

# Návrh prostorového uspořádání nových výrobních prostor

Pavel Vránek <sup>1</sup>, Yauheniya Anapreyenka <sup>1</sup>, Michal Šimon <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Katedra průmyslového inženýrství a managementu  
Univerzitní 8, 306 14, Plzeň, Česká republika  
[vranek@kpv.zcu.cz](mailto:vranek@kpv.zcu.cz)  
[anaprey@kpv.zcu.cz](mailto:anaprey@kpv.zcu.cz)  
[simon@kpv.zcu.cz](mailto:simon@kpv.zcu.cz)

**Anotace:** Článek je zaměřen na návrh prostorového uspořádání haly a výrobní linie. Na základě konstrukční dokumentace a provedených potřebných analýz byly vypracovány dvě varianty prostorového uspořádání. Zároveň kvůli zjištěným ergonomickým nedostatkům byly vytvořeny návrhy na optimalizaci jednotlivých pracovišť. Za zásadní část projektu lze považovat návrh konceptu automatizace vedoucí k větší efektivitě výrobního procesu, snížení počtu pracovníků, zamezení překračování ergonomických a hygienických limitů.

## 1 Úvod

Práce se zabývá návrhem nově vystavěných prostor výrobní společnosti. Návrh byl složen z analýzy veškeré výkresové dokumentace, logistických procesů, materiálových toků, ergonomických podmínek a dalších dostupných dat zadavatele. Cílem projektu byl komplexní návrh prostorového uspořádání haly a výrobní linie.

V rámci této studie byly podle plánu zpracovány následující body:

- analýza dostupných dat zadavatele
- analýza konstrukčních výkresů a nově vystavěných prostor
- analýza procesu a objemu produkce
- prostorové uspořádání (2D dokumentace, 3D vizualizace, VR model)
- koncept interní logistiky (buffery, manipulace, materiálové toky)
- kalkulace potřebných kapacit
- kalkulační nástroj pro sledování průtoku výroby
- ergonomické studie na jednotlivých pracovištích
- analýza potenciálu pro automatizaci a návrh automatizace procesů
- analýza nákladovosti implementace jednotlivých prvků
- variantní návrhy prostorového uspořádání haly pro rok 2021/2022
- standardizace pracovišť a procesů

Za zásadní část projektu lze považovat také částečnou či plnou automatizaci jednotlivých pracovišť. Již v úvodu projektu byly odhaleny první nedostatky. Jako problémovou oblastí se projeví nedokonalé výrobní stroje. Téměř všechny stroje byly koncipovány pro dávkovou výrobu a každý z nich vždy vyžadoval minimálně jednoho pracovníka. To vyvolalo diskusi a řešení možnosti automatizace vedoucí k eliminaci potřebných lidských zdrojů.

## **2 Metodika**

Studie byla prováděna dle klasických metodik pro návrh a tvorbu prostorového uspořádání pracoviště. V první fázi byla provedena analýza vstupních dat a současně analýza celého procesu výroby. Dalším krokem bylo vytvoření optimálních variant podob výrobních prostor ve 2D a 3D vizualizaci pomocí visTable softwaru od společnosti Plavis GmbH. Celý 3D model byl také převeden do virtuální reality do headsetu Oculus Quest II. Dále byly použity materiálové toky, výkresové dokumentace produktů a jednotlivých variant nebo metodika MOST (empirická metoda založená na předem stanovených časech dle rozkladu pohybu do sekvencí).

## **3 Návrh nových výrobních prostor**

Před zahájením samotného projektu bylo nutné se seznámit s řešeným problémem. Nejprve proběhly úvodní schůzky pro předání vstupních dat a definování požadovaných výstupů. Vše bylo průběžně diskutováno, konzultováno a zpřesňováno. V rámci workshopu přímo na pracovišti došlo na základě společného brainstormingu ke zkorigování výstupů a výběru finální řešené varianty, její finalizace a zakreslení do dokumentace dle požadovaných výstupů.

V první fázi projektu byla provedena analýza výkresové dokumentace prostorového řešení nových výrobních prostor na základě dostupných dat. Byl vytvořen 2D a 3D model nové budovy a zároveň byly vytvořeny modely strojů a zařízení výrobní linie. Na jejichž základě mohlo být nadále zpracovááno optimální umístění strojů vzhledem k potřebným manipulačním prostorům, koridorům, bezpečnostním vzdálenostem a pracovním postupům.

Další fází byla kompletní analýza výrobních procesů v rámci celé výrobní linie a rozhodnutí o produktech, které budou na výrobní linii vyráběny. Celý proces bylo potřeba důsledně zanalyzovat a vydefinovat vstupní data.

Důležitou součástí studie byla kalkulace potřebných bufferů mezi jednotlivými pracovišti. Kalkulace probíhala pomocí nástroje vytvořeného v MS Excel, který udával např. zda je manipulace mezi pracovišti automatická či ne, typ výrobku, časovou spotřebu apod.

### 3.1 Ergonomická studie pracovních pozic

Na vytvořených modelech strojů, zařízení a pracovišť byly provedeny ergonomické analýzy týkající se:

- lokální svalové zátěže
- celkové fyzické zátěže
- pracovních poloh – ergonomie pracovního místa

Ergonomické požadavky a doporučení jsou předmětem norem ČSN, ISO, EN. Ergonomie je vázaná k zákonům, směrnicím a vyhláškám týkajících se pracovních podmínek při práci.

Cílem ergonomie je dosažení optimálních pracovních podmínek ve vztahu ke schopnostem a limitům člověka. Dalším důležitým cílem je návrh a optimalizace pracovního prostředí, nástrojů a samotné vykonávané činnosti. [2]

Díky ergonomii lze dosáhnout nejenom výrazného zlepšení efektivity výroby, ale také podpořit zdraví pracovníků, zajistit bezpečnost na pracovišti, či nalézt ten nejlepší a nejméně únavný způsob výkonu požadované práce.

Rozlišujeme celkem 3 kategorie práce z hlediska nepříznivého vlivu na zdraví pracovníka: [1]

- 1. kategorie – nevyplývá pravděpodobný nepříznivý vliv na zdraví zaměstnanců (administrativní práce)
- 2. kategorie – nepříznivý vliv na zdraví pracovníka lze očekávat pouze v ojedinělých případech
- 3. kategorie – práce při nichž jsou trvale překračovány hygienické limity, pro zajištění ochrany zdraví osob je proto nezbytné využívat osobní ochranné pracovní prostředky (OOPP), organizační a jiná ochranná opatření, a dále práce, při nichž se vyskytují opakovaně nemoci z povolání nebo statisticky významně častěji nemoci, jež lze pokládat za nemoci související s prací.

V případě pracoviště řazeného do kategorie 3 je nutné zavést bezpečnostní přestávky, zdvojit pracoviště či rotovat zaměstnance na pozicích. S těmito problémy souvisí také nižší výkon výrobní linie a nižší produktivita práce.

Limity pro hodnocení zátěže pracovníků jsou součástí NV 361/2007 Sb., které stanovuje podmínky ochrany zdraví při práci.

Přípustné hygienické limity pro hodnoty srdeční frekvence		Přípustné hygienické limity		
Průměrná hodnota	102		<b>Muž</b>	Žena
Nejvyšší přípustná hodnota	110	Občasné zvedání a přenášení	<b>50 kg</b>	20 kg
Zvýšení nad výchozí hodnotu	28	Časté zvedání a přenášení	30 kg	15 kg
Max. počet tepů/min	150	Práce vsedě	5 kg	3 kg
		Kumulativní hmotnost / 8hod	10 000 kg	6 500 kg
		Tažné síly	<b>280 N</b>	220 N
		Tlačné síly	<b>310 N</b>	250 N

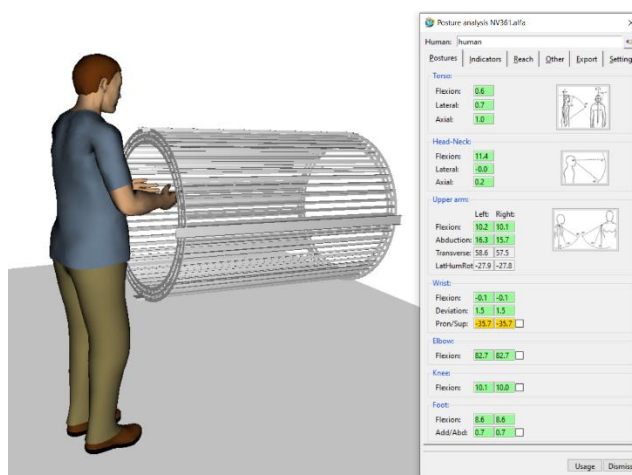
Obrázek 1 – Ergonomické limity CFZ

Opakované zaujímání nepříznivých pracovních poloh je považováno za jednu z příčin poškození šlachových a svalových struktur, kloubů a páteře.

Ergonomická studie pracovních poloh byla provedena pomocí specializovaného softwaru. Dle této studie byla stanovena potřebná zařízení na jednotlivá pracoviště, aby bylo dosaženo optimálních výsledků.

### 3.2 Optimalizace a racionalizace pracovišť

Na základě analýzy konstrukční dokumentace a ergonomické studie byly vytvořeny návrhy na optimalizaci jednotlivých pracovišť. Vznikl návrh optimální pracovní polohy pro vkládání výrobků do koše, podle kterého byly dále zpracovány návrhy na zařízení zajišťující optimální ergonomické, hygienické a bezpečnostní podmínky a limity.



Obrázek 2 – Návrh optimalizace pracovní polohy pro vkládání produktu do košů

### 3.3 Koncept automatizace

S vývojem technologií dochází čím dál častěji k nahrazování lidských zdrojů vykonávajících monotónní, opakující se, těžké a nebezpečné úkony

průmyslovými roboty. Dnes můžeme rozdělit využití průmyslových robotů do tří různých skupin: manipulace s materiálem, procesní operace a montáž. Obecně je firmy zavádějí do výroby především z důvodu snížení nákladů, zvýšení produktivity, zlepšení kvality produktů a odstranění úkonů, které nesplňují ergonomické limity. [3]

Zavedení automatizace bylo zaměřeno především na logistické procesy ve dvou uzlech výrobní linie. Koncept automatizace měl za účel vést k úspoře potřebných pracovníků a eliminaci překročení ergonomických a hygienických limitů.

V prvním uzlu byla obsluha stroje zajištěna robotickým ramenem a manipulaci mezi stroji zprostředkoval systém automatických dopravníků. Výměna boxů byla zajištěna pomocí výtahového systému, který umožňoval přesun prázdných beden do požadované poloha a jejich výměnu na bedny plné.

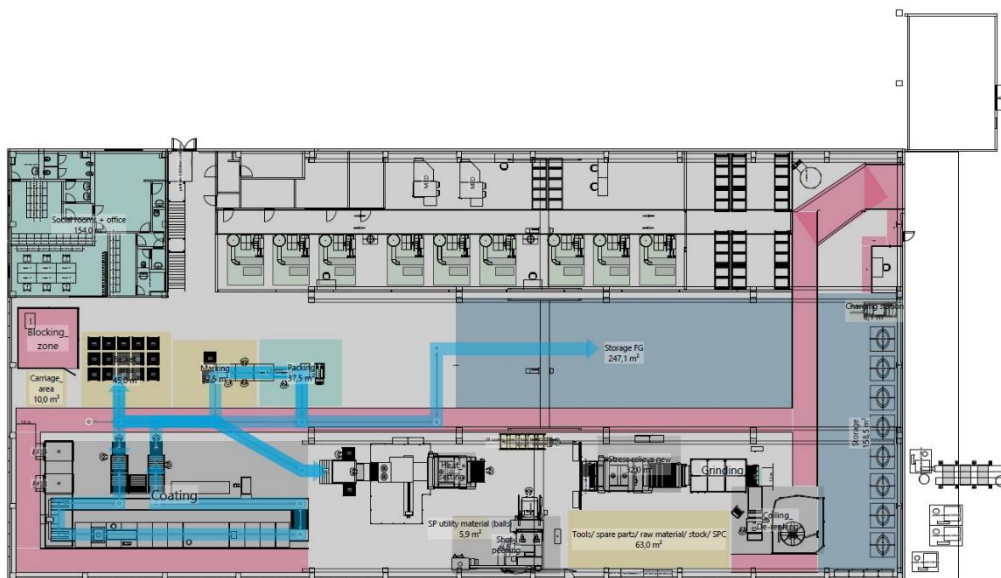
Druhý z uzlů byl koncipován s ohledem na redukci ergonomicky nevhodné manipulace do košů, z košů a také samotnou manipulaci s koši v celém uzlu. Automatizace vkládání a vykládání z košů byla zajišťována dvěma robotickými rameny. Manipulace s koši v celém uzlu probíhala díky uzavřenému systému dopravníků.

### 3.4 Výběr finální varianty

V rámci zpracování finální varianty byly uvažovány dva přístupy, které se liší řešením výstupu ze stroje na daném pracovišti.

#### 3.4.1 Varianta 1

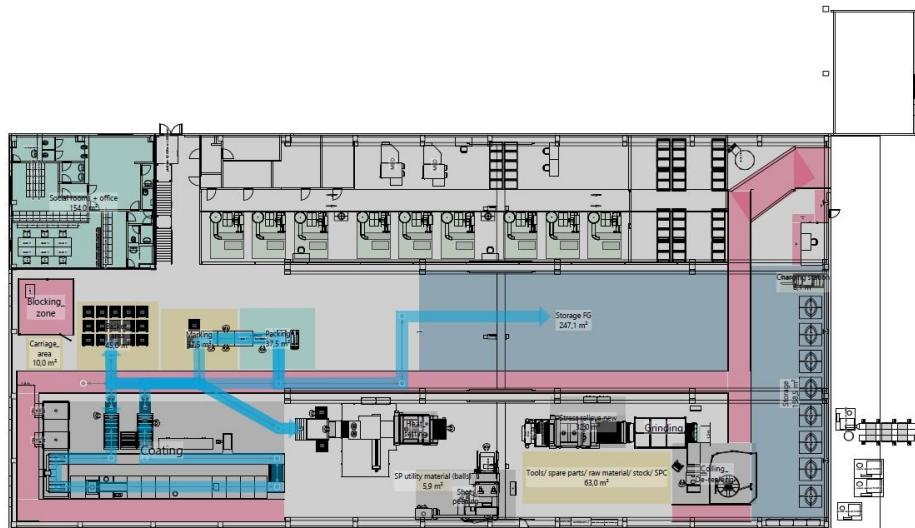
Výstup ze stroje je řešen pomocí automatické výměny beden a vkládání výrobků do beden pomocí dopravníku. Následně jsou bedny manipulovány paletovým vozíkem taženým pracovníkem do chladicí zóny.



Obrázek 4 – Prostorové uspořádání a materiálové toky – varianta 1

### 3.4.2 Varianta 2

V tomto případě je chlazení výrobků na výstupu ze stroje zajištěno pomocí chladicí věže. Na pracovišti tedy není žádná dodatečná zóna pro chlazení, z důvodu přímého napojení chladicí věže.



Obrázek 5 – Prostorové uspořádání a materiálové toky – varianta 2

## 4 Závěr

Tato studie byla zaměřena na návrh prostorového uspořádání nově vystavěných prostor. Návrh byl složen z analýzy veškeré výkresové dokumentace, logistických procesů, materiálových toků, ergonomických podmínek a dalších dostupných dat zadavatele.

V rámci projektu byly dopracovány dvě finální varianty prostorového uspořádání nově vystavěné haly. K zajištění vhodnosti vytvořených variant prostorového uspořádání byly provedeny potřebné analýzy a také probíhaly průběžné konzultace se zadavatelem včetně společného workshopu přímo na pracovišti. Podkladem pro co nejrealističtější zobrazení prostorového uspořádání bylo také vytvoření modelů strojů a zařízení výrobní linie dle konstrukční dokumentace zadavatele.

Na základě konstrukční dokumentace a provedené ergonomické analýzy byly zpracovány návrhy na optimalizaci jednotlivých pracovišť. Jelikož byly díky ergonomickým analýzám zjištěny nedostatky, byl vytvořen návrh na optimální pracovní polohu pro vkládání výrobků do košů. Byly zpracovány návrhy na zařízení zajišťující optimální ergonomické, hygienické a bezpečnostní podmínky.

Finální varianty prostorového uspořádání byly předány v rámci výstupů ve formě 2D dokumentace, 3D vizualizace i modelu ve VR. Obě varianty zohledňují posloupnost výrobních operací, pracovní postupy, potřebné manipulační prostory, koridory i bezpečnostní vzdálenosti.

Za zásadní část projektu lze považovat návrh konceptu automatizace vedoucí k větší efektivitě výrobního procesu, snížení potřebného počtu pracovníků, ale také k zamezení překračování ergonomických a hygienických limitů.

## Poděkování

Tento článek byl vytvořen za podpory interního grantu Západočeské univerzity číslo SGS-2021-028 s názvem Vývojové a tréninkové prostředky pro interakci člověka a kyber-fyzického výrobního systému (Developmental and training tools for the interaction of man and the cyber-physical production system).

## Použitá literatura

- [1] HLÁVKOVÁ, J., & VALEČKOVÁ, A. (2007). Ergonomické checklisty a nové metody práce při hodnocení ergonomických rizik: Metodický materiál Národního referenčního pracoviště pro fyziologii a psychofyziologii práce. Praha: Státní zdravotní ústav
- [2] HLAVÁČEK, Š. *Racionalizace pracoviště podle moderních metod ergonomie*. Plzeň, 2021. Bakalářská práce. Západočeská univerzita. Fakulta strojní.
- [3] WALLÉN, Johanna. The History of the Industrial Robot [online]. Linköping: Linköping University Electronic Press, 2008 [cit. 2021-9-21]. Dostupné z: <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A316930&dswid=-5839>