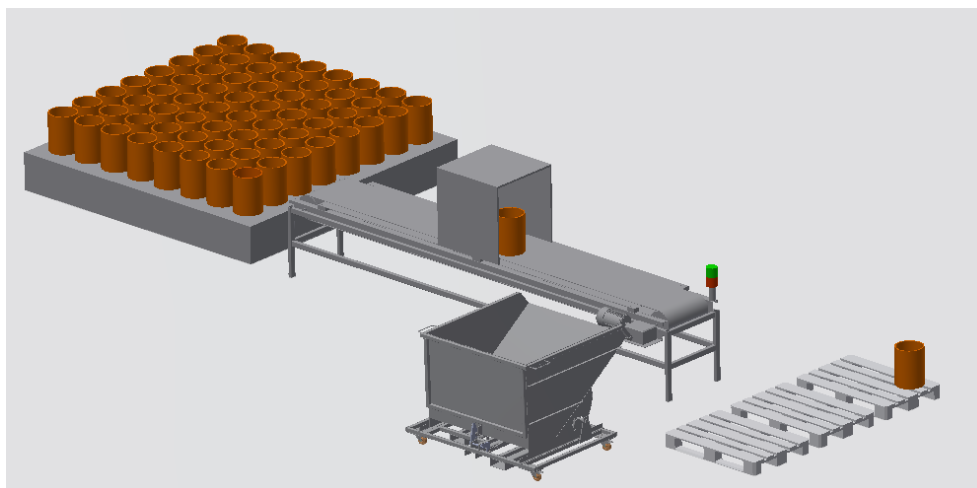
Koncepční řešení „Kontrolní linka“ řeší kontrolu jednotlivých výrobků na konci celého výrobního procesu. Návrh řešení spočívá v tom, že výrobek projede po pásovém dopravníku, na kterém

jsou instalovány inteligentní kamery. Toto koncepční řešení má dva způsoby dopravy výrobků přímo na pás kde se nachází kamery.

Návrh spočívá v tom, že výrobek je přemístěn na pásový dopravník. Po dopravníku je výrobek přepravován napříč kontrolním pracovištěm a během toho je výrobek změřen a zkontrolován. Měření a kontrola probíhá pomocí nainstalovaných inteligentních kamer na dopravníku. Tyto kamery dokáží snímky zpracovávat a určit rozměry nasnímaného objektu, vyhodnotit obraz a určit kvalitu výrobku. Na základě dat z kamer systém vyhodnotí, zda výrobek vyhovuje nebo nevyhovuje všem požadavkům na kvalitu. Na základě vyhodnocení se na konci dopravníku rozsvítí maják buďto zeleně nebo červeně v závislosti na vyhodnocení kvality výrobku. Na konci dopravníku bude výrobek v případě splnění všech podmínek skládán na připravenou paletu pro expedování. Pokud výrobek nesplní všechny podmínky kvality, pak bude přesunut do kontejneru pro neshodné výrobky. Tyto výrobky budou opět zařazeny na začátek výrobního procesu jako recyklát. Je důležité navrhnout dopravník tak, aby bylo možné po něm dopravovat všechny druhy výrobků, které jsou v závodě vyráběny. Důležité je také umístění kamer, aby bylo možné snímat všechny výrobky.

Návrhy počítají se dvěma druhy přepravy výrobků na pás z pecního vozu a z pásu na palety případně do kontejneru pro neshodné výrobky. První návrh počítá stále s lidskou obsluhou a druhý návrh tuto práci automatizuje pomocí dvou robotů.

Na Obr. 24 je vidět první varianta tohoto návrhu, když na obrázku je vyobrazen celý proces kontroly, který byl již dříve v této kapitole popsán. V tomto případě by doprava výrobků na dopravník probíhala pomocí lidských operátorů. Dále by výrobek byl posouván po dopravníku, kde pomocí inteligentní kamery dojde k vyhodnocení rozměrů a kvality výrobku. Na konci dopravníku se na základě vyhodnocení rozsvítí červená nebo zelená na semaforu. Na základě semaforu operátor umístí výrobek buďto na paletu nebo do kontejneru pro recyklát. Na následujícím modelu na Obr. 24 je znázorněn návrh tohoto řešení. Návrh byl vytvořen pomocí modelů z knihovny grabcad.com – model palety, dopravníku a kontejneru.



Obr. 24: Kontrolní linka

V Tab. 11 jsou vypočteny náklady základních prvků robotického kontrolního pracoviště.

Tab. 11: Cenový souhrn - Kontrolní linka

Objekt	Propočet	Zdroj ceny
Dopravník 4m	350 000 Kč	
2x inteligentní kamera ISC 1783 – National Instruments	2 * 145 000 Kč = 290 000 Kč	atesystem.cz
Zavedení do výroby	500 000 Kč	
Celkem	1 140 000 Kč	

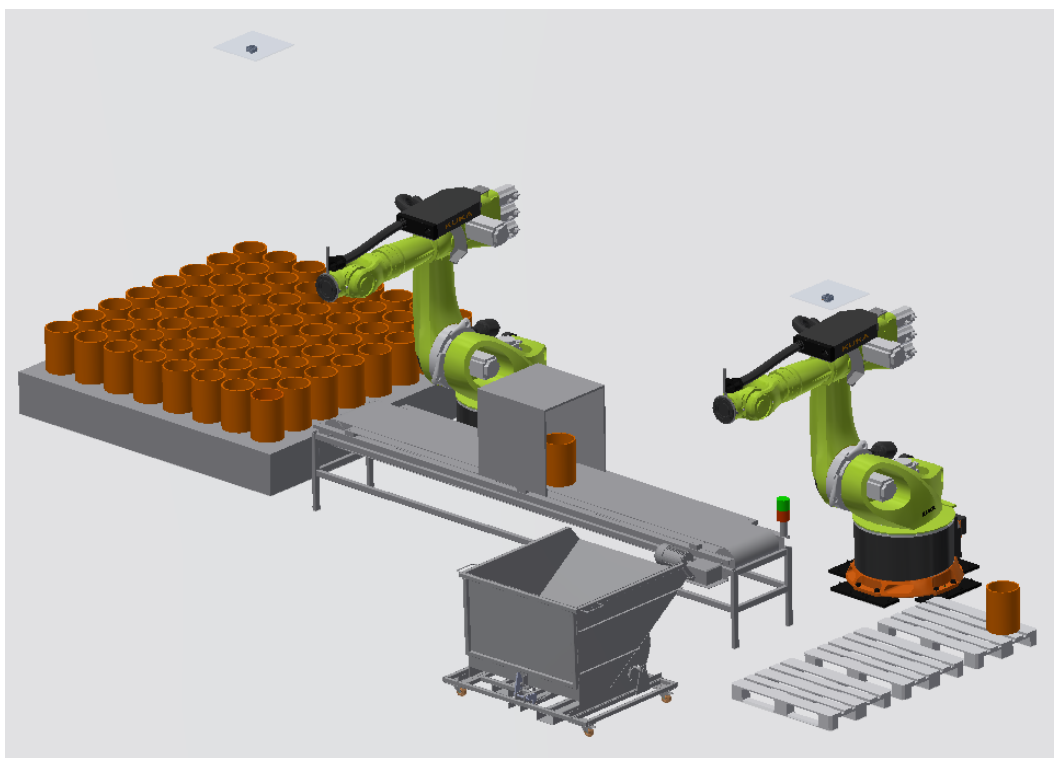
5.4.3 C - Kontrolní linka - robotický operátoři

Druhá možnost návrhu pro koncepční řešení „Kontrolní linka“ z pohledu přemísťování výrobků je pomocí robotů. Princip měření a kontroly kvality výrobku proběhne stejně jako v předchozí variantě pomocí inteligentních kamer.

Na každé straně kontrolní linky by se nacházel robot. Na začátku linky by byl robot, který by se staral o přesun výrobků z pecního vozu na linku. Tento robot se bude starat o takt linky a je nutné, aby byl dostatečně výkonný a zvládnul odebrat všechny výrobky z vozu, než přijede další pecní vůz s nově vypálenými výrobky. Dále musí robot mít dostatečný manipulační rozsah, aby dosáhl na celý pecní vůz a nosnost, aby unesl všechny druhy výrobků. Vzhledem k tomu, že robot

se potřebuje orientovat s jakými výrobky bude manipulovat a jak jsou naskládány na voze, bude nutné mít stanoviště snímané pomocí kamery, která bude komunikovat s robotem. Inteligentní kamera nad místem pro pecní vůz je oproti předchozímu řešení s lidskými operátory další změnou. Na druhém konci dopravníku bude druhý robot, který tentokrát bude odebírat výrobky z dopravníku a podle informací od systému přemístí výrobek buďto na paletu nebo do kontejneru. Nad místem, které bude určeno pro palety, bude opět umístěna inteligentní kamera. Kamera bude sledovat připravenost palet na složení výrobků, jejich zaplněnost a zaplnění kontejneru pro neshodné výrobky.

Na obrázku Obr. 25 je vyobrazen návrh kontrolní linky s robotickými operátory a dalšími snímači. Model na obrázku Obr. 25 byl vytvořen s pomocí modelů z knihoven na kuka.com – model robota, ni.com – model kamery a grabcad.com – model dopravníku, palety a kontejneru.



Obr. 25: Kontrolní linka s roboty

V Tab. 12 jsou vypočteny náklady základních prvků robotického kontrolního pracoviště.

Tab. 12: Cenový souhrn - Kontrolní linka s roboty

Objekt	Propočet	Zdroj ceny
Dopravník 4m	350 000 Kč	odhad
4x inteligentní kamera ISC 1783 – National Instruments	4 * 145 000 Kč = 480 000 Kč	atesystem.cz
2x Robot KR-240-R3330 + efektory	2 * (1 500 000 Kč + 500 000 Kč) = 4 000 000 Kč	kuka.com
Zavedení do výroby	750 000 Kč	
Celkem	5 390 000 Kč	

5.5 Koncepční řešení řízení výrobního procesu

Koncepční návrhy řízení výrobního procesu spočívají v informačním propojení jednotlivých částí výrobního procesu. Pro správnou funkčnost všech předchozích částí je důležité mít správně navržený systém komunikace. Dále je důležité, aby jednotlivé senzory a zařízení zaznamenaná data odeslaly řídicímu systému nebo případně samy zpracovali.

Řízení výrobního procesu je jeho velmi důležitá část, bez něhož by nemohlo dojít k žádné automatizaci výrobního procesu. Tato část popisuje, jak má zařízení reagovat na data ze senzorů, z jakého senzoru má data využívat, či je posílat do dalšího zařízení nebo databáze.

Kvalitní struktura řízení je důležitá především pro snadnou ovladatelnost, škálovatelnost, rozšiřitelnost a odezvu v reálném čase jednotlivých zařízení.

Práce navrhuje dva způsoby řízení výrobního procesu. Prvním je řízení pomocí hlavního řídicího systému, kdy je vše řízeno jedním řídicím systémem. Všechna zařízení odesílají data do řídicího systému, který spočívá v tom, že všechna měřená data jsou odesílána do jednoho řídicího systému. Zde dojde k vyhodnocení dat a následné odeslání příkazů do zařízení k úpravě výrobního procesu. Druhým návrhem je decentralizované řízení, které pracuje na principu individuálního rozhodování jednotlivých částí výrobního systému. Zde jsou jednotlivé podsystémy, které spolupracují se senzory a zařízeními které řídí. Od senzorů získávají podsystémy data a na základě vyhodnocení vydávají příkazy pro zařízení. Jedinou sdílenou částí

mezi všemi zařízeními je pouze databáze, do které jednotlivé podsystémy odesílají data pro následnou analýzu.

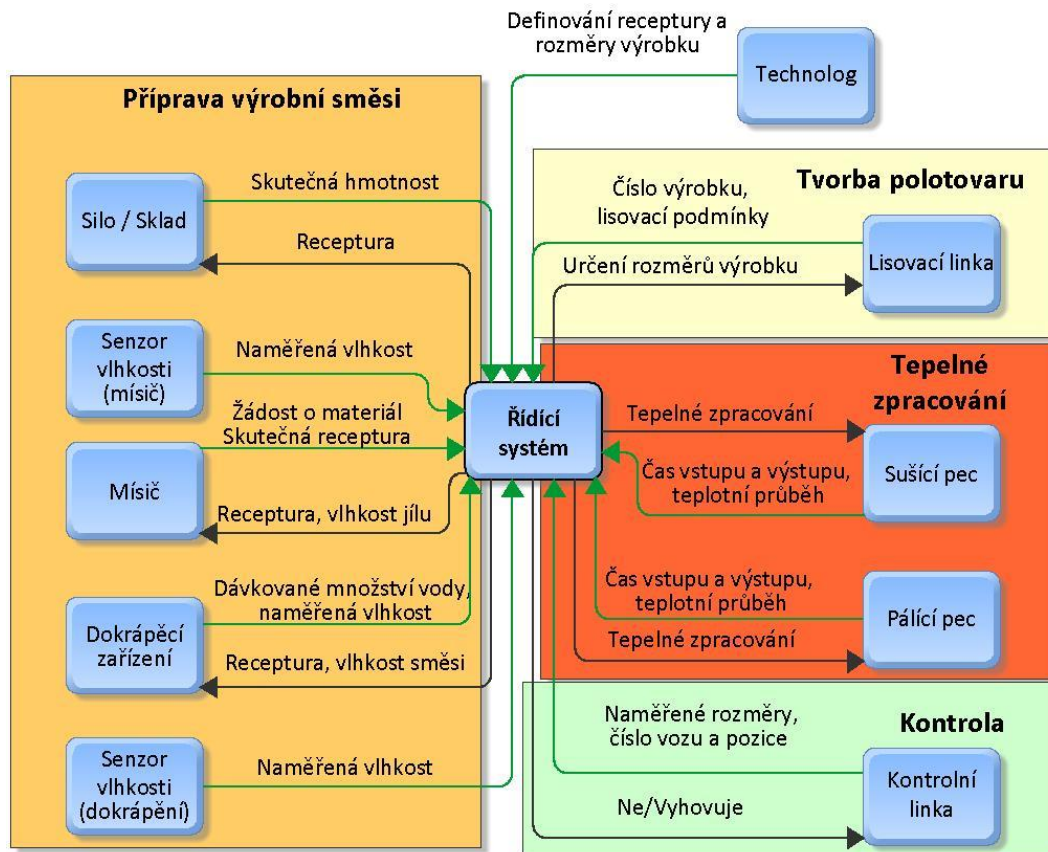
Na základě řízení a monitorování výroby je možné dělat analýzu výrobního procesu. Například je možné odhalit korelaci mezi zmetkovitostí a vlhkostí výrobní směsi.

5.5.1 A - Hlavní řídicí systém

Hlavní řídicí systém je založený na jednom rozhodovacím prvku. K řídicímu systému jsou připojena všechna zařízení a senzory fungující ve výrobním procesu. Zároveň má řídicí systém k dispozici databázi, kam ukládá všechna data. Veškerá komunikace probíhá pouze mezi řídicím systémem a zařízeními výroby. V běžném výrobním procesu tedy senzory odesílají data řídicímu systému. Systém data vyhodnotí a rozešle pokyny všem zařízením, pro která má nastat změna výrobního procesu.

Všechna data jsou uchovávána v databázi při řídicím systému, kde je možný i náhled do dat pro obsluhu celého výrobního procesu. Dále je možné tato data využívat v Business intelligence nástrojích, které umožňují podrobnou analýzu výrobních dat. Zde by se vždy uchovala hodnota ze všech zařízení a časový údaj kdy tato činnost proběhla.

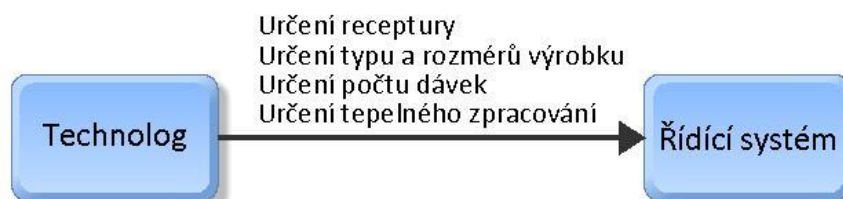
Na následujícím blokovém schéma Obr. 26 je vidět struktura řídicího systému pro výrobní proces v žárovzdorném průmyslu modelové společnosti, který bude v následujících odstavcích popsán.



Obr. 26: Diagram hlavního řídicího systému

Technolog

Celý výrobní proces začíná zadáním dat o výrobě do hlavního řídicího systému technologem. Výrobní data musí obsahovat všechny potřebné údaje pro celý výrobní proces např. počet dávek, receptura, typ a rozměry výrobku a tepelné zpracování. Data řídicí systém zpracuje a spustí proces výroby. Je to důležitá část výrobního procesu, protože všechny pokyny během celého výrobního procesu jsou závislé na těchto datech. Komunikace je znázorněna na obrázku Obr. 27.



Obr. 27: Technolog - Řídicí systém

Silo - Sklad

Po zadání všech potřebných informací od technologa do řídicího systému, systém odešle recepturu a množství do skladu a sila. Do skladu a sila přijde informace o receptuře. Zde se odváží požadované množství surovin, které je připravené na odeslání do mísiče. Vzhledem k možnosti nepřesného navážení hmotnosti jednotlivých surovin ze skladu a sila je odeslaná informace o skutečné hmotnosti surovin, které budou využívány pro přípravu výrobní směsi do řídicího systému. Jaká data poputují mezi řídicím systémem a silem se skladem je názorně vidět na obrázku Obr. 28.



Obr. 28: Řídicí systém - Silo / Sklad - Řídicí systém

Příprava směsi

Následně, když mísič dá signál do řídicího systému, že je volný pro novou dávku, řídicí systém odešle signál do sila a skladu, aby se odeslaly připravené vstupní suroviny. Jíl je během dopravy do mísiče monitorován z hlediska vlhkosti. Senzor určený k monitorování vlhkosti jílu odesílá online data do řídicího systému, který si je zaznamenává a na základě naměřené vlhkosti jílu řídicí systém dopočítává potřebné množství vody, které bude přidáno během míchání výrobní směsi.

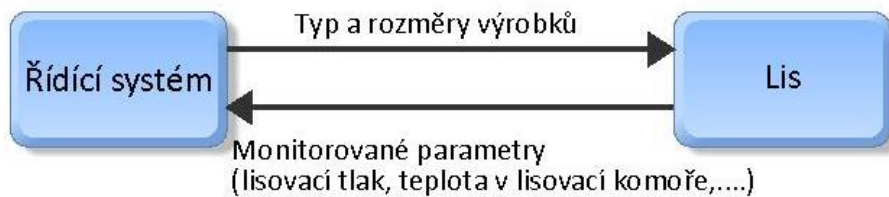
Posléze namíchaná výrobní směs putuje napříč výrobním procesem přes zakladač, kde stráví požadovanou dobu pro správnou homogenizaci. Ze zakladače směs putuje do lisu. Před lisem se nachází Senzor vlhkosti, který získávaná data online odesílá do řídicího systému. V systému dochází ke zpracování vlhkosti výrobní směsi. Na základě porovnání výrobní směsi s naměřenými daty dává systém pokyn do dokrápěcího zařízení o množství vody, které je ještě nutné přidat. Tato kontrola se provádí, aby se výrobní směs dostala do co nejlepšího stavu pro extruzi. Na následujícím obrázku Obr. 29 je popsána komunikace znázorněna.



Obr. 29: Senzor vlhkosti - Řídicí systém - Dokrápěcí zařízení

Extruze směsi

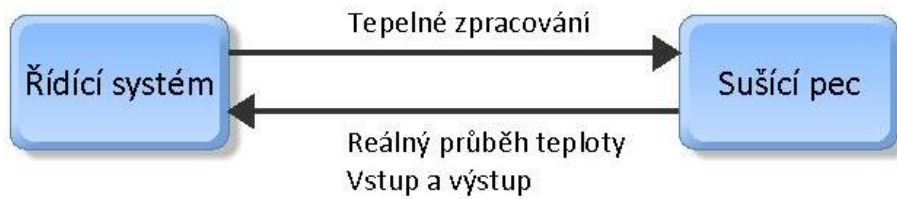
Na začátku výrobní dávky přichází do lisu data od řídicího systému druh a rozměr výrobku, aby byla připravena forma pro správný výrobek. Během extruze lis odesílá všechna sbíraná data o vakuu v předlisovací komoře, lisovacím tlaku, tlaku a teplotě v lisovací komoře a vlhkosti směsi do řídicího systému. Pokud systém zjistí, že extruze probíhá za nevhodných podmínek, tak vyextrudovaný výrobek nahlásí jako vadný a obsluha ho odstraní z dalšího procesu výroby. Obr. 30 ukazuje s jakými daty mezi sebou budou komunikovat řídicí systém a lis.



Obr. 30: Řídicí systém - Lis - Řídicí systém

Sušící pec

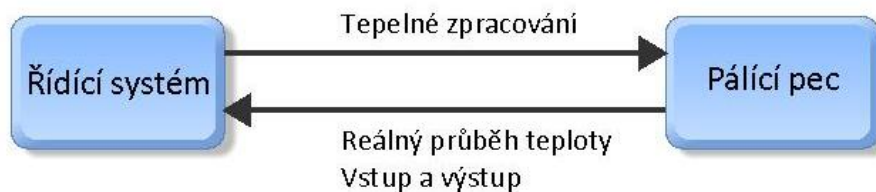
Následně jsou výrobky přeloženy na sušící vůz. Do řídicího systému sušící pece je odeslán průběh sušení. Tento průběh je pro každý výrobek a recepturu specifický a je určen na začátku procesu technologem. Zároveň pec odesílá reálný průběh cyklu sušení společně s časovým údajem o začátku a konci procesu sušení do řídicího systému, který ho ukládá. Na Obr. 31 je naznačen tok informací mezi řídicím systémem a sušící pecí.



Obr. 31: Řídicí systém - Sušící pec - Řídicí systém

Pálící pec

Po vysušení jsou výrobky přeloženy na pálící vozy. Zde probíhá podobný proces jako při sušení. Řídicí systém odešle pálící peci požadovaný průběh výpalu výrobků. Pec na zpět odešle teplotní průběh během pálení a také časový údaj o začátku a konci procesu pálení. Dále je na Obr. 32 zobrazen tok informací mezi řídicím systémem a pálící pecí. Zde je vidět, že komunikace je totožná jako s pecí sušící.

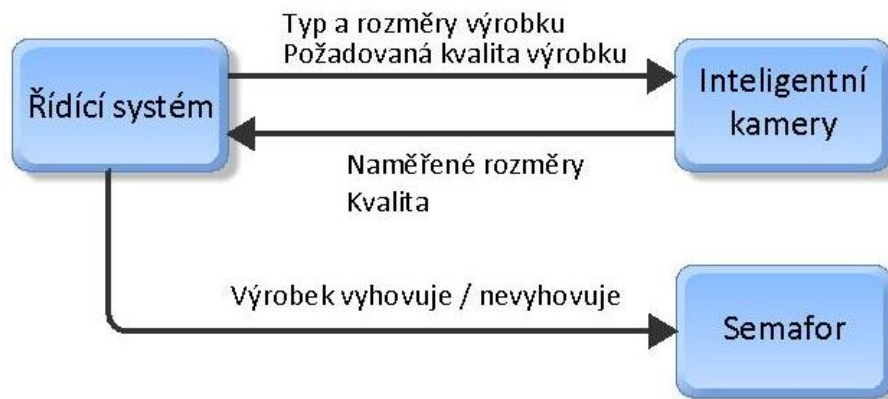


Obr. 32: Řídicí systém - Pálící pec - Řídicí systém

Kontrolní linka

Na konci výrobního procesu dochází ke kontrole výrobků. Za výstupem pálící pece následuje kontrolní linka. Na dopravní pás kontrolní linky jsou vkládány jednotlivé výrobky. Na dopravním pásu kontrolní linky jsou nainstalované inteligentní kamery, které dokáží každý výrobek změřit a zkontrolovat, zda na sobě nemají známky poškození. Do kamer musí být odeslán řídicím systémem požadovaný rozměr výrobku plus toleranční pole v kterém se může daný výrobek pohybovat. Na základě těchto údajů od řídicího systému kamera vyhodnotí, zda výrobek splňuje všechna požadovaná kritéria nebo ne. Informace naměřených rozměrů výrobků, a také kontroly kvality povrchu kamery odesílají do řídicího systému. Zde je vyhodnoceno, jestli výrobek splnil všechna kritéria kvality. Na základě vyhodnocení řídicí systém vyšle signál do semaforu na konci

kontrolní linky, pokud výrobek splňuje nebo nesplňuje požadavky a podle toho se rozsvítí zelená nebo červená kontrolka. Celá komunikace je přehledně znázorněna na Obr. 33.



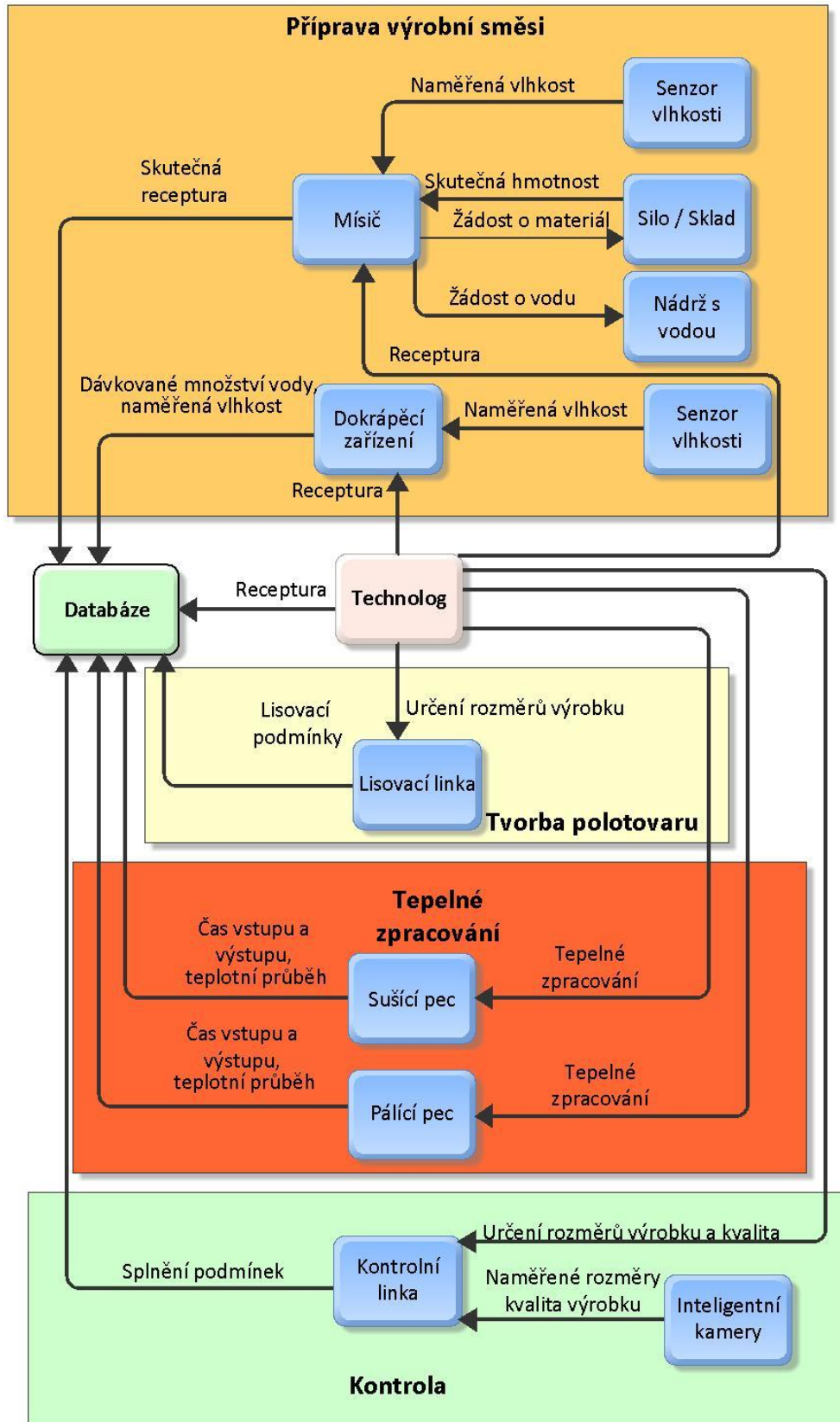
Obr. 33: Řídicí systém - Inteligentní kamery - Řídicí systém - Semafor

5.5.2 B - Decentralizované řízení

Decentralizované řízení funguje na přerozdělení kompetencí řízení na nižší úrovně výroby. Tento druh řízení nefunguje na základě jednoho řídicího systému, ale že pod hlavním systémem jsou další podsystémy. Do jednotlivých podsystémů je přeřazeno rozhodování pro jednotlivé části výrobního procesu.

Na případu žárovzdorné výroby v modelové společnosti jsem rozdělil jednotlivé části výroby, které budou samy reagovat na vlivy výrobního prostředí. Každá tato část bude muset mít svou řídicí jednotku, která bude na základě dat získaných ze senzorů řídit své fungování.

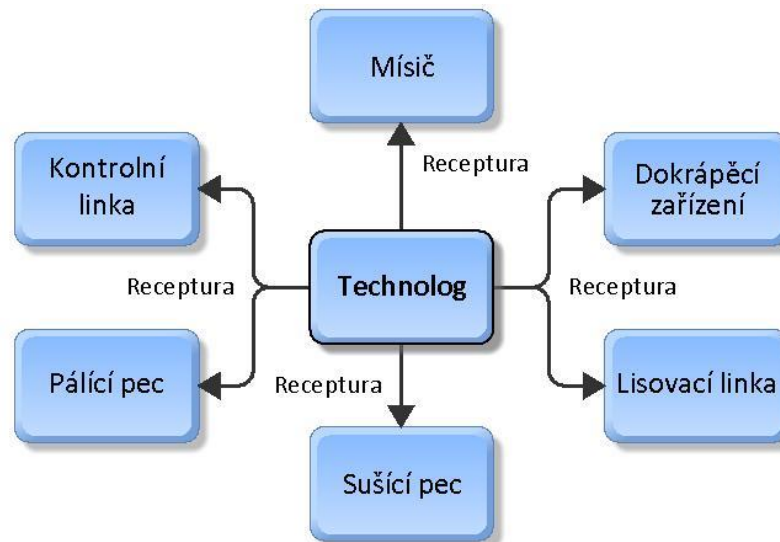
Stejně jako u předchozí varianty je začátek u technologa, tak to musí být vždycky. Musí být někdo kdo určí co se bude vyrábět a za jakých podmínek. Na rozdíl od předchozí varianty technolog nepředává informaci o receptuře a dalších vlastnostech výroby jednomu řídicímu systému. Technolog je připojen na všechny řídicí jednotky, kterým pošle jím náležící data o výrobním procesu. Decentralizované fungování řídicího systému je znázorněno na obrázku Obr. 34, které bude v dalších odstavcích popsáno.



Obr. 34: Diagram decentralizovaného řízení

Technolog

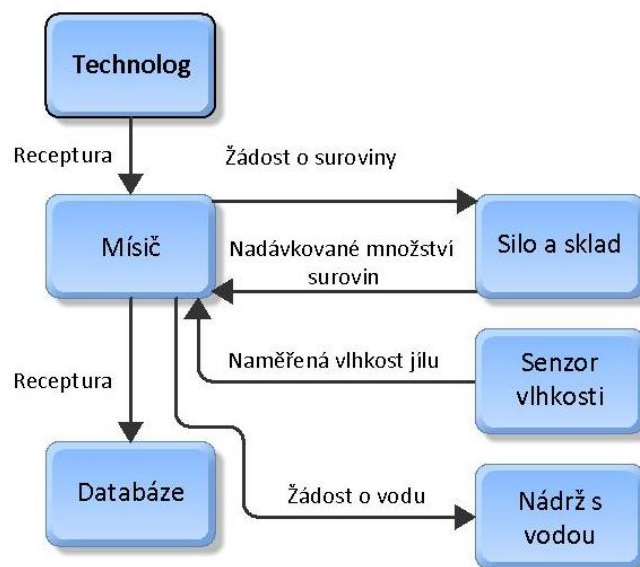
Jak již bylo zmíněno výrobní proces začíná odesláním dat od technologa o receptuře, počtu dávek, typu a rozměru výrobků a tepelném zpracování. Další rozhodování je již na jednotlivých řídicích jednotkách, kterými jsou: mísič, dokrápěcí zařízení, lisovací linka, sušící pec, pálící pec a kontrolní linka viz Obr. 35. Všechny tyto části pak odesílají informace o průběhu výroby do databáze pro následnou analýzu.



Obr. 35: Technolog - řídicí podsystemy

Příprava směsi

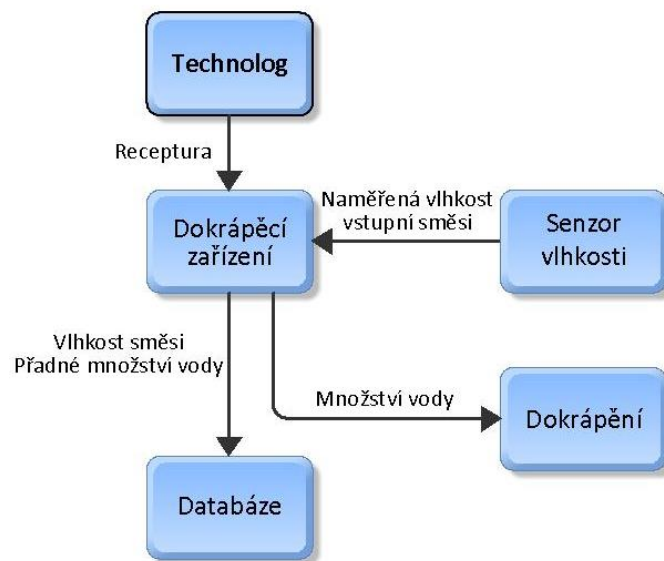
Technolog zadá výrobu a receptura se dostane do mísiče. Mísič si dle receptury odešle žádost na váhy sila a skladu o jednotlivé vstupní suroviny. Po odeslání jednotlivých surovin odešle sklad a silo přesné údaje naváženého množství surovin, které bylo odesláno do mísiče. Přepravu jílu do mísiče sleduje senzor vlhkosti, který svá data odesílá do mísiče. Zde jsou data o vlhkosti zpracovávána. Na základě vyhodnocení dat z vlhkoměru a vypočtení potřeby přídavku vody do výrobní směsi si mísič zažádá o požadované množství vody. Po namíchání výrobní směsi mísič odešle získaná data z výroby. Jedná se o hmotnosti jednotlivých vstupních surovin, vlhkost jílu, který vstupoval do výrobní směsi a přídavek vody. Z těchto dat bude možné zjistit recepturu výrobní směsi, která byla vytvořena. Dále je obrázek Obr. 36, který popisuje tok dat touto řídicí jednotkou.



Obr. 36: Příprava směsi

Dokrápěcí zařízení

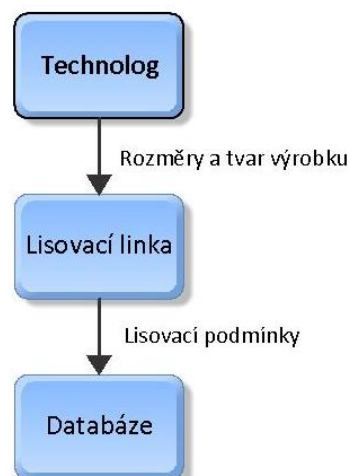
Dále v řídicím systému přichází část dokrápěcího zařízení. Zde je princip jednoduchý na řízení dokrápěcího zařízení je připojen senzor vlhkosti, který snímá výrobní směs. Dále je zde připojen regulátor přívodu vody. Řídicí systém na základě informací od technologa o výrobní směsi a z vlhkoměru reguluje dokrápěcí systém tak, aby dále do výrobního procesu putovala směs v co nejlepším stavu pro extruzi. Posléze řízení dokrápění odešle informaci o naměřené vlhkosti a také kolik bylo do tohoto místa přidáno vody. Na obrázku Obr. 37 je znázorněn tok informací napříč dokrápěcím systémem.



Obr. 37: Dokrápěcí zařízení

Lisovací linka

Lisovací linka dostane informace od technologa o tvaru a rozměrech vyráběného výrobku. Linka se na tento výrobek připraví, aby splňovala tyto požadavky. Dále jen odesílá informace do databáze, které zaznamenají senzory na lise během průběhu výroby. Jedná se o hodnotu vakua v lisovací komoře, teplotu a tlak v lisovací komoře, lisovací tlak. Na obrázku Obr. 38 jsou zobrazeny datové toky napříč touto částí systému.

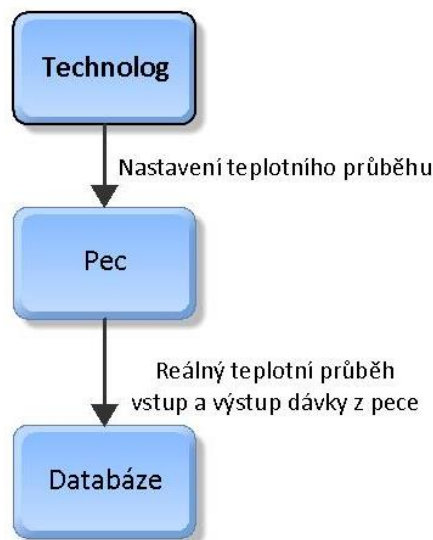


Obr. 38: Lisovací linka

Dále je možné propojit dokrápěcí zařízení s lisovací linkou, aby bylo možné upravovat lisovací podmínky v závislosti na vlhkosti výrobní směsi, která putuje do lisu.

Sušící a pálící pec

Sušící pec získá informace o výrobě od technologa, podle těchto informací nastaví svůj režim sušení. Celý svůj proces monitoruje a tyto data odešle do databáze, aby byl dohledatelný záznam o průběhu sušení. Stejný průběh je i u pece pálící. Na Obr. 39 je znázorněn tok dat v pecích.

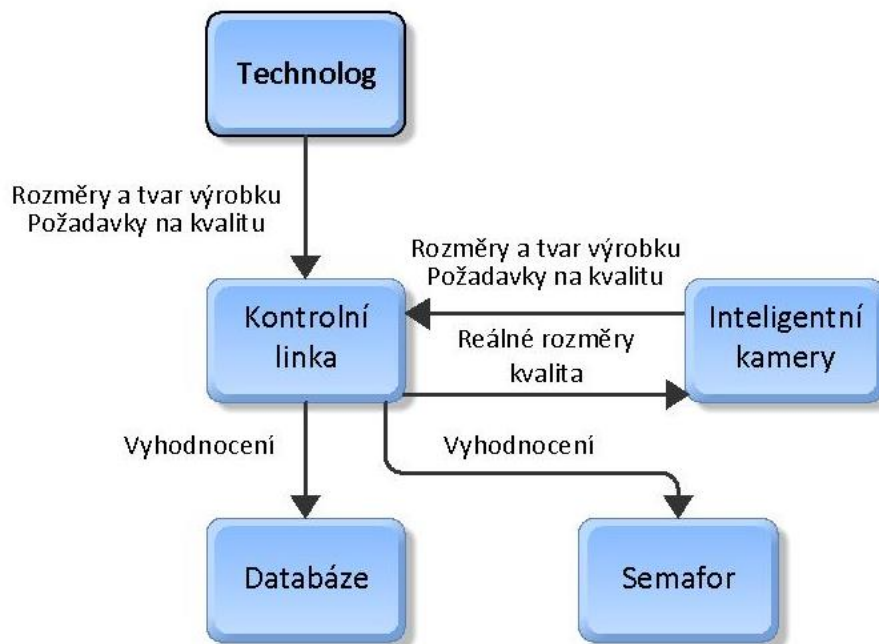


Obr. 39: Pec

Kontrolní linka

Do řídicího systému kontrolní linky je poslána informace od technologa o rozměrech, tvaru a kvalitě výrobku. Zde výrobek prochází pod dohledem inteligentních kamer, které vyhodnotí, jestli se jedná o výrobek, který splňuje podmínky technologa nebo ne. Jde především o dodržení rozměrů ve stanovené toleranci a aby kontrolou neprocházeli výrobky, které jsou degradovány prasklinami. Každá kamera své vyhodnocení odešle do řídicího systému kontrolní linky, která na základě těchto informací určí, jestli výrobek splňuje nebo nesplňuje požadavky zadané technologem. Na konci linky je semafor, který je řízen a pokud výrobek splňuje podmínky svítí zelená, pokud výrobek nesplní podmínky určené technologem rozsvítí se na semaforu červená. Pokud dojde k nesplnění podmínek putuje výrobek do recyklátu a je znovu využíván. V případě

splnění všech podmínek od technologa je výrobek složen na paletu a dále expedován k zákazníkovi. Na následujícím obrázku Obr. 40 je znázorněn tok dat napříč kontrolou výrobků.



Obr. 40: Kontrolní linka

6 Zhodnocení návrhů

V této kapitole proběhne zhodnocení návrhů z kapitoly minulé. Jedná se o návrhy přímo pro modelovou společnost. Budou zde zhodnoceny klady a zápory jednotlivých variant. Varianty budou posouzeny dle finanční náročnosti, připravenost a proveditelnost implementace do modelové společnosti a přínos provedení ve výrobním procesu. Dále v této kapitole bude návrh na postup při implementaci v modelové společnosti.

6.1 Skladování suroviny

Byly navrženy čtyři možnosti úpravy skladování vstupní suroviny. Jsou jimi Velký sklad, Přemísťování skladované suroviny, Monitorování skladované suroviny a monitorování skladovacích prostorů. Jednoduše lze v současnosti implementovat pouze třetí varianta se snímáním vstupní suroviny a čtvrtá varianta. Na první variantu je potřeba nákup přilehlých pozemků a následná výstavba. U druhé varianty je potřeba zaměstnat nového člověka a pořídit

nakladač pro manipulaci se surovinou. Z tabulky Tab. 13 vyplývá, že varianta 3, která je možná implementovat okamžitě a je nejlevnější. Co se financí týče tato varianta nevyžaduje další finanční náklady mimo pořizovacích, jako jsou např. výdaje na mzdu nových zaměstnanců či nákup pozemku. Tato varianta nijak neupravuje systém současného skladování. Jde o monitoring skladované suroviny a tím určení jaké vlastnosti vstupní surovina má.

V následující tabulce Tab. 13 jsou zhodnoceny všechny varianty návrhů, které figurují v koncepčních návrzích pro skladování surovin.

Tab. 13: Porovnání návrhů - Skladování suroviny

	A - Velký sklad	B - Přemísťování skladované suroviny	C - Monitorování skladované suroviny	D - Monitorování skladovacích prostorů
Cena	51 775 000 Kč	5 000 000 Kč	3 000 000 Kč	182 000 Kč
Dopad na výrobní proces	Lepší homogenizace jílu, konstantní vlhkost používaného jílu	Lepší homogenizace jílu	Znalost vlhkosti jílu	Zjištění vlivu okolí na skladovanou směs a následná možnost předejít znevalitnění skladovaných surovin
Připravenost na implementaci	Je třeba nakoupit pozemky	Připravenost je vhodná, může se provést na současném skladu	Připravenost je vhodná, stačí osázet sklad senzory a ty připojit do sítě elektrické a počítačové	Není žádná potřeba
Proveditelnost	Záleží na schopnosti investovat poměrně hodně peněz a na možnosti zisku pozemků přilehlých k výrobnímu závodu	Rozdělení současného skladu na jednotlivé podsklady		Je snadná, stačí pořídit, nainstalovat a připojit.

V hodnocení je také zmíněna čtvrtá varianta „Monitoring skladovacích podmínek“. V tomto návrhu je popsán a hodnocen nezávislý návrh, který lze využít ve všech předchozích návrzích skladování suroviny. Jedná se o monitoring okolního prostředí při skladování.

Dle strategického plánu by bylo vhodné zkombinovat jednotlivé varianty popsané v podkapitolách 5.2.1 a 5.2.3. Vzhledem k vysoké ceně první varianty by se jednalo o velkou finanční investici. Tato kombinace, by ale zajistila dostatečnou homogenizaci vstupní suroviny a zároveň by došlo k monitoringu této suroviny, pomocí kterého by se dalo určit, z jakého místa se zrovna má surovina odebírat a přesně v jakém stavu se nachází, což je pro následné zpracování velmi důležité. Pořadí jednotlivých variant je v Tab. 14

Dále by u všech variant bylo možné zavést monitoring okolního prostředí co se týče teploty a vlhkosti. Z dat snímačů okolního prostředí by se na základě výsledků kvality výroby dalo zpětně vyhodnocovat jaké podmínky jsou vhodné a jaké nevhodné pro skladování vstupních surovin.

Tab. 14: Pořadí - Skladování surovin

pořadí	Varianta	Zdůvodnění
1.	C - Monitorování skladované suroviny	Bez výrazných zásahů do současného skladu. Stačí pouze nainstalovat senzory vlhkosti a vyhodnocovat data z nich získané. Jediné řešení, které určí vlhkost jílu před vstupem do výrobního procesu.
2.	B - Přesouvání skladované suroviny	Je potřeba stavebního zásahu do současného stavu. Pořídit drahý nakladač a k němu kvalifikovaného člověka. Je dražší než první varianta, zároveň řádově levnější než varianta třetí.
3.	A - Velký sklad	Několikanásobně vyšší náklady než ostatní varianty. Navíc je řešení časově náročné. Ať už nákup pozemků nebo výstavba celého skladu.
	D - Monitorování skladovacích podmínek	Mimo pořadí, je vhodné aplikovat na všechny varianty skladování.

6.2 Příprava výrobní směsi

Stejný problém řeší dva návrhy řešení „Kontrola vlhkosti před mísičem“ a „Kontrola vlhkosti v mísiči“. Z těchto dvou řešení jsou pro současný stav realizovatelná obě řešení. Třetí návrh řeší kontrolu a úpravu výrobní směsi těsně před extruzí. V následující tabulce Tab. 15 jsou zhodnoceny jednotlivé návrhy.

Tab. 15: Porovnání návrhů – Příprava výrobní směsi

	A - Kontrola vlhkosti před mísičem	B - Kontrola vlhkosti v mísiči	C - Kontrola vlhkosti před extruzí směsi
Cena	1 000 000 Kč	950 000 Kč	870 000 Kč
Dopad na výrobní proces	Kontrola vlhkosti jílu před mísičem by snímala nejproblematictější surovinu vstupující do výrobní směsi. Na základě naměřených dat by došlo k vypočtení hmotnosti vody, která je potřeba do výrobní směsi přidat.	Výpočet přidávané vody do mísiče na základě naměřené vlhkosti výrobní směsi, což by měla za následek ustálení kvality výrobní směsi. Tento způsob může mít vadu v nedostatečném promísení výrobní směsi z čehož plyne riziko špatného nadávkování vody. V případě špatného měření by došlo k namíchání nežádoucí směsi.	Kontrola vlhkosti výrobní směsi před lisem by měla za následek ustálení vlhkosti výrobní směsi. Výrobní směs by do lisu vstupovala s co nejlepší vlhkostí pro její extruzi.
Připravenost na implementaci	Stávající stav je připravený na implementaci senzoru před mísičem.	Současný stav je připravený na tento návrh.	Současný stav je připravený pro implementaci tohoto návrhu.
Proveditelnost	Návrh je možný provést na současném stavu. Nutné bude propojit senzor s programem na dávkování vody do mísiče.	Návrh je možný provést na současném stavu, ale bude nezbytné provést změny na mísiči, aby bylo možné zavést senzor vlhkosti, který by snímal jeho vnitřní obsah. Nutné bude propojit senzor	Pro tento návrh je potřeba pořídit regulátor průtoku vody, který se připojí na senzor vlhkosti a dokrápěcí zařízení. Regulátor bude řízen v závislosti na

		s programem na dávkování vody do mísiče.	na do	získaných datech ze senzoru vlhkosti.
--	--	--	-------	---------------------------------------

Obě řešení pro kontrolu vlhkosti pro namíchání výrobní směsi jsou v současném provozu modelové společnosti realizovatelné. Ačkoliv je řešení s kontrolou vlhkosti před mísičem o 270 000 Kč dražší, tak je méně komplikované na instalaci do výrobního procesu. Stačí senzor vlhkosti připevnit nad dopravník pro jílu a uvést do provozu. Samozřejmě propojit senzor s řízením vah pro přidávání surovin do výrobní směsi. Na rozdíl od toho při využití kontroly uvnitř mísiče dojde k porušení mísiče a implementace celého řešení je složitější na zavedení senzorů do vnitřku mísiče a dojde k jeho porušení. Výsledek s kontrolou uvnitř mísiče pravděpodobně nebude tak přesný z důvodu nedostatečné homogenizace vstupních surovin do výrobní směsi. Z těchto důvodů vyhodnocení jako lepší návrh je kontrola jílu před mísičem pomocí mikrovlnného senzoru, z důvodu lepší funkčnosti a menších zásahů do stávajících výrobních zařízení.

Mikrovlnný senzor má především výhodu v přesném určení vlhkosti jílu, který je nejproblémovější složkou celé výrobní směsi. Pro mikrovlnný senzor nejsou potřeba žádné speciální úpravy výrobního procesu. Jen je potřeba připevnit senzor nad dopravní pás před mísič. Následně je důležité tento senzor zapojit do řízení mísiče. V řízení mísiče je důležité správně vyhodnotit data ze senzoru a reagovat na ně přidávkem vody do výrobní směsi.

Jako velmi vhodný je i návrh kontroly výrobní směsi těsně před extruzí. Senzor vlhkosti směsi by však musel být automaticky připojen k dávkovacímu zařízení u dokrápěcího zařízení. Propojení těchto zařízení a správná reakce na naměřená data by dokázalo dopravit složení výrobní směsi vstupující do lisu. Dokrápěcí zařízení by mělo výrazný vliv na kvalitu finální výrobní směsi. Dokázalo by do vlhčit výrobní směsi, pokud by v této části výrobního procesu byla suší, než by bylo vyžadováno.

V následující tabulce Tab. 16 je vypsáno pořadí jednotlivých variant a krátké zhodnocení. Varianta C – Kontrola vlhkosti před extruzí směsi je mimo pořadí, protože řeší jiné místo ve výrobním procesu než předchozí dvě varianty.

Tab. 16: Pořadí – Příprava výrobní směsi

pořadí	Varianta	Zdůvodnění
1.	A - Kontrola vlhkosti před mísičem	Oproti kontrole v mísiči spolehlivější měření. Není třeba zásah do konstrukce. Cenové náklady jsou vyčísleny téměř stejně jako následná varianta. Nevýhoda je měření jen jílu.
2.	B- Kontrola vlhkosti v mísiči	Měří celou výrobní směs. Jinak má tato varianta oproti první spíše zápory jako je zásah do současného mísiče a v případě nedostatečného promísení směsi nesprávné měření vlhkosti.
	C - Kontrola vlhkosti před extruzí směsi	Mimo pořadí je vhodné aplikovat za obě předchozí varianty. Jedná se o poslední variantu úpravy výrobní směsi před extruzí.

6.3 Kontrola

Tato kapitola se věnuje vyhodnocení návrhů do části kontroly výrobků v modelové společnosti. Hodnotí se dva návrhy, když jeden z návrhů má dva podnávrhy. V prvním návrhu se jedná o robotické pracoviště pro kontrolu kvality výrobků. Druhý návrh je pomocí kontrolní linky, kterou je možné v budoucnu rozšířit robotickou obsluhu.

V následující tabulce Tab. 17 jsou znázorněny hlavní charakteristiky návrhů. Je zde zhodnoceno jaké vlivy by měly jednotlivé návrhy při implementaci do současného výrobního procesu modelové společnosti.

Tab. 17: Porovnání návrhů – Kontrola

	A - Robotické pracoviště	B - Kontrolní linka – lidský operátoři	C - Kontrolní linka – robotický operátoři
Cena	2 290 000 Kč	1 140 000 Kč	5 390 000 Kč
Dopad na výrobní proces	Automatický proces kontroly výrobků. Zavedení automatické kontroly všech výrobků. Bez potřeby	Zavedení automatické kontroly. Je potřeba lidské práce pro přidávání výrobků na dopravník a následně	Automatický proces kontroly výrobků. Zavedení automatické kontroly všech výrobků

	lidské práce. Dále také paletizace výrobků.	jejich odebírání z dopravníku po kontrole	
Připravenost na implementaci	Modelová společnost je na všechny návrhy připravena stejně. Protože připravenost u žádné z varianty není potřeba. Jediný požadavek je u robotických pracovišť, aby pecní vozy vždy přijely na stejnou pozici odkud bude docházet odebírání výrobků ke kontrole.		
Proveditelnost	Je potřeba především přesně určit správně parametry pro výběr robota, aby zvládl takt linky a stihl obsloužit celý pecní vůz než z pece vyjede další vypálený vůz. Případně je možné pracoviště duplikovat, aby došlo k udržení taktu pece. Důležité je pak propojit robota s kamerami, pro správnou manipulaci a kontrolu.	Pro tento návrh není nic speciálního potřeba.	Stejně jako v prvním případě je potřeba správě zvolit robota. Je nutné, aby robot zvládl obsloužit celý vůz.

Všechny tři návrhy se starají o přesnou kontrolu všech výrobků, co jsou v modelové společnosti produkovány. Rozdíl mezi nimi je především, že u varianty „Kontrolní linka“ lze realizovat postupně. Nejdříve lze jen postavit kontrolní linku, která není tolik finančně náročná a dokáže vykonávat všechnu práci s pomocí lidské obsluhy. Tato varianta je vhodná, pokud společnost nechce udělat okamžitou velkou investici, ale chce mít změřeny a zkontrolovány všechny výrobky. Nejdříve si otestuje funkčnost celé kontrolní linky s pomocí lidských operátorů s menšími investicemi. V případě osvědčení této varianty by firma mohla investovat do robotů, tak aby s pomocí inteligentních kamer automaticky obsluhovali kontrolní linku.

Rozdíly v principech kontroly u jednotlivých robotizovaných návrhů příliš nejsou. Především jde o již zmíněnou možnost postupné implementace. Případně o cenový rozdíl jednotlivých variant.

Tato práce upřednostňuje návrh „Kontrolní linka“. Je to především z důvodu postupné implementace. Pokud by se využila nejdříve varianta s implementací linky bez robotů, tak je to okamžité a poměrně levné řešení, jak kontrolovat kvalitu a rozměry u všech výrobků. Pracoviště by se připravilo tak, aby bylo možné v budoucnu do kontrolního procesu implementovat roboty

a celý proces zautomatizovat od odebrání výrobků z vozů přes kontrolu po složení na paletu nebo vyhození do recyklátu. Všechny návrhy jsou seřazeny v Tab. 18 a krátký popis pořadí.

Tab. 18: Pořadí – Kontrola

pořadí	Varianta	Zdůvodnění
1.	C - Kontrolní linka - robotický operátoři	Nejefektivnější varianta. Nejlepší vyhodnocování kvality výrobků. Odstranění lidské práce. Nejdražší varianta.
2.	B - Kontrolní linka - lidský operátoři	Nejlevnější varianta, ale zachovává lidskou práci při nakládání a vykládání výrobků na linku.
3.	A - Robotické pracoviště	Komplikované vyhodnocení výrobků. Náročná varianta na roboty.

6.4 Řízení výrobního procesu

Vyhodnocení návrhů řízení výrobního procesu je velmi obtížné. Jedná se především o složitost propojení komunikace mezi jednotlivými zařízeními a senzory.

Nelze zde úplně jednoznačně určit která z navržených variant je lepší. V konceptu Průmyslu 4.0 je ražena teorie decentralizovaného řízení. Nicméně tento způsob řízení vyžaduje velkou dávku investice do naprogramování jednotlivých zařízení, aby spolu dokázala správně komunikovat. Tento princip se spíše hodí do úplně robotizovaného a automatizovaného výrobního procesu.

Řízení pomocí hlavního řídicího systému je jednodušší pro naprogramování, protože všechny prvky komunikují na přímo s řídicím systémem. Zároveň pokud dojde k výměně nějakého zařízení stačí upravit pouze to nové zařízení a hlavní řídicí systém. Zatímco v předchozí variantě by to znamenalo změnu programu u všech zařízení, které s vyměněným zařízením komunikují.

Jedna z nevýhod pro decentralizované řízení je nutnost mít pro každou část jeden výpočetní prvek na kterém poběží příslušný řídicí systém. Nevýhoda je jejich počet a také výskyt ve výrobě, protože výroba žárovzdorných materiálů je prostředí s velkým výskytem prachu. Dále je také pravděpodobnější, že může dojít k poškození vlivem lidské nedbalosti.

Klady decentralizovaného řízení oproti hlavnímu řídicímu systému je možnost přidávat velké množství nových zařízení. Hlavní řídicí systém má určitý výkon a ten lze jen složitě navyšovat, zatímco decentralizované řízení není závislé na jednom systému a každý podsystém se rozhoduje sám, a tak není problém přidat další rozhodovací prvek do sítě.

Jak vyplývá z následujícího zhodnocení v Tab. 19 je pro modelovou společnost z důvodu jednodušší údržby, vývoje, nevhodného výrobního prostředí pro podsystémy vhodnější struktura řízení s hlavním řídicím systémem.

Tab. 19: Porovnání návrhů – Řízení výrobního procesu

	A - Hlavní řídicí systém	B - Decentralizované řízení
Koncept Průmyslu 4.0	Nesplňuje	Průmysl 4.0 je zaměřený na decentralizované rozhodování. Splňuje
Rozšiřitelnost	Nutné upravit řídicí systém a připravit zařízení pro komunikaci s ním	Nutné připravit pouze daný modul.
Spolehlivost systému	Pro vysokou spolehlivost je nutné mít záložní řídicí systém. (případně cloudové řešení)	Výpadek jednoho modulu nezapříčiní kolaps celého systému.
Údržba	Jeden řídicí systém je jednoduchý na údržbu, ve výrobě jsou pouze jednoduchá zařízení.	Složitější údržba, je potřeba udržovat více řídicích systémů.
Škálovatelnost	Omezená výkonem řídicího systému.	Téměř neomezená, protože potřebný výkon je rozdělený mezi jednotlivá zařízení.
Odolnost vůči prostředí	Řídicí systém se nachází mimo výrobu a není vystaven vlivům výrobního prostředí (prach, změna teploty, vlhkosti,...)	Rozhodovací podsystémy na zařízeních ve výrobě, nutnost chránit před vlivem výrobního prostředí.
Vhodnost systému pro modelovou společnost	Jednodušší pro vývoj, údržbu a vzhledem k pracovnímu prostředí je vhodnější	Vhodné při plánovaném růstu počtu zařízení připojených k řídicímu systému (nad cca 500 zařízení)

6.5 Návrh strategické implementace

V následující části práce bude návrh postupné implementace jednotlivých nejlépe vyhodnocených prvků modernizace. Postup implementace návrhů bude závislý především na co největším přínosu do výrobního procesu.

Strategická implementace počítá s možností investovat maximálně 10 miliónů korun za rok. Dále chce návrhy zavádět do výrobního procesu systematicky, aby v aktuální době co nejvíce prospěly zefektivnění a zkvalitnění výroby. Tento způsob by rozdělil implementaci jednotlivých návrhů na tři etapy. Jako první by proběhla nultá etapa, která by zavedla řídicí systém do výroby. Na řídicí systém by se připojily stávající zařízení, která již ve společnosti data sbírají a případně jsou řízena.. První etapa by se týkala přípravy výrobní směsi, druhá Skladování vstupních surovin a třetí kontroly výrobků. Návrhy by se implementovali po jednotlivých etapách. Každá ze zmiňovaných etap by se dle propočtů cen v návrzích měla stát do vytyčených 10 milionů.

Navrhovaný postup zavádění návrhů do modelové společnosti:

0. A - Hlavní řídicí systém
1. Příprava výrobní směsi
 - 1.1. A - Kontrola vlhkosti před mísičem
 - 1.2. C - Kontrola vlhkosti před extruzí směsi
2. Skladování vstupních surovin
 - 2.1. C - Monitorování skladované suroviny
 - 2.2. D - Monitorování skladovacích podmínek
3. Kontrola
 - 3.1. C - Kontrolní linka - robotický operátoři

Nultá etapa

Nultá etapa by se zabývala zavedením řídicího systému do výroby. Implementace řídicího systému by byla důležitá již pro stávající zařízení, která by se na něj připojila. Například lis nebo pece data sbírají a mohli by se do systému připojit. Již tato data získávaná v současné výrobě by šlo analyzovat.

Při pořizování řídicího systému a s ním spojených zařízení, je potřeba vždy dbát na vhodný výběr jednotlivých komponent, protože strategický návrh plánuje v budoucnu nárůst nových prvků

připojených do řídicího systému. Z tohoto důvodu je potřeba pořizované vybavení, na kterém řídicí systém bude pracovat dostatečně naddimenzovat, aby v budoucnu bylo možné přidávat všechna možná zařízení.

První etapa

Hlavní problém v současné výrobě se nachází ve vlhkosti výrobní směsi. Pro výrobu je tudíž nejdůležitější ustálit její vlhkost. Ustálení vlhkosti výrobní směsi se věnovaly návrhy v kapitole Koncepční řešení přípravy výrobní směsi. Ve vyhodnocení byla vybrána varianta A - Kontrola vlhkosti před mísičem. Pomocí návrhu by se mělo docílit stabilní vlhkosti výrobní směsi. Kontrola vlhkosti výrobní směsi a následná regulace přídavku je jeden z prvků, který dokáže ovlivnit kvalitu výroby.

Současně se zaváděním kontroly vlhkosti před mísičem navrhuje tato práce zavést návrh C - Kontrola vlhkosti před extruzí směsi. Oba návrhy jsou ve svém principu podobné, když kontrolují směs putující po dopravníku pomocí senzoru vlhkosti. Obě zařízení by měla velký vliv na finální vlastnosti výrobní směsi a mohla by tak předejít nekvalitní výrobě.

Zavedení zmíněných návrhů kontroly vlhkosti zároveň by mělo své klady i zápory. Klady by byly především v ušetření financí, protože by instalaci zajišťovala jedna společnost. Proti zavedení zároveň hovoří možnost získání zkušeností při zavádění prvního senzoru vlhkosti, které je možné využít při zavádění do výroby druhého senzoru.

Cena této etapy při součtu jednotlivých návrhů byla 1,87 milionu korun.

Druhá etapa

V poslední části implementací práce doporučuje se věnovat skladování surovin. Tato část je také velice důležitá, ale zároveň také velice náročná. Během vyhodnocení byla pro modelovou společnost jako nejvhodnější vybraná varianta C - Monitorování skladované suroviny. Tato varianta je vhodná pro společnost především protože nedochází k žádným stavebním úpravám na skladu a v tomto směru využívá současný stav skladu.

Monitorování skladované suroviny, především pak jílu je až na konci implementačního řetězce, protože se trochu překrývá s návrhem kontroly vlhkosti při přípravě vstupní suroviny. Nicméně kontrola surovin ve skladu je také důležitá pro to, aby se odebírala ze skladu surovina co nejvhodnější pro vstup do výrobní směsi.

S monitorování skladované suroviny by se zavedl i návrh D - Monitorování skladovacích podmínek, který se věnuje monitorování podmínek ve skladu, za kterých je surovina skladována. Tento návrh je důležitý především ke kontrole okolního prostředí. Ze získaných dat by šlo určit, jaký má vliv změna okolních podmínek na skladovanou surovinu.

Třetí etapa

Po zavedení kontroly vlhkosti vstupních surovin a výrobní směsi práce navrhuje zařazení kontrolní linky kvality výrobků. Konkrétně návrh C - Kontrolní linka - robotický operátoři. Linka by zrušila jakoukoliv práci okolo hodnocení kvality výroby, a tudíž by odstranila možnou nepřesnost při kontrole, která by mohla vzniknout z důvodu nepozornosti lidských operátorů.

Zavedení robotické kontroly kvality by se stabilizovala rozměrová přesnost a kvalita výrobků. V případě implementace tohoto druhu kontroly výrobků by se ušetřilo za lidské operátory, kteří kontrolu provádí. Kontrola kvality nemá přímý vliv na kvalitu výrobků, ale předešla by lidské chybovosti při kontrole výrobků.

Cena druhé etapy věnující se implementaci robotické kontrole, by byla 5,39 milionu korun.

7 Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout zavedení modernizací do výroby modelové společnosti P-D Refractories CZ a.s., která je zaměřena na žárovzdorné výrobky. Modernizace by měla proběhnout prostřednictvím rozšíření monitorování a řízení výrobního procesu ke zvýšení jeho kvality a efektivnosti v rámci konceptu Průmysl 4.0. Úvod práce byl věnován seznámení s Průmyslem 4.0, jeho principům, charakteristice, technologiím v něm využívaným a smart factory, která by měla být výsledkem použití konceptu Průmysl 4.0 v průmyslové výrobě.

V rámci praktické části proběhla analýza současného stavu výrobního procesu v modelové společnosti. Na základě analýzy práce určila vhodná místa k zavedení prvků Průmysl 4.0. Prvky byly navrženy pro tyto oblasti výroby: skladování vstupních surovin, příprava výrobní směsi, kontrola a řízení výrobního procesu.

Výsledkem diplomové práce jsou návrhy zavedení monitorování a regulace výroby v jednotlivých částí, které je možné realizovat v modelové společnosti. Velmi důležitou částí výrobního procesu je zpracování vstupních surovin a jejich monitorování. Z tohoto důvodu se práce zaměřila na kontrolu vlhkosti vstupních surovin a následnou regulaci vody při vytváření výrobní směsi, závislou na datech ze senzoru vlhkosti. Toto zaměření vzešlo z velkého vlivu jílu na výrobní směs, který pramení z jeho nestálosti během ročních období a velkém podílu ve výrobní směsi (přibližně 50 %). Dále se práce zaměřila na správné skladování vstupních surovin, protože správným skladováním lze ovlivnit kvalitu skladovaných surovin. Jako další částí výrobního procesu se práce zabývá kontrolou kvality výrobků. Toto pracoviště by zkontrolovalo všechny výrobky, které by vystupovaly z výroby a zároveň i zaznamenalo naměřené rozměry. V neposlední řadě se práce zaměřila na návrhy řízení výrobního procesu, bez kterého by žádné monitorování a regulace výrobního procesu nemohla fungovat.

Výsledkem diplomové práce je také strategická implementace návrhů do výrobního procesu, která je závislá především na základě vlivu návrhu na konečný výrobek. Implementace byla rozdělena do čtyř etap, když nultá je zavedení řídicího systému, první kontrola vlhkosti vstupní suroviny, druhá skladování vstupních surovin a poslední kontrola kvality výrobků.

Citovaná literatura

1. ZELENKA, A. a KRÁL, M. *Projektování výrobních systémů*. Praha. ČVUT, 1995. ISBN: 80-01-013202-2.
2. SZENDIUCH, I. *Řízení výrobních procesů v elektronických výrobních a jakosti* [online]. Dostupné také z: http://www.umel.feec.vutbr.cz/~szend/vyuka/bmts/11a_rj_6sigma.pdf
3. KEŘKOVSKÝ, M. *Moderní přístupy k řízení výroby*. Praha. C. H. Beck, 2009. ISBN: 978-80-7400-119-2.
4. JAZDI, N. Cyber Physical Systems in the Context of Industry 4.0. In: *2014 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics*. Cluj-Napoca, Romania: University of Stuttgart, 2014. ISBN: 978-1-4799-3732-5.
5. ROJKO, A. *Industry 4.0 Concept: Background and Overview*. Nuremberg. ECPE European Center for Power Electronics e.V, 2017, č. 5, s. 77-90.
6. GILCHRIST, A. *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things*. New York. Apress, 2016. ISBN 978-1-4842-2047-4.
7. KAMINSKÝ, D. *Průmysl 4.0 a čtvrtá průmyslová revoluce*. 2016, č. 6, s. 111 [cit. 2019-03-30]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/prumysl-4-0-a-ctvrta-prumyslova-revoluce.html>
8. FRANK, A. , DALENOGARE, L. a AYALA, N. F. *Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies*. 2019.
9. CARVALHO, N. et al. *Manufacturing in the fourth industrial revolution: A positive prospect in Sustainable Manufacturing*. 2018, s. 671-78.
10. JEGANATHAN, L. et al. On a Frame Work of Curriculum for Engineering Education 4.0. In: *2018 World Engineering Education Forum - Global Engineering Deans Council (WEEF-GEDC)*. Albuquerque, NM, USA: 2018. ISBN: 978-1-5386-7764-3. Dostupné také z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8629629>

11. KOVÁCS, a GUBÁN, M. *INDUSTRY 4.0 CONCEPTION*. INDUSTRY 4.0 CONCEPTION. 2017, č. 1, s. 111-14. ISSN: 2067 – 3809.
12. Industry 4.0: the fourth industrial revolution – guide to Industrie 4.0. *i-scoop* [online]. [cit. 2019-7.-04]. Dostupné z: <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/>
13. [online]. 1. 1. 2018 [cit. 2019-7.-05]. Dostupné z: <https://imgbin.com/png/eiq92XL3/horizontal-integration-industry-4-0-architecture-vertical-integration-strategic-planning-png>
14. KHAN, M. R. I. *Implementation of Industry 4.0 Smart Manufacturing*. 2019.
15. DOUCEK, P. PAVLICEK, A. a LUC, L. Internet of Things or Surveillance of Things? In: *Research and Practical Issues of Enterprise Information Systems*. Cham: Springer International Publishing, 2018, s. 45-55.
16. BOYES, H. et al. *The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework*. 2018, s. 1-12.
17. KRUTZ, R. L. *Industrial automation and control system security principles*. Research Triangle Park, NC. International Society of Automation (ISA), 2013.
18. *Medium* [online]. 11. 1. 2018 [cit. 2019-4.-12]. Dostupné z: <https://medium.com/@iostoken/the-internet-of-services-intro-to-our-tech-e91abfb13b8c>
19. SHARAMA, K. L. S. Information Technology–Operation Technology Convergence. In: *Overview of Industrial Process Automation*. Elsevier, 2017, s. 359-75.
20. SAURABH, V. PRASHANT, A. a SANTOSH, B. *Industry 4.0 – A Glimpse*. 2018, s. 233-38.
21. CHEN, B. et al. *Smart Factory of Industry 4.0: Key Technologies, Application Case, and Challenges*. 2018, s. 6505-19.
22. KUMAR, I. P. a NIKHIL, P. *Practical Guide to Smart Factory Transition Using IoT, Big Data and Edge Analytics*. 2018, s. 55162-70.

-
23. [online]. [cit. 2019-5.-28]. Dostupné z: http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/uceb/DATA/s_1_1.htm
 24. *Snímače* [online]. [cit. 2019-5.-27]. Dostupné z: https://moodle.sspbrno.cz/pluginfile.php/7488/mod_resource/content/2/Sn%C3%ADma%C4%8De.pdf
 25. *Obecné rozdělení senzorů* [online]. [cit. 2019-5.-27]. Dostupné z: http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/uceb/DATA/s_1_2.htm
 26. BARATA, J. SILVA, F. a ALMEIDA, M. Ceramic Industry 4.0: Paths of Revolution in Traditional Products. In: *Technological Developments in Industry 4.0 for Business Applications*. IGI Global, 2019. ISBN: 978-1-5225-4936-9 978-1-5225-4937-6.
 27. *Historie těžby a využití nerostů na našem území* [online]. [cit. 2019-5.-27]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/keramika.html>
 28. *Stavební hmoty* [online]. [cit. 2019-5.-27]. Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/~svobodah/sh/SH3v1.pdf>
 29. *Technická keramika* [online]. [cit. 2019-5.-27]. Dostupné z: <http://strojirenstvi.studentske.cz/2008/10/technick-keramika.html>
 30. *Žárovzorné materiály* [online]. [cit. 2019-5.-27]. Dostupné z: http://old.vscht.cz/sil/keramika/Ceramic_Technology/SM-Lect-7-C.pdf
 31. *P-D Refractories CZ a.s.* [online]. [cit. 2019-5.-28]. Dostupné z: <http://www.pd-refractories.cz/>
 32. ssktrinec [online]. [cit. 2019-7.-16]. Dostupné z: <https://www.ssktrinec.cz/index.php/mereni-vlhkosti/>
 33. *PCE Instruments* [online]. [cit. 2019-7.-16]. Dostupné z: https://www.pce-instruments.com/english/control-systems/sensor/moisture-sensor-pce-instruments-moisture-sensor-pce-mwm-240-a-det_3619856.htm?_list=kat&_listpos=2

Seznam obrázků

Obr. 1: Technologie Průmyslu 4.0 [8].....	11
Obr. 2: Vertikální hierarchie [12]	15
Obr. 3: Horizontální integrace [13]	16
Obr. 4: Referenční architektura IoT ve výrobě [22]	19
Obr. 5: Hierarchie smart factory [21].....	20
Obr. 6: Model ontologické domény [21].....	23
Obr. 7: Blokové schéma výroby	35
Obr. 8: Sklad jílu a ostřiva	36
Obr. 9: Sklad páleného recyklátu	36
Obr. 10: Senzor vlhkost	36
Obr. 11: Zakladač	37
Obr. 12: Drátová pila.....	39
Obr. 13: Sušárenský vůz	40
Obr. 14: Sušící pec.....	41
Obr. 15: Pecní vůz s komínovými vložkami	41
Obr. 16: Blokové schéma pro implementaci.....	46
Obr. 17: Blokové schéma - sklad	47
Obr. 18: Model skladu - Přesouvání skladované suroviny	50
Obr. 19: Blokové schéma - vlhkost.....	54
Obr. 20: Mikrovlnný senzor [32]	55
Obr. 21: Snímač vlhkosti [33]	56
Obr. 22: Blokové schéma - Kontrola	58
Obr. 23: Robotické kontrolní pracoviště	59
Obr. 24: Kontrolní linka	62
Obr. 25: Kontrolní linka s roboty	63
Obr. 26: Diagram hlavního řídicího systému.....	66
Obr. 27: Technolog - Řídící systém.....	66
Obr. 28: Řídící systém - Silo / Sklad - Řídící systém.....	67
Obr. 29: Senzor vlhkosti - Řídící systém - Dokrápěcí zařízení	68
Obr. 30: Řídící systém - Lis - Řídící systém	68
Obr. 31: Řídící systém - Sušící pec - Řídící systém.....	69
Obr. 32: Řídící systém - Pálící pec - Řídící systém	69

Obr. 33: Řídicí systém - Inteligentní kamery - Řídicí systém - Semafor	70
Obr. 34: Diagram decentralizovaného řízení	71
Obr. 35: Technolog - řídicí podsystémy	72
Obr. 36: Příprava směsi	73
Obr. 37: Dokrápěcí zařízení	74
Obr. 38: Lisovací linka	74
Obr. 39: Pec	75
Obr. 40: Kontrolní linka	76

Seznam tabulek

Tab. 1: Modely pro vyhodnocení průmyslu 4.0 [26]	30
Tab. 2: Průmysl 4.0 v keramickém průmyslu [26]	31
Tab. 3: Cenový souhrn – Velký sklad	49
Tab. 4: Cenový souhrn - Přesouvání skladované suroviny	50
Tab. 5: Cenový souhrn - Monitorování suroviny	52
Tab. 6: Cenový souhrn - Monitorování skladovacích podmínek	52
Tab. 7: Cenový souhrn – Kontrola vlhkosti před mísičem	55
Tab. 8: Cenový souhrn – Kontrola vlhkosti v mísiči	56
Tab. 9: Cenový souhrn – Kontrola vlhkosti před extruzí směsi	57
Tab. 10: Cenový souhrn – Robotické kontrolní stanoviště	60
Tab. 11: Cenový souhrn - Kontrolní linka	62
Tab. 12: Cenový souhrn - Kontrolní linka s roboty	64
Tab. 13: Porovnání návrhů - Skladování suroviny	77
Tab. 14: Pořadí - Skladování surovin	78
Tab. 15: Porovnání návrhů – Příprava výrobní směsi	79
Tab. 16: Pořadí – Příprava výrobní směsi	81
Tab. 17: Porovnání návrhů – Kontrola	81
Tab. 18: Pořadí – Kontrola	83
Tab. 19: Porovnání návrhů – Řízení výrobního procesu	84

Seznam grafů

Graf 1: Průběh teplot při pálení [30]	42
---	----

Seznam použitého software

Microsoft Word

Microsoft Excel

Autodesk Inventor Professional 2019

ArisExpress