

Štefan VÁCLAV  
Albert MAREŠ  
Witold BIAŁY

# **MONTÁŽ V STROJÁRSKOM PRIEMYSLE II**



**KOMAG**

**GLIWICE 2025**

ISBN: 978-83-65593-49-8

***MONTÁŽ V STROJÁRSKOM  
PRIEMYSLE II***

**Štefan VÁCLAV**

**Albert MAREŠ**

**Witold BIAŁY**



**ISBN: 978-83-65593-49-8**

**Gliwice 2025**

## **Autori:**

Doc. Ing. Štefan VÁCLAV, PhD.  
Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave  
Ústav výrobných technológií  
Slovenská technická univerzita v Bratislave  
Trnava, Slovensko

Ing. Albert MAREŠ, PhD.  
Technická univerzita v Košiciach  
Strojnícka fakulta,  
Ústav technologického a materiálového inžinierstva  
Košice, Slovensko

dr hab. inż. Witold BIAŁY, prof. ITG KOMAG  
Instytut Techniki Górniczej, KOMAG  
Gliwice, Polsko

## **Recenzenti:**

prof. Ing. et Ing. Mgr. Jana PETRŮ, PhD.  
Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Ostrava, Česko

doc. Ing. Vladimír BULEJ, PhD.  
Žilinská univerzita v Žiline  
Strojnícka fakulta  
Žilina, Slovensko

Autori zodpovedajú za odbornú stránku textu a za konečnú verziu rukopisu.

Autori zodpovedajú za odbornú stránku textu a za konečnú verziu rukopisu.

Autori: © Štefan VÁCLAV, Albert MAREŠ, Witold BIAŁY

Všetky práva vyhradené.

Učebnica je dostupná v elektronickej verzii.

Odkaz na stránku: <https://doi.org/10.32056/KOMAG/Monograph2025.5>

**ISBN: 978-83-65593-49-8**

## Pod'akovanie

Vysokoškolská učebnica bola spracovaná s finančnou podporou Kultúrnej a edukačnej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky 007STU-4/2025 s názvom: *„Nové metódy a formy vysokoškolského vzdelávania cestou podpory dištančných foriem on-line prístupu a multimedialnej podpory pre vybrané predmety študijného programu Počítačová podpora návrhu a výroby a Počítačová podpora výrobných technológií“*.

Zároveň by sme chceli aj poďakovať Ing. Kataríne Senderskej, PhD. za inšpiráciu, podporu a odbornú pomoc pri vypracovaní tejto učebnice ako aj našim rodinám za ich trpezlivosť a pochopenie.

## Predhovor

Táto vysokoškolská učebnica voľne nadväzuje na predchádzajúcu publikáciu „Montáž v strojárskom priemysle“ a je druhou z plánovanej edície učebníc venovaných montáži. Učebnica rozširuje základné poznatky z oblasti montáže o ďalšie tematické okruhy, ktoré neboli spomenuté v predchádzajúcej učebnici a to o metódy stanovovania času v montáži, rozmerové obvody, flexibilitu automatizáciu, robotizáciu, rozmerové obvody a zariadenia pre zásobovanie a skladovanie.

Cieľom učebnice je rozšíriť poznatky čitateľa o ďalšie aspekty montáže a na základe ich porozumenia pomôcť pristupovať k návrhu výrobkov a výrob takým spôsobom, aby bol zákazníkovi dodaný výrobok resp. služba s požadovanými kvalitatívnymi a kvantitatívnymi parametrami ako aj v primeranom čase a s primeranou cenou.

Lepšie porozumenie procesom môže pomôcť identifikovať nedostatky čo je základným predpokladom ich následného odstránenia a tým zlepšenia výkonnosti všetkých procesov vrátane montáže. Veľa aktivít produkčných firiem sa zameriava najmä na výrobné procesy súvisiace priamo s technologickými operáciami výroby súčiastok ale montáži sa nevenuje až tak veľká pozornosť, napriek tomu že je nevyhnutnou súčasťou výrobného procesu, pokiaľ výrobok pozostáva niekoľkých súčiastok, ktoré je potrebné správne poskladať, aby výstupom bol kvalitný a funkčný výrobok. Preto je cieľom učebníc priniesť prehľad tém, ktoré súvisia s montážou a pomôcť tak čitateľovi získať všeobecný prehľad problematiky.

Učebnica je určená pre študentov I. a II. stupňa vysokoškolského štúdia ako aj pre odborníkov z praxe a záujemcov o problematiku montáže.

Želáme ničím nerušené čítanie a štúdium,

Autori

# OBSAH

|                                                                                     |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ÚVOD .....</b>                                                                   | <b>7</b>  |
| <b>1 METÓDY STANOVENIA ČASU MONTÁŽE.....</b>                                        | <b>8</b>  |
| 1.1 Analýza a meranie práce .....                                                   | 8         |
| 1.2 Prístupy ku stanoveniu času montážneho procesu .....                            | 9         |
| 1.3 Prístupy ku klasifikácii pohybov .....                                          | 18        |
| 1.3.1 Pohybové štúdie .....                                                         | 19        |
| 1.3.2 Klasifikácia pohybov podľa metódy MTM<br>(Methods Time Measurement) .....     | 22        |
| 1.4 Metódy vopred určených časov<br>(Predetermined Motion Time System - PMTS) ..... | 24        |
| 1.4.1 MTM (Methods Time Measurement) .....                                          | 25        |
| 1.4.2 MTM MOST (Maynard Sequence Operation Technique) .....                         | 29        |
| 1.4.3 Work-Factor .....                                                             | 31        |
| 1.4.4 MODAPTS – Modular Arrangement of Predetermined Time Standards .....           | 31        |
| 1.5 Video analýza.....                                                              | 33        |
| 1.6 Technické zariadenia pre stanovenie času montáže.....                           | 38        |
| 1.7 Ergonomické štúdie .....                                                        | 39        |
| 1.7.1 Helanderove rozdelenie ergonomických štúdií .....                             | 40        |
| 1.7.2 RULA – Rapid Upper Limb Assessment.....                                       | 40        |
| 1.7.3 OWAS – Ovako Working posture Analysis System .....                            | 40        |
| 1.7.4 NIOSH lifting equation .....                                                  | 41        |
| 1.8 Závety.....                                                                     | 42        |
| <b>2 ROZMEROVÉ REŤAZCE V MONTÁŽI .....</b>                                          | <b>47</b> |
| 2.1 Rozmerový reťazec .....                                                         | 54        |
| 2.2 Metódy riešenia tolerančných reťazcov .....                                     | 57        |
| 2.3 Softvérové nástroje .....                                                       | 64        |
| <b>3 FLEXIBILITA, AUTOMATIZÁCIA A ROBOTIZÁCIA V MONTÁŽNOM PROCESE .....</b>         | <b>66</b> |
| 3.1 Flexibilita.....                                                                | 66        |
| 3.2 Automatizácia.....                                                              | 70        |
| 3.3 Robotizácia .....                                                               | 74        |
| 3.4 Priemyselné roboty.....                                                         | 75        |

|                                                                                               |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.4.1 Základné parametre priemyselných robotov .....                                          | 83         |
| 3.4.2 Efektory montážnych robotov.....                                                        | 84         |
| 3.4.3 Aplikácia priemyselných robotov .....                                                   | 85         |
| 3.4.4 Hlavné oblasti aplikácie robotov v automobilovom priemysle .....                        | 86         |
| 3.5 Súčasný trendy v oblasti robotiky .....                                                   | 88         |
| 3.5.1 Počítačové videnie .....                                                                | 89         |
| 3.5.2 Coboty.....                                                                             | 89         |
| 3.5.3 Humanoidné roboty .....                                                                 | 91         |
| <b>4 ZARIADENIA PRE ZÁSODOVANIE A SKLADOVANIE .....</b>                                       | <b>101</b> |
| 4.1 Druhy skladov .....                                                                       | 102        |
| 4.2 Palety, prepravné obaly.....                                                              | 106        |
| 4.3 Zariadenia pre dopravu a manipuláciu .....                                                | 108        |
| 4.4 Typy regálových systémov .....                                                            | 109        |
| 4.4.1 Policové regály .....                                                                   | 111        |
| 4.4.2 Konzolové regály .....                                                                  | 112        |
| 4.4.3 Skriňové regály .....                                                                   | 113        |
| 4.4.4 Obežné regály.....                                                                      | 114        |
| 4.4.5 Mobilné regály .....                                                                    | 115        |
| 4.4.6 Viacpodlažné regálové systémy .....                                                     | 115        |
| 4.4.7 Organizácia skladovania.....                                                            | 116        |
| 4.5 Príklady aplikácií skladovacích systémov.....                                             | 117        |
| 4.5.1 Regálový systém pre montáž dverí automobilu od firmy TRILOGIQ .....                     | 117        |
| 4.5.2 Regálové systémy pre montáž náprav prívesných vozíkov automobilu<br>vo firme KNOTT..... | 118        |
| 4.5.3 Regálový systém pre uskladnenie nárazníkov automobilu od firmy BESTO                    | 118        |
| 4.5.4 Regálový systém pre uskladnenie výfukov automobilu vo firme Hyundai...                  | 119        |
| 4.5.5 Mobilný regálový systém pre uskladnenie kolies automobilov<br>od firmy DEXION .....     | 120        |
| <b>ZÁVER .....</b>                                                                            | <b>123</b> |
| <b>MULTIMEDIÁLNA VIDEO – PODPORA PRE UČEBNICU .....</b>                                       | <b>124</b> |
| <b>ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV .....</b>                                                  | <b>126</b> |

## ÚVOD

Súčasnosť je možné charakterizovať dramatickým rozvojom technológií ako sú umelá inteligencia (AI), robotizácia, internet vecí (IoT), spracovanie veľkých dát (Big Data), rýchly internet (5G, 6G) a pod. To všetko preniká aj do priemyselných výrobných procesov a ich kontroly a riadenia.

Avšak aj tu je možné pozorovať dva extrémne protipóly. Na jednej strane sú zástancovia týchto technológií, ktorí predpovedajú ich postupný prienik do všetkých oblastí života s očakávaným pozitívnym prínosom pre život ľudí a na druhej strane je skupina, ktorá hovorí o technologickej bubline, ktorá neprinesie očakávané prínosy a jej prasknutie spôsobí nemalé problémy a frustráciu. Čas ukáže, ktorá skupina mala pravdu.

Avšak stále platí, že aj tie najvyspelejšie modely umelej inteligencie a ďalších technológií je potrebné posudzovať triezvo a každopádne je nutné ich kontrolovať. Tieto technológie prenikajú aj do oblasti montáže, či už v podobe kontroly montážnych procesov, navádzania na správne vykonávanie montážnych procesov, riadenia montážnych operácií a podobne. Navrhovať a kontrolovať tieto procesy však nie je možné, bez základných znalostí v tejto oblasti.

Učebnica prináša poznatky z oblasti montáže, ktoré pomôžu čitateľovi lepšie porozumieť montážnym procesom a následne či už kontrolovať riešenia navrhnuté umelou inteligenciou, alebo lepšie navrhovať montážne procesy a tým dosahovať väčšiu konkurencieschopnosť.

# **1 METÓDY STANOVENIA ČASU MONTÁŽE**

Napriek zvyšujúcemu sa stupňu automatizácie výrobných procesov a snahe eliminovať ručnú prácu má ručná práca v montáži v závislosti od druhu výroby stále veľký význam. Je to dané zložitou a rôznorodou montážnymi úlohami a z toho vyplývajúcou obťažnosťou, ba až nemožnosťou ich automatizácie.

Základným prvkom ručných montážnych pracovísk je pracovník vykonávajúci montáž. Rastúci tlak na rýchlosť, kvalitu a produktivitu montáže vedie k potrebe hľadania rezerv v existujúcich procesoch a k následnému zlepšovaniu a inováciám týchto pracovísk.

V procese zvyšovania produktivity je prvým krokom analýza existujúceho procesu resp. pri projektovaní nového pracoviska, nájdenie takého riešenia, ktoré zabezpečí vysokú produktivitu a kvalitu.

Montáž na ručnom montážnom pracovisku sa vykonáva pohybom pracovníka resp. jeho končatín v pracovnom priestore v určitom čase.

Existuje súvis medzi druhom vykonávaných pohybov a časom potrebným na vykonanie operácie. Z toho dôvodu je potrebné pri projektovaní ručných montážnych pracovísk venovať pozornosť spôsobu, ako bude pracovník vykonávať pracovnú úlohu, aké pohyby bude musieť vykonať, pretože to priamo ovplyvní čas trvania montážnej operácie. Postupom času boli vypracované rôzne prístupy ku klasifikácii ako časov tak aj pohybov.

## **1.1 Analýza a meranie práce**

Analýza a meranie práce (work study) je systematické preskúmavanie pracovných postupov s cieľom zlepšiť efektívnosť použitia zdrojov a zdefinovať normy času pre jednotlivé činnosti.

Štúdium práce sa teda snaží zjednodušiť vykonávanie práce, odstrániť nepotrebné pohyby, neefektívne použitie zdrojov a následne definovať časovú normu pre vykonávanie činností.

Najväčším prínosom analýzy a merania práce je, že poskytuje systematické postupy ako zefektívňovať a zjednodušovať prácu a ako stanoviť normy času. Dôvody pre použitie metód analýzy a merania práce sú nasledovné:

- zvyšujú produktivitu pri veľmi malých investíciách,
- definujú časové normy,
- prispievajú k zvyšovaniu bezpečnosti na pracovisku,
- úspory z použitia metód sú viditeľné hneď,
- môžu byť uplatňované v ľubovoľnom prostredí,
- sú relatívne ľahké a systematické,
- sú výbornou zbraňou manažmentu na neefektívnosť (IPA Slovakia 2025).

Medzinárodná organizácia ILO – International Labor Organisation so sídlom v Ženeve publikovala systematický prístup k štúdiu pracovnej metódy (method study).

ILO definuje štúdium pracovnej metódy, ako: „systematický záznam a kritické vyšetrenie spôsobov ako sú veci vykonávané aby mohli byť realizované zlepšenia.“

Tento systematický prístup pozostáva z nasledovných 8 krokov:

1. Vyber – prácu, ktorá má byť študovaná a jej hranice.
2. Zaznamenaj – relevantné fakty o tejto práci s využitím priameho pozorovania a zberu potrebných dodatočných údajov z vhodných zdrojov.
3. Vyšetri – spôsob akým je práca vykonávaná a podrob kritickému hodnoteniu jej účel, miesto, sekvenciu a metódu jej realizácie.
4. Vyviň – praktickejšiu, ekonomickejšiu a efektívnejšiu metódu vychádzajúcu z návrhov zainteresovaných pracovníkov.
5. Hodnot' – rôzne alternatívy pre vývoj zlepšených metód porovnávaním nákladov a efektívnosti novej vybranej metódy s aktuálne používanou metódou.
6. Definuj – novú metódu, ako výsledok, jasným spôsobom a prezentuj ju všetkým zainteresovaným, teda manažmentu, operátorom a robotníkom.
7. Inštaluj – novú metódu ako praktickú normu a trénuj osoby, ktoré ju majú aplikovať.
8. Udržuj – novú metódu a zaved' kontrolne procedúry ako prevenciu proti návratu ku pôvodnému spôsobu práce.

Pri analýze práce sa stretávame s problémom stanovenia časovej normy. Snahou je aby časová norma bola objektívna a nevyvolávala negatívne reakcie pracovníkov.

## **1.2 Prístupy ku stanoveniu času montážneho procesu**

Na čas vo výrobnom procese je možné sa pozerat' z rôznych uhlov pohľadu. Z týchto rôznych pohľadov potom vychádzajú aj jednotlivé prístupy ku klasifikácii času.

Každá klasifikácia však vychádza zo spotreby času na rôzne aktivity v rámci výrobného procesu. Pri práci s časovými charakteristikami výrobného procesu je snaha dopracovať sa k časovým normám. „Norma času určuje množstvo času, potrebné na vykonanie pracovnej úlohy“ (IPA Slovakia 2025).

Každá norma času má svoje okrajové podmienky platnosti. Vo všeobecnosti norma času platí pre:

- stanovené pracovné podmienky (požiadavky na bezpečnosť a hygienu pri práci, požiadavky na čistenie pracoviska, požiadavky na vykonávanie údržby, požiadavky na kvalitu),
- definovaný pracovný postup (používané pracovné pomôcky a zariadenia, dispozícia pracoviska, spôsob privádzania a odvádzania materiálu, používaný materiál, pracovný postup),
- normálne tempo práce (aby nedochádzalo ku kumulovaniu únavy),
- pre priemerne skúseného pracovníka (min. 2 týždne praxe) (IPA Slovakia 2025).

„Stanovenie reálnych časových noriem umožňuje:

1. realizovať časové plánovanie,
2. definovať pracovný výkon,
3. určiť náklady za pracovný výkon,

pričom od týchto troch základných dôvodov pre stanovenie časových noriem sa odvíjajú všetky ďalšie plánovacie, realizačné a rozhodovacie aktivity podniku (Gregor 2005)“.

Ďalší autori v (IPA Slovakia 2025) uvádzajú, že normy spotreby práce dávajú podklady pre:

- kapacitné plánovanie, pre plánovanie potreby pracovných síl a mzdových prostriedkov,
- stanovenie jednotkových nákladov a cien,
- účelné využívanie pracovného času,
- odmeňovanie a meranie výkonov pracovníkov,
- porovnanie efektívnosti alternatívnych metód,
- vyváženie pracovníkov v tíme,
- pre potreby plánovania a riadenia výroby,
- pre stanovovanie spotreby práce budúcich zákaziek,
- atď.

Iný zdroj (Work and Time Study 2003) uvádza prínosy aplikácie merania času tak, ako je to uvedené v tab. 1.

**Tab. 1 Oblasti aplikácie merania času (Work and Time Study 2003)**

| Oblasť aplikácie              | Účel merania času                                                                                             |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Plánovanie práce              | Vybrať primerané procesy, prostriedky a metódy                                                                |
| Predbežné kalkulácie          | Určiť odhadované jednotkové náklady, rozpočet                                                                 |
| Plánovanie                    | Minimalizovať omeškania, prepočítanie a sledovanie termínov dodávok                                           |
| Vytáženie pracoviska a stroja | Optimalizovať vytáženie kapacít, návrh pracovísk a strojov                                                    |
| Dodávky materiálu             | Optimalizovať dostupnosť materiálu a plánovať zásoby                                                          |
| Personálne plánovanie         | Plánovať pracovné kapacity, pracovné rozvrhy a výrobné programy                                               |
| Kalkulácie                    | Kalkulácia výrobných nákladov a predajných cien pre vyváženie projektu a oddelení atď. (ekonomické parametre) |
| Platby                        | Určiť výrobný pomer počet kusov/hodinu pre stanovenie mzdy na jednotku produkcie a bonusy                     |

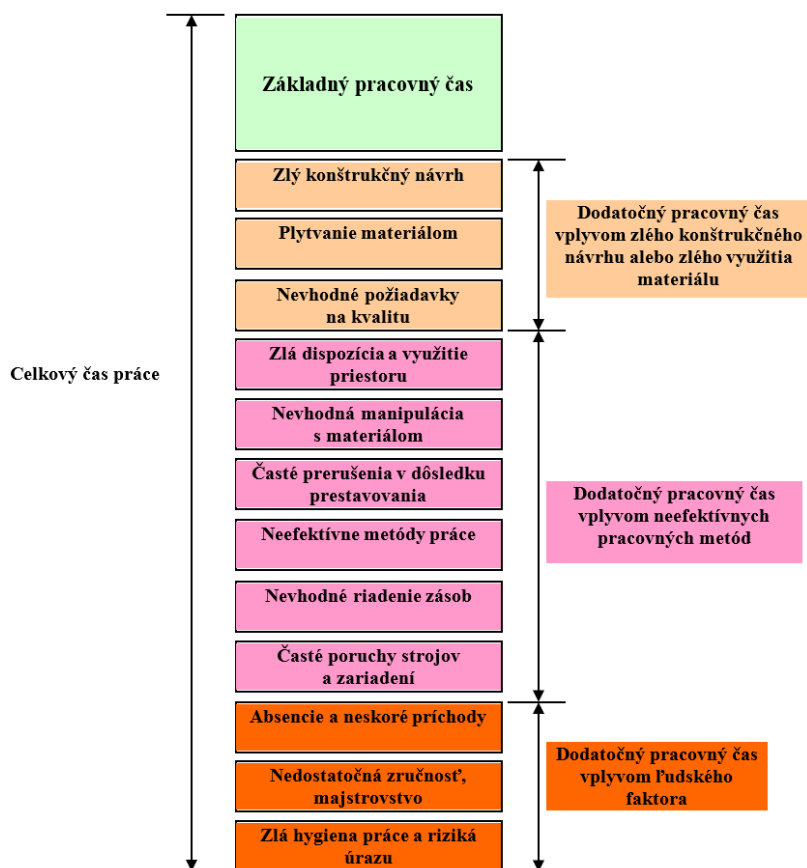
„Základnou činnosťou pre účely tvorby noriem spotreby práce je rozbor pracovnej operácie. Rozbor spočíva v skúmaní, z akých úsekov sa skladá pracovná operácia.

Výsledkom rozboru pracovnej operácie je záznam o výskyte úsekov v pracovnej operácii, ich začiatočných a koncových bodoch, početnosti, následnosti a podmienok za ktorých prebiehajú (IPA Slovakia 2025)“.

„Teoretické minimálne množstvo práce na vykonanie danej operácie, ktoré je už ďalej neredukovateľné sa nazýva základný pracovný čas. Tento čas by bol skutočným pracovným časom, keby neexistovali žiadne neefektívnosti. Skutočná spotreba času je však vyššia z dôvodu:

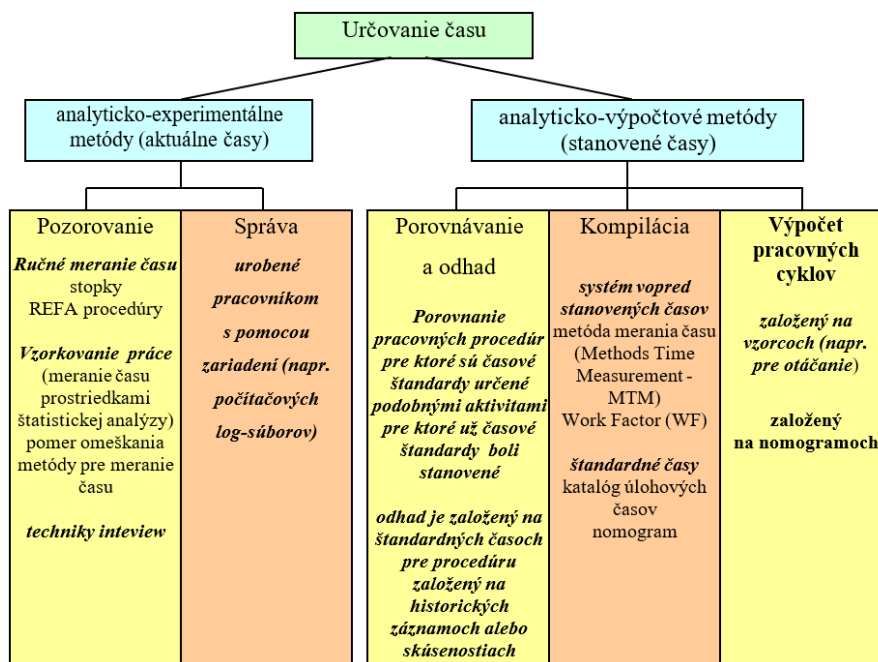
- zlého konštrukčného návrhu alebo zlého využitia materiálu,
- použitia neefektívnych pracovných metód,
- ľudského faktora (IPA Slovakia 2025)“.

Uvedené faktory spôsobujúce predĺženie času vykonávania práce sú znázornené na obr. 1.



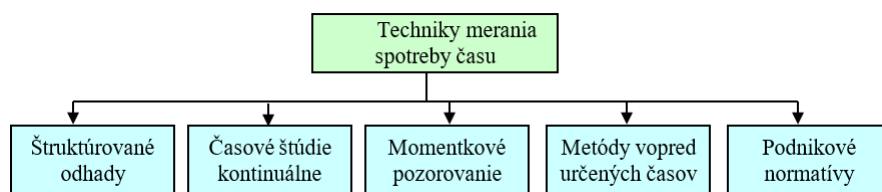
Obr. 1 Faktory ovplyvňujúce zvýšenú spotrebu času (IPA Slovakia 2025)

Ako už bolo spomenuté, v súvislosti s časovými normami sa stretávame s problémom ich správneho stanovenia. K stanoveniu časových noriem sa používajú rôzne metódy. Na obr. 2 sú uvedené rôzne metódy určovania času podľa (Work and Time Study 2003).



Obr. 2 Metódy stanovenia času (Work and Time Study 2003)

Iný prístup k členeniu techník na meranie času podľa (IPA Slovakia 2025) je na obr. 3.



Obr. 3 Metódy stanovenia času podľa (IPA Slovakia 2025)

Podľa autorov vyššie uvedeného členenia výber vhodnej metódy závisí na:

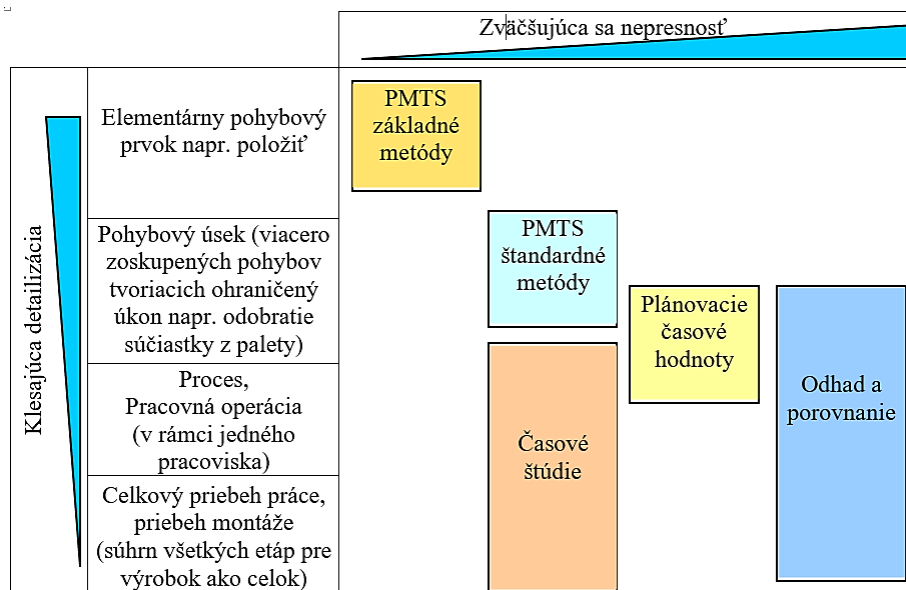
- veľkosti cyklového času operácie,
- objeme vykonávanej operácie,
- požadovanej presnosti merania,
- požiadavkách na rýchlosť stanovenia noriem spotreby času.

Výber metódy určovania času v závislosti na objeme výroby a cyklovom čase je uvedený v tab. 2.

Tab. 2 Výber vhodnej metódy pre meranie spotreby času podľa (IPA Slovakia 2025)

| Cyklový čas | Objem výroby                |                             |                           |
|-------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
|             | Vysoký                      | Stredný                     | Nízky                     |
| Dlhý        | Momentkové pozorovanie      | Momentkové pozorovanie      | Expertné odhady           |
|             | Kontinuálne časové štúdie   | Kontinuálne časové štúdie   | Momentkové pozorovanie    |
|             | Podnikové normatívy         | Podnikové normatívy         | Historické dáta           |
| Stredný     | Podnikové normatívy         | Podnikové normatívy         | Expertné odhady           |
|             | Kontinuálne časové štúdie   | Momentkové pozorovanie      | Historické dáta           |
|             | Preddefinované časové normy | Kontinuálne časové štúdie   | Kontinuálne časové štúdie |
| Nízky       | Preddefinované časové normy | Preddefinované časové normy | Kontinuálne časové štúdie |
|             | Kontinuálne časové štúdie   | Kontinuálne časové štúdie   | Expertné odhady           |

Iný prístup k výberu metódy stanovenia času podľa (Füssel 2002) je na obr. 4. Tento prístup určuje voľbu metódy na základe požadovanej detailnosti a presnosti. Ako vidieť pri najväčšej detailnosti a presnosti sú odporúčané základné metódy vopred určených časov (PTMS).



Obr. 4 Metódy stanovenia času podľa (Füssel 2002)

Popis jednotlivých metód podľa (IPA Slovakia 2025):

### Štruktúrované odhady

„Sú založené na predchádzajúcich skúsenostiach odhadcu pričom v porovnaní s jednoduchými odhadmi sa táto technika snaží o metodologický postup pri tvorbe odhadov aby sa zvýšila dôveryhodnosť odhadov. Štruktúrované odhady je možné rozdeliť na:

- Analytické odhady – sú kombináciou odhadov a syntézy z databanky noriem.
- Porovnávacie odhady – sú založené na identifikácii a porovnávaní obsahu práce so vzorkami práce, ktoré majú známu časovú normu.“

### Kontinuálne časové štúdie

„Vychádzajú z údajov, ktoré sú zistené plynulým neprerušovaným meraním, snímkaním práce. Získané údaje z merania spotreby času tvoria pracovnú snímku alebo časové štúdiu.

Postup práce možno rozdeliť do troch etáp:

- príprava snímkovania,
- pozorovanie, meranie a zápis,
- vyhodnotenie získaných údajov.“

Medzi tieto metódy patria:

- snímok pracovného dňa (jednotlivého pracovníka, pracovnej skupiny, hromadný snímok pracovného dňa, snímok využitia výrobného zariadenia),
- snímok operácie (plynulá chromonetráž, výberová chronometráž, snímok priebehu práce).

### **Snímok pracovného dňa**

Snímok pracovného dňa sa používa na zistenie skutočnej potreby času pracovníka ako aj výrobného zariadenia. Ide o nepretržité pozorovanie, zaznamenávanie a hodnotenie potreby pracovného času pracovníka alebo skupiny pracovníkov počas celej smeny. Ide o univerzálnu metódu pomocou ktorej je možné pozorovať tak robotníka, administratívneho ako aj riadiaceho pracovníka prípadne strojné zariadenia.

Výsledky je možné použiť:

- na kvantifikáciu jednotlivých činností v časových jednotkách,
- na rozbor štruktúry pracovnej doby,
- na rozbor stratových časov podľa príčin,
- vypracovanie výkonnostných kriviek v priebehu celej smeny.

### **Druhy snímok pracovného dňa:**

- a) Snímok pracovného dňa jednotlivca – pozorovateľ pozoruje iba jedného pracovníka
- b) Snímok pracovného dňa čaty – pozorovanie pracovnej činnosti skupiny pracovníkov, ktorým je pridelená spoločná práca
- c) Hromadný snímok pracovného dňa – umožňuje pozorovať súčasne až do 30 samostatne pracujúcich pracovníkov.
- d) Vlastný snímok pracovného dňa – sa zameriava len na časové straty ktoré vznikli z titulu technických a organizačných nedostatkov. Údaje o zaznamenáva sám pracovník.

### **Snímok operácie**

**Chronometráž** je najpoužívanejšou snímkom operácie. Je vhodná pre cyklické práce, ktoré sa pravidelne opakujú.

- **Plynulá chronometráž** – je metóda nepretržitého pozorovania spotreby času pre všetky úkony skúmanej operácie. Používa sa najmä v podmienkach sérieovej a hromadnej výroby, kde väčšinou vopred poznáme sled a počet pravidelne sa opakujúcich úkonov skúmanej operácie.
- **Výberová chronometráž** – je taký druh chronometráže, u ktorej predmetom skúmania nie je celá operácia, ale niektoré pravidelne alebo nepravidelne sa opakujúce vopred známe úkony. Pozorovateľ zaznamenáva len časy začiatku a konca vybraných úkonov.
- **Obkročná chronometráž** znamená pozorovanie a meranie spotreby času veľmi krátkych častí operácie (úkonov). Niekoľko krátkych pracovných prvkov sa zoskupí do jedného merateľného komplexu. Používa sa výnimočne a skôr ako núdzové meranie.

### **Všeobecný postup pri zhotovovaní časovej snímky pracovného dňa**

Pri vytváraní snímky pracovného dňa (Ob. 5) jednotlivca nasledujeme nasledujúce tri etapy:

1. etapa – príprava na pozorovanie
2. etapa – vlastné pozorovania, meranie a zaznamenávanie
3. etapa – vyhodnotenie snímky pracovného dňa

| organizace                                                            | POZOROVACÍ LIST PRO<br>SNÍMEK PRACOVNÍHO DNE<br>NEBO PRŮBĚHU PRÁCE<br>JEDNOTLIVCE | Doba pozorování<br>od 06.00 do 14.00<br>Pozorovatel: <i>[signature]</i><br>Datum: | List<br>čís. 1 | Krycí<br>list<br>čís. 1.2.3 |          |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------|----------|
| Práce (operace): č. výkresu <i>konstruování hrádělek typu A, B, C</i> |                                                                                   |                                                                                   |                |                             |          |
| Poř.<br>čís.                                                          | Pozorované dění                                                                   | Čas                                                                               |                | Symbol<br>času              | Poznámka |
|                                                                       |                                                                                   | Post.                                                                             | Jedn.          |                             |          |
| 1                                                                     | Začátek směny                                                                     | 0600                                                                              |                |                             |          |
| 2                                                                     | Příprava pracoviště                                                               | 605                                                                               | 5              | TC1002                      |          |
| 3                                                                     | Rozhovor s mistr                                                                  | 608                                                                               | 3              | TC1006                      |          |
| 4                                                                     | Přivezení dávky výrobků typ „A“                                                   | 617                                                                               | 9              | TB1                         | 140 ks   |
| 5                                                                     | Obstarání pracovních podkladů                                                     | 621                                                                               | 4              | TB1                         |          |
| 6                                                                     | Obstarání nástrojů                                                                | 626                                                                               | 5              | TB1                         |          |
| 7                                                                     | Prostudování pracovních podkladů                                                  | 628                                                                               | 2              | TB1                         |          |
| 8                                                                     | Nastavení stroje                                                                  | 632                                                                               | 4              | TB1                         |          |
| 9                                                                     | Opracování 85 ks výrobků „A“                                                      | 827                                                                               | 115            | TA1                         |          |
| 10                                                                    | Porucha stroje, čekání na opravu                                                  | 834                                                                               | 7              | TE                          |          |
| 11                                                                    | Opracování 16 ks „A“                                                              | 856                                                                               | 22             | TA1                         |          |
| 12                                                                    | Sezkrmy rozhovor                                                                  | 906                                                                               | 10             | TD                          |          |
| 13                                                                    | Opracování zbylých 39 ks „A“                                                      | 1000                                                                              | 54             | TA1                         |          |
| 14                                                                    | Přestávka na svačtinu                                                             | 1032                                                                              | 32             | TC2                         |          |
| 15                                                                    | Vyplnění dokladů o zpracov. dávky „A“                                             | 1035                                                                              | 3              | TB1                         |          |
| 16                                                                    | Odevzdání dávky „A“                                                               | 1040                                                                              | 5              | TB1                         |          |
| 17                                                                    | Převzetí nové dávky „B“                                                           | 1043                                                                              | 3              | TB1                         |          |
| 18                                                                    | Seřízení stroje                                                                   | 1052                                                                              | 9              | TB1                         |          |
| 19                                                                    | Přirozená potřeba                                                                 | 1107                                                                              | 15             | TC2                         |          |
| 20                                                                    |                                                                                   |                                                                                   |                |                             |          |
| 21                                                                    |                                                                                   |                                                                                   |                |                             |          |
| 22                                                                    | Uklid pracoviště                                                                  | 1342                                                                              | 14             | TC1                         |          |
| 23                                                                    | oprava vadných kusů                                                               | 1352                                                                              | 10             | TD                          |          |
| 24                                                                    | Předčasný odchod z pracoviště                                                     | 1400                                                                              | 8              | TD                          |          |

Obr. 5 Snímka pracovného dňa jednotlivca (Lhotský 2005)

Úlohou prípravnej etapy je vytvoriť vhodné podmienky pre nerušené pozorovanie a získanie objektívnych údajov o skutočnej spotrebe pracovného času v takom členení, ako si to vyžaduje zameranie (cieľ) pozorovania.

V druhej etape pozorovateľ sleduje činnosť robotníka na pracovisku od začiatku do konca zmeny a všetky činnosti zaznamenáva do pripraveného formulára.

V poslednej etape dochádza k vyhodnoteniu (Tabuľka 3) celého procesu (Novák 2007).

**Tab. 3 Bilancia normovaného a skutočného času (Lhotský 2005)**

| Druh času (symbol)                          | Skutočný čas |      | Normovaný čas |      |
|---------------------------------------------|--------------|------|---------------|------|
|                                             | min.         | %    | min.          | %    |
| Čas jednotkovej práce $T_{A1}$              | 304          | 63,3 | 345           | 72   |
| Čas dávkovej práce $T_{B1}$                 | 56           | 11,7 | 60            | 12,5 |
| Čas zmenovej práce $T_{C1}$                 | 22           | 4,6  | 30            | 6,5  |
| Čas práce $T_i$                             | 382          | 79,6 | 435           | 91,- |
| Čas na osobné potreby $T_{202}$             | 15           | 3,1  | 15            | 3,-  |
| Čas na svačinu $T_{203}$                    | 32           | 6,7  | 30            | 6,-  |
| Čas obecných nutných prestávok $T_2$        | 47           | 9,8  | 45            | 9,-  |
| Čas podmienene nutných prestávok $T_3$      | -            | -    | -             | -    |
| Čas osobných strát $T_D$                    | 28           | 5,8  | -             | -    |
| Čas technických a organizačných strát $T_E$ | 23           | 4,8  | -             | -    |
| Čas strát celkom $T_z$                      | 51           | 10,6 | -             | -    |
| Čas zmeny $T$                               | 480          | 100  | 480           | 100  |

### Momentové pozorovanie

Táto metóda spočíva v určení podielu rôznych druhov spotreby pracovného času pomocou náhodných pozorovaní bez použitia časomerných prístrojov. Zakladá sa na teórii pravdepodobnosti a matematickej štatistike. Vychádza zo zásady, že reprezentatívny počet náhodných pozorovaní dostatočne charakterizuje skutočné využitie času všetkými robotníkmi, ktorí sú predmetom pozorovania. Pri náhodných pozorovaniach sa zaznamenávajú jednotlivé druhy spotreby času. Na základe pomeru medzi počtom výskytu jednotlivých druhov spotreby času a celkovým počtom momentov zachytených v priebehu pozorovaní sa určuje veľkosť jednotlivých druhov spotreby času.

„Časové štúdie momentové vychádzajú z údajov, ktoré sú zistené výberovým skúmaním – náhodne volených momentov v priebehu pracovného deja. Sú založené na štatistickom zisťovaní počtu výskytu pozorovaných dejov a využívajú teóriu pravdepodobnosti a náhodného výberu“. Pri realizácii momentového pozorovania sa vykonávajú nepravidelné obchádzky s cieľom zistiť stav výrobných zariadení (pracuje alebo nie). „Počet pozorovaní sa určuje dvoma základnými spôsobmi: štatistická metóda a Nomogramová metóda“ (IPA Slovakia 2025).

Prax ukázala, že výsledky momentového pozorovania sa neodlišujú od výsledkov získaných nepretržitým pozorovaním a meraním spotreby pracovného času. Presnosť výsledkov momentového pozorovania závisí na počte prevedených pozorovaní. Čím viac pozorovaní prevedieme, tým presnejší výsledok dosiahneme. V praxi sa však vyžaduje len určitá hranica presnosti, ktorej prekročenie by bolo ne hospodárne. Počet pozorovaní závisí tiež na podiele určitého skúmaného druhu spotreby času na celkovom čase operácie. Čím menší je tento podiel, tým viac pozorovaní je potrebné vykonať, aby sa dosiahla požadovaná presnosť, a naopak.

Výhody momentového pozorovania spočívajú najmä:

- v znížení nákladov na jednu tretinu až jednu šestinu nákladov, ktoré by bolo treba vynaložiť pri použití nepretržitého pozorovania (snímka pracovného dňa, alebo snímka operácie),
- v jednoduchosti,

- v malej práci pozorovania a spracovania získaných údajov,
- v menších nárokoch na kvalifikáciu pozorovateľa,
- v operatívnom použití,
- v možnosti, aby jeden pozorovateľ skúmal využitie pracovného času väčšej skupiny robotníkov,
- v možnosti prerušenia pozorovania bez ujmy na presnosti výsledkov,
- v možnosti dosiahnutia ľubovoľnej požadovanej presnosti,
- v podstatne priaznivejšom prijímaní tohto spôsobu štúdia práce pracovníkmi.

Metóda je založená na náhodnom výbere a pravdepodobnosti. Jedná sa o štatistickú metódu zisťovania dát bez použitia meracích prístrojov. Zisťujeme ňou podiel vybraných činností a strát na celkovom čase zmeny, podobne ako pri snímke pracovného dňa. Reprezentatívny počet náhodne vybraných údajov spravidla vykazuje ich rovnaký podiel ako je v skutočnosti. Momentové pozorovanie nie je založené na nepretržitom pozorovaní, no aj napriek tomu dosahuje totožné výsledky v porovnaní s pretržitým pozorovaním. Na zber dát využívame tlačivo (Tabuľka 4) s názvom pozorovací list (Lhotský 2005).

**Tab. 4 Pozorovací list momentového pozorovania (Novák 2007)**

| Pozorovací list     |                           |              |    | Pozorovateľ: Novák |    |    |        |
|---------------------|---------------------------|--------------|----|--------------------|----|----|--------|
| Druhy spotreby času |                           | Číslo stroja |    |                    |    |    | Celkom |
|                     |                           | 1            | 2  | 3                  | 4  | 5  |        |
| 1.                  | Operačný čas              |              |    |                    |    |    | 60     |
| 2.                  | Čas prípravy a zakončenia |              |    |                    |    |    | 5      |
| 3.                  | Prestoj stroja            |              |    |                    |    |    | 15     |
| 4.                  | Prestoj pracovníka        |              |    |                    |    |    | 10     |
| 5.                  | Obsluha pracoviska        |              |    |                    |    |    | 10     |
| Celkom              |                           | 20           | 20 | 20                 | 20 | 20 | 100    |

Pri realizácii tejto metódy je nutné dodržať štatisticky potrebný počet reprezentatívnych vzoriek. V praxi môžeme tento typ zisťovania údajov využiť napríklad v stavebníctve, kedy je nutné sledovať jedným pozorovateľom. viacero robotníkov súčasne. Svoje uplatnenie nájde i v prípade, že je výroba rozmiestnená vo väčšom priestore, prípadne je požadovaný dlhší časový úsek pozorovania (Ellingerová 2015).

### Podnikové normatívy

„Normatívy na rozdiel od metód vopred určených časov definujú čas na vykonanie celých častí operácií, pričom MVÚČ definujú čas na vykonanie základných pohybov, prípadne kombinácie základných pohybov. Vytváranie podnikových normatívov, by malo byť cieľom každého oddelenia, ktoré sa zaoberá stanovovaním noriem spotreby času. Medzi hlavné výhody podnikových normatívov patrí:

- rýchlosť stanovenia noriem spotreby práce,
- prispôsobenie úrovni podnikových procesov,

- udržiavanie štandardného podnikového know-how,
- možnosť sledovania vývoja produktivity práce“.

### **Metódy vopred určených časov (Predetermined Motion Time System – PMTS)**

„Sú založené na kombinácii časových a pohybových štúdií, teda priradujú základným pohybom (v závislosti na dĺžke pohybu) vopred určené časy zistené na základe dlhodobých meraní práce. Ich hlavný princíp spočíva v poznaní, že napriek veľkej rozmanitosti ľudskej práce s istotou vieme, že sa skladá zo súboru úkonov a pohybov, ktoré sa pravidelne opakujú. Takéto základné prvky práce nazývame základnými pohybmi, napr. siahnuť, uchopiť, premiestniť, atď. Pri výskume takýchto pohybov sa zistilo, že v primeraných toleranciách je čas, ktorý potrebujú zapracovaní robotníci na uskutočnenie základných pohybov rovnaký, tzv. Segurov zákon. Na základe toho je teda možné štatisticky určiť časové hodnoty pre trvanie jednotlivých základných pohybov.“

### **1.3 Prístupy ku klasifikácii pohybov**

Tak ako existujú rôzne prístupy ku klasifikácii časov, existujú aj rôzne prístupy ku klasifikácii pohybov. Prostredníctvom týchto klasifikácií sú vytvárané normatívy pohybov.

„Normatívy pohybov udávajú čas pracovných prvkov (elementov), na aké je možné ešte rozčleniť pracovnú operáciu (činnosť) a ktoré nie sú pre určitý druh operácie špecifické, ale vyskytujú sa všeobecne vo všetkých druhoch pracovnej činnosti. Pohybom sa rozumie taká časť pracovného procesu, ktorá sa prakticky ďalej nečlení a sama o sebe bez súvislosti s ďalšími pohybmi nedáva žiaden pracovný účinok.“ (Normatívy pohybov 1976).

Význam normatívov pohybov spočíva v tom, že umožňujú (Normatívy pohybov 1976):

- racionálnejšie a efektívnejšie riešenie organizačných problémov vyžadujúce hlbokú analýzu krátkych pracovných elementov
- stanovenie normatívov časov pracovných prvkov operácie (úkon, úsek) prípadne i noriem času s vyrovnanjšou úrovňou než s použitím klasickej chronometrážnej metódy,
- dôkladnejšie a racionálnejšie utváranie pracovných činností na pracovisku so súčasnou priamou kontrolou hospodárenia so živou prácou.

Pri uplatňovaní normatívov pohybov treba brať ohľad na nasledovné faktory:

- biologickú diferenciáciu medzi ľuďmi,
- intenzitu informácií o polohe a pohybe tela, orientáciu,
- závislosť svalovej sily na váhe bremena, smer pohybu a na polohu jednotlivých častí tela,
- antropologické zvláštnosti pracovníkov a ich pohybové možnosti v priestore,
- vplyvy pracovného prostredia,
- únavu ľudského organizmu,
- stereotyp a monotónnosť práce.

Na základe štúdií a výskumov pohybov vykonávaných na pracoviskách boli vypracované odporúčania týkajúce sa ekonómie pohybov. Pri projektovaní pohybov je odporúčané zohľadňovať nasledovné tézy (Normativy pohybov 1976):

- keď obe ruky začínajú a končia svoje pohyby súčasne a nie sú v nečinnosti, s výnimkou oddychových časov dosiahne sa najlepší stupeň účinnosti,
- ak sa vykonávajú pohyby paží súčasne v protichodnom smere symetricky, vyvinie sa prirodzený rytmus a prirodzená zručnosť,
- sled pohybov vykazujúci čo najmenší počet pohybových prvkov je najlepší k vykonaniu danej úlohy,
- keď pohyby zostávajú v najnižšej pohybovej triede, docieli sa najväčšia efektívnosť a najmenšie únava (z tohto hľadiska sa pohyby delia na nasledovných 5 tried: 1. pohyby prstov, 2. pohyby prstov a ruky, 3. pohyby prstov, ruky a spodnej časti paže 4. pohyby prstov, ruky, spodnej a hornej časti paže, 5. pohyby prstov, ruky, spodnej a hornej časti paže a pohyby tela).

„Princípom všetkých známych sústav normatívov pohybov je rozčlenenie práce na základné pohyby s uvedením ich presnej charakteristiky. Pre každý druh pohybu sa podľa činiteľov trvania či podmienok (spôsob a zložitosť realizácie pohybov, vzdialenosť, váha a pod.) udáva spotreba času. Sčítaním týchto údajov pri danom slede pohybov sa určuje čas pre úkon, úsek operácie alebo celú operáciu.“ (Normativy pohybov 1976).

### **1.3.1 Pohybové štúdie**

Pokiaľ sa pozrieme na konkrétne analýzy spotreby pracovného času, zistíme, že použitie časových štúdií u dvoch rôznych pracovníkov, pri rovnakej činnosti prinesie odlišné výsledky. Je to tým, že každý pracovník využíva iné pracovné metódy. Cieľom pohybových štúdií je eliminovať zbytočné časy, duplicity, čas pri podávaní výrobkov, ale aj odstránenie zbytočných pohybov.

Medzi pohybové štúdie patria:

- štúdie dráhy pohybov,
- schémy výrobného procesu – diagramy,
- mikropohybové štúdie (Tomek 2007).

### **Štúdie dráhy pohybov**

Cieľom týchto štúdií je sledovanie dráh, ktoré vykonáva pracovník na pracovisku. Sledovanie prebieha detailne pomocou špeciálnych kamier, mechanicky alebo rôznymi svetelnými signálmi. Výsledky sú na záver vyhodnotené a sledujeme napríklad nerovnomerne sústredené pohyby, nerovnomerné dĺžky pohybov do jedného miesta, alebo pohyby sústredené na okraj pracovného miesta. Tento typ získavania dát je vhodný pre zefektívnenie, resp. obmedzenie času prestojov a času vykonávania práce (Tomek 2014).

## Schémy výrobného procesu – diagramy

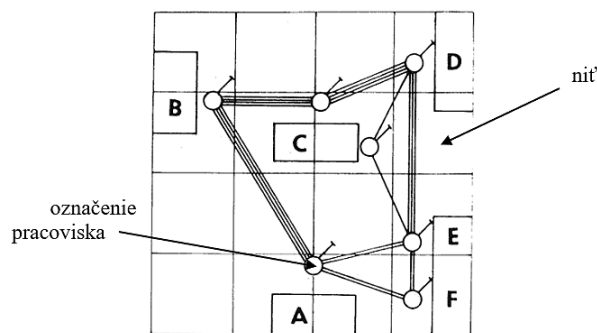
Schémy a diagramy výrobného procesu vyjadrujú postupnosť a nadväznosť jednotlivých činností pomocou grafov, čísiel a slovných vyjadrení (Tomek 2007).

Ich úlohou je analyzovať súčasný stav a navrhnúť zlepšenie, napr. V podobe zmeny rozloženia výroby, čo by zefektívnilo pohyb daného prvku výrobným procesom. Analyzovať možno viacero typov operácií, či tokov:

- postupový graf toku materiálu – pre určenie prepravných vzdialeností,
- diagram technologického procesu – znázorňuje kontrolné a technologické operácie,
- diagram pracovného postupu – predstavuje grafický opis pohybov pracovníka,
- diagram toku informácií – sleduje „presun“ informácií od miesta vzniku k cieľu,
- okienkové diagramy – zobrazujú vzťahy najmä v sústave riadenia rôznych signálov,
- organizačné schémy – znázorňujú štruktúru pracovníkov,
- chronogramy – skúmajú sled a dobu trvania udalostí v čase,
- topogramy – znázorňujú umiestnenie predmetov a dejov v priestore (Novák 2007).

## Niťové grafy

Predstavujú typ grafu, resp. schémy, ktorá znázorňuje v mierke pôdorys výrobné haly (obr. 6).



Obr.6 Niťový graf (Lhotský 2005)

Jednotlivé pracovné miesta sú následnej označené špendlíkom. Na jednotlivé špendlíky sa navíja niť presne tak, ako sa vykonávajú jednotlivé činnosti. Na záver celý proces vyhodnotíme, pričom sa zameriame na miesta s najväčším počtom namotaných vlákien. To vyjadruje, že na týchto miestach dochádza k vysokej frekvencii činností – najmä tých manipulačných. Následne skúmame, či je naozaj potrebné vykonávať dané procesy, alebo ich možno eliminovať (Lhotský 2005).

## Klasifikácia pohybov podľa Gilberta

Gilberth pri analýze pohybov zistil, že jednotlivé úkony je možné odvodiť od sedemnástich základných pohybových prvkov, ktoré nazval „Therbligy“. Prehľad týchto základných pohybových prvkov je v tab. 5.

**Tab. 5 Rozdelenie pohybov podľa Gilbertha**

| Produktívne pohyby                                                                                                                                                     | Brzdíace – prekážajúce pohyby                                                    | Neproduktívne pohyby                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pohybové prvky, ktoré sú bezprostredne potrebné k vykonaniu práce                                                                                                      | Pohybové prvky, ktoré zdržujú priebeh práce                                      | Pohybové prvky, ktoré predlžujú priebeh práce                                                                                                       |
| 1. pohyb prázdnej ruky (siahnúť)<br>2. uchopiť<br>3. pohyb ruky s bremenom (niesť)<br>4. premiestniť do polohy<br>5. umiestniť<br>6. oddeliť<br>7. zrobiť<br>8. pustiť | 9. hľadať<br>10. nájsť<br>11. voliť<br>12. upraviť<br>13. preložiť<br>14. skúšať | 15. nevyhnutné zdržanie<br>16. zbytočné zdržanie<br>17. prestávka na oddych<br>18. držať*<br><br>*tento pohyb bol pridaný neskôr Giberthovým žiakom |

Definícia jednotlivých pohybov je nasledovná:

- pohyb prázdnej ruky, nazývaný tiež siahnúť začína spravidla na konci predchádzajúceho „pustenia“ a končí dotykom predmetu.
- uchopiť – je prvkom obsahujúcim pohyby prstov, ktorými sa predmet uchopí. Uchopenie začína nadväzne na siahnutie pri dotyku predmetu a končí, akonáhle je predmet pod kontrolou. Rozoznáva sa:
  - a) dotykové uchopenie, keď sa prsty dotýkajú predmetu, aby ho posunuli z jedného miesta na druhé,
  - b) uchopenie stisnutím, keď sa predmet vezme do ruky, takže sa dá niesť,
  - c) uchopenie s objímnutím (analogicky ako b)
- pohyb ruky s bremenom nazývaný taktiež niesť, pričom ide spravidla o pohyb paže, ktorý nadväzne začína na „uchopiť“ a má za účel doniesť predmet na iné miesto
- premiestniť do polohy – je prvkom obsahujúcim pohyby prstov, rúk a paží za účelom premiestnenia predmetu na určité postavenie (prevažne otáčavým pohybom),
- umiestniť – je prvkom, pod ktorým sa rozumie spojenie (montáž) dvoch alebo viacerých predmetov prostredníctvom pohybov paží, pričom sa môžu vyskytnúť i ďalšie pohyby prstov a rúk,
- oddeliť – je rozobratie (demontáž) jedného celku, pozostávajúceho z dvoch alebo viacerých predmetov pohybom paží, pričom sa môžu vyskytnúť i ďalšie pohyby prstov a rúk,
- zrobiť – je prvkom, ktorým sa rozumie činnosť stroja alebo nástroja, prípadne opracovanie materiálu v zmysle pracovného postupu (s výnimkou skladania), pričom môže alebo nemusí byť pracovníkom ovplyvňovaný a vyskytuje sa tiež v kombináciách,
- pustiť – je prvkom, ktorý obsahuje pohyby prstov za účelom zrušenia kontroly nad predmetom – začína akonáhle prestane pôsobiť sila k držaniu predmetu, akonáhle sa ruka prestane dotýkať predmetu,

- hl'adať – je prvkom, ktorý obsahuje pohyby prstov a paže – začína nadväzne po siahnutí a končí pri nájdení – „k hl'adaniu sú potrebné dotykové pocity a vizuálny vnem“. Hl'adanie sa dá obmedziť (skrátiť) vhodným zariadením pre úschovu dielov a pre odkladanie nástrojov.
- nájsť – sa objavuje na konci hl'adania a ide o reakciu, ktorá sa dá znázorniť ako krátke prerušenie celkového priebehu pohybu,
- voliť – je podobný prvok ako hl'adať, ale obsahuje duševné rozhodnutie, ktoré je potrebné k vyhľadaniu istého predmetu tam, kde sú dve alebo viac možností,
- upraviť – znamená, že sa predmet preniesie do približného smeru, aby sa mohol nadväzne spojiť s iným. Tento prvok tiež obsahuje pohyby prstov a čiastočne ruky, prípadne spojené so zrakovými vnemami, ak nie je poloha predmetu zistiteľná hmatom.
- preložiť – je prvok, ktorý predstavuje zdržanie účelného pohybu premiestniť,
- skúšať – je prvok, ktorý sa robí niektorým zo zmyslov (zrakom, sluchom, čuchom alebo hmatom), prípadne ich kombináciou a prejavuje sa ako zdržanie priebehu pohybu,
- nevyhnutné zdržanie – je zastavenie pohybu, ktoré je mimo vplyvu pracovníka (napr. čakanie počas pracovného procesu),
- zbytočné zdržanie – je zastavenie pohybu, ktorému sa môže pracovník vyhnúť sám, prípadne sa môže odstrániť poučením pracovníka,
- prestávka na oddych – vyskytuje sa ako nútená prestávka najmä pri namáhavých prácach,
- držať – znamená pevné držanie predmetu v určitej polohe. Dá sa často odstrániť vhodným upínacím alebo príchytým zariadením.

Z tejto klasifikácie pohybov vychádza veľa ďalších klasifikácií vypracovaných rôznymi autormi.

### 1.3.2 Klasifikácia pohybov podľa metódy MTM (Methods Time Measurement)

Tento systém vyvinutý v roku 1948 je základom väčšiny súčasných metód pre analýzu práce. Existuje z neho odvodených veľa modifikácií a preto je možné sa stretnúť v literatúre s rôznymi informáciami ohľadom počtu pohybov. Napr. v niektorých zdrojoch je uvedené že táto metóda rozlišuje:

- základné pohyby (8 základných pohybov, 9 pohybov tela, 2 pohyby očí),
- kombinované pohyby (následné, kombinované, súčasné, zložené).

Iný zdroj (Košturiak 2000) uvádza rozdelenie pohybov podľa metódy MTM do troch skupín a to:

- pohyby horných končatín (8 pohybov),
- pohyby očí (2 pohyby),
- pohyby dolných končatín a tela (15 pohybov).

Pričom za základné pohyby sú považované nasledovné pohyby označené symbolmi:

- Siahnuť R (Reach),
- Premiestniť M (Move),
- Uchopiť G (Grasp),

- Prehmatnúť G2,
- Tlačiť AP (Apply Pressure),
- Umiestniť P (Position),
- Pustiť RL (Release),
- Oddeliť D (Disengage),
- Otáčať T (Turn),
- Premiestniť zrak ET (Eye Travel),
- Zaostriť zrak EF (Eye Focus).

Ďalší literárny zdroj (Normativy pohybov 1976) ako základné pohyby metódy MTM definuje pohyby uvedené v tab. 6.

**Tab. 6 Medzné body základných pohybov MTM podľa filmových štúdií**

| Pohyb       | Počiatočný medzný bod                                                                                                                                                                   | Koncový medzný bod                                                                                                                                                                        |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| siahnuť     | prvý snímok, na ktorom sa objavuje pozorovateľný pohyb                                                                                                                                  | pozorovateľný pohyb prestal alebo snímok predchádzajúci začiatku ďalšieho pohybu                                                                                                          |
| premiestniť | dtto siahnuť                                                                                                                                                                            | dtto siahnuť                                                                                                                                                                              |
| obrátiť     | dtto siahnuť                                                                                                                                                                            | dtto siahnuť                                                                                                                                                                              |
| tlačiť      | snímok, na ktorom sa predchádzajúci pohyb jasne ukončil                                                                                                                                 | snímok na ktorom nasledujúci pohyb jasne začal                                                                                                                                            |
| uchopiť     | snímok nasledujúci po dokončení predchádzajúceho pohybu (siahnuť)                                                                                                                       | snímok na ktorom začína ďalší pohyb                                                                                                                                                       |
| umiestniť   | snímok nasledujúci po predchádzajúcom pohybe (premiestniť)                                                                                                                              | pohyb pustiť bol obsiahnutý v pôvodnom výskume a potom odpočítaný, aby bol zistený čas umiestnenia. Končiaci snímok je ten, ktorý predchádza prvému snímku nasledujúceho pohybu (siahnuť) |
| pustiť      | snímok nasledujúci po dokončení predchádzajúceho pohybu (premiestniť alebo umiestniť)                                                                                                   | snímok na ktorom ďalší pohyb začal (siahnuť). Preskúmané snímkami obsahujúcimi pohyby prstov pri púšťaní                                                                                  |
| oddeliť     | snímok nasledujúci po dokončení predchádzajúceho pohybu (obvykle siahnuť). V pôvodnom výskume bol zahrnutý i pohyb uchopiť, potom bol odčítaný, aby bol zistený čas pre čisté oddelenie | snímok na ktorom sa ukončil nedobrovoľný spätný pohyb, reflexný vplyv                                                                                                                     |
| chôdza      | nepoužitý počet snímkov – kontrolované časovou štúdiou                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                           |
| telo        | použitá kombinácia MTM a časovej štúdie                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                           |

Iný zdroj (Buda 1990) opisuje a definuje nasledujúce základné pohyby metódy MTM:

- Siahať – to je základný pohyb, ktorý sa koná vtedy, keď je hlavným účelom presunúť ruku alebo prsty na určité miesto alebo v danom smere.
- Premiestniť – je pohyb, keď hlavným účelom je premiestnenie nejakého predmetu rukou alebo prstami do určitého miesta alebo polohy.
- Obrátiť – je pohyb, pri ktorom sa má obrátiť plná alebo prázdna ruka, vrátane zápästia a predlaktia okolo pozdĺžnej osi predlaktia.

- d) Točiť – je pohyb, pri ktorom ruka a predlaktie sledujú uzavretú kruhovú dráhu so stredom otáčania v lakti. Os otáčania je kolmá na rovinu otáčania a poloha zápästia je v rámci pohybu stála (napr. otáčanie kl'ukou).
- e) Uchopiť – je základný pohyb rukou a prstami, aby po získaní potrebnej kontroly nad jedným alebo viacerými predmetmi nasledoval ďalší pohyb.
- f) Umiestniť – je pohyb, ktorým sa má prstami alebo rukou jedným alebo niekoľkými malými pohybmi umiestniť istý predmet do vopred stanovenej polohy vo vzťahu k inému predmetu alebo bodu.
- g) Tlačiť – je pohyb ľubovoľnou časťou tela tak, že sa po krátkom zaváhaní sústreďí sila na zabezpečenie dostatočnej kontroly nad nejakou súčiastkou. Preto tu nejde ani o pohyb vo vlastnom slova zmysle, ale o svalovú pripravenosť a celkové sústredenie pracovníka pred uskutočnením iného pohybu.
- h) Pustiť – je pohyb, ktorého účelom je prerušiť kontrolu nad nejakým predmetom.
- i) Oddeliť – je to pohyb pri prerušení dotyku medzi dvoma súčiastkami. Je charakteristický samovoľným odskočením, ktoré nastáva, keď náhle prestal odpor pri oddeľovaní dvoch súčiastok.

Ako vidieť existujú v literatúre určité nezrovnalosti v definovaní základných pohybov pre metódu MTM. Tieto nezrovnalosti je možné si vysvetliť tým, že metóda MTM sa rozvíja a uvedené literárne zdroje pochádzajú z rôzneho obdobia a taktiež tým, že autori mohli popisovať modifikovaný variant tejto metódy aj keď na označenie použili označenie základnej metódy a to je metóda MTM označovaná tiež ako MTM-1.

Všetky ostatné systémy normatívov pohybov vychádzajú zo zhodných základných princípov ako vyššie uvedené a líšia sa najmä v klasifikácii základných pohybov. Napríklad metóda Work Factor člení pohyby podľa faktorov, ktoré ovplyvňujú spotrebu času, kým metóda MTM člení pohyby podľa ich účelnosti.

#### 1.4 Metódy vopred určených časov (Predetermined Motion Time System – PMTS)

Mikropohybové štúdie sú založené na sledovaní všetkých zúčastnených pohybov človeka pri práci. Umožňujú nám získať informácie o pohybe, čase a priestore na jednotlivých pracoviskách. História týchto štúdií siaha do minulého storočia, kedy manželia Gilbrethovci vypracovali sústavu 17-tich elementárnych pohybov, ktoré nazvali „therbligy“. Zistili, že rozdelením práce na jednotlivé elementárne operácie vieme ľahšie stanoviť normatívy času pre konkrétne činnosti (Soukupová 2006).

Medzi najznámejšie metódy mikropohybových štúdií patria:

- **MTM** – Methods Time Measurement,
- **MOST** – Maynard Operation Sequence Technique (Mini MOST, Basic MOST, Maxi MOST, Admin MOST),
- **Work Factor**,
- **MODAPTS** – Modular Arrangement of Predetermined Time Standards,
- **USD** – Unified Standard Data,
- **UAS** – Universelles Anlzsier System,
- **UMS** – Universal Maintenance Standards (Dlabač 2015).

#### 1.4.1 MTM (Methods Time Measurement)

Najznámejším z PMTS systémov je systém MTM (Methods Time Measurement) vyvinutý a publikovaný v roku 1948 v USA Haroldom B. Maynardom, G.J. Stegemertenom a J.L. Schwabem. Tento systém sa stal neskôr etalónom a základom väčšiny súčasných pragmatických riešení. Neskôr sa zaužívala pre túto verziu skratka MTM-1, ktorá označovala systém merania a analýzy vychádzajúci z rozkladu každej činnosti na jej základné pohyby, analýzu týchto pohybov a priradovanie časovej normy pre takéto základné pohyby. Súčtom časov priradených jednotlivým pohybom sa získavala celková časová norma (Gregor 2005).

Pre zjednodušenie analýzy boli časové jednotky vyjadrované v takzvaných TMU (Time Measurement Units), pričom platia nasledovné pomery:

1 TMU = 0.00001 hodiny | hodina = 100 000 TMU

1 TMU = 0.0006 minúty | minúta = 1.667 TMU

1 TMU = 0.036 sekundy | sekunda = 27.8 TMU

„Analýza s využitím systému MTM-1 je síce veľmi presná, ale jej nevýhodou je vysoká prácnosť. Pre potreby analýzy činností s nižšou opakovanosťou je jej aplikácia veľmi neefektívna. Preto vývoj pokračoval ďalej. V Európe vznikol systém MTM-2, ktorý bol v roku 1970 ďalej zovšeobecnený na systém MTM-3. Najvyššou vývojovou verziou systému MTM bol systém MTM-V. Keďže okrem výrobných činností bolo potrebné analyzovať aj iné činnosti vznikli postupne ďalšie klony systému MTM, ako MTM-C (MTM Clerical – pre analýzu administratívnych činností)“ (Gregor 2005).

Medzi ďalšie klony patria: USD – Universal Standard Data, MCD – Master Clerical Data, UMS – Universal Maintenance Standards, MOST – Maynard Sequence Operation Technique, MTM-UAS (Universelles Analysier-System – pre dávkovú výrobu s dlhými operačnými časmi), MTM-SD (Standard Daten – pre veľkosériovú a hromadnú výrobu), MTM-MEK (MTM für die Einzel- und Kleinserienfertigung – pre ekonomické meranie malého počtu opakovaných činností v kusovej výrobe), SAM, Office Tasks, Visual Inspection, WOFAC a pod.

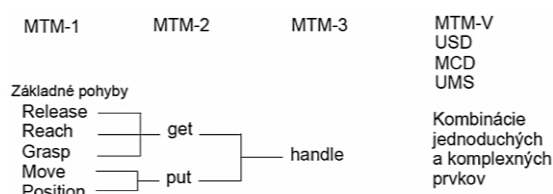
„MTM-1 – základný systém, z neho vychádza väčšina riešení z oblasti PMTS. Aplikácia tohto systému vyžaduje detailný popis a rigidnú definíciu jednotlivých aktivít, pohybov a pod. Vhodná oblasť použitia je hlavne veľkosériová a hromadná výroba (veľa krát opakované činnosti s krátkym trvaním – do 30 sekúnd, kde záleží na každom detaile).“ (Gregor 2005).

„MTM-SD (Standard-Daten) – MTM pre veľkosériovú a hromadnú výrobu – detailné základy MTM.“ (Gregor 2005).

„MTM-UAS (Universelles Analysier-System) – reprezentuje druhú generáciu syntetizovaných údajov, založených na systéme MTM-1. MTM-UAS vznikol ďalšou štatistickou analýzou pohybov MTM-1. Tento systém je vhodný pre dávkovú výrobu s dlhými operačnými časmi (viac ako 4 minúty). Pretože je viac ako 8 krát rýchlejší než MTM-1 stal sa jedným z najpopulárnejších systémov v súčasnosti. Jeho vlastnosti ho predurčujú pre široké využitie v oblasti dielenskej výroby, skladov, laboratórií, kancelárií, či nemocníc. Je tiež veľmi rozšírený v automobilovom priemysle.“ (Gregor 2005).

„MTM-MEK (MTM für die Einzel – und Kleinserienfertigung) – reprezentuje tretiu generáciu systémov založených na štatistickej analýze údajov MTM-1. Tento systém bol navrhnutý pre ekonomické meranie malého počtu opakovaných činností v kusovej výrobe (one-of-kind production), kde je dlhý operačný čas (viac ako 21 minút). Je rovnako vhodný aj pre meranie ostatných menej frekventovaných činností, ktoré boli pred jeho vývojom buď príliš drahé alebo ťažko merateľné. Tento systém je 50 a viac krát rýchlejší ako MTM-1. MTM asociácia poskytuje k systému MTM-MEK aj súbor rozširujúcich databáz pre rôzne oblasti aplikácie (montáž, výroba a pod.).“ (Gregor 2005).

„Vyššie verzie systému MTM sa orientovali na zjednodušovanie aplikácie systému, v niektorých prípadoch aj integráciou, ako to zobrazuje nasledovný obrázok“ (obr. 7), (Gregor 2005).



**Obr. 7 Zjednodušovanie aplikácie systému MTM v jeho vyšších verziách (Gregor 2005)**

„Literatúra uvádza aj porovnanie rýchlosti práce pri využití jednotlivých úrovni systémov MTM. Pri porovnaní MTM-1 s vyššími verziami MTM s uvádzajú nasledovné pomery: MTM-2 približne 70:1, MTM-3 približne 200:1.“ (Gregor 2005).

V súčasnosti rozoznávame v sústave MTM 5 stupňov. Pri praktickom výbere jednotlivých metód je možné orientačne použiť údaj o dĺžke trvania pracovnej operácie, nakoľko je dĺžka operácie ovplyvnená často typom výroby (vid'. tabuľka 7).

**Tab. 7 Stupne metódy MTM**

| Stupeň MTM | Podrobnosť členenia analýzy | Trvanie operácie v min. |
|------------|-----------------------------|-------------------------|
| MTM 1      | Základné pohyby             | 0,1 – 0,5               |
| MTM 2      | Komplex pohybov             | 0,5 – 3                 |
| MTM 3      | Úkony operácie              | 3 – 30                  |
| MTM 4      | Úseky operácie              | 30 – 1800               |
| MTM 5      | Operácie ako celok          | Viac než 1800           |

Ako už bolo spomenuté, táto metóda priradzuje definovaným pohybom časy. Príklad tabuľky s časmi pre pohyb siahnuť je v tab. 8.

**Tab. 8 Časové hodnoty pre pohyb siahnuť (MTM-1 2019)**

| Vzdialenosť<br>v cm | TMU   |     |       |     |       |     |         | Popis pohybu                                                                                                                      |
|---------------------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                     | Typ 1 |     |       |     | Typ 2 |     | m pre B |                                                                                                                                   |
|                     | A     | B   | C a D | E   | A     | B   |         |                                                                                                                                   |
| do 2                | 2,0   | 2,0 | 2,0   | 2,0 | 1,6   | 1,6 | 0,4     | A – siahnuť k jednotlivému predmetu, ktorý je vždy na presne určenom mieste, prípadne v druhej ruke, alebo na ňom druhá ruka leží |
| 4                   | 3,4   | 3,4 | 5,1   | 3,2 | 3,0   | 2,4 | 1,0     |                                                                                                                                   |
| 6                   | 4,5   | 4,5 | 6,5   | 4,4 | 3,9   | 3,1 | 1,4     |                                                                                                                                   |
| 8                   | 5,5   | 5,5 | 7,5   | 5,5 | 4,6   | 3,7 | 1,8     |                                                                                                                                   |
| 10                  | 6,1   | 6,3 | 8,4   | 6,8 | 4,9   | 4,3 | 2,0     |                                                                                                                                   |
| 12                  | 6,4   | 7,4 | 9,1   | 7,3 | 5,2   | 4,8 | 2,6     |                                                                                                                                   |

|    |      |      |      |      |      |      |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----|------|------|------|------|------|------|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 14 | 6,8  | 8,2  | 9,7  | 7,8  | 5,5  | 5,4  | 2,8 | <b>B</b> - siahnuť k jednotlivému predmetu, ktorý sa prípad od prípadu nachádza na trochu odlišnom mieste<br><b>C</b> – siahnuť k predmetu, ktorý sa nachádza medzi rovnakými alebo podobnými predmetmi, tak že musí byť vybraný<br><b>D</b> – siahnuť k predmetu, ktorý je veľmi malý, alebo ťažko uchopiteľný<br><b>E</b> – siahnuť do neurčitého miesta tak, aby bola zabezpečená rovnováha, prípadne siahnuť do východiskovej polohy po, alebo pred začatím pohybu |
| 16 | 7,1  | 8,8  | 10,3 | 8,2  | 5,8  | 5,9  | 2,9 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 18 | 7,5  | 9,4  | 10,8 | 8,7  | 6,1  | 6,5  | 2,9 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 20 | 7,8  | 10,0 | 11,4 | 9,2  | 6,5  | 7,1  | 2,9 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 22 | 8,1  | 10,5 | 11,9 | 9,7  | 6,8  | 7,7  | 2,8 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 24 | 8,5  | 11,1 | 12,5 | 10,2 | 7,1  | 8,2  | 2,9 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 26 | 8,8  | 11,7 | 13,0 | 10,7 | 7,4  | 8,8  | 2,9 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 28 | 9,2  | 12,2 | 13,6 | 11,2 | 7,7  | 9,4  | 2,8 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 30 | 9,5  | 12,8 | 14,1 | 11,7 | 8,0  | 9,9  | 2,9 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 35 | 10,4 | 14,2 | 15,5 | 12,9 | 8,8  | 11,4 | 2,8 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 40 | 11,3 | 15,6 | 16,8 | 14,1 | 9,6  | 12,8 | 2,8 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 45 | 12,1 | 17,0 | 18,2 | 15,3 | 10,4 | 14,2 | 2,8 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 50 | 13,0 | 18,4 | 19,6 | 16,5 | 11,2 | 15,7 | 2,7 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 55 | 13,9 | 19,8 | 20,9 | 17,8 | 12,0 | 17,1 | 2,7 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 60 | 14,7 | 21,2 | 22,3 | 19,0 | 12,8 | 18,5 | 2,7 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 65 | 15,6 | 22,6 | 23,6 | 20,2 | 13,5 | 19,9 | 2,7 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 70 | 16,5 | 24,1 | 25,0 | 21,4 | 14,3 | 21,4 | 2,7 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 75 | 17,3 | 25,5 | 24,4 | 22,6 | 15,1 | 22,8 | 2,7 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 80 | 18,2 | 26,9 | 27,7 | 23,9 | 15,9 | 24,2 | 2,7 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

Do úvahy treba brať tri typy siahnutia:

- (1) Ruka sa nepohybuje na začiatku a na konci siahnutia (Typ 1).
- (2) Ruka sa pohybuje buď na začiatku alebo na konci siahnutia (Typ 2) a
- (3) Ruka je v pohybe na začiatku aj na konci siahnutia (Typ 2) (MTM 2024).

Príklad analýzy montážneho procesu pomocou metódy MTM 1 je uvedený v tab. 9.

**Tab. 9 Analýza montážneho procesu pomocou metódy MTM (formulár pre MTM analýzu)**

| Ľavá ruka                            | Symbol | TMU          | Symbol | Pravá ruka                               |
|--------------------------------------|--------|--------------|--------|------------------------------------------|
| Siahnuť k palete P1                  | RA (1) | 18,2         |        |                                          |
| Uchopiť súčiastku S2                 | G1 (C) | 7,3          |        |                                          |
| Premiestniť S2 do lisovacieho stroja | MC1    | 23,5         |        |                                          |
|                                      |        |              |        |                                          |
|                                      |        |              |        |                                          |
|                                      |        | 13,9         | R1A    | Siahnuť na zariadenie lisovacieho stroja |
|                                      |        |              |        |                                          |
|                                      |        |              |        |                                          |
| Obrátiť V1                           | TS     | 9,4          |        |                                          |
|                                      |        | 18,2         | RA (1) | Siahnuť do P3                            |
|                                      |        | 7,3          | G1 (C) | Uchopiť S3                               |
|                                      |        | 23,5         | MC1    | Premiestniť S3                           |
|                                      |        | 5,6          | P1S(E) | Umiestniť S3 do V1                       |
| Spolu TMU                            |        | <b>126,9</b> |        |                                          |
| Čas montáže v sekundách:             |        | <b>4,56</b>  |        |                                          |

### Aplikácia metódy MTM

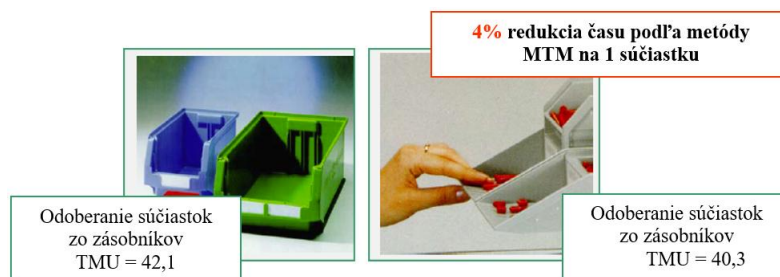
Ovplyvnenie času montáže v prípade aplikácie zariadenia pre zdvih paliet uložených vedľa pracoviska ilustruje príklad uvedený na obr.8. V porovnaní dvoch príkladov: umiestnenie paliet voľne na podlahe a umiestnenie paliet v zariadení, ktoré umožňuje

ich zdvih do správnej odoberacej výšky je možné konštatovať 59% úsporu času pre vykonanie operácie odoberania súčiastok z paliet.



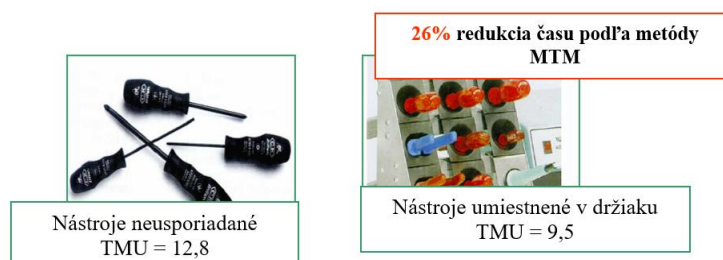
**Obr. 8 Porovnanie času odoberania súčiastok z paliet podľa (Rexroth 2002)**

Správne voľba typu zásobníka súčiastok, jeho veľkosti, sklonu a umiestnenia podstatne ovplyvňuje čas montáže. Na obrázku 9 je uvedený príklad úspory času pri odoberaní jednej súčiastky pri zmene typu zásobníka.



**Obr. 9 Redukcia času pri zmene typu zásobníkov súčiastok podľa (Rexroth 2002)**

Pri používaní nástrojov a náradia ovplyvňuje čas montáže celý rad faktorov. Jedným z nich je spôsob ich umiestnenia na pracovisku. Redukciu času je možné dosiahnuť ich uložením do držiaku nástrojov vhodnej konštrukcie. Ako je uvedené v nasledujúcom príklade (obr. 10) čas montáže sa aplikáciou držiaka nástrojov zredukoval o 26%.



**Obr. 10 Redukcia času pri aplikácii držiaka nástrojov podľa (Rexroth 2002)**

Úspory času montáže je možné dosiahnuť aj napr. zavesením pracovného náradia na rám stola. V príklade uvedenom na obr. 11 sa hlavná úspora dosiahla redukciami hmotnosti skrutkovača pri jeho zavesení v porovnaní s bežným spôsobom jeho používania.



Obr. 11 Redukcia času pri zavesení skrutkovača na rám pracovného stola podľa (Rexroth 2002)

#### 1.4.2 MTM MOST (Maynard Sequence Operation Technique)

MOST – Maynard Sequence Operation Technique – je v súčasnosti vo svete najviac využívaným systémom. MOST bol vyvinutý v Maynardovom inštitúte v USA v roku 1980. Systém MOST v porovnaní so systémom MTM-1 umožňuje podstatný rast produktivity práce analytika, ktorý realizuje časovú štúdiu. MOST pri definovaní operácií nejde do takých detailov ako metódy MTM, je zobecnením skúsenosti, opakujúce sa sekvencie ponúka už ako preddefinované moduly a táto vlastnosť umožňuje normovačom výrazne zrýchliť ich prácu.

Existuje v troch verziách [2]:

- Maxi MOST – Prestavuje najvyššiu úroveň – používa sa pre analýzu operácií, ktoré sú obvyčajne opakované menej než 150 krát za týždeň a dĺžka operácie je v rozsahu 2 minút až niekoľkých hodín. Systém zahrňuje i také činnosti ako zorad'ovanie a pod.
- Basic MOST – Prestavuje strednú úroveň – používa sa pre analýzu operácií, ktoré sú opakované 150 až 1500 krát za týždeň a dĺžka operácie sa pohybuje od niekoľko sekúnd po 10 minút. Uvedené rozsahy sú typické pre väčšinu priemyselných operácií.
- Mini MOST – Je na najnižšej úrovni a zároveň je najpodrobnejší – používa sa pre analýzu operácií, ktoré sú opakované viac ako 1500 krát/a týždeň a dĺžka operácie je kratšia ako 1.6 minút (typicky 10 sekúnd alebo menej).

Porovnanie rýchlosti v systéme MOST a u iných metód PMTS ukazuje tab.10.

Tab. 10 Porovnanie rýchlosti jednotlivých systémov

| Technika merania práce | Celkový počet TMU, ktoré vyprodukuje analytik za hodinu práce |
|------------------------|---------------------------------------------------------------|
| MTM-1                  | 300                                                           |
| MTM-2                  | 1000                                                          |
| MTM-3                  | 3000                                                          |
| Mini MOST              | 4000                                                          |
| Basic MOST             | 12000                                                         |
| Maxi MOST              | 25000                                                         |

MOST je systém pre meranie práce, preto sa sústreďuje na pohyb objektov. Pohyb môže byť uskutočňovaný v princípe dvoma spôsobmi:

- predmety sú uchopené a presúvané voľne v priestore,

- predmety sú presúvané v priestore tak, že sú v stálom kontakte s nejakým iným povrchom.

Pri každom spôsobe pohybu nastáva reťazec iných udalostí, preto využíva MOST rôzne modely sekvencie aktivít.

V princípe sú potrebné len tri základné MOST sekvencie aktivít pre popis manuálnej práce plus štvrtá pre meranie pohybov predmetov s manuálnym žeriavom. Jedná sa o:

- General Move Sequence – voľný pohyb predmetu v priestore
- Controlled Move Sequence – viazaný pohyb predmetu v priestore, počas pohybu zostáva v kontakte s iným povrchom, prípadne je súčasťou iného pohybujúceho sa predmetu.
- Tool Use Sequence – využitie bežných ručných nástrojov.

Pre reprezentáciu všetkých druhov pohybov využíva General Move štyri subaktivity:

- A – Action dištance – vzdialenosť akcie – obyčajne horizontálne,
- B – Body motion – pohyb tela – obyčajne vertikálne,
- G – Gain control,
- P – Placement – umiestnenie.

Tieto subaktivity usporiadané v sekvenčnom modeli, pozostávajúcom zo série parametrov organizovaných v logickej sekvencii. Týmto prvkom sú potom priradené časovo závislé poradové indexy, ktoré vychádzajú z obsahu pohybovej subaktivity. Pre všetky kombinácie možností boli zostavené tabuľky indexov s číselnými časovými hodnotami. Časové hodnoty sú obsiahnuté v tabuľkách a je možné si ich ľahko zapamätať. Popis jednotlivých aktivít je uvedený v tab. 11.

**Tab. 11 Sekvenčné modely pre Basic MOST systém (Gregor 2005)**

| Basic MOST Work Measurement Technique      |                 |           |                                            |
|--------------------------------------------|-----------------|-----------|--------------------------------------------|
| Aktivita                                   | Sekvenčný model | Parameter | Sub-aktivita                               |
| General Move<br>(Všeobecné premiestnenie)  | ABGABPA         | A         | Action dištance (Vzdialenosť)              |
|                                            |                 | B         | Body motion (Pohyb tela)                   |
|                                            |                 | G         | Gain control (Získaj kontrolu)             |
|                                            |                 | P         | Placement (Umiestni)                       |
| Controlled Move<br>(Riadené premiestnenie) | ABGMXIA         | M         | Move controlled<br>(Riadené premiestnenie) |
|                                            |                 | X         | Process time (Operačný čas)                |
|                                            |                 | I         | Alignment (Priradenie)                     |
| Tool Use<br>(Použitie nástroja)            | ABGABPFABPA     | F         | Fasten (Utiahni)                           |
|                                            |                 | L         | Loosen (Uvoľni)                            |
|                                            |                 | C         | Cut (Odrež, odstrihni)                     |
|                                            |                 | S         | Surface treat (opracuj povrch)             |
|                                            |                 | M         | Measure (Meraj)                            |
|                                            |                 | R         | Record (Zapíš, zaznamenaj)                 |
|                                            |                 | T         | Tlink (Čítaj, prehliadni)                  |

Príklad možnej sekvencie pre použitie kľúča pre utiahnutie matice (Gregor 2005):

**A1 B0 G1 A1 B0 P3 F10 A1 B0 P1 A0**

A1 – Uchop kľúč

B0 – Bez pohybu tela

G1 – Drž kľúč

A1 – Presuň kľúč k matici do vzdialenosti dosahu

B0 – Žiaden pohyb tela

P3 – Umiestni kľúč na maticu

F10 – Utiahni maticu kľúčom

A1 – Presuň kľúč do vzdialenosti dosahu

B0 – Bez pohybu tela

P1 – Polož kľúč bokom (odlož kľúč)

A0 – Bez návratu

**MOST používa** podobne ako MTM ako jednotky času **TMU** (Time Measurement Units). Časové hodnoty v TMU pre zvolenú modelovú sekvenciu aktivít sú určené tak, že sa spočítajú hodnoty indexov a ich súčet sa vynásobí desiatimi.

V našom hore uvedenom príklade to bude:

**A1 B0 G1 A1 B0 P3 F10 A1 B0 P1 A0** teda  $(1+0+1+1+0+3+10+1+0+1+0) \cdot 10 = 180$  TMU

### 1.4.3 Work-Factor

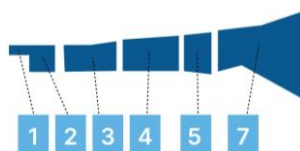
Ďalšou PMTS metódou je metóda Work-Factor, ktorá je obdobou metódy MTM. Taktiež má preddefinované pohyby a k nim priradené časy. Podobne ako je to u metódy MTM aj táto existuje vo viacerých modifikáciách:

- Block Method (Základná) – vychádza zo základných pohybov, možno ju aplikovať v hromadnej výrobe.
- Zjednodušená – sústreďuje pohyby do väčších celkov, môže sa použiť v stredne sériových výrobných.
- Skrátená – nevyžaduje veľkú presnosť rozboru, je určená pre malosériovú výrobu
- Quick Method (Zrýchlená) – má zjednodušené pravidlá pre výpočet noriem, je možné ju využiť pre plánovanie a kalkulácie.

### 1.4.4 MODAPTS – Modular Arrangement of Predetermined Time Standards

MODAPTS bol vyvinutý Chrisom Heydeom v 60. rokoch na základe jeho skúseností s časovým systémom MTM-2. MODAPTS je v súčasnosti podporovaný prostredníctvom Medzinárodnej asociácie MODAPTS alebo IMA. IMA je nezisková organizácia so sídlom v Spojených štátoch amerických (Proplanner 2025).

To, čo odlišuje MODAPTS od iných vopred určených systémov časového štúdia, je jeho jedinečné zameranie na pohyb častí tela. Na rozdiel od metód, ktoré sa sústreďujú na vzdialenosť prekonanú predmetmi, sa zameriava na pohyby častí tela, ktoré sa podieľajú na dokončení úlohy. Tento prístup nielen zvyšuje presnosť, ale tiež uľahčuje hlbšie pochopenie ergonomických faktorov v hre, čo organizáciám umožňuje identifikovať a zmierniť potenciálne riziká spojené s opakovanými alebo namáhavými pohybmi (6sigma 2025) (obr. 6).



Obr. 12 Segmenty MODAPTS pre hornú končatinu (6sigma 2025)

Základ MODAPTS spočíva v jeho základnej jednotke merania, známej ako MOD (Modular Unit Definition). Definícia MOD predstavuje čas potrebný na vykonanie špecifického pohybu tela, pričom každý MOD sa rovná preddefinovanej časovej hodnote 0,129 sekúnd. V systéme MODAPTS sú všetky hodnoty MOD násobky 0,129 sekundy, čo je štandardizovaná časová jednotka odvodená z rozsiahlych výskumov a empirických štúdií. Tento prístup 0,129 sekundy umožňuje presné výpočty a zabezpečuje konzistentnosť v rôznych pracovných procesoch a prostrediach (6sigma 2025).

MODAPTS využíva techniku kódovania, ktorá kombinuje písmená a čísla, aby reprezentovali rôzne pohyby tela a s nimi súvisiace časové hodnoty. Písmeno označuje typ vykonávanej činnosti (zvyčajne pohyb časti tela) a číslo označuje čas spojený s týmto pohybom meraný v jednotke MOD. Tento systém kódovania s písmenami a číslami funguje ako stručný jazyk na popis postupnosti akcií zahrnutých v úlohe, čo uľahčuje komunikáciu, analýzu a optimalizáciu pracovných procesov (Proplanner 2025), (6sigma 2025).

Možnosti aplikácie MODAPTS podľa (6sigma 2025):

- Jednou z primárnych aplikácií MODAPTS je stanovenie výrobných štandardov. Presným určením času potrebného na dokončenie úlohy môžu organizácie stanoviť realistické a dosiahnuteľné výrobné ciele, čím sa zabezpečí efektívna alokácia zdrojov a efektívne riadenie pracovnej sily.
- Analýza pracovných úloh. MODAPTS tiež slúži ako výkonný nástroj na analýzu pracovných úloh, ktorý umožňuje organizáciám podrobne rozoberať a skúmať pracovné procesy. Táto analýza nielen zdôrazňuje oblasti na zlepšenie, ale pomáha aj pri vytváraní štandardizovaných prevádzkových postupov a pracovných pokynov, pričom podporuje konzistentnosť a kvalitu vo všetkých oblastiach.
- Ergonomické hodnotenie. Vzhľadom na svoje zameranie na pohyby tela je MODAPTS ideálne vhodný na ergonomické hodnotenia. Analýzou fyzickej náročnosti úlohy môžu organizácie identifikovať potenciálne ergonomické riziká a implementovať stratégie na ich zmiernenie, znížiť pravdepodobnosť pracovných úrazov a podporiť bezpečnejšie a pohodlnejšie pracovné prostredie.
- Optimalizácia práce. V konečnom dôsledku poznatky získané zo štúdií MODAPTS prispievajú k optimalizácii práce a umožňujú organizáciám zefektívniť ich operácie, maximalizovať využitie zdrojov a zvýšiť celkovú produktivitu.
- Časové štúdie. MODAPTS sa často používa pri vykonávaní časových štúdií, ktoré poskytujú presné a spoľahlivé údaje na hodnotenie trvania rôznych úloh a procesov.

- Štíhla výroba. Princípy MODAPTS sa hladko zhodujú s metodikami štíhlej výroby, pretože pomáhajú identifikovať a eliminovať činnosti bez pridanej hodnoty, čím prispievajú k efektívnejšiemu a efektívnejšiemu výrobnému procesu.
- Kalkulácia ceny práce. Presným určením času potrebného na konkrétne úlohy umožňuje MODAPTS presné kalkulovanie nákladov na prácu, čo umožňuje organizáciám ponúkať projekty konkurencieschopnejšie a efektívne riadiť svoje zdroje.
- Six Sigma. MODAPTS je cenným nástrojom v kontexte iniciatív Six sigma, ktorý poskytuje kvantitatívne údaje pre analýzu a optimalizáciu procesov, čo v konečnom dôsledku vedie k zníženiu variability a zlepšeniu kvality.

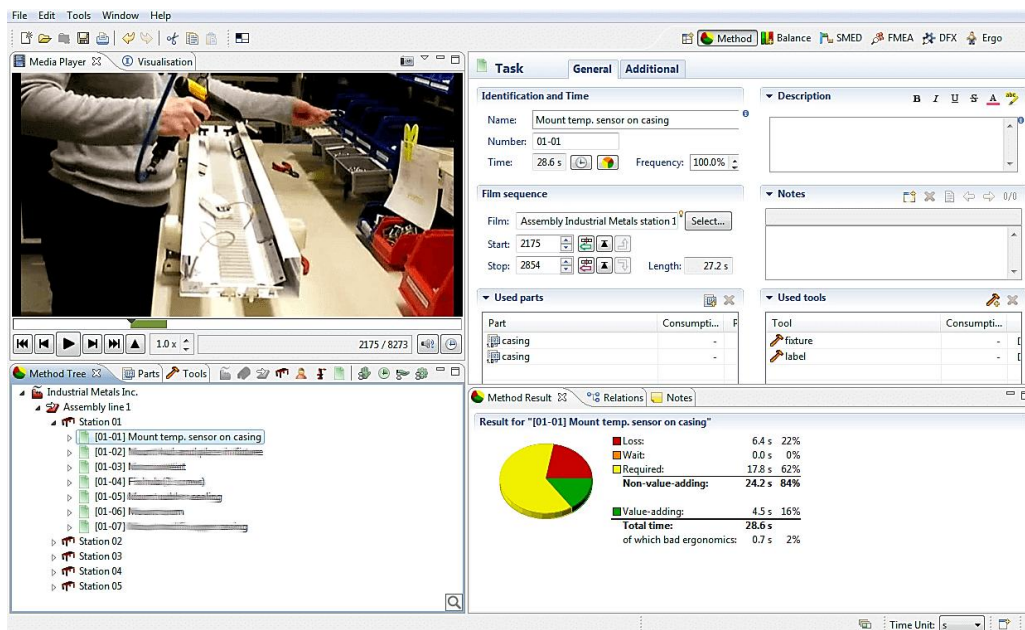
MODAPTS bežne používajú spoločnosti na získanie presného hodnotenia ich aktuálneho stavu priameho a nepriameho pracovného času potrebného na vykonávanie každodenných úloh súvisiacich s dokončovaním priradených pracovných úloh. Použitím takéhoto nástroja vopred určených časov ako je MODAPTS, sú priemyselní inžinieri schopní vykonávať presné časové štúdie aj na základe nahratého videa. To šetrí čas a náklady koncovému užívateľovi, pretože priemyselní inžinieri nemusia byť na mieste, aby dokončili časovú štúdiu (6sigma 2024).

Podľa (Productivityteam 2025) MODAPTS znamená pochopenie:

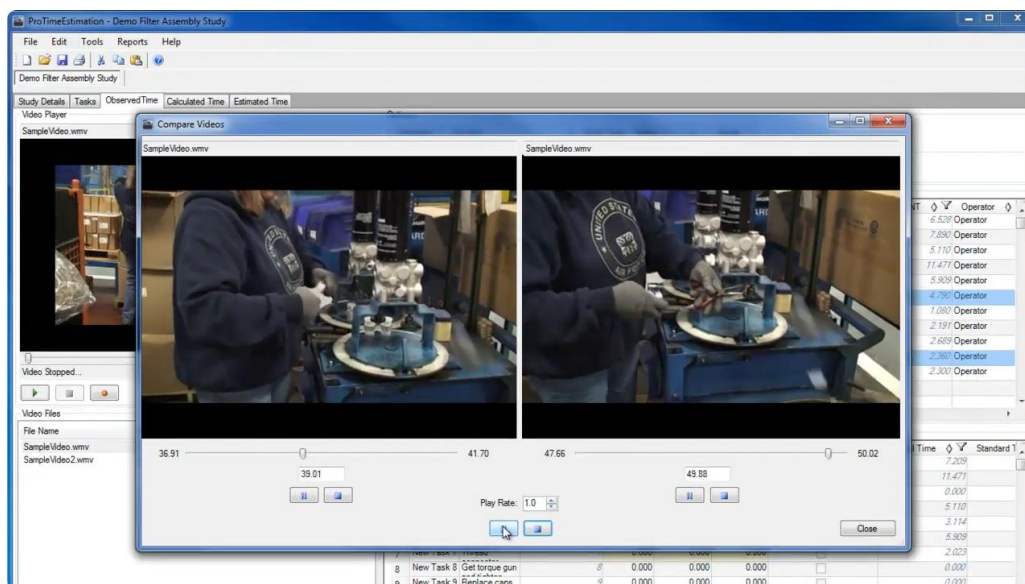
- Pochopenie toho, čo zamestnanci robia, ako to robia, ako dlho im to trvá, ako často, s akými nástrojmi, v akom priestore, za aký produkt a teda za akú cenu. Komplexné hodnotenie umožňuje výrobným firmám pochopiť skutočné náklady spojené s jednotkovou výrobou.
- Keď pochopíte, môžete sa zlepšiť. Vďaka komplexnému pochopeniu každej úlohy v každej výrobnej pozícii poskytuje MODAPTS rámec na rýchlu identifikáciu oblastí zlepšenia prostredníctvom vývoja noriem. Po identifikácii noriem majú výrobné firmy nesporné vedomosti o tom, že ich výrobné zariadenia maximalizujú pracovné zdroje a pracujú s najvyššou efektívnosťou.
- Ako rastiete, môžete pokračovať v rozširovaní znalostí. So zlepšenou výrobou a rastúcimi schopnosťami sa zmena nielen očakáva, ale je aj žiaduca. Keďže výrobca aj naďalej spĺňa meniace sa očakávania klientov v priebehu času, je nevyhnutné neustále sa snažiť o čo najvyššiu úroveň účinnosti. Rovnako ako u všetkých systémov s vopred stanoveným časovým štandardom sú štandardy MODAPTS živými dokumentmi, ktoré je potrebné udržiavať, aby sa neustále poskytovali výhody.

## 1.5 Video analýza

Je analýza času založená na snímaní videa. Video je následne analyzované v špeciálnom softvéri. Ako príklad môžeme uviesť softvérový balík Avix švédskej firmy Solme AB alebo programu ProPlanner (obr. 13, 14).



Obr. 13 Prostredie programu AVIX pre video-analýzu (Asseco-ceit 2025).



Obr. 14 Prostredie programu ProPlanner pre video-analýzu (Proplanner 2024)

## POSTUP VIDEO ANALÝZY

### 1. Natáčanie videa skúmaného montážneho procesu

Analýzu montážneho procesu začíname nasnímaním danej montážnej operácie (obr. 15). Nasnímanie sa vykonáva prostredníctvom video kamery, ktorá verne zachytáva každý krok montážneho procesu, čas montáže a pohyby pracovníka potrebných na vykonávanie práce. Je potrebné vybrať to správne pracovisko na vykonanie analýzy a zabezpečiť vhodné podmienky na vyhotovenie video snímky.

Samotný proces nahrávania videa možno rozdeliť do niekoľkých kategórií z hľadiska miesta, kde video vzniká, a z pohľadu prípravných operácií. Nižšie sú popísané niektoré základné prístupy k nahrávaniu videa. Každý prístup má svoje výhody a nevýhody (Mareš 2012).



Obr. 15 Video natáčanie skúmaného procesu (Asseco-ceit 2025)

### **1. Natáčanie videa priamo na pracovisku bez prípravy počas bežnej pracovnej zmeny**

Tento prístup sa používa, ak nie je možné vykonať prípravné operácie na pracovisku (napr. nebezpečné pracovisko, časový deficit, dispozície pracoviska to neumožňuje a pod.) (Mareš 2012).

#### **Výhody:**

- Zaznamenáva sa reálny stav pracoviska so všetkými jeho nedokonalosťami, ktoré priamo súvisia s montážnym procesom, ale aj inými nedokonalosťami (napr. nedokonalosti pracovného priestoru a pod.).
- Nie je potrebné tráviť čas prípravnými operáciami.

#### **Nevýhody:**

- video nemusí obsahovať všetky dôležité údaje. Príčinou môžu byť rôzne prekážky (rôzne predmety, stožiare, konštrukcie a pod.), ako aj pohyb ostatných pracovníkov a pohyb technických a manipulačných prostriedkov na pracovisku,
- snaha zaznamenať celý proces montáže so všetkými pohybmi môže mať za následok zlú kvalitu videozáznamu (neostrý obraz) a tiež sa môže stať, že kameraman nezvládne koordináciu priblíženia objektívu a orientácie kamery a v dôsledku k tomu sa niektorá časť operácie nezaznamená alebo nebude dobre viditeľná,
- svetelné podmienky na pracovisku môžu spôsobovať problémy pri nahrávaní (odraz svetla, tieň, preexponované miesta na videu a pod.).

### **2. Natáčanie videa priamo na pracovisku s prípravou počas bežnej pracovnej zmeny**

Základ tohto prístupu je rovnaký ako v predchádzajúcom prípade, vrátane výhod. Rozdiel je v tom, že je možné vykonávať prípravné operácie, ktoré spočívajú v odstránení všetkých prekážok, ktoré môžu brániť nahrávaniu. Príprava scény spočíva aj v oboznámení pracovníkov s tým, že budú natáčaní na video, v zabezpečení dobrých svetelných podmienok a v prípade potreby aj v súčasnom nahrávaní viacerými kamerami z rôznych uhlov. V porovnaní s predchádzajúcim prístupom sa neuplatňuje nevýhoda na základe prekážok, ale môže nastať nová nevýhoda v dôsledku prerušenia práce na pracovisku za účelom zabezpečenia prípravy. Toto zastavenie

môže mať za následok nižšiu produktivitu v rámci pracovnej zmeny, počas ktorej sa bude video natáčať (Mareš 2012).

### **3. *Natáčanie videa priamo na pracovisku mimo pracovnej zmeny***

Tento prístup poskytuje lepšie možnosti pre prípravné operácie ako predchádzajúce prístupy. Je možné nielen odstraňovať rušivé faktory spôsobené prevádzkou, ale aj meniť dispozície pracoviska, samozrejme len vtedy, ak to dovoľuje charakter prevádzky (Mareš 2012).

#### **Výhody:**

- je možné meniť polohu komponentov pre overenie rôznych variantov zostavy,
- žiadny vplyv na produktivitu počas pracovnej zmeny,
- eviduje sa skutočný stav na pracovisku.

#### **Nevýhody:**

- nie je možné ho použiť v prevádzkach s 24-hodinovou prevádzkou,
- montážni pracovníci musia po pracovnej zmene zostať v práci. Môže negatívne ovplyvniť motiváciu a výkon.

### **4. *Natáčanie videa na experimentálnom pracovisku***

V tomto prípade sa predpokladá existencia špecializovaného skúšobného pracoviska zameraného na analýzu prevádzky montáže (Mareš 2012).

#### **Výhody:**

- je možné pripraviť a otestovať rôzne montážne sekvencie,
- je možné pripraviť ideálne podmienky pre záznam videa.

#### **Nevýhody:**

- tento druh záznamu nie je možný, ak zmontovaný diel alebo výrobok má rozmery alebo hmotnosť, ktoré neumožňujú ich prepravu na skúšobné pracovisko,
- ak sa majú pri montážnych operáciách použiť špeciálne zariadenia, nástroje a prípravky, je potrebné si tieto komponenty zaobstaráť. Ak sú tieto komponenty jedinečné, drahé alebo ich nemožno z akéhokoľvek dôvodu použiť na experimentálnom pracovisku, analýzu nie je možné realizovať.
- je potrebné mať vyškolených pracovníkov oboznámených s konkrétnymi montážnymi operáciami. Ideálne riešenie je, že na skúšobnom pracovisku pracujú pracovníci, ktorí v praxi realizujú aj montážne operácie, no nie vždy je to možné. V tomto prípade musia montážne operácie vykonávať iní pracovníci a môže dôjsť k nesprávnej interpretácii parametrov montážneho procesu (čas, vykonané pohyby a pod.).
- vybavenie a príslušenstvo takéhoto pracoviska môže byť finančne náročné, ak má byť toto pracovisko všestranné a ak má umožňovať realizáciu širokého spektra montážnych operácií.

## 2. Analýza operátorom

Vyhotovená video snímka sa nahrá do počítača na ďalšiu analýzu (obr. 16).



Obr. 16 Analýza operátorom (Asseco-ceit 2025)

Analýza sa vykonáva príslušným softvérom na to určeným. Pomocou softvéru sa zisťujú nedostatky súčasného postupu montáže, analyzujú sa pohyby pracovníka vykonávajúci montážny proces, nedostatky pracovného prostredia, neoptimálne usporiadanie pracovných pomôcok.

## 3. Navrhovanie zlepšení

Analyzované snímky sa pomocou odborníkov prekonzultujú, prehodnocujú sa vyskytnuté chyby a nedostatky doterajšieho pracovného postupu a navrhnú sa nové, vylepšené postupy nasnímaného montážneho procesu (obr. 17).



Obr. 17 Navrhovanie zlepšení (Asseco-ceit 2025)

Záverom sú nové vylepšenia skúmaného montážneho procesu.

## 4. Realizácia

Navrhnuté a vylepšené postupy sa aplikujú v praxi. Namontujú sa pomôcky a príslušenstvá navrhnuté pri analýze skúmaného procesu a môže sa vykonať ďalšie nasnímanie vylepšeného postupu montážnej operácie (obr. 18).



Obr. 18 Realizácia (Asseco-ceit 2025)

## 5. Porovnávanie

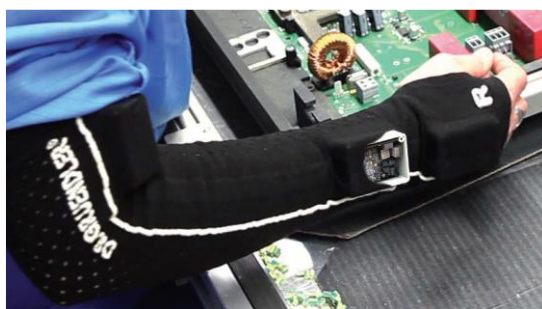
V závere sa porovnávajú výsledky získané softvérovou analýzou pred a po realizácií zmien.

### 1.6 Technické zariadenia pre stanovenie času montáže

Pre proces stanovenia času montáže existujú aj iné technické riešenia okrem už spomínaných softvérových. V nasledujúcej časti je uvedených niekoľko príkladov.

#### *Zariadenie pre automatický záznam pohybov a času ručnej montáže*

Zariadenie pre automatický záznam času ručnej montáže je projekt Fraunhoferovho Inštitútu (Vision 2025). Ide o zariadenie umiestnené na ruke pracovníka, ktorý vykonáva montáž. Zariadenie je zobrazené na obr. 19. Vyvinuté zariadenie na základe senzorov sníma pohyb ruky pracovníka ako aj časové údaje. Tieto namerané údaje slúžia ako východisko pre vytvorenie modelu pohybu ruky a príslušných časových údajov.



Obr. 19 Zariadenie pre automatický záznam pohybov a časov v ručnej montáži (Vision 2025)

Na základe údajov zo systému senzorov je možné identifikovať podstatné premenné procesu ako napríklad vzdialenosť, pozícia uchopenia objektu, uhol otočenia a podobne. Požadované korekcie ako aj vyhodnotenie časových a pohybových charakteristík sa realizuje na základe biometrického modelu človeka. Systém je prepojený s PC a umožňuje následné hodnotenie montážneho procesu aj z hľadiska času. Systém údaje zo snímačov nahráva automaticky. Celý systém podľa (Vision

2025) umožňuje získať objektívne údaje automaticky. Zariadenie neprekáža pracovníkovi v práci a šetrí čas a náklady v oblasti realizácie časových štúdií.

### **TMU kalkulátor**

TMU kalkulátor je zariadenie so softvérovou aplikáciou pre využitie metódy dopredu určených časov – MTM, ktorú je možné aplikovať na tablete. Aplikácie umožňuje použiť varianty MTM1, MTM-UAS, MTM-MEK, MTM-SD, MTM-LOG (logistika) a MTM-Visual Inspection. Export dát je kompatibilný s programom TiCon, s TAKTIQ AssemblySuite s CAPP a s Delmiou (TMU-calculator 2025).

Táto aplikácia umožňuje získavať údaje priamo vo výrobnom procese, jednoducho sa s ňou manipuluje a následný export dát a široká kompatibilita s inými systémami umožňuje prostredníctvom stanovenia časových údajov:

- plánovanie procesov a aktivít,
- posudzovanie rôznych variantov riešenia či už procesu alebo výrobku,
- implementáciu v rozličných typoch metód a nástrojov napríklad YAMAZUMI diagram a podobne,

okrem bežných MTM dát môžete používať aj vlastné dátové karty a časové moduly (TMU-calculator 2025).

Vzhľadom na to, že aplikáciu niektorých programov pre stanovenie času je potrebné aplikovať priamo vo výrobe alebo montáži a zároveň sa napríklad s pracovníkom pohybovať po pracovnej ploche umožňuje TMU kalkulátor aplikáciu na tablete (obr. 20).



**Obr. 20 TMU kalkulátor (TMU-calculator 2025)**

## **1.7 Ergonomické štúdie**

Vo všeobecnosti existuje na svete niekoľko stoviek typov ergonomických štúdií, ktoré sa zaoberajú spojením stroja, človeka a pracovného prostredia. Szombathyová (2006) tvrdí, že rozoznávame tri druhy týchto štúdií – fyziologické, psychologické a štúdie pracovného prostredia.

Na vývoji strojov a koncepcii pracovného prostredia sa vždy podieľajú okrem iných aj odborníci z oblasti vplyvu ľudských faktorov. Každé prostredie, v ktorom človek vykonáva pracovné činnosti musí prejsť dôslednými štúdiami a pozorovaniami zameranými na ergonómiu. Tieto štúdie môžeme rozdeliť podľa na tri kategórie – popisné, experimentálne a vyhodnocovacie (Helander 2006).

### 1.7.1 Helanderove rozdelenie ergonomických štúdií

**Popisné štúdie** majú za úlohu zistiť charakteristické znaky pracovníkov a popísať ich. Pre vytvorenie určitej charakteristiky ľudu sa zozbierajú rôzne dáta – vek, výška, kvalita zraku, sluchu, zručnosti a pod. Z praxe môžeme spomenúť príklad, kedy na zostavenie databázy antropometrických údajov pre mesto Singapur, bolo potrebné získať dáta od troch hlavných skupín – Číňanov, Malájcov a Indov. Z každej skupiny bol vybraný náhodný počet zúčastnených, pričom na korektné vyhodnotenie museli zmerať telesné rozmery 5000 ľudí. Výsledkom takejto popisnej štúdie je databáza údajov a závery expertov, ktoré sú nevyhnutným podkladom pre návrh pracoviska. Za zmienku stojí výroba pracovného stola pre kancelárie, ktorého komfortná výška v USA je zvyčajne 74 cm, no v ázijských krajinách je to podstatne menej (Helander 2006).

**Experimentálne štúdie** sa používajú najmä v prípade riešenia konkrétnych problémov a to v laboratórnych alebo v reálnych podmienkach. Do procesu vstupuje výkonnostná premenná – tá predstavuje výkon pracovníka alebo počet chýb, fyziologickou premenou môže byť tep a subjektívne premenné zisťujeme dopytovaním od pracovníkov. Vyhodnotenie tejto štúdie reprezentuje závislosť  $y = f(x)$ , v ktorej  $y$  je závislá premenná (výkonnostná, fyziologická alebo subjektívna) a  $x$  je nezávislá premenná (skúmaný problém, dizajn). Najväčším prínosom je zistenie príčiny a dôsledku, čo vedie k hodnoverným záverom (Helander 2006).

**Výskumné štúdie** predstavujú globálny pohľad na fungovanie pracovného procesu. Nemajú špecifikované zadanie, výskumník ide do terénu s cieľom zistiť ako jednotliví pracovníci vykonávajú pracovné činnosti, čo na nich vplýva a ako oni sami hodnotia pracovný proces. Hovoríme o komplexnom rozbere (Helander 2006).

### 1.7.2 RULA – Rapid Upper Limb Assessment

Metóda RULA sa radí medzi ergonomické štúdie zamerané na dôsledky pôsobenie pracovného prostredia na horné končatiny. Zaznamenávanie pôvodného a optimalizovaného riešenia prebieha jednoducho, bez potreby špeciálnych nástrojov či zručností. Jej hlavnou úlohou je analyzovať a vyhodnotiť faktory, ktoré spôsobujú muskuloskeletálnu záťaž a z nej vznikajúce komplikácie. Analýza používa zapisovací formulár, do ktorého sú zaznamenávané počty pohybov tela, vynaloženú silu, čas práce bez prestávky a iné. Tieto činnosti sú následne ohodnotené skórovacím systémom od 1-7 (1 – najmenšie riziko, 7 – optimalizácia je potrebná ihneď) a zaradené do kategórie. Na základe priradeného skóre vieme určiť pracovnú záťaž. Tam kde je riziko veľké – stupeň 7 a optimalizácia nevyhnutná (McAtamney 1993).

### 1.7.3 OWAS – Ovako Working posture Analysis System

Systém OWAS bol vyvinutý na analýzu postojov tela pri práci. Využíva 4-miestny digitálny kód, ktorý popisuje polohu chrbta, rúk, nôh a potrebu vynaloženej sily na zvládnutie pracovnej operácie. Výsledky sú vyhodnotené na základe priradenia

stupňa ergonomického zaťaženia jednotlivým kódom. V dnešnej dobe na samotný záznam a analýzu využívame počítačom podporovaný systém. Skladá sa z troch častí:

- kódovanie (sledovanie) postoja v teréne
- transfer a preklad dát pre PC analýzu
- dátová analýza a jej spracovanie (Kivi 1991).

#### 1.7.4 NIOSH lifting equation

Keller (2015) uvádza, že štatistický úrad so zameraním na pracovné činnosti, deklaruje poruchy chrbtice ako najčastejšie spomedzi všetkých muskuloskeletálnych ťažkostí. Vo výrobnom procese bolo príčinou zranenia chrbta dvíhanie ťažkých bremien až v troch zo štyroch prípadoch. V budúcnosti sa očakáva výrazné zvýšenie ťažkostí s chrbticou, nakoľko postupne narastá priemerný vek pracovníkov a rastie aj cena za zdravotnú starostlivosť. Práve ekonomické faktory často vedú k zanedbaniu vlastného zdravotného stavu.

NIOSH – Štátny inštitút pre bezpečnosť a ochranu zdravia na pracovisku vo Washingtone vynašiel jednoduchý matematický model, ktorý pomáha znížiť riziko vzniku ochorení chrbtice spôsobené dvíhaním bremien. Zaviedol tzv. RWL – recommended weight limit. Hmotnostný limit RWL je určený pre pracujúcich v 8-hodinovej zmene, pričom využívajú dvíhanie predmetov dvoma rukami (Keller 2015).

Rovnica RWL:

$$RWL = LC \times HM \times VM \times DM \times AM \times FM \times CM$$

LC = hmotnosť bremena

HM =  $25/H$ , H - vodorovná vzdialenosť rúk od bodu – stredu medzi členkami

VM =  $1 - 0,003 \cdot (V - 75)$ , V – vertikálna vzdialenosť rúk od podlahy

DM =  $0,83 + 4,5D$ , D – vertikálna vzdialenosť medzi začiatkom a cieľom zdvihu

AM =  $1 - 0,0032 \cdot A$ , A – uhol asymetrie

FM = priemerná frekvencia zdvíhania meraná v zdvihoch/min.

CM = hodnota odvodená od frekvencie zdvihu a vertikálneho posuvu rúk (Rashmi 2016)

Ďalším výpočtom je hmotnostný index  $LI = L/RWL$ , kde L predstavuje hmotnosť dvíhaného bremena v kg a RWL je hmotnostný limit v kg. Ak hmotnostný index  $LI < 1$ , ide o bezpečnú situáciu a riziko pre zamestnanca je minimálne. Ak  $LI > 1$ , hovoríme, že je potrebná optimalizácia procesu dvíhania bremien (Rashmi 2016).

Ergonomické štúdie stále napredujú a objavujú sa aj ďalšie experimentálne metódy týchto štúdií. Z praxe je zaužívané, že človek je integrovaný ako člen výrobného procesu, avšak s nástupom novej techniky a robotov nemožno toto tvrdenie považovať za pravidlo. Napriek tomu sa skúmajú nové spôsoby zlepšenia ergonomie na pracovisku – kognitívne inžinierstvo, inžinierstvo zamerané na použiteľnosť a iné. Tieto novodobé formy sú však uplatňované retrospektívne, čiže upravujú a eliminujú už vzniknuté problémy. Základným kameňom všetkým metód zostáva systém „Fitness for purpose“. Neoddeliteľnou súčasťou budúcnosti je tiež zachovanie hlavného cieľa a to navrhnuť pracovné prostredie tak, aby človek ako pracovník

podával efektívny výkon pri zachovaní jeho kapacity, zdravia a limitov (MacLeod 2003).

## **1.8 Závery**

### **Snímka pracovného dňa**

Tento druh časovej štúdie využíva nepretržité pozorovanie a zaznamenávanie do vopred pripraveného formulára. Už tieto dve podmienky pozorovania môžeme považovať podľa odbornej literatúry za nevýhodu. Medzi jej prínosy radíme hlavne schopnosť analyzovať fyzicky či psychicky náročné práce – umožňuje stanovenie prestávok nad rámec zákonníka práce, napr. zvláštny oddych (Lhotský 2005).

Veľkým prínosom je analytický formulár, ktorý bez špeciálnych znalostí poskytne prehľadný zoznam spotreby jednotlivých druhov času v chronologickom poradí. Metóda je časovo náročná vzhľadom na to, že ide o nepretržité pozorovanie.

### **Momentové pozorovanie**

Medzi výhody momentového pozorovania podľa literatúry radíme: nižšie náklady (1/3-1/6 oproti nepretržitému pozorovaniu), jednoduchosť, malá prácnosť, možnosť prerušenia. Za nevýhodu kladieme potrebu dostatočného počtu pozorovaní, pričom vyšší počet pozorovaní zvyšuje presnosť metódy. Zhotovenie neprimeraného počtu záznamov je už nevhodné.

Metóda je užitočná najmä pre pracoviská s väčším počtom pracovníkov, alebo dlhým časom vykonávania práce. Umožňuje nám odhaliť prerušenia práce, stanoviť pracovný fond a podiel jednotlivých časov na celkovom čase (Hitka 2004).

### **Snímka operácie**

Snímka operácie je na rozdiel od snímky pracovného dňa omnoho presnejšia. Čas jednotlivých zložiek operácie meriame v sekundách alebo stotinách sekúnd. V porovnaní s ostatnými metódami vyžaduje prítomnosť skúseného normovača, čo môže byť značnou nevýhodou z ekonomického hľadiska. V dnešnej dobe, samozrejme, pre zaznamenávanie využívame počítačovú podporu týchto procesov.

### **Dvojstranné pozorovanie**

Metóda dvojstranného pozorovania kombinuje záznam technologických aj pracovných dejov. Z princípu metódy vyplýva, že pre jej úspešnú realizáciu je potrebný skúsený normovač – analytik, čo môže byť finančne nákladnejšie. Jeho úlohou je posúdiť nielen spotrebu času a činností ale aj technologický postup. Najväčším benefitom spomedzi časových štúdií je práve technologická analýza.

### **Schémy výrobného procesu – diagramy**

Výhodu schém a diagramov je fakt, že kombinujú slovný popis, čísla a grafické znázornenie. Najmä grafika vnáša do analýz iný pohľad a dokáže celú situáciu „uchopiť od iného konca“, v porovnaní s čistými zoskupeniami čísel a popisov. Grafmi a schémami môžeme vyjadriť tok materiálu alebo pôdorys výrobnéj haly a

prebiehajúce činnosti. Niťové grafy navyiac dokážu odhaliť miesta s najvyššou koncentráciou operácií, na ktoré dokážeme ihneď optimalizovať. Nevýhodou týchto metód je potrebná príprava pred analýzou a časová náročnosť.

### **MTM**

MTM je založená na systéme vopred určených časov pre jednotlivé operácie. Táto metóda nám umožňuje efektívne určiť jednotlivé časy vykonania už vo fáze plánovania výrobných zdrojov. Výhodou je aj možnosť merania konkrétneho sledovaného procesu, pričom aj tieto merania je možné zjednodušiť zavedením vyššieho stupňa MTM-1,2. Popis jednotlivých činností je založený na medzinárodnom formáte, čo je výrobným predpokladom pre zdieľanie a pochopenie výstupov meraní naprieč celým svetom.

Nevýhodou tohto systému je použiteľnosť iba pre vykonávanie manuálnych operácií. Celý proces od zaškolenia, prípravy až po samotný záznam činností je pomerne náročný, najmä, ak hovoríme o základnom stupni – MTM-1. Ďalším nedostatkom je majoritná prítomnosť človeka pri samotnej analýze – prevaha subjektívneho hodnotenia (Mertens 2016).

### **MOST**

Na základe získaných informácií, metóda MOST využíva opis jednotlivých činností pomocou zápisu sekvencií – preddefinovaných „vzorov“ činností.

Výhody a nevýhody z hľadiska optimalizácie výroby sú v porovnaní s metódou MTM podobné. MOST je odlišný v tom, že výrazne redukuje čas a cenu analýzy. Na vykonanie je omnoho jednoduchší a vyžaduje menej dokumentácie. Analýza dokáže rýchlo odhaliť neefektívne využívanie času v akomkoľvek type priemyslu s presnosťou  $\pm 5\%$  (Patel 2017).

### **Helanderové štúdie**

**Popisné** štúdie predstavujú efektívny nástroj na zlepšenie ergonómie pracoviska najmä z globálneho celosvetového hľadiska. Ich výhodou je, že na základe získaných údajov zo vzorky pracujúcich vieme prispôsobiť pracovné prostredie, pre tú ktorú časť sveta. Nevýhodou môže byť zber dát, ktorý sa uskutočňuje prostredníctvom dotazníkov. Existuje totiž riziko nízkej alebo nerelevantnej spätnej väzby od pracovníkov.

**Experimentálne** štúdie využívajú kombináciu subjektívnych názorov od respondentov a sledovanie výkonnostných premenných, čo radíme medzi najväčšiu výhodu. Nevýhodou môže byť prítomnosť subjektívnych pocitov pracovníkov (zisťovanie dotazníkmi), ako aj odchýlka jednotlivých ukazovateľov. Napr. zaznamenaný zvýšený stres počas vykonávania práce nemusí byť len dôsledkom neoptimalizovaného pracoviska, ale môžu ho spôsobovať súkromné problémy sledovaného.

**Výskumné** štúdie sú reprezentované komplexným pohľadom na celý pracovný proces. Medzi výhody patrí edukácia samotného pozorujúceho, zistí ako výroba

funguje, aké pocity a dojmy prežívajú pracovníci. Nevýhodou môže byť ochota, resp. neochota ľudí zúčastniť sa takýchto rozhovorov s odborníkmi (Helander 2006).

### **RULA, OWAS**

Všeobecne platí, že skórovací systém RULA a kódovací OWAS nie je možné exaktne porovnať a povedať, ktorý je najlepší. Kee (2020) uvádza, že systém RULA neberie do úvahy dynamickosť, dĺžku zaťaženia či vibrácie, no napriek tomu sa javí ako spoľahlivejší, ak skúmame tzv. posturálne zaťaženie. Na ich porovnanie bolo vykonaných niekoľko štúdií, ktoré však vychádzajú zo subjektívnych pocitov – teda samotní pracovníci uvádzajú ako sa cítia, čo ich bolí. Práve tento fakt znemožňuje ich jednoznačné porovnanie a nevyhnutnosť dodatočných štatistických dát.

### **NIOSH**

Svět produktivity (2012) uvádza ako výhodu fakt, že NIOSH lifting equation je európskym štandardom pre dvíhanie bremien ťažších ako 5 kg počas 8 hodín. Ďalším benefitom je jednoduchosť výpočtu, či spracovanie celej metódy do jednoduchej softvérovej kalkulačky, ktorá celý výpočet urobí za nás a tiež nás prevedie celým meraním. Nevýhodou sú podmienky použitia. Metódu nie je možné aplikovať pri trhavom zdvíhaní, objekt musíme zdvíhať plynule oboma rukami, nesmieme zdvíhať v sede/kľaku a iné.

## ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- Avix. 2024. [cit. 2024-08-02]. Dostupné na internete: <https://www.assecocet.com/en/products/avix/>
- Buda, J., Kováč, M. 1990: Metodika projektovania výrobných procesov v strojárstve. 2 vydanie. Bratislava – ALFA. 512 s. ISBN 80-05-00234-3
- Dlabač, Jaroslav. 2015. Analýza a měření práce. [cit. 2021-03-10]. Dostupné na: <https://www.e-api.cz/25784n-analyza-a-mereni-prace>
- Ellingerová, Helena. 2015. Techniky merania a metódy stanovenia noriem času. [cit.2021-03-05]. Dostupné na internete: <https://www.casopiseurostav.sk/casopis-eurostav/rocnik-20151/52015/techniky-merania-a-metody-stanovenia-noriem-casu>
- Füssel, U., Flemming, V. 2002: Vorlesung Fertigungsplanung I. Dresden – IPT TU Dresden.
- Gregor, M., Krišták, J., Hromada, J. 2005: *Progresívny prístup k analýze práce a zvyšovaniu produktivity na pracovisku*. Žilina – Slovenské centrum produktivity, 2005. 18 s. [cit. 2024-08-04]. Dostupné na internete: <http://www.prodaktivita.sk>
- Helander, Martin. 2006. A Guide to Human Factors and Ergonomics. Boca Raton : CRC Press. ISBN 0-415-28248-9.
- Hitka, Miloš. 2004. Prednášky – náuka o práci. [cit.2021-03-05]. Dostupné na internete: <http://miloshitka.szm.com/schemynop.html>
- IPA Slovakia. 2025: [cit. 2025-04-10]. Dostupné na internete: <http://www.ipaslovakia.sk>
- Kee, D. 2020. An empirical comparison of OWAS, RULA and REBA based on self-reported discomfort. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 26(2), 285-295. ISSN 2376-9130
- Keller J. J. 2015. Understanding the NIOSH lifting equation. [cit.2021-03-24]. Dostupné na internete: <https://www.safetyandhealthmagazine.com/articles/12333-understanding-the-niosh-lifting-equation>
- Kivi, P., Mattila, M. 1991. Analysis and improvement of work postures in the building industry: application of the computerised OWAS method. Applied Ergonomics, 22(1), 43-48. ISSN 0003-6870.
- Kopinec, P. 2021. Normovanie montážnych operácií, [Bakalárska práca] – Slovenská technická univerzita v Bratislave. Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave; Trnava: MTF STU, 2021. 135 s.
- Košťuriak, J., Gregor, M., Mičieta, B., Matuszek, J. 2000: Projektovanie výrobných systémov pre 21. storočie. Žilina – Žilinská univerzita. 398 s. ISBN 80-7100-553-3
- Lhotský, Oldřich. 2005. Organizace a normování práce v podniku. Praha: ASPI. ISBN 80-7357-095-5.
- Macleod, Iain. 2003. Real-world effectiveness of Ergonomic methods. Applied Ergonomics, 34(5), 465-477. ISSN 0003-6870
- Mareš, A., Senderská, K. 2012: Experiences with the application of video analysis in the manual assembly. In: Machines, Technologies, Materials. Vol. 6, no. 3 (2012), p. 17-19. ISSN 1313-0226. [cit. 2025-03-02]. Dostupné na internete: <http://mech-ing.com/journal/3-2012.html>
- Mcatamney L., Nigel Corlett E. 1993. RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. Applied Ergonomics, 24(2), 91-99. ISSN 0003-6870.
- Mertens, A., Schlick, CH. 2016. Industrial Engineering and Ergonomics: Modeling and optimizing manual work processes with MTM. Aachen: Chair and Institute of Industrial Engineering and Ergonomics. [cit. 2021-04-01]. Dostupné na internete: [https://iaw-aachen.de/files/iaw/vorlesungen/Winter/2016/IEE/IEE\\_LE05\\_WiSe16\\_Slides.pdf](https://iaw-aachen.de/files/iaw/vorlesungen/Winter/2016/IEE/IEE_LE05_WiSe16_Slides.pdf)
- MTM 2024. [cit. 2024-03-10]. Dostupné na internete: <https://www.yourarticlelibrary.com/ergonomics/work-measurement/9-basic-motion-elements-of-method-time-measurement/34568>
- MTM-1. 2019. [cit. 2024-03-09]. Dostupné na internete: [https://mtm.org/fileadmin/user\\_upload/MTM-1\\_datacard\\_2019\\_EN.pdf](https://mtm.org/fileadmin/user_upload/MTM-1_datacard_2019_EN.pdf)

- Normativy pohybů 1. díl: Metodika výuky systému MTM-1. Praha. Kovoprojekta, 1976. 282 s.
- Patel, D., Tomar, P. 2017. A Review on Optimization in Total Operation Time Through Maynard Operation Sequence Technique. International Journal of Science Technology & Engineering, 3(9), 13-16. 2349-784X
- Productivity team. 2024. [cit. 2024-08-02]. Dostupné na internete: <https://productivityteam.com/modapts-modular-arrangement-of-predetermined-time-studies>
- Productivity team. 2024. [cit. 2024-08-02]. Dostupné na internete: <https://www.proplanner.com/solutions/assembly-process-planning/time-studies>
- Rashmi, Shahu. 2016. The NIOSH Lifting Equation for Manual Lifting and Its Applications. Journal of Ergonomics, 6(2), 1-3. ISSN 2165-7556.
- Rexroth (Bosch Group) – Ergonomie Foliensatz. Drive & Control. [cit. 2022-03-20]. Dostupné na internete: <https://www.proplanner.com/solutions/assembly-process-planning/time-studies/modapts>
- Six Sigma. 2024. [cit. 2024-08-02]. Dostupné na internete: <https://www.6sigma.us/wp-content/uploads/2024/05/modapts.webp>
- Six Sigma. 2025. [cit. 2024-08-01]. Dostupné na internete: <https://www.6sigma.us/work-measurement/modapts-modular-arrangement-of-predetermined-time-standards/>
- Soukupová, V., Strachotová, D. 2006. Podniková ekonomika. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. [cit. 2021-03-10]. Dostupné na internete: [http://147.33.74.135/knihy/uid\\_ekniha-002/pdf/119.pdf](http://147.33.74.135/knihy/uid_ekniha-002/pdf/119.pdf)
- Svět produktivity: NIOSH Lifting Index. 2012. [cit. 2021-04-02]. Dostupné na internete: <https://www.svetproduktivity.cz/slovník/NIOSH-Lifting-Index.htm>
- Szombathyová, E. 2006. Transfer inovácií: Využitie metódy MTM pri racionalizácii pracovnej činnosti. Košice: Technická univerzita v Košiciach. [cit. 2021-02-23]. Dostupné na internete: <http://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/9-2006/pdf/200-202.pdf>
- Tomek, G., Vávrová, V. 2007. Řízení výroby a nákupu. Praha: Grada publishing. s. 131. ISBN 978-80-247-1479-0.
- Tomek, G., Vávrová, V. 2014. Integrované řízení výroby: Od operativního řízení výroby k dodavatelskému řetězci. Praha: Grada publishing. s. 134-136. ISBN 978-80-247-4486-5.
- Vision. 2024. [cit. 2025-03-02]. Dostupné na internete: <https://tmu-calculator.de/product/>
- Vision. 2024. [cit. 2025-03-02]. Dostupné na internete: <https://www.vision.fraunhofer.de/content/dam/vision/en/documents/webshop/brochures-and-prospectuses/industrial-image-processing/automatic-time-recording-for-manual-assembly-processes.pdf>
- Work and Time Study. 2003. Aachen – IAW Chair and Institute of Industrial Engineering and Ergonomics Aachen University.

## 2 ROZMEROVÉ REŤAZCE V MONTÁŽI

Cieľom montážneho procesu je pospájať jednotlivé súčiastky do finálneho výrobku. Pri výrobe súčiastok nie je možné vyrobiť každú súčiastku tak, aby mala vždy rovnaké rozmery a tvar. Vždy sa vyskytujú nejaké odchýlky rozmerov a tvarov od tých, ktoré sú predpísané výkresmi.

Súčiastky je potrebné navrhnuť tak, aby ich bolo možné spolu spojiť aj pri výskyte rôznych odchýlok od predpísaného rozmeru a tvaru. Súčiastky sa vyrábajú v rámci nejakých tolerancií. Keď sa súčiastka nachádza v rámci predpísaného tolerančného poľa, považuje sa za zhodnú a správne vyrobenú. Avšak aj v rámci tolerančného poľa sa rozmery a tvar súčiastky pohybuje v rámci od nejakej minimálnej hodnoty po maximálne povolenú hodnotu.

Existuje mnoho faktorov, ktoré prispievajú k odchýlkam zisteným na hotovom výrobku napr. zaťaženie a pôsobenie síl tiež zohrávajú úlohu vo variáciách na úrovni zostavy, pretože diely sa pri zaťažení deformujú.

Aj gravitačná sila môže tiež zohrávať úlohu v deformácii, najmä v prípade veľmi ohybných dielov.

Medzi zdroje všeobecných a špecifických zdrojov variácií patria (Fischer 2011):

- **Obmedzenia výrobného procesu (*Process Capability – schopnosť procesu*)**

„Výrobné procesy majú svoje limity, čo sa týka presnosti a precíznosti. Pre akýkoľvek daný proces sú určité tolerancie ľahko dosiahnuteľné bez väčšej námahy alebo starostlivosti. Tieto tolerancie sú v rámci možností procesu. Užšie tolerancie sú dosiahnuteľné, ale so zvýšenými nákladmi kvôli dodatočnému času a práci potrebnej na spracovanie alebo preto, že niektoré diely sú mimo tolerancie a sú vyhodené. Ešte užšie tolerancie môžu byť prakticky nedosiahnuteľné kvôli inherentným variáciám v procese. Ak konkrétny proces nie je dostatočne presný alebo precízny, mal by sa hľadať iný proces alebo návrh“ (Fischer 2011).

„Informácie opisujúce procesnú spôsobilosť (presnosť a správnosť) dielenských strojov sú k dispozícii od ich výrobcu a možno ich nájsť v používateľskej príručke; tieto informácie z používateľskej príručky sa však zvyčajne vzťahujú iba na nové zariadenia v špeciálnom prostredí. Na udržanie spôsobilosti zariadenia je potrebné dodržiavať mnoho faktorov a určité podmienky“ (Fischer 2011).

„Požiadavky zahŕňajú napr. aby boli stroje umiestnené vodorovne, aby boli čisté, aby neexistovali žiadne prekážky pre žiadne pracovné mechanizmy, aby nedošlo k poškodeniu žiadnych pracovných komponentov, aby boli úrovne vlhkosti a teploty kontrolované v rámci stanovených limitov a, čo je veľmi dôležité, aby boli stroje riadne udržiavané“ (Fischer 2011).

### **Opotrebovanie nástrojov**

Rezné nástroje, vrtáky, frézy, sústružnícke nože atď. sa s pribúdajúcim časom opotrebovávajú v dôsledku trenia o obrobok. Ako sa nástroje opotrebovávajú, zmenšujú sa a otupujú. To môže napríklad spôsobiť, že nástroj vyreže menší otvor alebo nekruhový otvor, alebo že strihne povrch ďalej od svojej nominálnej polohy, alebo sa zhorší drsnosť povrchu (Fischer 2011).

- ***Chyba a vplyv operátora***

„Chyba operátora zahŕňa aspekty ako nesprávna manipulácia so surovinami, nesprávne upnutie materiálu a nesprávny sled operácií a pod. V automatizovaných procesoch sú tieto chyby tiež možné, ale predpokladá sa, že s menšou frekvenciou a účinkom. Faktory ako školenie, fluktuácia personálu a denná doba môžu mať vplyv na frekvenciu a závažnosť chýb operátora“ (Fischer 2011).

„Vplyv operátora zahŕňa pôsobenie ľudských faktorov a ergonómie, napríklad či je operátor ľavák alebo pravák, vyšší alebo nižší, silnejší alebo slabší, atď. V závislosti od procesu môžu tieto faktory zohrávať úlohu pri skresľovaní procesu jedným alebo druhým smerom“ (Fischer 2011).

- ***Variácie v materiáli***

„K možným variáciám prispievajú variácie v materiáli zo zlievarne alebo materiál vytvorený alebo narezaný predchádzajúcim procesom. Primárnym záujmom pri analýze mechanickej tolerancie je variácia vo veľkosti alebo tvare suroviny alebo tvarov polotovaru, ako je hrúbka plechu, variácie veľkosti polotovaru alebo uhol medzi stranami extrudovaného štrukturálneho tvaru. Ďalšie typy variácií materiálu môžu zahŕňať aspekty, ako je tvrdosť, ťažnosť, pórovitosť, chemické zloženie alebo odpor (alebo vodivosť), atď.“ (Fischer 2011).

- ***Podmienky okolia***

„Teplota, vlhkosť, vibrácie, čistota a ďalšie faktory okolia ovplyvňujú hotový výrobok. Prevádzka stroja v prostredí mimo špecifikovaného teplotného rozsahu môže výrazne ovplyvniť proces. Chladiace systémy nemusia byť schopné udržiavať požadovanú prevádzkovú teplotu v prostredí, ktoré prekračuje špecifikované teplotné limity. Mazivá sa môžu v nadmerne horúcom prostredí rýchlejšie rozkladať a mazivá môžu byť príliš viskózne na to, aby účinne znížili opotrebovanie medzi komponentmi stroja v príliš chladnom prostredí.“

„Nedostatočný priestor okolo zariadenia môže mať tiež vplyv. Napríklad prekážky v dráhe materiálu podávaného do stroja by mohli nútiť obsluhu podávať materiál pod uhlom, čo by ovplyvnilo konečný výrobok. Nedostatočný priestor pre údržbu by tiež mohol viesť k problémom, pretože stroj, ktorý sa ťažko servisuje, sa pravdepodobne ani neservisuje. Nedostatočný priestor pre chladenie by mohol viesť k vyšším prevádzkovým teplotám, ako sa očakáva. Nedostatočný priestor pre prípojky alebo nesprávne smerovanie a zarovnanie prípojok, ako je chladiaca voda alebo odtoky, môže mať tiež škodlivé účinky na proces“ (Fischer 2011).

- ***Rozdiel v zariadení na spracovanie***

„Súčiastky vyrobené na zariadení v jednom závode, ako napríklad vertikálna vrtačka s deliacou hlavou, sa môžu vyrábať na úplne inom stroji v inom závode, napríklad na horizontálnej vrtačke s deliacou hlavou. V týchto prípadoch je samozrejme potrebné zohľadniť rôzne faktory, ako je gravitácia a možnosti stroja. V dôsledku viacerých faktorov môžu existovať aj rozdiely v kvalite súčiastok vyrobených na rovnakom modeli zariadenia v tom istom závode“ (Fischer 2011).

- **Rozdiel v procese**

„Súčiastka, ktorá sa vyrába pomocou rôznych procesov na rôznych výrobných linkách, bude mať pravdepodobne veľmi odlišné tolerancie. Každý proces a stroj ovplyvní súčiastku a jej tolerancie iným spôsobom. Napríklad, ak sa otvor odlieva pod tlakom v závode A, vyvrtáva v závode B, vyvrtáva pomocou vrtacieho puzdra v závode C a vystružuje v závode D, otvor bude mať v dôsledku každej operácie rôzne tolerancie“ (Fischer 2011).

- **Nedostatočná údržba**

„Výrobné stroje a zariadenia môžu byť zanedbávané a preventívna údržba môže chýbať. Presnosť a správnosť, ktoré boli možné, keď bol stroj nový alebo správne udržiavaný, sa časom stráca. Často je to dôsledok požiadaviek a tlakov produktivity, čo môže viesť k krátkym prestojom na údržbu. Čím ťažšie je zariadenie servisovať, tým je menej pravdepodobné, že bude servisovaný“ (Fischer 2011).

- **Variácie a nedostatky v procese kontroly**

„Hoci sa to nemusí zdať ako zdroj variácií vo výrobnom procese, je to možno jeden z najpravdepodobnejších zdrojov zjavných variácií medzi procesmi. Súčiastky sa často kontrolujú spôsobom, ktorý nezískava úplne správne informácie, ale v reálnom a rýchlom svete sa táto metóda považuje za adekvátnu aproximáciu a za riziko, ktoré sa oplatí podstúpiť. Napríklad tolerancie rozmerov sa vzťahujú na celý tolerovaný prvok (t. j. celý prvok musí byť v rámci špecifikovaných tolerancií rozmerov), ale je bežné, že sa vykonáva iba jedno meranie na jednom mieste na súčiastke“ (Fischer 2011).

„Ak sa napr. súčiastku, ktorá sa v závode vyrába v dvoch zmenách a pre každú zmenu sa kontroluje pomocou iného kontrolného procesu. Každý kontrolný proces používa rôzne metódy na „overenie“, či boli splnené tolerancie. Napriek tomu každý proces hlási rôzne výsledky pre to isté meranie. Zdanlivý nameraný rozdiel medzi súčiastkami vyrobenými počas dennej a nočnej zmeny neexistuje. Chyba je v skratkách prijatých v kontrolnom procese, nie vo výrobnom procese,“ (Fischer 2011), „Je potrebné brať do úvahy aj aspekt neistoty merania. Meranie nemôže byť presnejšie ako zariadenie použité na vykonanie merania. Vo všeobecnosti by sa presnosť a správnosť všetkých meracích zariadení a postupov mala pred vykonaním akýchkoľvek meraní otestovať a overiť. Chyba obsiahnutá v procese kontroly musí byť kvantifikovaná. Tá predstavuje neistotu v procese. Správna prax diktuje, že chyba procesu kontroly by sa mala odpočítavať od meraných limitov“ (Fischer 2011).

„Rôzne zdroje variácií inšpekčného procesu uvedené vyššie nie sú zahrnuté v tolerančných súpisoch. Existuje však jedna premenná inšpekčného procesu, ktorá musí byť zahrnutá v tolerančných súpisoch, kde môže byť faktorom: posun vzťahného prvku. Posun vzťahného prvku sa vyskytuje na výkresoch založených na GD&T (Geometric Dimensioning and Tolerancing – Geometrické kótovanie a tolerovanie) a vyskytuje sa tam, kde sú vzťahné prvky veľkosti uvedené v MMC (Maximum Material Condition) alebo LMC (Least Material Condition) v rámci riadenia prvkov“ (Fischer 2011).

- **Variácia montážneho procesu**

„Montážny proces môže mať výrazný vplyv na variácie zostáv. Je veľmi dôležité, aby konštruktér rozumel montážnemu procesu. Predpoklad nesprávneho montážneho procesu počas návrhu môže viesť k vážnym problémom. Postupnosť montážnych operácií má obrovský vplyv na vzťah medzi prvkami montovaných dielov. Napríklad, ako sú diely držané, ako a či sú upevnené, ktoré spojovacie prvky sa začínajú montovať ako prvé, či sa všetky spojovacie prvky začínajú ťahovať pred utiahnutím akýchkoľvek spojovacích prvkov, sú faktory, ktoré ovplyvňujú vzťah medzi časťami hotovej zostavy. Väčšina tolerančných reťazcov predpokladá určitý montážny proces, ako napríklad súčasné spustenie všetkých spojovacích prvkov v reťazci. Je dôležité, aby analytik tolerancií rozumel montážnemu procesu a podľa toho vytvoril rozmerový reťazec“ (Fischer 2011).

„Posun v montáži je často najväčším prispievateľom do tolerančných reťazcov najmä tam kde sú diely zostavené a umiestnené pomocou spojovacích prvkov prechádzajúcich cez otvory v párovaných dieloch. Posun musí byť zahrnutý do všetkých tolerančných reťazcov, kde sú diely umiestnené pomocou vnútorných prvkov v rámci vonkajších prvkov, ako napríklad spojovacích prvkov prechádzajúcich cez otvory s vôľou alebo pera v drážke pre pero v párovaných dieloch. Vôľa medzi párovanými vonkajšími prvkami a vnútornými prvkami umožňuje, aby sa diely počas procesu montáže posúvali, odtiaľ pochádza názov posun montáže“ (Fischer 2011).

Okrem vyššie spomínaných existujú ešte ďalšie zdroje odchýlok. Vyššie uvedené sú zdroje odchýlok, s ktorými je možné sa bežne stretnúť v priemysle (Fischer 2011).

Vzhľadom na vyššie uvedené informácie je zrejmé, že pri stanovovaní tolerancií pre jednotlivé súčiastky, je potrebné brať do úvahy celý rad faktorov a čím zložitejší je výrobok, tým náročnejšie je určenie primeraných tolerancií.

Existuje niekoľko rôznych prístupov k navrhovaniu výrobkov a z toho vyplývajúcich prístupov k stanovovaniu tolerancií súčiastok (Sahani et al, 2013):

1. **Návrh riadený inžinierstvom** – „Návrh riadený inžinierstvom je založený na predpoklade, že inžinier môže špecifikovať akékoľvek hodnoty tolerancií, ktoré považuje za potrebné na zabezpečenie vnímaných funkčných požiadaviek produktu. Tradične konštruktér priradzuje rozmerové tolerancie komponentom tesne pred zverejnením výkresov. Tieto hodnoty tolerancií sú založené na minulých skúsenostiach, najlepšom odhade, predpokladanej výrobnéj kapacite alebo metódach „vytvor, otestuj a oprav“ počas vývoja produktu. Pri určovaní tolerancií zvyčajne existuje len malá alebo žiadna komunikácia medzi inžinierskym a výrobným alebo kontrolným oddelením. Táto metóda sa niekedy nazýva prístup k inžinierskemu návrhu „cez stenu“, pretože akonáhle sú výkresy uvoľnené do výroby, výrobný a kontrolný personál musí žiť s akýmikoľvek špecifikovanými hodnotami rozmerových tolerancií“ (Sahani et al, 2013).

2. **Návrh riadený procesom** – „Návrh riadený procesom stanovuje rozmerové tolerancie, ktoré sú umiestnené na výkrese, výlučne na základe možností výrobného procesu, nie na základe požiadaviek na uloženie a funkciu medzi párovanými časťami. Keď sú vyrobené diely skontrolované a spĺňajú požiadavky na tolerancie uvedené vo

výkresoch, sú akceptované ako dobré diely. Avšak takéto diely sa môžu, ale aj nemusia dať správne zostaviť. Táto podmienka nastáva, pretože proces kontroly je schopný overiť iba špecifikácie tolerancií pre výrobný proces, a nie požiadavku na konštrukčné uloženie a funkciu párovaných častí“ (Sahani et al, 2013).

3. **Návrh riadený kontrolou** – „Návrh riadený kontrolou odvodzuje rozmerové tolerancie z očakávanej meracej techniky a zariadenia, ktoré sa použije na kontrolu vyrobených dielov. Návrh riadený kontrolou nepoužíva funkčné limity ako priradené hodnoty pre tolerancie, ktoré sú umiestnené na výkrese. Funkčné limity rozmerovej tolerancie sú limity, v ktorých musí byť prvok, aby sa diel mohol správne zostaviť a fungovať. Jedna metóda návrhu riadeného kontrolou priraduje tolerancie na základe neistoty merania meracieho systému, ktorý sa použije na kontrolu hotových dielov“ (Sahani et al, 2013).

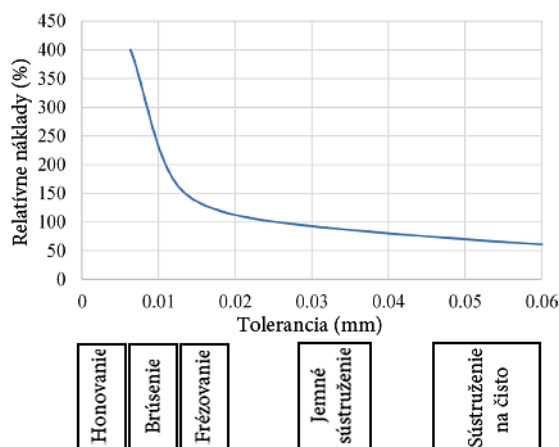
Pri definovaní tolerancií pre súčiastku je potrebné zohľadniť rôzne faktory, ako sú:

- **„Funkčnosť“:** Súčiastka musí byť schopná vykonávať svoju zamýšľanú funkciu v rámci špecifikovaných tolerancií. Napríklad, ak je súčiastkou ložisko, musí sa môcť voľne otáčať v rámci špecifikovaného rozsahu.
- **Výrobný proces:** Tolerancie musia byť dosiahnuteľné použitým výrobným procesom. Napríklad tolerancia 0,025 mm môže byť dosiahnuteľná CNC obrábaním, ale nie odlievaním.
- **Náklady:** Presnejšie tolerancie môžu vyžadovať presnejšie a drahšie výrobné procesy, čo môže zvýšiť náklady na súčiastku. Konštruktér musí vyvážiť potrebu presnosti s nákladmi na súčiastku.
- **Montáž:** Súčiastka musí správne pasovať a fungovať s ostatnými súčiastkami v zostave. Konštruktér musí zvážiť montážne tolerancie a zabezpečiť, aby boli všetky súčiastky kompatibilné.
- **Materiál:** Vlastnosti materiálu tiež zohrávajú úlohu pri určovaní tolerancií. Napríklad súčiastka vyrobená z krehkého materiálu môže vyžadovať presnejšie tolerancie ako súčiastka vyrobená z tvárnejšieho materiálu.
- **Priemyselné normy:** Konštruktér musí zvážiť priemyselné normy a predpisy, ktoré sa môžu vzťahovať na daný diel, ako napríklad tolerančné normy stanovené regionálnymi normalizačnými úradmi alebo Medzinárodnou organizáciou pre normalizáciu (ISO).
- **Skúsenosti:** Pri určovaní tolerancií zohrávajú úlohu aj skúsenosti a odborné znalosti konštruktéra. Skúsený konštruktér lepšie pochopí, aké tolerancie sú dosiahnuteľné a čo je potrebné na to, aby diel správne fungoval“ (Newtonian Word 2025).

Vo všeobecnosti konštruktér pri výbere tolerancií pre diel zváži všetky tieto faktory a urobí kompromis medzi nákladmi, funkčnosťou a vyrobiteľnosťou. Konštruktér by sa tiež mal poradiť s výrobným tímom, aby sa uistil, že tolerancie sú dosiahnuteľné a že diel je možné efektívne vyrobiť (Newtonian Word 2025).

Niekedy konštruktéri v snahe dosiahnuť 100% zmontovateľnosť súčiastok predpisujú veľmi úzke tolerancie. To má však za následok dramatický nárast

nákladov na výrobu (obr. 1) vyplývajúci z nutnosti dodatočného opracovania a s tým súvisiacimi spotrebovanými zdrojmi ako sú energie, čas, ľudská práca a pod.



Obr. 1 Zmeny nákladov s ohľadom na toleranciu obrábaných ocelových dielov (Chiang, 2024)

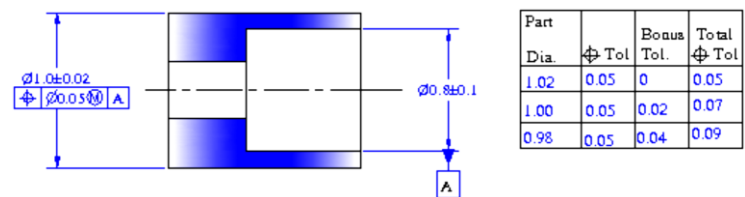
Preto je potrebné zvoliť primerane vhodné tolerancie jednotlivých súčiastok, ale zároveň zabezpečiť funkčnosť a zmontovateľnosť výrobku. Na to sa zameriava analýza rozmerových reťazcov, resp. tolerančná analýza.

Na základe konštrukčných a výrobných potrieb je možné špecifikovať geometrické tolerancie s rôznymi materiálovými podmienkami, medzi ktoré patria: podmienka maximálneho stavu materiálu (Maximum Material Condition – MMC), podmienka najmenšieho stavu materiálu (Least Material Condition – LMC) a podmienka nezohľadnenia veľkosti prvku (Regardless of Feature Size – RFS) (Lin, 2009).

- **Maximum Material Condition – MMC**

Maximálny materiálový stav prvku veľkosti je maximálne množstvo materiálu v rámci stanovených limitov veľkosti, napríklad maximálny priemer hriadeľa alebo minimálny priemer otvoru (ISO 2692). Skutočná os prvku nemusí byť priama (Cogorno 2006) (Henzold 2006).

„Na označenie, že geometrická tolerancia je špecifikovaná pomocou MMC, sa ku geometrickej charakteristike alebo k referenčnému bodu pridá symbol 'M'. Maximálny materiálový stav je konkrétne definovaný ako maximálny objem pevného telesa pre súčiastku. Preto pre vnútorné súčiastky (ako sú otvory alebo drážky atď.) je MMC na svojej minimálnej veľkosti (FOS – Feature of Size – veľkosť prvku). Pre vonkajšie súčiastky (ako sú čapy alebo svorníky atď.) je MMC na svojej maximálnej veľkosti. Keď je geometrická charakteristika špecifikovaná pomocou MMC, geometrická tolerancia môže mať bonusovú toleranciu, keď sa jej FOS blíži k stavu najmenšieho materiálu (LMC). Obrázok 2 znázorňuje konštrukčný výkres s použitím tolerancie polohy MMC s referenčným bodom A ako stredovou osou otvoru  $\varnothing 0,8$ . Z tabuľky zobrazenej na tomto obrázku vyplýva, že keď sa priemer súčiastky meria na hodnote 1,02, čo je MMC, neexistuje žiadna bonusová tolerancia a tolerancia polohy zostáva na hodnote 0,05. Ak sa však priemer meria na hodnote 0,98, čo je LMC, bonusová tolerancia sa rovná 0,04. Celková tolerancia polohy sa v tomto prípade zvýši na 0,09“ (Lin, 2009).

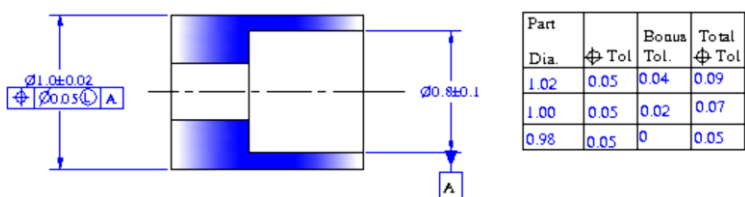


Obr. 2 Príklad výkresu s použitím MMC pre toleranciou polohy (Lin, 2009)

- **Least Material Condition - LMC**

Najmenší materiálový stav prvku veľkosti je najmenšie množstvo materiálu v rámci stanovených limitov veľkosti. Napríklad minimálny priemer hriadeľa alebo maximálny priemer otvoru (ISO 2692). Skutočná os prvku nemusí byť priama (Cogorno, 2006) (Henzold, 2006).

„Na označenie, že geometrická tolerancia je špecifikovaná pomocou LMC, sa ku geometrickej tolerancii alebo k referenčnému bodu pridá symbol 'L'. Najmenší materiálový stav je definovaný ako najmenší objem pevného materiálu pre súčiastku. Preto je pre vnútorné súčiastky LMC na svojej maximálnej veľkosti. Pre vonkajšie súčiastky je LMC na svojej minimálnej veľkosti. Keď je geometrická tolerancia špecifikovaná pomocou LMC, geometrická tolerancia môže mať bonusovú toleranciu, keď sa jej FOS blíži k svojej MMC. Obrázok 3 znázorňuje konštrukčný výkres s použitím tolerancie polohy LMC s referenčným bodom A ako stredovou osou otvoru  $\varnothing 0,8$ .



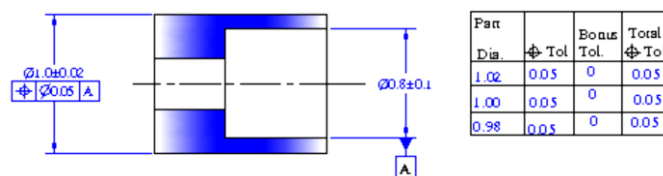
Obr. 3 Príklad výkresu s použitím LMC pre toleranciou polohy (Lin, 2009)

Z tabuľky zobrazenej na tomto obrázku vyplýva, že keď sa priemer súčiastky meria pri 1,02, čo je MMC, existuje bonusová tolerancia a tolerancia polohy sa zvýši na 0,09. Keď sa však priemer súčiastky meria pri 0,98, čo je LMC, neexistuje žiadna bonusová tolerancia. Tolerancia polohy zostáva na 0,05. LMC sa používa najmä na zaručenie väčšej minimálnej hrúbky ako pri rovnakom výkrese s použitím MMC“ (Lin, 2009).

- **Regardless of Feature Size - RFS**

Bez ohľadu na veľkosť prvku je modifikátor podmienok materiálu používaný v rámci ovládania prvku na označenie, že geometrická tolerancia alebo referenčný bod sa uplatňuje pri každom prírastku veľkosti prvku v rámci jeho limitov veľkosti. RFS špecifikuje, že nie je povolená žiadna bonusová tolerancia (Cogorno 2006).

„Na rozdiel od MMC a LMC, metóda RFS (bez ohľadu na veľkosť prvku) neposkytuje žiadnu dodatočnú geometrickú toleranciu. Koncept RFS sa používal pred zavedením princípov MMC a LMC. Obrázok 4 zobrazuje konštrukčný výkres s použitím tolerancie polohy RFS.



Obr. 4 Príklad výkresu s použitím RFS pre toleranciou polohy (Lin 2009)

Keďže k tolerancii polohy nie je pridaný žiadny modifikátor je to tolerancia polohy RFS. Z tabuľky zobrazenej na tomto obrázku vyplýva, že tolerancia polohy zostáva rovnaká bez ohľadu na zmeny veľkostí prvku“ (Lin 2009).

## 2.1 Rozmerový reťazec

Rozmerový reťazec predstavuje zostavenie nadväznosti jednotlivých súčiastok ktoré sa navzájom ovplyvňujú, ich rozmerov a tolerancií za účelom ich analýzy a určenia primeraných rozmerov a tolerancií, či už pre výsledný rozmer, alebo pre jednotlivé súčiastky v závislosti od typu analýzy.

Ide o akumuláciu jednotlivých tolerancií komponentov v rámci zostavy s cieľom určiť celkový rozsah tolerance. Tento výsledok musí byť v súlade so špecifikovanou konštrukčnou hodnotou (Umaras et al., 2023).

V rozmerovom reťazci je reťazec rozmerov a tolerancií rozdelený do dvoch skupín: rozmery, ktoré sa dodržiavajú v jednom smere, sú označené ako kladné (znamienko „+“) a rozmery, ktoré sa dodržiavajú v opačnom smere, sú označené ako záporné (znamienko „-“). Proces zoradenia tolerancií je vo všeobecnosti nasledovný:

- Identifikuje sa a označí študovaná vzdialenosť.
- Identifikujú sa kladné a záporné smery tolerančného zoradenia.
- Vytvorí sa náčrt tolerančného zoradenia.
- Rozmery v kladnom smere sa sčítajú.
- Rozmery v zápornom smere sa sčítajú.
- Celková hodnota v zápornom smere sa odpočíta od celkovej hodnoty v kladnom smere, aby sa zistila „nominálna“ vzdialenosť.
- Všetky príslušné tolerance, výskyty posunu zostavy a ďalšie premenné sa sčítajú. Toto je celková možná odchýlka.
- Polovica celkovej možnej odchýlky sa pripočíta k nominálnej vzdialenosti, aby sa zistila horná hranica vzdialenosti.
- Polovica celkovej možnej odchýlky sa odpočíta od nominálnej vzdialenosti, aby sa zistila dolná hranica vzdialenosti (Fischer 2011).

Existujú tri druhy rozmerových reťazcov: **jednorozmerné** (1D – lineárne), **dvojrozmerné** (2D – rovinné) a **trojrozmerné** (3D – priestorové) reťazce.

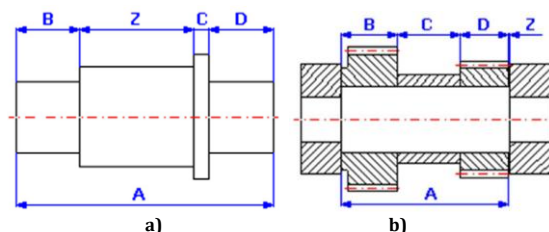
### • 1D rozmerové reťazce (lineárne)

Lineárny rozmerový reťazec je súbor nezávislých rovnobežných rozmerov, ktoré sú navzájom prepojené a vytvárajú geometricky uzavretý obvod. Môžu to byť rozmery určujúce vzájomnú polohu komponentov na jednej časti, ako je znázornené na obrázku 5(a), alebo rozmery viacerých častí v zostavenej jednotke, ako je znázornené

na obrázku 5(b). Montážnu rovnicu možno zapísať pomocou daných geometrických rozmerov (bez zohľadnenia geometrických prvkov a iných faktorov) ako:

$$Z = A - B - C - D$$

$$\text{alebo } A - B - C - D - Z = 0$$

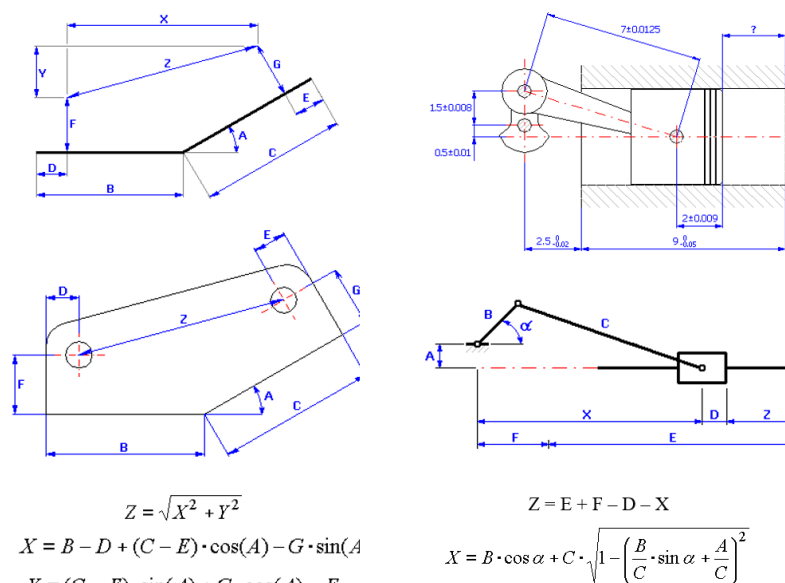


Obr. 5 Príklady jednorozmerných rozmerových reťazcov (Chiang 2024)

Je však dôležité poznamenať, že obmedzením 1D analýzy je, že vyjadrenie geometrických aspektov návrhu, ako je kolmost', rovnobežnosť alebo sústrednosť, je veľmi ťažké alebo dokonca nemožné. Ak je teda montáž alebo fungovanie konštrukcie vysoko citlivé na geometrické variácie, bude potrebné ísť nad rámec 1D a prejsť na 2D alebo 3D analýzu rozmerových reťazcov (Enventive 2025).

### • 2D rozmerové reťazce (rovinné)

Rozmerový reťazec ide nad rámec 1D napr. pohyblivé vačky, páky a pružinové komponenty, ktoré sú navzájom prepojené (obr. 6).



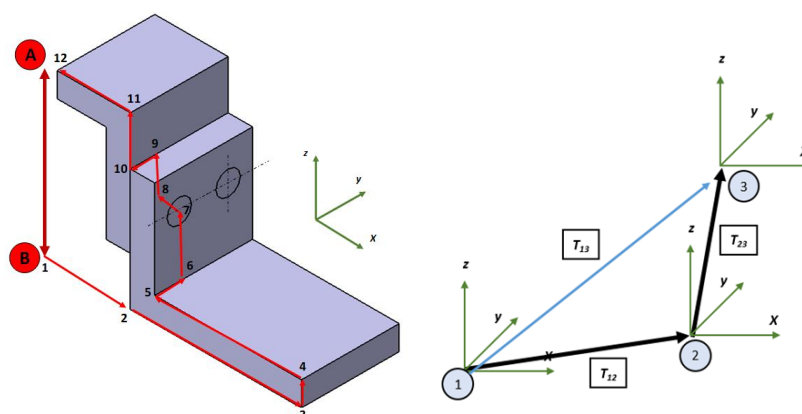
Obr. 6 Príklady dvojrozmerných rozmerových reťazcov – súčiastka (hore), rozmerový reťazec pre danú súčiastku (dole) (Petele 2025)

Veľmi často je možné sa stretnúť s takýmito konštrukciami v spotrebičoch, automobiloch, lietadlách, ale aj v zdravotníckych pomôckach. Geometrické a rozmerové tolerancie môžu ľahko ovplyvniť viac než len uloženie kombinovaných

komponentov, môžu ovplyvniť funkčnosť produktu (Enventive 2025). Príklady 2D rozmerových reťazcov podľa Peteleho sú na uvedené na (obr. 6).

- **3D rozmerové reťazce (priestorové)**

Ide o najnáročnejší typ úlohy pri riešení rozmerových reťazcov. Jednotlivé súčiastky a ich nadväzujúce resp. vzájomne sa ovplyvňujúce rozmery sú vo všetkých smeroch súradnicového systému (x, y, z) a okrem toho môžu byť ešte pootočené okolo osí x, y a z. Na zápis vzájomných vzťahov a analýzu je možné použiť matematický zápis v podobe matice. Príklad 3D rozmerového reťazca je na obr. 7.



Obr. 7 Príklad trojrozmerného rozmerového reťazca (Syam 2021)

Rozmerový reťazec je zostavený z jednotlivých **čiastkových členov** (vstupných rozmerov) a ukončený **uzatváracím členom** (výsledným rozmerom). Čiastkové členy (A,B,C,...) sú rozmery, ktoré sú na výkrese priamo zakótované alebo vyplývajú z predchádzajúcich výrobných popr. montážnych operácií. Uzatvárací člen predstavuje v danom reťazci výsledný výrobný alebo montážny rozmer, ktorý vyjde skladaním čiastkových rozmerov ako nekótovaný výrobný rozmer súčasti, resp. ako montážna vôľa alebo presah. Veľkosť, tolerancia a medzné úchylky výsledného rozmeru potom priamo závisia od veľkosti a tolerancie čiastkových rozmerov.

Podľa toho, aký vplyv má zmena čiastkového člena na zmenu člena uzatváracieho, sa v rozmerových reťazcoch rozlišujú dva typy členov:

- **členy zväčšujúce** – čiastkové členy, ktorých zväčšovaním sa uzatvárací člen zväčšuje.
- **členy znižujúce** – čiastkové členy, ktorých zväčšovaním sa uzatvárací člen znižuje.

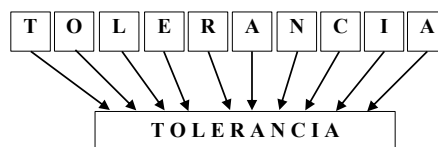
Rozmerový reťazec umožňuje analytikovi:

- „Optimalizovať tolerancie dielov a zostáv v novom návrhu.
- Vyvážiť presnosť, precíznosť a náklady s výrobnými kapacitami.
- Určiť tolerancie dielov potrebné na splnenie podmienok konečnej montáže.
- Určiť prípustné tolerancie dielov, ak je známa tolerancia zostavy.
- Určiť, či diely budú fungovať v najhorších podmienkach alebo s maximálnou štatistickou odchýlkou.

- Určiť, či špecifikované tolerancie dielov vedú k prijateľnej miere odchýlky medzi montovanými komponentmi.
- Odstrániť poruchy existujúcich dielov alebo zostáv.
- Určiť, či problémy s existujúcimi dielmi alebo zostavami sú dôsledkom návrhu alebo výrobného procesu.
- Určiť vplyv zmeny hodnoty tolerancie na funkciu zostavy.
- Preskúmať alternatívy návrhu s použitím rôznych alebo upravených dielov.
- Určiť, ako zmeny v montážnom procese ovplyvnia odchýlky medzi vlastnosťami spojovacích dielov“ (Fischer 2011).

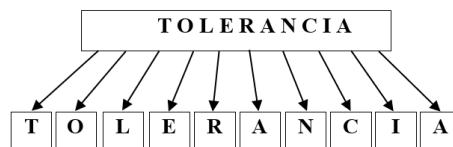
Pri riešení rozmerových obvodov sa vypočítavajú medzné rozmery alebo menovité rozmery a tolerancie členov podľa funkčných, montážnych a výrobných požiadaviek. Riešia sa spravidla dva typy úloh, a to:

- **Tolerančná analýza** (priame, kontrolné úlohy) – určujú sa rozmery a limitné úchyľky uzatváracieho člena na základe známych rozmerov a tolerancií čiastkových členov, pri týchto úlohách sa overuje správnosť príslušného konštrukčného riešenia (obr. 8).



Obr. 8 Tolerančná analýza: Súčiastky -> Systém (Chiang 2024)

- **Tolerančná syntéza** (nepriame, konštrukčné úlohy) – určujú sa rozmery a medzné úchyľky čiastkových členov na základe rozmerov a tolerancie uzatváracieho člena (obr. 9).



Obr. 9 Tolerančná syntéza: Systém -> Súčiastky (Chiang, 2024)

Ide o úlohy, ktoré sú riešené pri konštruovaní a navrhovaní montážnych skupín. Proces syntézy tolerancie slúži ako náprotivok k analýze tolerancie a vykonáva sa za nasledujúcich okolností:

1. Keď aplikovaním tolerančnej analýzy nie sú splnené špecifikované konštrukčné obmedzenia.
2. Keď sú konštrukčné obmedzenia úspešne splnené, ale je potrebné optimalizovať tolerančné premenné komponentov zostavy, aby sa vyvážili náklady a kvalita.

## 2.2 Metódy riešenia tolerančných reťazcov

Pre riešenie rozmerových reťazcov existuje viacero prístupov a metód. Analytické metódy riešenia rozmerových reťazcov podľa (Chiang 2024):

1. Metóda Maxima-Minima [Worst-case (worst-limit) method].
2. RSS metóda [Closed-form equations based on the root sum squares (RSS) method].
3. Metóda Monte-Carlo [Method of Monte Carlo].
4. Metóda maximálnej pravdepodobnosti [Maximum-likelihood method].
5. 3D rozmerová analýza - homogénne transformácie/torzor s malým posunom [3-Dimensional (3D) tolerance analysis - homogeneous transformations/small displacement torsor (SDT)].
6. 3D tolerančná analýza – analýza metódou konečných prvkov [3D tolerance analysis - finite element analysis (FEA)/skin model shapes].
7. Tolerančná mapa [T-Map (tolerance map) method].
8. Prístup založený na neurónových sieťach [Neural network-based approach].

### **Metóda "Maxima-minima" označovaná aj ako „Worst Case" (aritmetická metóda)**

Najčastejšie používaná metóda. Vychádza z podmienky dodržania požadovanej medznej úchyľky uzatváracieho člena pre akúkoľvek kombináciu skutočných rozmerov čiastkových členov.

Táto metóda zaručuje úplnú montážnu a prevádzkovú zameniteľnosť súčastí. Pri požiadavke väčšej presnosti uzatváracieho člena však vedie k príliš úzkym toleranciam čiastkových členov, teda aj k vysokým výrobným nákladom. Metóda "Worst Case" je preto vhodná na riešenie rozmerových obvodov s malým počtom členov alebo vtedy, ak je prípustná hrubšia tolerancia výsledného rozmeru. Najčastejšie je používaná v kusovej alebo malosériovej výrobe.

Úlohou metódy je nájsť minimálnu a maximálnu hodnotu, ktoré môže výsledný rozmer nadobúdať pre ľubovoľnú kombináciu skutočných vstupných rozmerov.

Počas analýzy metóda predpovedá najväčšiu odchýlku v rozmere zostavy a vyžaduje priradenie najmenších tolerancií. Výpočty najhoršieho prípadu sú vhodné, keď sa kontroluje každý prvok, aby sa vylúčili akékoľvek diely, ktoré nespĺňajú špecifikáciu, a/alebo keď je v reťazci málo (približne sedem alebo menej) rozmerov. Výhodami tejto analytickej metódy sú jej jednoduchosť a rýchlosť.

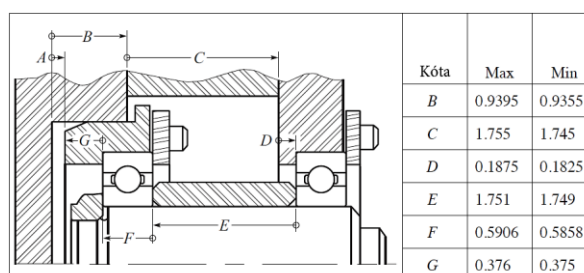
Výpočet je založený na postupnom testovaní všetkých existujúcich kombinácií rôznych (vopred vybraných) hodnôt vstupných rozmerov. Pri bežných rozmerových reťazcoch nadobúda výsledný rozmer svoje medzné hodnoty obvykle iba v rámci určitej kombinácie medzných hodnôt vstupných rozmerov. Pri vykonávaní tolerančnej analýzy sa potom u väčšiny riešených príkladov môžeme obmedziť iba na testovanie kombinácií minimálnych a maximálnych rozmerov čiastkových členov reťazca. V malom percente prípadov však vyššie uvedený predpoklad platiť nebude, a pre nájsť medzných hodnôt výsledného rozmeru bude potrebné vykonávať výpočet aj pre hodnoty vstupných rozmerov ležiace vo vnútri tolerančného intervalu. Tento prístup je uplatniteľný, keď:

- a) Objem výroby je veľmi malý.
- b) Vyžaduje sa 100-percentná akceptácia.

- c) Počet rozmerov jednotlivých komponentov v zostave je veľmi malý (Sahani et al, 2013).

„Slabou stránkou metódy je, že jej predpovede sa stávajú príliš konzervatívnymi, pretože s rastúcim počtom súčiastok v zostave sa znižuje pravdepodobnosť, že všetky jednotlivé tolerancie dosiahnu svoje najhoršie limity. Túto metódu možno použiť pri navrhovaní prípravkov a tiež na predchádzanie kolíziám robotmi“ (Sahani et al, 2013).

Ak máme rozmerový reťazec, ako je znázornený na obrázku 10, a chceme zistiť hodnotu rozmeru 'A', postupujeme nasledovne (Oberg et al, 2024):



**Obr. 10 Rozmerový reťazec a dáta (rozмеры sú uvedené v palcoch) (Oberg et al, 2024)**

Z diagramu je odvodená rovnica pre zoskupenie tolerancií. Pri označovaní rozmerov sa smer označuje konvenciou znamienka: kladné pre hore alebo vpravo; záporné pre dole alebo vľavo. Montážny rozmer je potom možné vyriešiť, ako v nasledujúcom príklade, zapísaným vo všeobecnej forme (Oberg et al, 2024):

$$A = B + C + D - E - F - G$$

Každý prispievajúci rozmer je modelovaný ako priemer ( $\mu$ ) a celková tolerancia ( $t$ ) vypočítaná z maximálnej a minimálnej hodnoty.

Priemer každého prispievajúceho rozmeru ( $\mu$ ) sa vypočíta ako:

$$\mu = \frac{\text{Max} + \text{Min}}{2}$$

Celková tolerancia ( $t$ ) každého prispievajúceho rozmeru sa vypočíta ako:

$$t = \text{Max} - \text{Min}$$

Rozmer zostavy je modelovaný ako stredná hodnota montáže ( $\mu_A$ ) a celková tolerancia montáže ( $t_A$ ). Podľa znamienok použitých vo všeobecnej rovnici rozmerový reťazec:

$$\mu_A = \mu_B + \mu_C + \mu_D - \mu_E - \mu_F - \mu_G$$

$$t_A = t_B + t_C + t_D + t_E + t_F + t_G$$

Predpokladá sa, že rozmer zostavy bude spadať medzi limitmi:

$$A_{\max} = \mu_A + \frac{t_A}{2}$$

$$A_{\min} = \mu_A - \frac{t_A}{2}$$

Výpočet hodnôt ' $\mu$ ' a ' $t$ ' pre jednotlivé kóty je uvedený na obr. 11.

| $\mu = \frac{0.9395 + 0.9355}{2} = 0.9375$ $t = 0.9395 - 0.9355 = 0.004$ | Kóta | Stredná hodnota ( $\mu$ ) | Celková tolerancia ( $t$ ) |
|--------------------------------------------------------------------------|------|---------------------------|----------------------------|
|                                                                          | B    | 0.9375                    | 0.004                      |
|                                                                          | C    | 1.75                      | 0.01                       |
|                                                                          | D    | 0.185                     | 0.005                      |
|                                                                          | E    | 1.75                      | 0.002                      |
|                                                                          | F    | 0.5882                    | 0.0048                     |
|                                                                          | G    | 0.3755                    | 0.001                      |

**Obr. 11 Výpočet hodnôt pre jednotlivé kóty (Oberget et al, 2024)**

Po dosadení do rovníc uvedených vyššie dostaneme:

$$\mu_A = 0.9375 + 1.75 + 0.185 - 1.75 - 0.5882 - 0.3755 = 0.1588$$

$$t_A = 0.004 + 0.01 + 0.005 + 0.002 + 0.0048 + 0.001 = 0.0268$$

a finálne rozmery rozmeru A budú nasledovné:

$$A_{max} = 0.1588 + \frac{0.0268}{2} = 0.1722$$

$$A_{min} = 0.1588 - \frac{0.0268}{2} = 0.1454$$

Preto sa očakáva, že zostavy budú mať hodnoty rozmeru 'A' medzi 0,1454 a 0,1722 inch.

Často je možné konštatovať, že nie je praktické ani nákladovo efektívne nastaviť hodnoty tolerancie tak nízko, aby sa dosiahlo správne uloženie v 100% prípadov. Možno v niektorých prípadoch je prípustná napríklad 0,1% miera zlyhania. V takom prípade je možné použiť štatistické techniky, ako napríklad RSS alebo simuláciu Monte Carlo, na odhad pravdepodobnosti, že všetky tolerancie sa sčítavajú tak, že súčiastky sa nebudú dať zmontovať. Ak sa dosiahne 0,1% miera zlyhania, je to 99,9% miera úspešnosti (Enventive 2025).

## Štatistické metódy

V strojárstve sa návrh produktu skladá z viacerých prvkov so stochastickými charakteristikami a rozmermi, z ktorých každý má tolerančné hodnoty, ktoré riadia štatistické aspekty týchto prvkov. Návrh štatistickej tolerancie sa používa na pochopenie toho, ako tieto stochastické tolerancie prispievajú k rôznym výkonnostným charakteristikám návrhu. Štatistická tolerančná analýza spočíva vo výpočte očakávanej odchýlky sledovaného výstupu na základe odchýlky súboru vstupov (Chiang, 2024).

Štatistická tolerančná analýza určuje pravdepodobnú alebo pravdepodobnú maximálnu možnú odchýlku pre vybraný rozmer. Podobne ako pri analýze tolerancií metódou maxima-minima sa všetky tolerancie a ďalšie premenné sčítajú, aby sa získala celková odchýlka. Táto metóda však realistickejšie predpokladá, že je veľmi nepravdepodobné, že všetky rozmery v rozmerovom reťazci budú súčasne na svojej dolnej alebo hornej hranici. V mnohých prípadoch sa súčet rozmerov a tolerancií pravdepodobne bude blížiiť k normálnemu rozdeleniu. Väčšina alebo všetky rozmery budú pravdepodobne bližšie k svojej nominálnej hodnote ako k niektorej z extrémnych hodnôt (minimálnej, maximálnej). Výsledok analýzy tolerancií metódou maxima-minima vyžaduje, aby niektoré rozmery boli na svojej dolnej hranici a iné na

svojej hornej hranici. Smer odchýlky, ako aj veľkosť odchýlky musia byť teda presne také, aby sa dosiahol najhorší prípad (Fischer, 2011).

Metódy štatistickej analýzy využívajú princípy štatistiky na uvoľnenie tolerancií komponentov bez obetovania kvality. Tento analytický model poskytuje zvýšenú flexibilitu dizajnu na akúkoľvek úroveň kvality, nielen 100 percent. Tento model analýzy nepredpokladá, že úroveň kvality zostavy musí byť rovnaká ako úroveň kvality dielu.

Najčastejšie používanými štatistickými metódami pre riešenie rozmerových reťazcov sú metódy RSS a Monte Carlo.

### **Metóda RSS (Root Sum of the Squares)**

Štandardný postup pre štatistickú tolerančnú analýzu spočíva v určení prvých štyroch momentov príslušnej funkcie hustoty pravdepodobnosti a ich použití na výber rozdelenia, ktoré opisuje variabilitu systému. V niektorých prípadoch však skutočné rozmery jednotlivých častí ležia blízko stredu tolerančného rozsahu a rozmery častí sú úzko zoskupené a v rámci tolerančného rozsahu. Zostavenie rozmerov s týmito typmi tolerančných rozdelení je možné vyriešiť iba pomocou prvých dvoch momentov, tj. priemeru a štandardnej odchýlky, s vylúčením vyšších momentov, ako je šikmosť a špicatosť (Chiang, 2024).

Práve toto zjednodušenie používa metóda RSS. Metóda predpokladá normálne štatistické rozdelenie (Gaussovo rozdelenie) so strednou a štandardnou odchýlkou pre geometrické a rozmerové hodnoty každej zložky. Metóda RSS sa používa na vykonanie analýzy skladania reťazca montážnych tolerancií s veľkým počtom komponentov. Sčítaním priemerov a kombinovaním odmocniny súčtu štandardných odchýlok táto metóda poskytuje odhad variácie pre celý tolerančný reťazec. Z tohto normálneho rozdelenia sa získa odhad miery zlyhania.

Všeobecný vzorec pre výpočet tolerancie je pre jednosmernú zostavu, ktorá má N rozmerov zarovnaných v jednom a len jednom smere, celkovú toleranciu možno posúdiť pomocou metódy RSS ako:

$$T = \left[ \sum_{n=1}^N T_n^2 \right]^{1/2}$$

kde:

T – je cieľová tolerancia

$T_n$  – je tolerancia zodpovedajúca konštrukčnému parametru  $x_n$ ,  $n = 1, 2, 3, \dots$  a N

N – je celkový počet konštrukčných parametrov

Túto rovnicu možno upraviť pre viacsmerovú zostavu ako:

$$T = \left\{ \sum_{n=1}^N \left[ \left| \frac{\partial H(x_1, x_2, \dots, x_N)}{\partial x_n} \right|^2 T_n^2 \right] \right\}^{1/2}$$

Ak sa každý rozmer rovnice štatisticky mení podľa normálneho (Gaussovho) rozdelenia, tolerancie sa sčítajú ako RSS. Metódu RSS je možné použiť s korekčným faktorom 'c' ak sa rozmery menia podľa iného rozloženia (obr. 11) (Chiang, 2024).

Ak sa vezme do úvahy šikmosť a špicatosť, metóda RSS pre všeobecný prípad s nenormálne rozdelenými rozmermi nemusí byť vhodným prístupom. Toto je však možné opraviť pomocou korekčných faktorov 'c'; nazýva sa to modifikovaná metóda strednej hodnoty.

Rovnica potom vyzerá nasledovne:

$$T = \left\{ \sum_{n=1}^N [C_n |\partial H(x_1, x_2, \dots, x_N) / \partial x_n|^2 (T_n)^2] \right\}^{1/2}$$

kde:

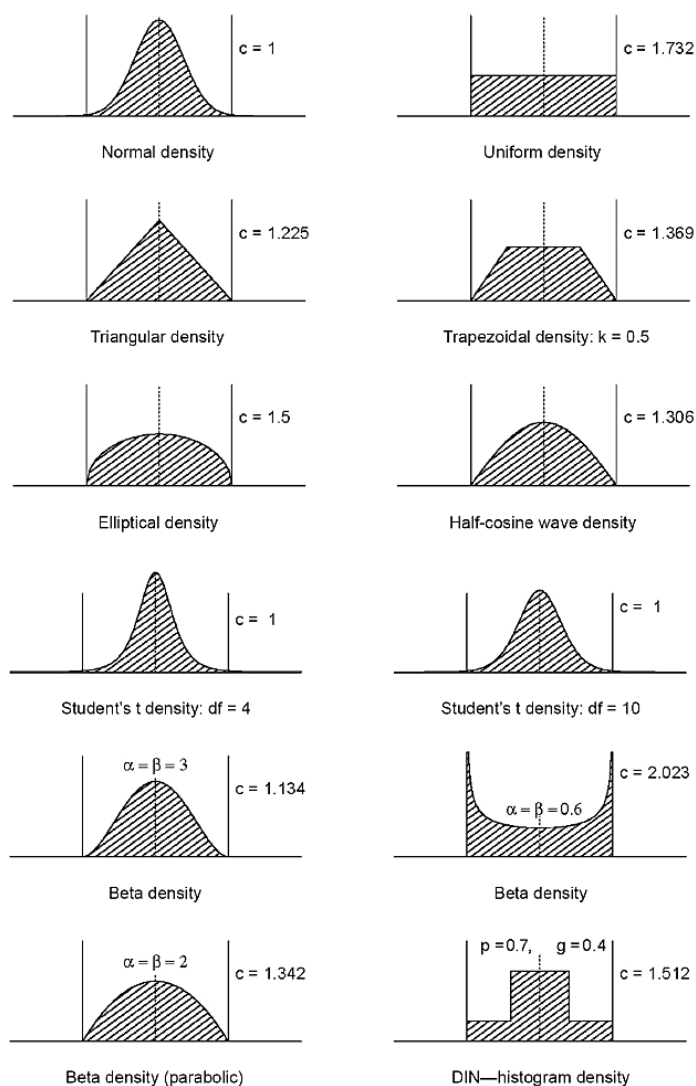
T – tolerancia zostavy,

T<sub>n</sub> – je individuálna tolerancia rozmeru 'n', kde 1 ≤ n ≤ N,

H (x<sub>N</sub>) – je funkcia zostavy,

C<sub>N</sub> – je celkový počet konštrukčných parametrov.

Príklad použitia metódy RSS pre výpočet rozmerového reťazca uvedeného na obr. 11 podľa Oberg et al, 2024.



**Obr. 11 Korekčné faktory pre aplikáciu metódy RSS na analýzu tolerancií v rôznych štatistických rozdeleniach (Oberg et al, 2024)**

Každý prispievajúci rozmer je modelovaný ako priemer ( $\mu$ ) a celková tolerancia ( $t$ ) vypočítaná z maximálnej a minimálnej hodnoty pomocou tých istých rovníc ako pri metóde Maxima-Minima.

Výpočet priemeru hodnoty A montáže ( $\mu_A$ ) je rovnaký ako pri metóde Maxima-Minima. Výpočet celkovej tolerancie montáže ( $t_A$ ) je:

$$t_A = \sqrt{t_B^2 + t_C^2 + t_D^2 - t_E^2 - t_F^2 - t_G^2}$$

Po dosadení číselných hodnôt do vzorcov dostaneme:

$$\mu_A = 0.9375 + 1.75 + 0.185 - 1.75 - 0.5882 - 0.3755 = 0.1588$$

$$t_A = \sqrt{0.004^2 + 0.01^2 + 0.005^2 + 0.002^2 + 0.0048^2 + 0.001^2} = 0.013002$$

$$A_{max} = 0.1588 + \frac{0.013002}{2} = 0.165301$$

$$A_{min} = 0.1588 - \frac{0.013002}{2} = 0.152299$$

Preto sa očakáva, že zostavy budú mať hodnoty rozmeru 'A' medzi 0,152299 a 0.165301 inch.

„Tento prístup vytvára pravdepodobné hodnoty a rozsahy, predpovedá menšie odchýlky pri montáži a umožňuje priradiť väčšie tolerancie. Hoci nezaručuje zhodu s požiadavkami, je možné predpovedať mieru zhody a chybovosti. Štatistické výpočty sú vhodné, keď do reťazca prispieva mnoho rozmerov alebo keď sa dá predpokladať, že prispievajúce rozmery sa riadia normálnym rozdelením, napríklad pri použití štatistického riadenia procesov (SPC)“ (Oberg et al, 2024).

### Metóda Monte-Carlo

Keď sú montážne zostavy zložitejšie, metódy RSS môžu ľahko stratiť potrebnú presnosť na odhadovanie miery zlyhania rozmerového reťazca, čo môže viesť k nákladným výrobným problémom alebo sa dokonca stane nepraktickým. Pre mnohé z týchto situácií je simulácia Monte Carlo veľmi užitočnou výpočtovou metódou.

Simulácia Monte Carlo využíva náhodné čísla založené na štatistickom rozdelení na vyjadrenie geometrických a rozmerových variácií jednotlivých komponentov. Uskutočňuje sa množstvo pokusov, pričom každý pokus priradzuje variáciu v jednej alebo viacerých zložkách, pričom ostatné premenné udržiava konštantné. Kombinované výsledky týchto skúšok poskytujú odhad pravdepodobnosti, že zostava nesplní požiadavky na poskladanie.

Simulácia Monte Carlo sa typicky používa s počítačovým simulačným softvérom na analýzu tolerancií, ale môže sa použiť aj s tabuľkovými modelmi. Jednoducho povedané, simulácie Monte Carlo berú všetky premenné v tolerančnej sústave, priradia každej náhodnú hodnotu v rámci jej rozsahu, odvodí výsledok, uložia výsledky, tento proces iterujú tisíckrát, spriemerujú výsledky a prípadne prezentujú predpovedané štatistické rozdelenia. Ide o čisto štatistický prístup. Ako je uvedené vyššie, analýza Monte Carlo sa často používa so softvérovými nástrojmi na 3D tolerančnú analýzu. Sú to veľmi výkonné nástroje a sú skvelé na riešenie 3D

tolerančných sústav, pretože tieto nástroje umožňujú analytikovi tolerancií pozrieť sa na mnoho kombinácií translačnej a rotačnej variácie (Fischer 2011).

### 2.3 Softvérové nástroje

Ako už bolo spomenuté vyššie, pre riešenie rozmerových reťazcov (tolerančnej analýzy a syntézy) existujú softvéri. V súčasnosti je možné nájsť nástroje pre riešenie rozmerových reťazcov aj priamo v CAD systémoch, ako štandardné moduly. Nepodporujú síce všetky metódy riešenie rozmerových reťazcov, ale postačujú na riešenie najčastejších konštrukčných tolerančných úloh. Najčastejšie podporujú metódu Maxima-Minima (Worst Case), potom metódu RSS a metódu Monte Carlo. Takéto nástroje má v sebe napr. Autodesk Inventor, SolidWorks, Creo, NX, Catia, Solid Edge, atď.

Potom existuje skupina softvérov, ktoré je možné integrovať do prostredia CAD systémov. Niektoré iné umožňujú importovať CAD modely vytvorené v CAD systémoch a následne s nimi pracovať v prostredí softvéru. Niektoré softvéry predstavujú komplexné nástroje, iné sú jednoduché jednoúčelové napr. na riešenie iba 1D rozmerových reťazcov. Nižšie sú uvedené príklady niektorých softvérov:

- 3DCS Variation Analyst – Podporuje CAD systémy: CATIA V5-V6, 3D Experience Platformu, SolidWorks, PTC Creo, Siemens NX, alebo môže pracovať samostatne. <https://www.3dcs.com/tolerance-analysis-software-and-spc-systems/3dcs-software>
- CETOL 6 $\sigma$  – Podporuje CAD systémy: PTC Creo, SOLIDWORKS, Siemens NX a CATIA. <https://www.sigmetrix.com/software/cetol>
- MATLAB <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>
- AnyLogic <https://www.anylogic.com/>
- Visual Components <https://www.visualcomponents.com/>
- Microsoft Excel
- Minitab <https://www.minitab.com/en-us/>
- ToleranceCalc (1D/2D) <https://tolerancecalc.com>
- RD8 <https://www.rd8.tech/>
- MITCalc <https://www.mitcalc.com/index.htm>
- ENVENTIVE <https://enventive.com/tolerance-analysis-resources/differences-between-1d-2d-and-3d-tolerance-stacks/>
- Delve's Tolerance Stack-Up Analysis Calculator <https://www.delve.com/insights/tolerance-stack-up-analysis-calculator>
- Sigmetrix EZtol (1D) <https://www.sigmetrix.com/blog/eztol-v2.6.0-1d-tolerance-analysis-software-now-available-from-sigmetrix>
- DCP <https://designcontrol.com/dcp-software-suite/>

## ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- Boca Raton. (2025). CRC Press (Taylor & Francis). 512 s. ISBN 978-1-4398-1572-4
- Cogorno, Gene R. (2006). Geometric Dimensioning and Tolerancing for Mechanical Design. New York – McGraw-Hill.
- Enventive Engineering, Inc. (2025). When to Use 1D, 2D, and 3D Tolerance Stack Up Analysis? [cit. 2025-02-08]. Dostupné na: <https://enventive.com/tolerance-analysis-resources/differences-between-1d-2d-and-3d-tolerance-stacks/>
- Fischer, Bryan R. (2011). Mechanical Tolerance Stackup and Analysis, Second Edition.
- Glézl, Štefan, Kamarád Josef a Slimák Ivan. (1992). Presná mechanika. Bratislava: Alfa. 720 s. ISBN 80-05-00972-0 (viaz.)
- Henzold, Georg (2006). Geometrical Dimensioning and Tolerancing for Design, Manufacturing and Inspection. A Handbook for Geometrical Product Specification using ISO and ASME Standards. Second edition. Amsterdam – Elsevier. ISBN-13: 978-0-7506-6738-8
- Chiang, Young J. (2024). Product Design and Testing for Automotive Engineering, Volume II 7.11 Homogenous Transformations for Tolerance Analysis. SAE International. [cit. 2025-02-08]. Dostupné na: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt01420081/product-design-testing/homogenous-transformations>
- Lin, Cheng (2009). AC 2009-138: Calculation of tolerance stacks using direct-position approach in geometric dimensioning and tolerancing. American Society for Engineering Education.
- Mareš, A. (2023). Základy montáže 1. 1. vyd. Košice: Technická univerzita v Košiciach 2023. 72 s. [CD-ROM]. ISBN 978-80-553-4447-8.
- Newtonian World. (2025). Engineering tolerances – introduction. [cit. 2025-02-08]. Dostupné na: <https://newtonianworld.com/engineering-drawings/engineering-tolerances-introduction/>
- Oberg, Erik Jones, Franklin D. Horton, Holbrook L. Ryffel, Henry H. McCauley, Christopher J. (2024). Machinery's Handbook (32nd Edition) - 4.2.8 Tolerance Analysis and Assignment. Industrial Press. [cit. 2025-02-10]. Dostupné na: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt013SQN82/machinerys-handbook-32nd/tolerance-analysis-assignment>
- Petele, M. (2025). Tolerance analysis of 2-D and 3-D dimensional chains. [cit. 2025-02-10]. Dostupné na: <https://www.mitcalc.com/doc/tolanalysis3d/help/en/tolanalysis3d.htm>
- Petrů, J.; Čep, R. (2012) Základy montáže. Ostrava: Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 123 s. ISBN 978-80-248-2773-5
- Sahani, A. K., Jain, P. K. & Sharma, S. C. (2013) Geometrical Tolerance Stack Up Techniques, Chapter 52 in DAAAM International Scientific Book 2013, pp. 857-872, B. Katalinic & Z. Tekic (Eds.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-901509-94-0, ISSN 1726-9687, Vienna, Austria DOI: 10.2507/daaam.scibook.2013.52. [cit. 2024-06-13]. Dostupné na: [https://www.daaam.info/Downloads/Pdfs/science\\_books\\_pdfs/2013/Sc\\_Book\\_2013-052.pdf](https://www.daaam.info/Downloads/Pdfs/science_books_pdfs/2013/Sc_Book_2013-052.pdf)
- Syam, W. (2021). 3D tolerance stack-up analysis with examples. Publikované 19.10.2021. [cit. 2024-06-13]. Dostupné na: <https://www.wasyresearch.com/3d-tolerance-stack-up-analysis-with-examples/>
- Umaras, E.; Barari, A.; Horikawa, O.; Tsuzuki, M.S.G. (2023). Dimensional Tolerances in Mechanical Assemblies: A Cost-Based Optimization Approach. Appl. Sci. 2023, 13, 9202. [cit. 2024-06-13]. Dostupné na: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/16/9202>

### 3 FLEXIBILITA, AUTOMATIZÁCIA A ROBOTIZÁCIA V MONTÁŽNOM PROCESE

Zmeny podmienok v poslednom období týkajúce sa globalizácie trhu, toku tovaru a informácií sú spôsobené hlavne vývojom logistiky, počítačových a internetových technológií. Zmeny trhu je ťažšie plánovať. Presadzuje sa pojem turbulentného prostredia. V tomto prostredí sa všetky pre výrobu a montáž relevantné parametre ako konštrukcia výrobku, konkurencia, veľkosť odbytu a existujúce technológie menia veľmi rýchlo, v krátkych časových intervaloch a často skokom. Je možné identifikovať skracovanie životného cyklu výrobkov, vzrastajúcu diverzifikáciu výrobkov so stále sa zvyšujúcim počtom variantov, ako aj značný tlak na nový technologický vývoj hlavne v oblasti nových materiálov, výrobných metód, informačnej a komunikačnej technológie, ako je napr. internet, virtuálna realita, rozšírená realita alebo umelá inteligencia.

Kľúčovým pojmom sa stáva *schopnosť zmeny*. Ide o všeobecný pojem definujúci schopnosť podniku realizovať aktívne štrukturálne zmeny na všetkých úrovniach a to s minimálnymi nákladmi. Túto schopnosť zmeny je možné považovať za centrálny pojem popisujúci spôsobilosť podniku úspešne pôsobiť v turbulentnom prostredí.

#### 3.1 Flexibilita

Najdiskutovanejším pojmom je *flexibilita (pružnosť)* výroby a montáže. Flexibilita znamená schopnosť vyrábať výrobky na mieru za rozumnú cenu a vysokej kvality, ktoré možno rýchlo dodať zákazníkovi. Flexibilitu možno interpretovať rôznymi spôsobmi v závislosti od pohľadu výrobcov a koncových používateľov. Pokiaľ ide o výrobu, flexibilita znamená schopnosť vyrábať rôzne diely bez väčšieho prestavovania. To umožňuje rýchlu zmenu pri výrobe nových produktov. Uľahčuje to aj mnohé varianty dielov alebo výrobkov, rýchlu zmenu výrobných plánov, manipuláciu s viacerými dielmi, atď. Z prevádzkového hľadiska to pomáha pri výrobe vysoko prispôbovaných výrobkov, ktoré spĺňajú špecifické potreby zákazníkov, ktoré sú strategicky výhodné. Zákazníci sú spokojní s kratšími dodacími lehotami. Flexibilita tiež poskytuje schopnosť rýchlo zvýšiť alebo znížiť úroveň výroby alebo rýchlo presunúť kapacitu z jedného produktu na druhý (Radhakrishnan, 2015).

Podľa niektorých autorov je možné rozlišovať medzi statickou a dynamickou flexibilitou, kde statická flexibilita sa týka schopnosti v definovanom čase stabilne operovať v oblasti výroby a montáže z hľadiska kvality, nákladov a času dodávky. Dynamická flexibilita popisuje schopnosť v krátkom čase bez podstatných nákladov zmeniť produkčný systém a to z hľadiska kapacity a štruktúry. Flexibilitu je možné vzťahovať na celý reťazec od dodávateľov po zákazníka (tzv. horizontálna klasifikácia), alebo na rozličné úrovne produkčného systému od jednotlivých pracovísk až k celej výrobnej a montážnej ploche (vertikálna klasifikácia).

Okrem toho je možné sa v literatúre stretnúť aj s inými spôsobmi klasifikácie flexibility, napr. Rainey (2005), definuje externú a internú flexibilitu. Externá forma

flexibility je to čo zákazník získa a interná flexibilita sú výrobné kapacity, ktoré podporujú externé potreby. Identifikované sú tri formy internej flexibility:

- Prevádzkový rozsah. To je schopnosť produkovať širokú škálu variácií vyrábaného produktu na každodennej báze. Výroba automobilov s mnohými rôznymi možnosťami konfigurácie je príkladom prevádzkového rozsahu.
- Operačná mobilita. Ide o schopnosť rýchlo prepínať medzi produktmi na dennej báze. Ak spoločnosť vyrába malé štvordverové vozidlá a potom môže rýchlo prejsť na stredne veľké štvordverové sedany, dosiahne sa vysoká operačná mobilita. Drastickým príkladom môže byť rýchly prechod od výroby hriankovačov k mixérom.
- Prevádzková jednotnosť (uniformita). Schopnosť vyrábať rovnomerne (z hľadiska výťažnosti alebo kvality) v celom rozsahu vyrábaných výrobkov (Rainey 2005).

Gunasekaran, (2001) identifikuje tri úrovne flexibility výroby:

- základné flexibility, ktoré zahŕňajú flexibilitu stroja, flexibilitu manipulácie s materiálom a flexibilitu prevádzky;
- flexibilita systému, ktorá zahŕňa flexibilitu objemu, flexibilitu smerovania a flexibilitu procesov;
- súhrnné flexibility, ktoré zahŕňajú flexibilitu výroby a flexibilitu trhu.

Flexibilita výroby nezávisí len od flexibility stroja, ale je tiež obmedzená rozhodnutiami prijatými vo fáze návrhu systému a plánovacími rozhodnutiami prijatými počas predvýrobného nastavenia (Gunasekaran 2001).

Jednotlivé druhy flexibility sú stručne popísané v tabuľke 1.

**Tab. 1 Flexibility a ich základy a obmedzenia (Gunasekaran 2001)**

| <b>Dimenzia flexibility</b>             | <b>Miera flexibility</b>                                                                    | <b>Základy a obmedzenia flexibility</b>                                                    |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Flexibilita stroja                   | Stroj môže spracovať rôzne operácie.                                                        | Rozhodnutie o výbere zariadenia.                                                           |
| 2. Flexibilita manipulácie s materiálom | Rôzne typy dielov možno prepravovať a umiestňovať na rôznych obrábacích strojoch v systéme. | Spôsob prepojenia strojov.                                                                 |
| 3. Operačná flexibilita                 | Na opracovanie typu produktu možno jednoducho použiť alternatívne sekvencie operácií.       | Rozhodnutia o vývoji výrobku a usporiadaní výrobného systému.                              |
| 4. Objemová flexibilita                 | Systém je možné prevádzkovať so ziskom pri rôznych objemoch existujúcich typov výrobkov.    | Rozhodnutia o stanovení kvót a flexibilita strojov.                                        |
| 5. Flexibilita rozšírenia               | Systém je možné budovať a rozširovať postupne s nízkymi kapitálovými investíciami.          | Modulárna kapacita (tj. dlhodobé úspory z rozsahu).                                        |
| 6. Flexibilita smerovania               | Výrobok môže efektívne sledovať alternatívne cesty systémom pre daný procesný plán.         | Postupnosť alebo plánovanie, flexibilita stroja a využitie kapacity.                       |
| 7. Flexibilita procesov                 | Systém môže vyrábať mnoho typov výrobkov bez toho, aby bolo potrebné akékoľvek nastavenie.  | Flexibilita strojov, rozhodnutia o usporiadaní výrobného systému a flexibilita smerovania. |

|                       |                                                                                                                    |                                                                                   |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 8. Flexibilita výroby | Systém môže vyrábať mnoho druhov výrobkov bez veľkých investícií do kapitálového vybavenia                         | Usporiadanie (dispozícia) strojových liniek, flexibilita rozšírenia.              |
| 9. Flexibilita trhu   | Systém sa dokáže efektívne prispôbiť meniacim sa podmienkam na trhu (zmeny v objednávkach a potrebách zákazníkov). | Flexibilita prevádzky, flexibilita manipulácie s materiálom a flexibilita výroby. |

Z pohľadu podniku sa flexibilita strojov určuje pri nákupe konkrétnych strojov od dodávateľov strojov a pri výbere z dostupných typov strojov. Rozhodnutie o výbere zariadenia sa zvyčajne prijíma po rozhodnutí o rozšírení kapacity. Z tabuľky 1 je možné vidieť, že flexibilita strojov je nevyhnutným základom pre agregovanú flexibilitu, preto je potrebné ju zohľadniť pri plánovaní kapacity. Flexibilita manipulácie s materiálom závisí od spôsobu pripojenia strojov. V pružnom výrobnom systéme (FMS – Flexible Manufacturing System) existujú dva typické spôsoby pripojenia strojov, tj. automaticky navádzané vozidlá (AGV – Automated Guided Vehicle) a iné automatizované zariadenia na manipuláciu s materiálom, ako sú palety alebo automatický dopravník. Operačná flexibilita je potrebná pri zavádzaní nového výrobku. Táto flexibilita závisí nielen od flexibility manipulácie s materiálom a flexibility strojov, ale aj od využitia kapacity a usporiadania výrobných systémov. Objemová flexibilita je určená časom nastavenia stroja, ktorý vychádza z flexibility stroja, stanovenia kvót rozhodnutia o produktovom mixe, ktoré sú súčasťou rozčleneného plánovania výroby. Požiadavka, aby sa kapacita mohla modulárne rozširovať, je druhom dlhodobých úspor z rozsahu. Ide o ziskový efekt, ktorý by sa mal sledovať pri plánovaní kapacít. Flexibilita smerovania sa zvyčajne určuje pri určovaní sekvencií alebo plánovaní operácií a je podmienená flexibilitou strojov a využitím kapacity, ktoré tiež úzko súvisia s kapacitným plánovaním. Flexibilita procesu závisí od flexibility stroja a flexibility smerovania. Na úrovni závodu to ovplyvňuje aj štruktúra výrobných liniek. Ako uvádzajú niektorí autori „obmedzená flexibilita (tj. každý systém vyrába len niekoľko výrobkov) nakonfigurovaná správnym spôsobom (tj. nakonfigurovaná tak, aby sa výrobky a výrobné systémy alebo závody v čo najväčšej miere reťazili), prináša väčšinu celkovej flexibility (tj. každý systém vyrába všetky výrobky)“. Flexibilita výroby je daná rozložením strojových liniek, flexibilitou rozšírenia. Flexibilita trhu je hlavným cieľom agilnej výroby, ktorá je integráciou flexibility prevádzky, flexibility manipulácie s materiálom a flexibility výroby (Gunasekaran 2001).

Z časového hľadiska sa flexibilita podľa rozčleňuje na krátko, stredne a dlhodobú, alebo operatívnu, taktickú a strategickú. Dôležitý je objekt na ktorý sa flexibilita vzťahuje. To môže byť na jednej strane spektrum výrobkov, metódy výroby a montáže, pracovné postupy, výrobné a montážne systémy, jednotlivé prvky a zariadenia.

V istom zmysle je súťaž o flexibilitu podobná súťaži o kvalitu v tom, že flexibilita je vágny pojem, ktorý má podobne ako kvalita viaceré rozmerov. V skutočnosti je

celkom bežné nájsť firmy, ktoré v skutočnosti nevedia, čo je flexibilita alebo čo to bude znamenať pre ich podnikanie. Tieto firmy vedia len jednu vec: musia sa stať flexibilnými (Rainey 2005).

Systém je možné označiť za **flexibilný**, ak v rámci principiálne plánovaného rozsahu charakteristík je reverzibilne prispôsobiteľný na meniace sa skutočnosti.

Príklady úspešných aplikácií flexibilnej výroby podľa Owen-Hill, (2023) sú uvedené nižšie:

1. Flexibilná výroba áut – Automobilový priemysel využíva robotizáciu a automatizáciu dlhšie ako takmer ktorýkoľvek iný priemysel. Tento trend naďalej rastie. Dnešní spotrebitelia chcú vozidlá, ktoré sú vysoko prispôsobené. Chcú si vybrať farbu, funkcie mediálneho systému a aj veľkosť motora. Príklady aplikácií robotov, ktoré by sa mohli použiť, zahŕňajú automatizované zváranie, lakovanie a montáž.
2. Flexibilná výroba oblečenia – Odevný priemysel je ďalším skvelým príkladom oblasti, kde tento prístup môže pomôcť spoločnostiam vyrábať produkty na mieru. S flexibilným systémom môže výrobca odevov rýchlo dodávať malé série odevov vyrobených na mieru. Príklady aplikácií robotov, ktoré by sa mohli použiť pri výrobe flexibilných odevov, zahŕňajú strihanie látok, balenie a kontrolu. Nike je jedným z príkladov odevnej spoločnosti, ktorá do svojich prevádzok začlenila určitú automatizáciu a flexibilnú výrobu. V priebehu rokov sa spojili s rôznymi automatizačnými spoločnosťami, aby zvýšili rýchlosť výroby a inovovali produktové rady.
3. Flexibilná výroba nábytku – Výrobcovia nábytku môžu tiež použiť flexibilnú výrobu na vytvorenie vlastných kusov. To im umožňuje vytvárať malé dávky alebo dokonca jedinečné položky, ktoré spĺňajú špecifické chute ich zákazníkov a zároveň znižujú zbytočné zásoby. Príklady aplikácií robotov, ktoré by sa mohli použiť, zahŕňajú frézovanie, potahovanie a gravírovanie.
4. Flexibilná výroba hračiek – Výrobcovia hračiek vyrábajú súčasne desiatky produktových radov s mnohými variáciami medzi rôznymi verziami toho istého produktu. Príklady aplikácií robotov, ktoré by sa mohli použiť, zahŕňajú triedenie, maľovanie a balenie. Lego je jedným z príkladov hračkárskej spoločnosti, ktorá prijala flexibilnú výrobu. V továrni spoločnosti v Billunde v Dánsku začlenili rôzne roboty a iné automatizované stroje na výrobu miliárd jednotiek ročne.
5. Flexibilná výroba potravín – Potravinársky priemysel je ďalším príkladom. Vďaka flexibilnej automatizácii môžu výrobcovia potravín zvýšiť produktivitu, zvládnuť kolísavý dopyt a optimalizovať svoju pracovnú silu. Prispôsobenia sa môžu pohybovať od jednoduchej zmeny štítku na obale až po úplnú zmenu receptúry pre rôzne stravovacie potreby. Príklady aplikácií robotov zahŕňajú balenie, označovanie a paletizáciu.
6. Flexibilita výroby zdravotníckych pomôcok – Výroba zdravotníckych pomôcok je jedným z odvetví, ktoré muselo drasticky zmeniť výrobu po zmenách na trhu počas pandémie Covid v roku 2020. Tie spoločnosti, ktoré používali flexibilný výrobný prístup, boli schopné rýchlejšie reagovať na tieto zmeny ako tie s

tradičnejším prístupom. Príklady aplikácií robotov, ktoré by sa mohli použiť, zahŕňajú starostlivosť o stroje, triedenie a testovanie produktov.

7. Flexibilná výroba kozmetiky – Výrobcovia kozmetiky môžu tiež použiť flexibilný výrobný prístup na vytváranie vlastných a malosériových produktov. Tento prístup im môže pomôcť splniť čoraz viac personalizované trendy v kozmetike. Príklady aplikácií robotov zahŕňajú balenie, kontrolu a paletizáciu. L'Oréal je príkladom kozmetickej spoločnosti, ktorá si osvojila flexibilnú výrobu. Na dosiahnutie tohto cieľa spoločnosť využíva rôzne pokročilé technológie vrátane kolaboratívnych robotov, digitálnych dvojčiat a rozšírenej reality.
8. Flexibilná výroba lodí – Odvetvie stavby lodí je ďalším príkladom toho, ako tento prístup môže vyrábať prispôsobené produkty, najmä na luxusnom konci trhu. Vďaka flexibilnému systému môžu výrobcovia efektívne vyrábať člny na mieru podľa špecifikácií svojich zákazníkov. Príklady aplikácií robotov zahŕňajú lakovanie, zváranie a vŕtanie. Firma Ocean Alexander je jedným z príkladov spoločnosti na stavbu lodí, ktorá do svojho výrobného procesu zaviedla flexibilné výrobné techniky. Vďaka tomu jej rad luxusných jacht možno prispôsobiť rôznym konfiguráciám.
9. Flexibilita výroby bicyklov – Ďalším príkladom je výroba bicyklov. Vďaka flexibilnej výrobe môžu výrobcovia bicyklov vyrábať produkty na zákazku a efektívne personalizovať svoje štandardné produktové rady. Príklady aplikácií robotov zahŕňajú zváranie, montáž a lakovanie.
10. Flexibilná výroba elektroniky – Elektronický priemysel sa neustále mení a výrobcovia neustále aktualizujú svoje produktové rady. Musia tiež rýchlo reagovať na nové technológie a akcie svojich konkurentov. Príklady aplikácií robotov zahŕňajú montáž dosky plošných spojov, testovanie produktov a balenie. Canon je príkladom elektronickej spoločnosti, ktorá investovala do automatizácie a flexibilnej výroby. Vlastný automatizačný systém spoločnosti zahŕňa technológie ako roboty, strojové videnie a umelú inteligenciu na čo najefektívnejšiu výrobu elektronických produktov.

Ako je možné z uvedených príkladov vidieť, flexibilná výroba má uplatnenie bez ohľadu na to o aké priemyselné odvetvie ide. Prijatím flexibilného prístupu môže firma rýchlejšie reagovať na zmeny na trhu, držať krok s požiadavkami zákazníkov na väčšiu personalizáciu a prispôsobiť sa meniacim sa požiadavkám na produkty.

Taktiež je možné vidieť, že dosiahnutie flexibility sa spája s automatizáciou v rôznych jej podobách.

### **3.2 Automatizácia**

Automatizácia výroby sa týka buď mechanizácie výrobných procesov a operácií v (i) materiálovom toku alebo (ii) automatizácii podpory rozhodovania v informačnom toku. V závislosti od stupňa nahradenia ľudí strojmi možno automatizáciu výroby rozdeliť na tvrdú automatizáciu, programovateľnú automatizáciu a plnú automatizáciu. V súlade s tým sa pridelovanie úloh ľuďom a strojom mení v závislosti od úrovne automatizácie (Bi, 2020).

### **Tvrdá automatizácia**

Podľa (Bi, 2020) pri tvrdej automatizácii je postupnosť operácií spracovania pevne daná riadenými premennými v programe. Operácie sa vykonávajú postupne, pretože ich poradie je vopred definované. Komplikovanosť tvrdej automatizácie závisí najmä od typov operácií stroja ktoré zvládne. Čím viac operácií môže stroj vykonávať, tým zložitejšia a drahšia bude tvrdá simulácia. Vo všeobecnosti sa tvrdá automatizácia vyznačuje vysokými počiatočnými nákladmi a vysokou rýchlosťou výroby. Preto je tvrdá automatizácia vhodná pre nepretržitý výrobný tok a diskrétné systémy hromadnej výroby, kde je na produkty veľmi vysoký dopyt a objem. Príkladmi tvrdej automatizácie sú destilačné procesy, lakovne, dopravníky a prepravné linky. Tvrdá automatizácia je použiteľná za nasledujúcich okolností:

1. Veľké objemy, ale obmedzené varianty výrobkov z hľadiska veľkostí, tvarov, materiálov a funkcií.
2. Dopyt po výrobkoch je stabilný a predvídateľný na obdobie dvoch až piatich rokov.
3. Očakáva sa vysoká priepustnosť výroby.
4. Zníženie výrobných nákladov je hlavnou stratégiou na udržanie konkurencieschopnosti na trhu.

### **Programovateľná automatizácia**

Programovateľná automatizácia sa používa na premenlivú postupnosť výrobných operácií, pri ktorých sa stroje môžu prekonfigurovať pomocou riadiacich systémov. Automatizačné riešenia pre stroje sú schopné generovať riadiace programy pre rôzne výrobné procesy na výrobu variantov výrobkov. Postupnosť operácií sa vzťahuje na súbor počítačových inštrukcií, ktoré sa vydávajú strojom. Naprogramovať stroje alebo sekvencie operácií pre rôzne výrobky je však netriviálna úloha. Preto investícia do programovateľných zariadení je ekonomicky atraktívna len vtedy, keď sa výrobné procesy nemenia veľmi často. Programovateľná automatizácia je obzvlášť užitočná pre procesy dávkovej výroby, kde je objem produktu stredný až vysoký (Bi, 2020).

### **Plná automatizácia**

Cieľom plnej automatizácie je vyrábať širokú škálu výrobkov z jedného produktu na druhý s minimálnym časom prechodu. V ideálnom prípade môžu byť hardvérové aj softvérové systémy automaticky prekonfigurované pomocou počítačových programov. Pri preprogramovaní a rekonfigurácii automatizovaného systému pre ďalšie produkty nedochádza k žiadnym stratám výrobného času. Plne automatizovaný systém je schopný vytvárať rôzne kombinácie a harmonogramy na vykonávanie výrobných procesov pre výrobky. Toto sa zásadne líši od scenárov programovateľnej automatizácie, podľa ktorých sa varianty výrobkov vyrábajú v samostatných dávkach v poloautomatických paradigmách. Plne automatizovaný systém je vybavený niektorými plne automatizovanými zariadeniami, ako sú napríklad automaticky navádzané vozidlá (AGV), roboty a počítačové numerické riadenie (CNC). Plná automatizácia sa uplatňuje v nasledujúcich scenároch:

1. Spoločnosť má svoje obchodné stratégie na uspokojenie vysoko diverzifikovaných potrieb zákazníkov. Produktový mix vyžaduje kombináciu rôznych častí, komponentov a produktov, ktoré musia byť vyrobené v rovnakom výrobnom systéme.
2. Životné cykly produktov sú relatívne krátke a požadované objemy produktov sú veľmi nepredvídateľné a rýchlo sa menia s ohľadom na čas; výrobné zariadenia potrebujú častú modernizáciu na prijatie nových funkcií a technológií a na uspokojenie diverzifikovaných potrieb nových zákazníkov.
3. Spoločnosť vyrába produkty veľkosti jednej šarže alebo produkty s veľkým objemom, dodacie lehoty produktov sú veľmi krátke a požiadavky na produkty sú veľmi dynamické a nepredvídateľné (Bi, 2020).

Všeobecne sú ciele automatizačných projektov zamerané hlavne na nasledovné oblasti:

1. Zvýšenie efektívnosti a produktivity – Primárnym cieľom automatizácie je zefektívniť procesy a eliminovať manuálne zásahy všade tam, kde je to možné. Automatizáciou opakujúcich sa úloh môžu podniky výrazne zvýšiť efektivitu a umožniť zamestnancom zamerať sa na strategickjšie činnosti s pridanou hodnotou.
2. Zníženie počtu chýb a konzistentnosť – Automatizácia minimalizuje riziko ľudskej chyby a zabezpečuje vyšší stupeň presnosti úloh. Ďalším kľúčovým cieľom je konzistentnosť, keďže automatizované systémy vykonávajú úlohy jednotne, čím prispievajú k celkovej kvalite výstupov.
3. Úspora nákladov a optimalizácia zdrojov – Jedným z hlavných cieľov automatizácie je zníženie prevádzkových nákladov. Automatizované procesy vyžadujú menej zdrojov, čo z dlhodobého hľadiska vedie k úsporám nákladov. Okrem toho môžu podniky optimalizovať alokáciu zdrojov a maximalizovať tak využitie dostupných aktív.
4. Zvýšenie rýchlosti vykonávania činností – Automatizácia výrazne zvyšuje rýchlosť vykonávania úloh. To je obzvlášť výhodné v dnešnom rýchlo sa rozvíjajúcom obchodnom prostredí, kde včasná realizácia môže byť rozhodujúcim faktorom pri získavaní konkurenčnej výhody.
5. Rozhodovanie založené na údajoch – Automatizácia uľahčuje zber a analýzu obrovského množstva údajov v reálnom čase. Cieľom je poskytnúť podnikom použiteľné poznatky, podporovať informované rozhodovanie a strategické plánovanie (Automation Tools 2004).

Davim, (2019) ako dôvody automatizácie vo výrobe uvádza:

- Zvýšenie produktivity práce a zníženie nákladov na pracovnú silu.
- Odstránenie rutinných, kancelárskych a všedných prác.
- Zmiernenie nedostatku kvalifikovanej pracovnej sily.
- Zvýšenie bezpečnosti pracovníkov znížením počtu nebezpečných pracovných miest.
- Zlepšenie kvality výrobkov zachovaním výrobných procesov s prísnejšou toleranciou.

- Skrátenie času potrebného na výrobu.
- Vykonávanie prác, ktoré presahujú možnosti ľudí.

Bi, (2020) na základe prác iných autorov uvádza súhrnné zhrnutie výhod maximalizácie mechanizácie a automatizácie nasledovne:

1. Zvýšenie produktivity ľudských zdrojov. Automatizácia výrobného procesu skráti časy výrobných cyklov a zvýši produktivitu ľudských zdrojov. To vedie k zvýšenému výkonu výroby za jednotku času.
2. Zníženie potreby pracovnej sily. Neustále sa zvyšujúce náklady na pracovnú silu boli a budú trendom industrializovaných spoločností vo svete. V dôsledku toho sa tradične vysoké investície do automatizácie stali ekonomicky opodstatnenými, aby nahradili čoraz drahšiu pracovnú silu.
3. Zmiernenie dôsledkov nedostatku pracovnej sily. V mnohých vyspelých krajinách je všeobecný nedostatok pracovnej sily. To podnietilo vývoj automatizačných riešení v modernej výrobe.
4. Znížiť alebo odstrániť rutinné manuálne a administratívne úlohy. Automatizácia má významné sociálne hodnoty, aby odbremenila ľudské zdroje od operácií, ktoré sú rutinné, nudné, únavné a prípadne nepríjemné. Automatizácia zlepši pracovné podmienky ľudí vo výrobnom prostredí.
5. Zvýšenie bezpečnosti pracovníkov. Automatizácia presúva pracovníkov z účasti na samotných výrobných procesoch do dozorných úloh, aby schvaľovali a monitorovali procesy. To poskytlo impulz pre automatizáciu.
6. Udržiavanie stálej kvality výrobku. Na rozdiel od manuálnych operácií, automatizácia vykonáva úlohy s konzistentnou kvalitou; tým sa zníži chybovosť.
7. Skrátenie času dodania. Dodacia lehota je čas, ktorý uplynie od okamihu, keď zákazník zadá objednávku výrobku, do okamihu, keď je výrobok doručený zákazníkovi. Automatizácia môže skrátiť čas výroby vďaka vyššej produktivite. Spoločnosť môže získať svoju konkurenčnú výhodu, aby v budúcnosti zachytila viac zákaziek. Okrem toho pomáha znižovať počet rozpracovaných dielov vo výrobe.
8. Vykonávať zložité procesy, ktoré nie je možné vykonať manuálne. Mnohé výrobné procesy sú mechanizované, pretože presahujú ľudské schopnosti, napríklad vytváranie zložitých geometrických prvkov na výrobkoch, vytváranie rozmerových prvkov s vysokou presnosťou alebo výroba výrobkov s extrémne malými alebo veľkými rozmermi. Príkladmi nevyhnutnej automatizácie sú rýchle prototypovanie a výroba integrovaných obvodov.
9. Zníženie nákladov prostredníctvom hromadnej výroby alebo hromadnej úpravy na mieru. Počiatočná investícia do výroby je uľahčená množstvom produktov, ktoré sú vyrobené tou istou sadou strojov a nástrojov. Čím vyššia je produktivita automatizovaného systému, tým viac produktov sa vyrába a tým nižšie sú náklady na každú jednotku produktu.

Automatizačná technika je v montáži hospodárna tam, kde sa používajú pružné systémy, ktoré je možné rýchlo prestaviť. Pozostávajú z jednoduchých a opakovateľne použiteľných dielcov modulárnej konštrukcie. Neautomatizuje sa to čo

je možné automatizovať, ale to čo je z hľadiska automatizácie hospodárne. Tieto nové automatizované systémy sú zvyčajne jednoduchej konštrukcie a nižšej komplexnosti pričom sa častejšie používajú stolové roboty, pomocou ktorých sa dajú dobre automatizovať jednoduché úkony. Plne automatizované systémy sú drahé a náchylné k poruchám. Automatizované pracoviská resp. ich časti sú často kombinované ručnými pracoviskami.

Dosiahnutie cieľov automatizácie v závislosti od oblasti, ktorá sa automatizuje. Napriek existencii normy, ktorá definuje stupeň automatizácie (DIN 191903) nie je dnes k dispozícii jednotná metodika hodnotenia stupňa automatizácie. Z tohto dôvodu je tiež obtiažne navzájom porovnávať údaje pochádzajúce z rôznych zdrojov.

### Obmedzenia a predpoklady automatizácie

Automatizácia je možná iba v prípade splnenia nasledujúcich podmienok:

- Proces musí mať taký charakter, aby sa dal algoritmizovať.
- Proces musí umožňovať uplatnenie technických prostriedkov, obvykle senzorov na získavanie rozličných informácií o stave systému.
- Vykonávané činnosti sa musia opakovať. Opakovateľnosť operácií je možné zabezpečiť napr. aplikáciou princípov štandardizácie, normalizácie a unifikácie.

Výrobný sektor je v súčasnosti na prahu novej éry automatizácie, ktorá je založená predovšetkým na pokroku v elektronike a robotike, umelej inteligencii, strojovom učení, veľkých objemoch dát a internete vecí. To umožňuje výrobnému sektoru dosahovať takú efektivitu ako nikdy predtým. V mnohých prípadoch sú pri súčasnej automatizácii stroje schopné prekonať ľudí. Patria medzi ne aj niektoré úlohy založené na kognitívnych schopnostiach. Bezmyšlienkovitá automatizácia sa však z dlhodobého hľadiska nemusí ukázať ako nákladovo efektívna. Preto by sa mala zvážiť optimálna rovnováha a automatizácia by sa mala zabezpečiť v správnych oblastiach a v požadovanom množstve (Davim 2019).

### 3.3 Robotizácia

Jedným s veľmi rozšírených spôsobov automatizácie je aplikácia robotov, alebo povedané inak „robotizácia“. Pojem **robot** použil po prvý krát v roku 1920 Karel Čapek vo svojej knihe „R.U.R. Rossum's Universal Robots“ a odvodil ho od slova robota. Vývoj robotov postupoval v súlade s vývojom riadenia, počítačov a elektroniky. Američania Willard Pollard a Harold Roselund navrhli v roku 1938 prvý programovateľný mechanizmus na nanášanie laku (striekanie). V súčasnosti existuje celé spektrum robotov pre rôzne aplikácie napr. v priemysle, domácnostiach, poľnohospodárstve, službách, medicíne, armáde, vesmíre, zábave a pod.

Prístupy ku klasifikácii robotov sú taktiež rôznorodé. Napríklad firma Intel delí roboty na:

Jedným s veľmi rozšírených spôsobov automatizácie je aplikácia robotov, alebo povedané inak „robotizácia“. Pojem **robot** použil po prvý krát v roku 1920 Karel Čapek vo svojej knihe „R.U.R. Rossum's Universal Robots“ a odvodil ho od slova robota. Vývoj robotov postupoval v súlade s vývojom riadenia, počítačov a

elektroniky. Američania *Willard Pollard* a *Harold Roselund* navrhli v roku 1938 prvý programovateľný mechanizmus na nanášanie laku (striekanie). V súčasnosti existuje celé spektrum robotov pre rôzne aplikácie napr. v priemysle, domácnostiach, poľnohospodárstve, službách, medicíne, armáde, vesmíre, zábave a pod.

Prístupy ku klasifikácii robotov sú taktiež rôznorodé. Napríklad firma Intel delí roboty na:

- Autonomné mobilné roboty (Autonomous Mobile Robots – AMRs) – Autonomné mobilné roboty (AMR) sa stávajú dôležitými motormi priemyselného pokroku. Tieto robotické zariadenia, vybavené autonómnymi navigačnými a prevádzkovými zručnosťami, efektívne vykonávajú úlohy v širokej škále sektorov, od skladov až po kritickú infraštruktúru. Cieľom je zefektívniť prevádzkové procesy, zaistiť bezpečnosť a zlepšiť presnosť (Robotnik 2024).
- Automaticky navádzané vozíky (Automated Guided Vehicles – AGVs) – vozíky pohybujúce sa autonómne po určenej ploche, zvyčajne slúžiace na prepravu dielov. Okrem priemyslu nachádzajú uplatnenie napr. aj v nemocniciach, na prepravu pacientov a zdravotníckeho materiálu a pod.
- Kĺbové roboty – najčastejšie používané roboty v priemysle. Niekedy sa označujú ako robotické ramená alebo ako angulárne roboty.
- Humanoidné roboty – roboty, ktoré svojou štruktúrou a kinematikou kopírujú stavbu ľudského tela.
- Kolaboratívne roboty – Koboty (Cobots) – roboty, ktoré môžu byť v bezprostrednej blízkosti pracovníkov a môžu s nimi spolupracovať tak ako spolupracujú ľudia navzájom.
- Hybridné roboty – rôzne typy robotov sa často kombinujú a vytvárajú hybridné riešenia, ktoré sú schopné vykonávať zložitejšie úlohy. Napríklad AGV možno skombinovať s robotickým ramenom na vytvorenie robota na manipuláciu s balíkmi v sklade.

V iných literárnych zdrojoch je možné sa stretnúť aj s inými klasifikáciami, ale takmer v každej z nich je možné stretnúť sa s kategóriou „industrial robots“ t.j. priemyselné roboty, ktoré sú najčastejšie zastúpené kĺbovými robotmi. Je to z toho dôvodu, že v priemysle ide o najrozšírenejšiu kategóriu robotov a zároveň ide o oblasť kde sa roboty používajú najdlhšie.

### **3.4 Priemyselné roboty**

Pojmom "priemyselný robot" označujeme komplexný technický systém, skladajúci sa z viacerých funkčných subsystémov, ktoré sa nachádzajú vo vzájomnej interakcii a charakterizujú celý systém z hľadiska pružnosti a možnosti nasadenia. Tieto subsystémy vykonávajú čiastkové operácie procesu manipulácie a zároveň ich synchronizujú s. operáciami ostatných subsystémov priemyselného robota, výsledkom čoho je celková operácia. Najdôležitejšími subsystémami priemyselných robotov sú kinematika, efektory, pohony, riadenie, senzory, programovací systém a počítač na realizáciu riadiaceho programu.

Prvý priemyselný robot vyvinuli George Devol, americký vynálezca a zakladateľ prvej robotickej spoločnosti v histórii Unimation a jeho partner Joseph Engelberger. V roku 1959 bol v USA predstavený robot „Unimate“ – hydraulická ruka (s hmotnosťou 1815 kilogramov) používaná na zdvíhanie ťažkých bremien. Robot sa mohol pohybovať nahor a nadol v osiach X a Y, mal otočné kliešťové chápadlo a mohol sa riadiť programom s až 200 pohybmi uloženými v pamäti na magnetickom bubne. Unimate sa dal nasadiť na mnohé úlohy, najmä na tie, ktoré boli pre človeka príliš náročné alebo nebezpečné, ako napríklad zdvíhanie 34-kilogramových bremien bez únavy a práca v prostredí toxických výparov, a začal transformáciu automobilového priemyslu na oblasť rozsiahlej automatizácie (Thomson 2024, IFR 2024).

Prvý v priemysle nasadený priemyselný robot na svete sa používal na výrobnú linku v automobilovom závode General Motors Ternstedt v Trentone v štáte New Jersey v roku 1961, kde sa vyrábali kľučky dverí a okien, gombíky radiacej páky, svietidlá a iné kovania pre interiéry automobilov. Robot Unimate ukladal na seba horúce kusy kovových odliatkov. Výroba robota stála 65 000 USD, ale spoločnosť Unimation ho predala za 18 000 USD (Thomson 2024, IFR 2024).

### **Základné funkčné podsystémy priemyselného robota**

Konfiguráciu montážnych robotov tvoria viaceré funkčné podsystémy, ktoré sú vo vzájomnej interakcii a ktoré charakterizujú celý systém z hľadiska pružnosti a aplikačných možností. Medzi základné komponenty robota patria (Niku 2020):

1. **Manipulátor alebo mechanická jednotka.** Mechanická jednotka sa vzťahuje na manipulačné rameno robota a jeho základňu. Nástroje, ako sú koncové efekторы, meniče nástrojov a chápadlá, sú pripojené k rozhraniu nástroja na zápästie. Mechanická jednotka pozostáva z vyrobeného konštrukčného rámu s ustanoveniami na podporu mechanických väzieb a kĺbov, vedení, pohonov, regulačných ventilov, obmedzovacích zariadení a snímačov. Fyzické rozmery, dizajn a nosnosť robota závisia od požiadaviek aplikácie (Gupta 2017). Bez ďalších prvkov samotný manipulátor nie je robot.
2. **Koncový efektor.** Je to časť, ktorá je pripojená k poslednému kĺbu (ruke) manipulátora a ktorá spravidla manipuluje s predmetmi, vytvára spojenie s inými strojmi alebo vykonáva požadované úlohy. Vo všeobecnosti môžeme rozlíšiť dva druhy koncových efektorov a to: **chápadlo** (uchopovač – gripper) a **nástroj** (tool). Chápadlá sú zariadenia, ktoré sa používajú na držanie alebo uchopenie predmetu. Patria sem mechanické ruky a všetko ostatné ako sú háky, magnety a prísavky, ktoré sa môžu použiť na držanie alebo uchopenie. Nástroje sú zariadenia, ktoré roboty používajú na vykonávanie operácií napr. vŕtačky, striekacie zariadenia, brúsky, zvaracie horáky a akékoľvek iné nástroje, ktoré slúžia na vykonanie konkrétnej práce (Gupta, 2017).

Výrobcovia robotov vo všeobecnosti nenavrhujú ani nepredávajú koncové efekторы. Vo väčšine prípadov dodávajú len jednoduché chápadlo. Vo všeobecnosti má ruka robota prostriedky na pripojenie špeciálnych koncových efektorov, ktoré sú špeciálne navrhnuté na daný účel. Úlohou inžinierov

spoločnosti alebo externých konzultantov je vybrať alebo navrhnúť a nainštalovať koncový efektor na robota a zabezpečiť jeho funkčnosť v danej situácii napr. zváracie horáky, striekacie pištole na farby, zariadenia na nanášanie lepidla, manipulátory s dielmi a pod. Vo väčšine prípadov buď činnosť koncového efektora riadi riadiaca jednotka robota (prostredníctvom signálov, ktoré vysíela do koncového efektora), alebo riadiaca jednotka komunikuje s riadiacim zariadením koncového efektora (napríklad programovateľný logický controler – PLC).

3. **Pohony.** Aktuátory sú „svaly“ manipulátorov. Riadiaca jednotka vysíela signály do aktuátorov, ktoré následne pohybujú kĺbmi a článkami robota. Bežné typy sú servomotory, krokové motory, pneumatické aktuátory a hydraulické aktuátory. V špecifických situáciách sa používajú ďalšie nové aktuátory. Aktuátory sú pod kontrolou riadiacej jednotky.
4. **Senzory.** Senzory sa používajú na zber informácií o vnútornom stave robota alebo na komunikáciu s vonkajším prostredím. Riadiaca jednotka robota potrebuje vedieť, kde sa nachádzajú jednotlivé články robota, aby vedela, aká je konfigurácia robota. Senzory integrované do robota posielajú informácie o každom kĺbe alebo článku do riadiacej jednotky, ktorá určuje konfiguráciu robota. Roboty môžu byť vybavené vonkajšími zmyslovými zariadeniami, ako je systém videnia, dotykové a hmatové senzory, syntetizátor reči a podobne, ktoré umožňujú robotovi komunikovať s vonkajším svetom. (Niku, 2020) Senzory dokážu detekovať objekty alebo vnímať podnety z prostredia, ako je teplo alebo svetlo, a potom tento signál prevádzať do analógovej alebo digitálnej formy, aby ho robot pochopil, a potom môže konať podľa informácií poskytnutých snímačom. Existujú rôzne typy senzorov:
  - Senzory videnia: Pomáhajú robotovi vidieť veci. Napríklad kamera, snímač snímok alebo jednotka na spracovanie obrazu.
  - Senzory priblíženia: Tento typ snímača pomôže robotovi vypočítať vzdialenosť od všetkých objektov v jeho okolí.
  - Proprioceptívne senzory: Tento typ snímačov pomáha robotovi porozumieť sebe samému a pomáha mu udržiavať jeho vnútorný stav, napríklad stav nabitia batérie, zmeny prúdu, zmeny tepla atď. (AlMaadeed 2020).

Iné členenie senzorov je delenie na senzory dotykové a bezdotykové.

5. **Riadiaca jednotka (Controller).** Riadiaca jednotka prijíma svoje údaje z procesora (mozgu systému), riadi pohyby akčných členov a koordinuje pohyby s informáciami o senzorickej spätnej väzbe. Predpokladajme, že na to, aby robot vybral súčiastku z koša, je potrebné, aby jeho prvý kĺb dosiahol uhol 35°. Ak kĺb ešte nie je v tejto polohe, riadiaca jednotka vyšle signál do pohonu (prúd do elektromotora, vzduch do pneumatického valca alebo signál do hydraulického servoventilu), čo spôsobí jeho pohyb. Potom meria zmenu uhla kĺbu prostredníctvom snímača spätnej väzby pripojeného ku kĺbu (potenciometer, kódovač atď.). Keď kĺb dosiahne požadovanú hodnotu, signál sa zastaví. V

sofistikovanejších robotoch je rýchlosť koncového člena a sila vyvíjaná robotom tiež ovládaná riadiacou jednotkou.

6. **Procesor.** Procesor je mozgom robota. Vypočítava pohyby kĺbov robota na základe programov, ktoré spúšťa, určuje, koľko a ako rýchlo sa musí každý kĺb pohybovať, aby dosiahol požadovanú polohu a rýchlosť, a dohliada na koordinované činnosti riadiacej jednotky a senzorov. Procesor je vo všeobecnosti počítač, ktorý funguje ako všetky ostatné počítače, ale je určený na tento účel. Vyžaduje operačný systém, programy a periférne vybavenie, ako je monitor, a má rovnaké obmedzenia a možnosti. V niektorých systémoch sú radič a procesor integrované do jednej jednotky. V iných sú to samostatné jednotky. A v niektorých prípadoch, hoci ovládač poskytuje výrobca, procesor nie. Výrobca očakáva, že používateľ si zabezpečí vlastný procesor.
7. **Softvér.** V robote sa používajú tri skupiny softvérových programov. (i) Operačný systém prevádzkuje procesor. (ii) Robotický softvér vypočítava potrebné pohyby každého kĺbu na základe kinematických rovníc robota. Tieto informácie sa odosielať do riadiacej jednotky. Tento softvér môže byť na mnohých rôznych úrovniach, od strojového jazyka až po sofistikované jazyky používané modernými robotmi. (iii) Súbor aplikačne orientovaných rutín a programov sa vyvíja s cieľom používať robota alebo jeho periférne zariadenia na špecifické úlohy, ako je montáž, nakladanie do stroja, manipulácia s materiálom atď. To zahŕňa ďalšie rutiny videnia, keď je robot vybavený systémom videnia.

### **Výhody a nevýhody robotov**

Roboty ponúkajú špecifické výhody pracovníkom, odvetviám a krajinám. Pri správnom zavedení môžu priemyselné roboty zlepšiť kvalitu života tým, že pracovníkov oslobodia od špinavej, nudnej, nebezpečnej a ťažkej práce. Dá sa teda povedať, že roboty dávajú ľuďom možnosť obsadiť pracovné miesta, ktoré dokážu lepšie vykonávať. Je pravda, že roboty môžu spôsobiť nezamestnanosť tým, že nahradia ľudských pracovníkov, ale roboty tiež vytvárajú pracovné miesta, ako sú robotickí technici, predajcovia, inžinieri, programátori a supervízori (Gupta 2017).

#### ***Medzi výhody používania robotov patria:***

- Zvýšenie produktivity, bezpečnosti, efektívnosti, kvality a konzistentnosti výrobkov pomocou robotov.
- Roboty môžu pracovať v nebezpečných prostrediach bez potreby ochrany života podpory, pohodlia alebo obáv o bezpečnosť.
- Roboty nepotrebujú komfort prostredia, ako je osvetlenie, klimatizácia, vetranie a ochranu pred hlukom.
- Roboty môžu pracovať nepretržite bez toho, aby pociťovali únavu alebo nudu, nemajú kocovinu a nepotrebujú zdravotné poistenie ani dovolenku.
- Roboty majú vždy opakovateľnú presnosť, pokiaľ sa niečo nestane alebo sa neopotrebnú.

- Roboty a ich príslušenstvo a senzory môžu mať schopnosti presahujúce schopnosti človeka.
- Roboty môžu byť oveľa presnejšie ako ľudia (Gupta 2017), (Niku 2020).

#### **Medzi nevýhody používania robotov patrí:**

- Roboty nahrádzajú ľudských pracovníkov, čo spôsobuje ekonomické problémy, ako napr. a sociálne problémy, ako je nespokojnosť a odpor medzi pracovníkmi.
- Roboty nemajú schopnosť reagovať v núdzových situáciách, pokiaľ sa situácia nepredvída a reakcia nie je zahrnutá v systéme. Sú potrebné bezpečnostné opatrenia, aby sa zabezpečilo, že nezrania operátorov a nepoškodia stroje, ktoré s nimi pracujú.
- Roboty, hoci sú v určitých ohľadoch lepšie, majú obmedzené schopnosti v:
  - Poznávanie, tvorivosť, rozhodovanie a porozumenie.
  - Stupne voľnosti a obratnosti.
  - Senzory a systémy videnia.
  - Reakcia v reálnom čase.
- Roboty sú nákladné vzhľadom na počiatočné náklady na zariadenie, náklady na inštaláciu, na periférie, na potrebu integrácie do výrobného procesu, potrebu školenia a potrebu programovania (Gupta 2017), (Niku 2020).

#### **Klasifikácia robotov**

Priemyselné roboty je možné klasifikovať z rôznych hľadísk.

#### **Klasifikácia robotov podľa kinematickej schémy**

1. So sériovou kinematikou.
2. S paralelnou kinematikou.
3. S hybridnou kinematikou.

#### **Roboty so sériovou kinematikou**

Sériová kinematika robota je charakteristická otvoreným kinematickým reťazcom, v ktorom sú jednotlivé kinematické dvojice usporiadané za sebou. Pohyb koncového člena kinematického reťazca je výsledkom na seba nadväzujúcich pohybov jednotlivých kinematických členov. Pričom jednotlivé členy sa môžu pohybovať nezávisle na sebe. Začiatok kinematického reťazca je spojený so základňou robota. Podľa kombinácie rotačných (R) a translačných (T) kinematických dvojíc polohovacieho zariadenia, sa sériové priemyselné roboty rozdeľujú na: kĺbové, SCARA, kartézské, cylindrické, sférické (DailyAutomation 2024).

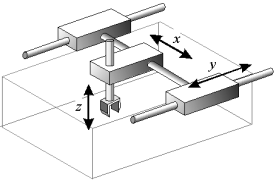
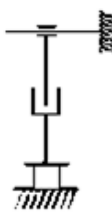
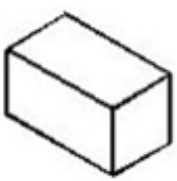
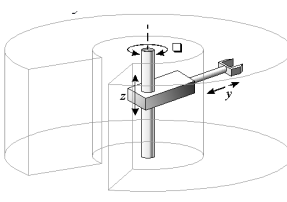
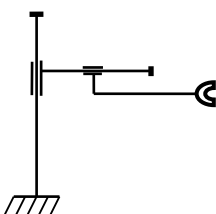
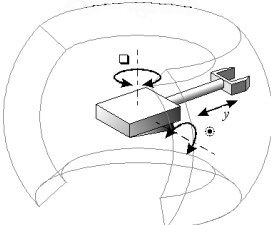
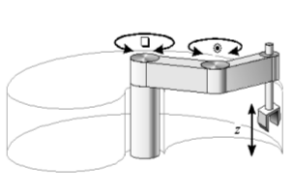
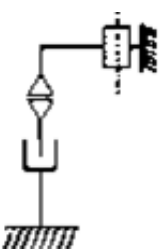
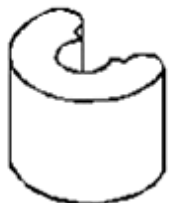
#### **Medzi nevýhody robotov so sériovou kinematikou patrí:**

- Chyby v jednotlivých kĺboch robota, akými sú napr. vôle, sa navzájom spočítavajú.
- Prvá os robota je zaťažená najviac (nesie váhu všetkých osí) a každá ďalšia os je zaťažená váhou nasledujúcich. Z toho vyplývajú požiadavky na pohony a maximálnu nosnosť robota.

- Jednotlivé osi sú zaťažené ohybovými a torznými silami (DailyAutomation 2024).

V tabuľke 2 sú uvedené príklady sériovej kinematiky robotov.

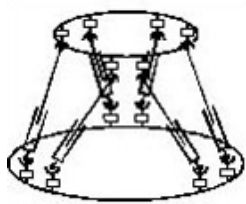
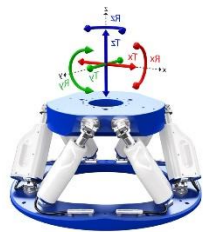
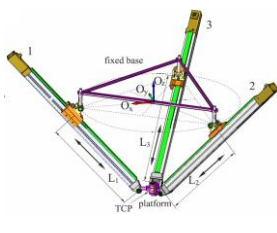
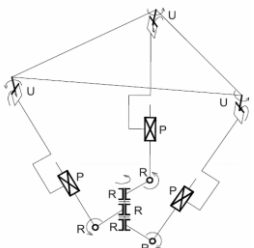
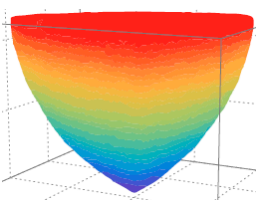
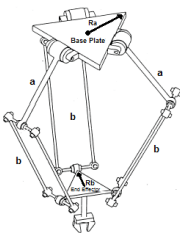
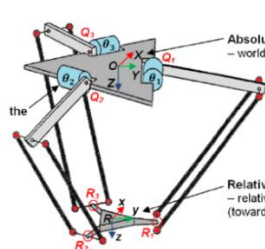
**Tab. 2 Typy robotov so sériovou kinematikou**

| Typ robota                                                                          | Kinematická schéma                                                                  | Pracovný priestor                                                                    | Príklad                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <u>Karteziánsky</u>                                                                 |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|    |    |     |    |
| <u>Cylindrický</u>                                                                  |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|   |   |   |   |
| <u>Sférický</u>                                                                     |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|  |  |  |  |
| <u>Scara</u>                                                                        |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|  |  |   |  |
| <u>Kĺbový</u>                                                                       |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|  |  |  |  |

## Roboty s paralelnou kinematikou

Paralelná kinematika je špecifická uzatvoreným kinematickým reťazcom. Takýto mechanizmus sa skladá zo základne (bázy) prepojenej s pohyblivou platformou prostredníctvom minimálne dvoch paralelných členov (ramien). Pohyblivá platforma môže mať od troch do šiestich stupňov voľnosti. Jej pohyb je daný súčasným pohybom všetkých ramien. Paralelné roboty môžu mať rôznu kinematiku a rôzny počet stupňov voľnosti. (DailyAutomation) V tabuľke 3 sú uvedené príklady paralelnej kinematiky robotov.

Tab. 3 Typy robotov s paralelnou kinematikou

| <u>Hexapod</u>                                                                      |                                                                                     |                                                                                      | Fanuc F200iB                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |    |    |
| <u>Tripod</u>                                                                       |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|   |   |   |   |
| <u>DELTA</u>                                                                        |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|  |  |  |  |

**V porovnaní so sériovými robotmi majú paralelné mechanizmy tieto výhody:**

- Konštrukcia nie je zaťažaná ohybovými silami, ale vzniká priaznivejšie tlakové resp. ťahové zaťaženia.
- Pohybujúce sa časti majú nižšiu hmotnosť.
- Vysoká presnosť.
- Umožňujú vyššie pracovné rýchlosti a zrýchlenia.

Hlavnou nevýhodou paralelných kinematických mechanizmov je malý pracovný priestor (DailyAutomation 2024).

## **Roboty s hybridnou kinematikou**

Sú kombináciou paralelnej a sériovej kinematickej štruktúry. Spájajú v sebe výhody sériovej a paralelnej kinematiky.

### **Podľa počtu stupňov voľnosti delíme roboty nasledovne:**

Stupeň voľnosti je počet nezávislých pohybov, ktoré môže robot vykonať vzhľadom na svoju základňu. Manipulátor potrebuje minimálne 6 stupňov voľnosti, aby mohol voľne pohybovať objektom v 3D priestore. Na základe toho možno roboty klasifikovať ako:

1. Univerzálny robot: Má 6 stupňov voľnosti. Šesť stupňov voľnosti stačí na to, aby robot dosiahol všetky polohy a orientácie v 3D priestore.
2. Redundantný robot: Má viac ako 6 stupňov voľnosti napr. 7 stupňov voľnosti – priemyselný robot s tromi základnými stupňami voľnosti, plus tromi stupňami voľnosti v zápästí a siedmym stupňom voľnosti spočívajúci v schopnosti pohybovať sa pozdĺž jednej osi smerom tam a späť po podlahe.
3. Nedostatočný robot: Má menej ako 6 stupňov voľnosti napr. štyri stupne voľnosti sú typické pre konfiguráciu robotického ramena (SCARA) (AlMaadeed 2020), (Gupta 2017).

### **Podľa nosnosti delíme priemyselné roboty a manipulátory na:**

- mikroroboty s nosnosťou do 0,1 kg,
- malé s nosnosťou od 0,1 do 10 kg,
- stredné s nosnosťou od 10 do 100 kg
- veľké s nosnosťou od 100 do 1000 kg,
- ťažké s nosnosťou 1000 kg a viac.

### **Klasifikácia priemyselných robotov a manipulátorov podľa presnosti polohovania:**

- veľmi presné s odchýlkou  $\pm 0,01$  mm
- so zvýšenou presnosťou  $\pm 0,1$  mm
- s normálnou presnosťou  $\pm 1,0$  mm
- s nízkou presnosťou viac ako  $\pm 1,0$  mm

### **Klasifikácia priemyselných robotov a manipulátorov podľa vyhotovenia:**

- normálne,
- prachu vzdorné,
- teplovzdorné,
- koróziiovzdorné,
- odolné proti výbuchu.

Z hľadiska **realizovaných funkcií** rozdeľujeme roboty na:

- **manipulačné**, realizujúce zmenu polohy objektov montáže, ich orientáciu, polohovanie a upnutie. Typické nasadenie je pri obsluhu montážnych strojov a jednotiek, paletizácií a depaletizácií objektov montáže a pod.
- **technologické**, určené na priamu realizáciu montážnych operácií skrutkovania, vŕtania, vyvrtávania, rezania závitov, brúsenia, spájkovania, zvárania, lepenia a pod.
- **univerzálne**, určené na plnenie manipulačných, technologických a iných funkcií v montážnom procese.
- **špeciálne**, určené pre realizáciu úzko špecializovaných funkcií montážneho procesu.

### 3.4.1 Základné parametre priemyselných robotov

**Nominálna nosnosť** – maximálne zaťaženie, ktoré môže pôsobiť na mechanický efektor za normálnych operačných podmienok bez zhoršenia udávaných výkonných charakteristík. Nominálna nosnosť predstavuje súčet hmotnosti koncového efektora, príslušenstva a predmetu manipulácie.

**Limitná nosnosť** – maximálne zaťaženie, ktoré môže pôsobiť na mechanický efektor bez poškodenia, alebo spôsobenia porúch mechanizmu robota, pri obmedzených operačných podmienkach v porovnaní s podmienkami pri nominálnej nosnosti.

**Dosah** – je to maximálna vzdialenosť, ktorú robot môže dosiahnuť v rámci svojho pracovného priestoru. Veľkú časť pracovného priestoru robota možno dosiahnuť s ľubovoľnou požadovanou orientáciou (tzv. dexterné body). Pre ostatné body blízko hranice dosahu robota však nemožno určiť požadovanú orientáciu (tzv. nedexterné body). Dosah je funkciou kĺbov robota a dĺžok jeho väzieb a jeho konfigurácie. Ide o dôležitú špecifikáciu pre priemyselné roboty, ktorá sa musí zohľadniť pred výberom a inštaláciou robota (Niku 2020).

**Maximálne axiálne zaťaženie** – maximálne súvisle pôsobiace axiálne zaťaženie mechanického interface bez trvalého poškodenia mechanickej časti robota.

**Maximálny krútiaci moment** – maximálny súvisle pôsobiaci krútiaci moment na mechanickom interface bez trvalého poškodenia mechanickej časti robota.

**Rýchlosť** – vzdialenosť, ktorú vykoná určitý bod za jednotku času.

**Individuálna rýchlosť** – rýchlosť, ktorou sa pohybuje do stanovenej pozície individuálna os.

**Dráhová rýchlosť** – rýchlosť, pozdĺž špecifickej dráhy obdržaná pri súvislom 10 m dráhovom riadení, ktorú generujú zložky rýchlosti pozdĺž niekoľkých osí.

**Zrýchlenie** – veľkosť zmeny rýchlosti určitého bodu za jednotku času.

**Individuálne zrýchlenie** – zrýchlenie pri generovaní pohybu individuálnej osi.

**Dráhové zrýchlenie** – zrýchlenie dosiahnuté pri súvislom 10 m dráhovom riadení, ktoré generuje zrýchlenie v niekoľkých osiach takým spôsobom, že mechanický interface, alebo príslušný stredový bod nástroja dosiahne požadovanú rýchlosť na požadovanej dráhe.

**Presnosť pozície (polohovanie)** – rozdiel medzi naprogramovanou pozíciou

(polohou) a priemerom skutočných pozícií (polôh) pri pohybe do naprogramovanej pozície z toho istého smeru.

**Opakovateľnosť pozície** – stupeň zhody medzi pozíciami a orientáciami obdržaných pozícií po n-opakovaniach pohybu do tej istej naprogramovanej pozície v tom istom smere.

**Viacsmerná presnosť pozície** – absolútna presnosť – rozdiel medzi rôznymi priemernými (strednými) obdržanými pozíciami dosiahnutými pri n-násobnom opakovaní tej istej naprogramovanej pozície z troch kolmých smerov.

**Dráhová presnosť** – schopnosť robota sledovať svojím mechanickým interface naprogramovanú dráhu n-krát v tom istom smere.

**Dráhová opakovateľnosť** – miera zhody medzi dosiahnutými dráhami pri n-opakovaniach tej istej naprogramovanej dráhy.

**Presnosť dráhovej rýchlosti** – rozdiel medzi naprogramovanou rýchlosťou a priemernou hodnotou pri n-opakovaniach obdržaných rýchlostí merané na mechanickom interface.

**Kolísanie dráhovej rýchlosti** – max. odchýlka rýchlosti počas jedného opakovania s naprogramovanou rýchlosťou.

**Statická poddajnosť** – max. miera posunutia na jednotku zaťaženia pôsobiaceho na mechanický interface.

**Rozlišovacia schopnosť** – najmenšia vzdialenosť alebo uhol, ktorý môže vykonať každá os robota. Cyklus – vykonávanie užívateľského programu.

**Čas cyklu** – čas potrebný na vykonanie cyklu.

**Štandardný cyklus** – sled pohybov robota pri vykonávaní bežnej úlohy vykonávanej za špecifických podmienok a považovanej za referenčnú úlohu.

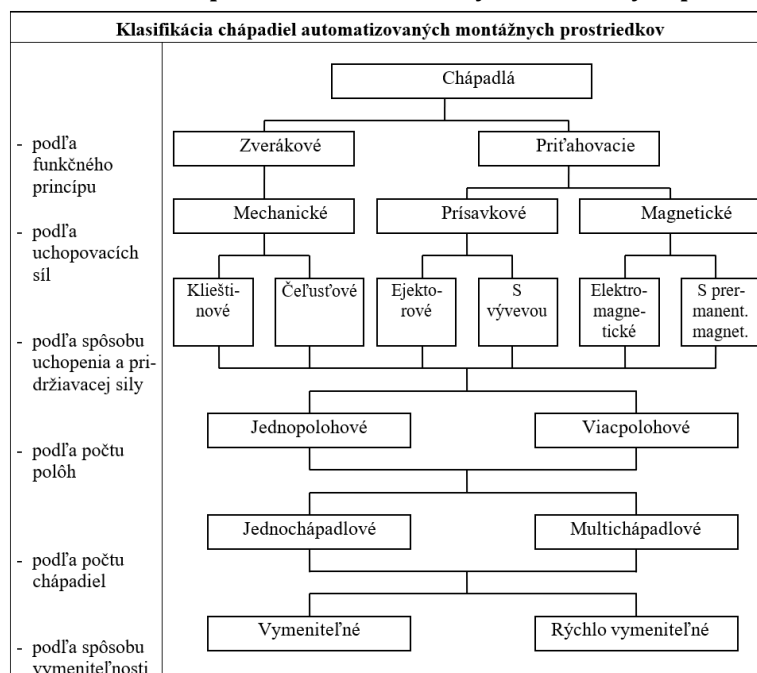
### 3.4.2 Efektory montážnych robotov

Robotická technika je pre realizáciu jednotlivých operácií vybavená príslušnými mechanickými nástrojmi, s pasívnymi resp. aktívnymi prostriedkami, umiestnenými na konci hlavných kinematických reťazcov. Táto časť konštrukcie tvorí v podstate výstup celého zariadenia, ktorá bezprostredne realizuje príslušné operácie, preto býva nazývaná ako koncový efektor (tab. 4).

Ako už bolo spomenuté, koncový efektor môže byť chápadlo alebo nástroj. V tabuľke 4 je prehľad druhov chápadiel.

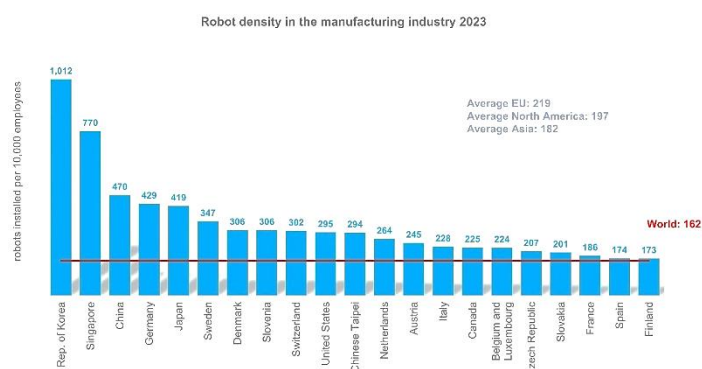
Terminológia nie je dodnes celkom jednotná. Jednotliví autori pracujúci v uvedenej oblasti využívajú rôzny pojmový slovník (napr.: výstupná hlavica, uchopovacie zariadenie, chápadlo, a pod.), čo pri štúdiu uvedenej oblasti prináša niektoré nezrovnalosti.

**Tab. 4 Klasifikácia chápadiel automatizovaných montážnych prostriedkov**



### 3.4.3 Aplikácia priemyselných robotov

Význam priemyselných robotov neustále rastie, čo možno vidieť aj na neustálom raste ich počtu nasadení. Čo sa týka hustoty nasadenia robotov vyjadrenej podľa počtu robotov na 10 000 zamestnancov (obr. 1) celosvetový priemer je 162 robotov, priemer v Európskej únii je 219 robotov a na Slovensku je to 201 robotov na 10 tis. pracovníkov.



**Obr. 1 Počet robotov na 10 000 pracovníkov v priemysle (IFR 2024)**

Čo je však na uvedenej štatistike najzaujímavejšie je fakt, že globálna priemerná hustota robotov dosahuje v roku 2023 rekordných 162 jednotiek na 10 000 zamestnancov, čo je viac ako dvojnásobok počtu nameraného len pred siedmimi rokmi (74 jednotiek). Vyplýva to zo správy World Robotics 2024, ktorú predstavila Medzinárodná federácia robotiky (IFR 2024).

Investície do robotizácie sú čoraz častejšie motivované nielen snahou nahradiť ľudí, ale čoraz častejšie aj tým, že na trhu práce nie je dostatok ľudí na vykonávanie

príslušnej práce či už z dôvodu nedostatočnej kvalifikácie, alebo aj neochoty ľudí danú prácu vykonávať.

Zároveň správne nasadenie robotov umožní ľahšie dosiahnuť flexibilitu požadovanú na súčasnom náročnom globálnom trhu.

Hlavné oblasti aplikácie robotov v priemysle sú nasledovné (Gupta 2017), (Radhakrishnan 2015):

- |                               |                                    |
|-------------------------------|------------------------------------|
| • Vkládanie komponentov       | • Dávkovanie materiálov            |
| • Bodové zvarovanie           | • Obrábanie (napr. frézovanie)     |
| • Oblúkové zvarovanie         | • Balenie                          |
| • Vŕtanie otvorov             | • Paletizácia                      |
| • Rezanie                     | • Montážne operácie                |
| • Lakovanie striekaním        | • Strojové nakladanie a vykládanie |
| • Čistenie kovových predmetov | • Lepenie                          |
| • Odlievanie do foriem        | • Dokončenie                       |
| • Obsluha strojov             | • Lisovanie/formovanie             |
| • Leštenie/dokončovanie       | • Kontrola výrobkov                |
| • Prenášanie dielov           | • Skenovanie                       |

#### **3.4.4 Hlavné oblasti aplikácie robotov v automobilovom priemysle**

Automobilový priemysel bol prvým užívateľom robotov. Roboty sú široko nasadzované v automobilovom priemysle už desiatky rokov pre vykonávanie rôznorodých úloh. Najväčší počet priemyselných robotov je v súčasnosti vo výrobných oblastiach ako technológia trieskového obrábania, tlakového liatia kovov, plošného a objemového tvárnenia, výroby výliskov z plastov, oblúkového a bodového zvarovania, v montáži a v manipulácii s materiálom. Hlavné oblasti ich nasadenia v automobilovej výrobe.

1. Bodové a oblúkové zvarovanie.
2. Lakovanie, tesnenie a povrchové úpravy.
3. Montáž.
4. Obrábanie.
5. Transport súčiastok.
6. Obsluha strojov.
7. Odstraňovanie materiálu.
8. Logistika.
9. Kontrola kvality.

Pre automobilový priemysel je charakteristické, že má montážne operácie, ktoré sú automatizované na 100% alebo takmer na 100% (typickým príkladom je karosáreň resp. zvarovňa, kde sa vyrába karoséria automobilu) a má montážne operácie, kde dominuje ručná práca (napr. finálna montáž automobilov). Ešte donedávna pri automatizácii finálnej montáže existovali neprekonateľné prekážky pre automatizáciu týchto činností, jednak kvôli zložitosti úloh a jednak kvôli veľmi vysokým nákladom potrebným na automatizáciu. Vývoj techniky však napreduje a

začínajú sa objavovať riešenia, ktoré dovoľujú aj automatizáciu činností, ktoré predtým nebolo efektívne automatizovať.

V súčasnosti sa môžeme stretnúť s automatizáciou montážnych procesov v nasledovných oblastiach (Owen-Hill 2024):

1. Adhézne spájanie – zahŕňa spojenie dvoch povrchov pomocou chemického činidla, aby sa vytvorilo silné spojenie. Najbežnejším príkladom je lepenie. Automatizácia lepenia pomocou robota je jednoduchá dávkovacia úloha.
2. Skrutkovanie – Skrutkovanie je jednou z najbežnejších automatizovaných montážnych úloh. Robot vyberie skrutku z automatického podávača skrutiek. Potom zaskrutkuje skrutku do obrobku pomocou skrutkovacieho koncového efektora. S bežne dostupným riešením robotického skrutkovania je možné rýchlo a jednoducho nasadiť skrutkovacieho robota do montážneho procesu.
3. Skrutkovanie skrutky s maticou – je jednou z najbežnejších metód spájania vo výrobe. Zahŕňa zoskrutkovanie matice a skrutky dohromady. Robotické skrutkovanie môže byť jednoduché (ako zaskrutkovanie skrutky do diery so závitom) alebo zložitejšie, ak matica nie je upevnená.
4. Spájkovanie – sa používa vo výrobe elektroniky na upevnenie komponentov na dosky plošných spojov. Horúca spájkovačka sa priloží ku kovovým kontaktom a spájka sa na nich roztaví. Robotické spájkovanie je čoraz bežnejšou formou automatizácie montáže, pri ktorej sa používa špeciálny spájkovací nástroj.. Robotické spájkovanie je čoraz bežnejšou formou automatizácie montáže pomocou špeciálneho spájkovacieho nástroja.
5. Spájkovanie na tvrdo – je proces trvalého spojenia dvoch kusov kovu dohromady pomocou spájky pri vyššej teplote ako pri spájkovaní. Robotické spájkovanie na tvrdo je možné, ale rovnako ako zváranie si vyžaduje špeciálne nastavenie.
6. Viazanie káblov – je to rýchly a ľahko zvrátny spôsob spájania dvoch predmetov. Bežne sa používajú na spájanie káblov a rúrok. Najzložitejšou časťou viazania káblov pomocou robota je počiatočné vloženie konca. Jedným z riešení by mohlo byť použitie automatickej pištole na viazanie káblov ako koncového efektora.
7. Klinčovanie – je spôsob spájania plechov bez zvárania alebo spojovacích prvkov. Zahŕňa mechanickú deformáciu kovu, čím sa vytvorí pevný spoj. Robotické klinčovanie je možné, vyžaduje si však veľké priemyselné roboty a vlastné nástroje.
8. Krimpovanie – podobne ako klinčovanie, zahŕňa spojenie dvoch alebo viacerých materiálov ich deformáciou. Bežným príkladom je krimpovanie drôtu na pripojenie drôtu ku konektoru. Krimpovacie koncové efektory pre roboty ešte nie sú rozšírené, ale existuje mnoho automatických krimpovacích nástrojov, ktoré by sa mohli integrovať do robota.
9. Vkládanie – je možno prvá operácia, ktorá väčšine ľudí napadne, keď premýšľa o „montáži“. Ide o jednoduché zasunutie jednej súčiastky do druhej s cieľom vytvoriť mechanické spojenie. Úlohy vkladania sa dajú pomocou robotov veľmi ľahko automatizovať, najmä ak sa používajú programovacie funkcie, ako je napríklad vyhládávanie v špirále (Spiral Search).

10. Uzlenie – Uzly sú spôsob, ako spojiť laná a iné šnúry. Je to jedna z najjednoduchších metód spájania pre nás ľudí. Viazanie uzlov s robotmi je veľmi zložitá úloha a je témou mnohých prebiehajúcich výskumov.
11. Upevnenie pomocou magnetu – Niekedy je potrebné vytvoriť montážny spoj, ktorý sa dá ľahko rozobrať a mnohokrát znova spojiť. Na tento účel je upevnenie pomocou magnetu jednou z najbežnejších metód spájania. To, aké ľahké resp. ťažké je automatizovať konkrétnu úlohu upevnenia pomocou magnetu prostredníctvom robota, závisí od konkrétnej úlohy.
12. Pribíjanie alebo zošívanie – Montážne úlohy pribíjania a zošívania zahŕňajú zatĺkanie pevných kovových spojovacích prvkov v tvare kolíkov do dvoch kusov materiálu. Robotické pribíjanie je celkom bežné. Úloha vyžaduje špeciálny automatický koncový efektor na zošívanie (klincovanie).
13. Nitovanie – je bežnou a vysoko účinnou metódou mechanického spájania. Zahŕňa zatlačenie kovového nitu do dvoch kusov materiálu a deformáciu nitu, čím sa vytvorí pevný spoj. Robotické nitovanie je možné pomocou špeciálneho nitovacieho koncového efektora.
14. Rozklepávanie – zahŕňa spojenie dvoch komponentov s presahom. Kovový alebo plastový "kolík" je vložený do otvoru. Potom sa aplikuje veľká sila alebo ultrazvuk na deformáciu výstupku, čím dôjde k pevnému mechanickému spojeniu. Existuje niekoľko riešení robotického rozklepávania, vrátane tých, ktoré využívajú ultrazvuk.
15. Zváranie – Zváranie zahŕňa pôsobenie tepla, tlaku alebo oboch faktorov na dve kovové časti. Robotické zváranie je pre výrobcov vysoko efektívna aplikácia. Ponúka rôzne výhody oproti ručnému zváraniu, vrátane lepšej konzistencie, menšieho čistenia po zváraní a efektívnejšieho využitia materiálov. Automatizovať je možné rôzne spôsoby zvárania ako sú napr. bodové odporové zváranie, zváranie oblúkom, zváranie laserom a pod.

### **3.5 Súčasné trendy v oblasti robotiky**

Ako už bolo spomenuté, vývoj techniky napreduje stále rýchlejším tempom a neustále sa objavujú nové riešenia, ktoré dovoľujú automatizovať aj činnosti, ktoré ešte pred pár rokmi by nebolo možné automatizovať vôbec, alebo by to bolo ekonomicky neefektívne. Aká pozornosť sa venuje len samotnej oblasti robotiky je možné vydedukovať už len z počtu firiem ktoré sa tejto problematiky venujú. Medzi najznámejších výrobcov a vývojárov robotov patria firmy: ABB, Adept, American Robot Corporation, Angelus Research, Arrik Robotics, Beumer, Comau, Cybermotion, Deneb, Denso, Epson, Erowa, Esab, Fanuc, Fki Logistics, Fuji, Irobot, Janome, K-Team Sa, Kawasaki, Hyundai, Kawasaki, Kuka, Lincoln, Miller, Motoman, Nachi, Okura, Otc, s OMRON Adep, Rixan Associates, Panasonic, Seiko, Sony, Staubli, Universal Robots, Ventax, Yamaha (Radhakrishnan 2015), (Niku 2020).

V súčasnosti je možné pozorovať nasledovné trendy v oblasti robotiky a to počítačové videnie, coboty a humanoidné roboty. Samozrejme, že do všetkých týchto oblastí

peniká aj umelá inteligencia, Big Data, internet vecí a ďalšie technológie súvisiace s Priemyslom 4.0 a 5.0.

### **3.5.1 Počítačové videnie**

Významným súčasným trendom v robotike je aplikácia systému so schopnosťou technického videnia. Roboty vybavené týmito systémami sú schopné rozpoznať tvar súčasti a určiť jej orientáciu, čo umožňuje využitie pri manipulácii s neorientovanými (nepatetizovanými) súčastami, alebo pri vykonávaní optickej kontroly súčasti.

### **Aplikácie robotov riadených „zrakom“**

Priemyselné odvetvia všetkých typov využívajú roboty riadené zrakom, pretože tieto technológie prinášajú výhody: nižšie náklady, flexibilitu, spoľahlivosť a bezpečnosť. Každé odvetvie s vysokými výrobnými nákladmi alebo kritickými výrobnými krokmi má potenciálny záujem o videním riadenú robotiku. Niektoré z priemyselných odvetví, ktoré využívajú roboty riadené zrakom, sú:

- Automobilový priemysel, dodávateľia pre automobilový priemysel: manipulácia s dielmi, montáž, meranie, kontrola riadená robotom a logistika.
- Elektronika: pick & place.
- Balenie: pick & place.
- Obrábanie: nakladanie a vykladanie dielov do stroja.
- Lisovne: nakladanie a vykladanie dielov do stroja.
- Letecký priemysel: nitovacie roboty.
- Keramika: manipulácia s dielmi.
- Spotrebný tovar – manipulácia, balenie spotrebného tovaru.
- Skladová logistika a manipulácia s predmetmi (Gupta 2017).

### **3.5.2 Coboty**

Cobot je skratka pre kolaboratívny robot (Collaborative robots). Robot vykonáva opakujúce sa rutinné úlohy bez únavy alebo odchýlky od špecifikácií. Tieto výhody sa však relativizujú, keď je programovanie funkčných sekvencií časovo náročné. (Salvendy 2021).

Na zvýšenie flexibility sa kolaboratívne roboty používajú spoločne s ľuďmi. Podľa tohto prístupu roboty nenahrádzajú ľudí pri vykonávaní úloh, ale pomáhajú im napríklad tým, že, odovzdávaním obrobkov. Takto sa využívajú silné stránky ľudí (ako napr. vnímanie, flexibilita a schopnosť kombinovať) sa kombinujú s so silnými stránkami robotov (ako sú sila, vytrvalosť a schopnosť presnosť). Kolaboratívne aplikácie si vyžadujú bezpečné roboty, ktoré nebudú kolidovať s ľuďmi, aj keď nie je nainštalovaný bezpečnostný plot. Táto náročná úloha si vyžaduje, aby robot vo svojom prostredí detekoval človeka a rozpoznať ho ako človeka. Okrem toho musí byť robot schopný odchyliť sa od svojej vopred určenej dráhy pohybu, akonáhle sa dotkne človeka. Budúce vízie rozširujú koncepciu kolaboratívneho používania robotov a načrtávajú obraz „inteligentnej továrne“. Tu komunikujúce roboty nezávisle

koordinujú svoje pracovné procesy koordináciou s dostupnými strojmi a obrobkami, ktoré sa majú spracovať. Takáto schopnosť autokonfigurácie umožňuje optimálne škálovanie výrobných kapacít (tj. „cloudová robotika“). Ak sa údaje, pochádzajúce z mnohých výrobných závodov, prepoja a štatisticky vyhodnotia prostredníctvom internetu vecí, algoritmy Big Data môžu prispieť k optimálnemu návrhu výrobných štruktúr (Salvendy 2021).

V roku 2008 Dánska spoločnosť Universal Robots predstavila UR5, robota, ktorý je schopný bezpečne pracovať s pracovníkmi, čím sa eliminuje potreba bezpečnostnej kletky alebo oplotenia (obr. 2). UR5 bol prvý nákladovo efektívny a užívateľsky prívetivý kolaboratívny robot. Odvetviu to pripravilo cestu zacieliť sa na malých a stredných výrobcov, ktorí predtým považovali robotiku za príliš nákladnú a zložitú (IFR 2024).



Obr. 2 Kolaboratívny robot UR5 (IFR 2024)

Kolaboratívne priemyselné roboty sú navrhnuté tak, aby vykonávali úlohy v rámci pracovného priestoru zdieľaného s ľuďmi. V porovnaní s tradičným priemyselným robotom majú senzory sily, ktoré okamžite zastavia ich pohyb v prípade kolízie s vonkajšími prvkami, ako sú ľudia alebo predmety (Fanuc 2024).

Normy ISO 10218-2 a ISO/TS 15066 definujú, čo je potrebné pre bezpečné roboty, ako aj pre kolaboratívne roboty. To siaha od požiadavky, aby roboty boli v kliečkach so senzormi, ktoré robota vypnú v prítomnosti človeka, až po kolaboratívne roboty, ktoré sa jednoducho zastavia, keď sa dotknú iných predmetov vrátane človeka, alebo s ktorými môžu manipulovať (pohybovať sa) ľudia, ktorí učia ich (Niku 2020).

Hlavné charakteristiky cobota sú:

1. **Absencia bariér:** Schopnosť pracovať bez fyzických bezpečnostných bariér v automatickom alebo kolaboratívnom režime. Cobot je vybavený bezpečnostnými prvkami, ktoré obmedzujú silu a rýchlosť v súlade s príslušnými normami ISO.
2. **Reaktivita:** Cobot je schopný rozpoznať kontakt a primerane reagovať, aby zabezpečil bezpečnosť a ochranu všetkých pracovníkov.
3. **Zjednodušené programovanie:** Coboty sú navrhnuté tak, aby sa dali ľahko naprogramovať na vykonávanie nových úloh a funkcií, čo používateľom umožňuje rýchlo prejsť z jednej úlohy na druhú bez toho, aby museli investovať príliš veľa času alebo úsilia do nastavenia ďalšej úlohy.
4. **Manuálne navádzanie:** Obsluha môže robotické rameno úplne bezpečne navádzať alebo ním pohybovať. Táto funkcia sa často používa na manuálne

programovanie nových dráh a pozícií robota, a to rýchlo a jednoducho (Fanuc 2024).

Identifikujú sa štyri rôzne spôsoby interakcie človeka a robota:

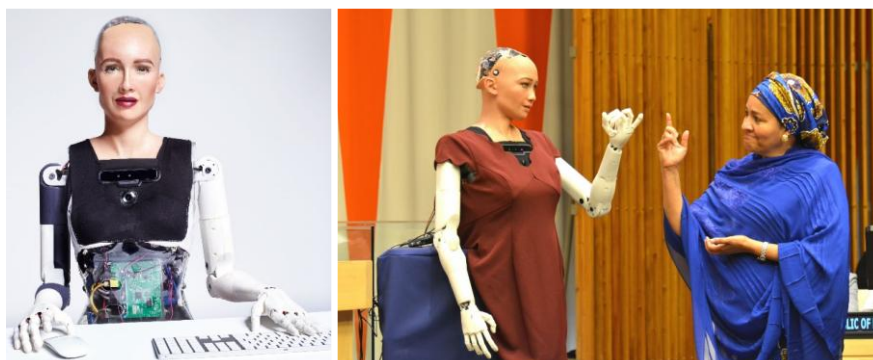
1. **Koexistencia:** Ľudia a cobot pôsobia v rovnakej oblasti, ale vykonávajú nesúvisiace a nezávislé činnosti.
2. **Sekvenčná spolupráca:** V rámci rovnakej oblasti sa ľudia a cobot striedajú v činnostiach vykonávaných na zdieľanom priestore alebo pracovnom stole.
3. **Spolupráca:** Ľudia a cobot spolupracujú na rovnakom komponente a súčasne vykonávajú rovnaké alebo rôzne úlohy.
4. **Reagujúca spolupráca:** Okrem toho, že robot pracuje plne kooperatívnym spôsobom (číslo 3), dokáže v reálnom čase reagovať aj na pohyby ľudí (Fanuc 2024).

V praxi môžu coboty pomáhať ľudským pracovníkom tým, že držia diely na mieste, poskytujú nástroje alebo vykonávajú jednoduché opakujúce sa úlohy, zatiaľ čo človek sa sústreďí na zložitejšie montážne operácie. Cobot môže napríklad naniestť tesniacu hmotu okolo čelného skla, zatiaľ čo ľudský pracovník zabezpečuje správne zarovnanie a montáž. V celom procese výroby automobilov vykonávajú roboty širokú škálu špecifických úloh. V lakovni robotické ramená vybavené striekacími zariadeniami nanášajú rovnomerné vrstvy farby a bezfarebných lakov s úrovňou konzistencie, ktorú nie je možné dosiahnuť manuálne. V oblasti montáže hnacieho ústrojenstva môžu roboty precízne inštalovať motory alebo prevodovky do podvozkov vozidiel, pričom zabezpečia správne nastavenie a dodržanie špecifikácií krútiaceho momentu. Počas finálnej montáže roboty často zvládajú úlohy, ako je nanášanie lepidiel na inštaláciu čelného skla, montáž kolies alebo inštalácia sedadiel. Tieto operácie si vyžadujú vysoký stupeň presnosti a opakovateľnosti, v čom roboty vynikajú. Okrem toho sa na kontrolu kvality využívajú systémy robotického videnia, ktoré kontrolujú zmontované komponenty, či nie sú chybné alebo nesprávne nastavené. Integrácia robotov do montážnych liniek v automobilovom priemysle zvýšila nielen efektívnosť výroby, ale aj kvalitu výrobkov a bezpečnosť pracovníkov. Starostlivým zavádzaním účinných integračných stratégií môžu výrobcovia automobilov naplno využiť potenciál robotickej automatizácie na dosiahnutie prevádzkovej dokonalosti a konkurencieschopnosti (Waseem 2024).

### 3.5.3 Humanoidné roboty

Humanoidné roboty svojou stavbou a štruktúrou kopírujú stavbu ľudského tela. Ich hlavný prínos spočíva v tom, že ak má robot takú istú štruktúru ako telo človeka, teoreticky dokáže vykonávať tie isté úlohy ako človek. Zatiaľ aj napriek značnému pokroku v oblasti kinematiky, pohonov a riadiacich systémov týchto robotov nie je jednoduché kopírovať pohyby človeka vo všetkých pracovných pozíciách. Na súčasnej úrovni sa tieto roboty pohybujú po rovných plochách a ich úlohy spočívajú v prenášaní predmetov a vykonávaní jednoduchých úloh. Do budúcnosti sa počíta s tým, že takýto robot bude dokonalou kópiou človeka vrátane kognitívnych činností. Treba povedať, že rôzne spoločnosti idú rôznym smerom v oblasti ich vývoja.

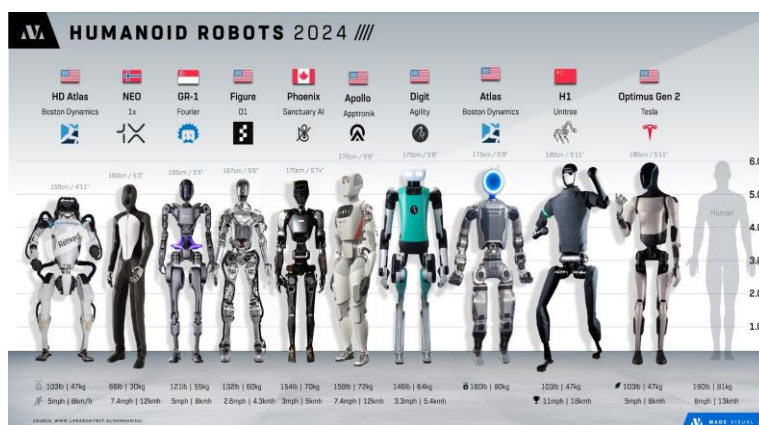
Niektoré spoločnosti sa sústreďujú na vývoj „robotického spoločníka“ t.j. riešia aj svaly, kožu a mimiku tváre robota ako napr. humanoidný robot Sophia od firmy Hanson Robotics (obr. 3).



**Obr. 3 Humanoidný robot Sophia (Hanson Robotics 2024), (United Nations 2017)**

Prioritné nasadenie takýchto robotov nie je určené pre priemysel, ale pre sociálnu oblasť, služby, zdravotníctvo a podobne.

Z hľadiska priemyselného nasadenia nie je potrebné riešiť mimiku robota, alebo jeho vzhľad. Dôležitými parametrami sú schopnosť nahradiť človeka pri vykonávaní pracovných úloh, spoľahlivosť, náklady a bezpečnosť. V súčasnosti dochádza k nasadzovaniu umelej inteligencie do humanoidných robotov za účelom dosiahnutia kognitívnych funkcií a nezávislosti robota. Vývojom humanoidných robotov sa zaoberá viacero spoločností. Príklady niektorých humanoidných robotov sú na obr. 4.



**Obr. 4 Humanoidné roboty (Thompson, 2024)**

Medzi najvýznamnejšie spoločnosti vo vývoji a výrobe humanoidných robotov patria podľa Humanoid Robotics Technology (HRT) nasledujúce spoločnosti (uvedený je názov spoločnosti a označenie humanoidného robota):

1. Tesla – Optimus Gen 2. Tento robot, navrhnutý na pomoc pri priemyselných aj domácných úlohách, integruje špičkovú umelú inteligenciu s renomovanými technológiami spoločnosti Tesla. Je skonštruovaný na zvládanie opakujúcich sa úloh, pomoc pri výrobe a dokonca aj na vykonávanie funkcií domácej automatizácie – a to všetko pri učení sa z údajov z reálneho sveta.

2. Boston Dynamics – Electric Atlas. Je skonštruovaný na vykonávanie zložitých pohybov, od behu a skákania až po presné manévry, ako sú saltá vzad. Je ideálny pre úlohy pri pátraní a záchrane, priemyselných inšpekciách a výskume.
3. Unitree Robotics – G1. Je optimalizovaný pre rýchly a agilný pohyb a je prispôsobený pre prostredia, kde sú nevyhnutné kompaktné a efektívne roboty. Jeho dizajn kladie dôraz na prevádzkovú efektívnosť a jednoduché nasadenie.
4. Agility Robotics – Digit. Kladie dôraz na mobilitu a efektivitu a vyznačuje sa robustným dvojnohým chodom, ktorý mu umožňuje prispôbiť sa rôznym povrchom a prekážkam. Je navrhnutý pre úlohy, ktoré vyžadujú rýchlosť aj presnosť.
5. Apptronik – Apollo. Kombinuje robustný hardvér so sofistikovanou umelou inteligenciou na vykonávanie zložitých úloh v priemyselnom prostredí. Jeho dizajn podporuje zdvíhanie ťažkých bremien a presnú prácu, vďaka čomu je všestranným nástrojom v továrenském prostredí.
6. NEURA Robotics – 4NE-1. Vyznačuje sa najmodernejším 3D videním, hmatovou spätnou väzbou a multimodálnymi interakčnými systémami, ktoré mu umožňujú intuitívne vnímať a reagovať na okolie. Či už pomáha s každodennými úlohami v domácnosti alebo zvláda zložité priemyselné operácie je navrhnutý tak, aby poskytoval spoľahlivý výkon v dynamických prostrediach reálneho sveta.
7. 1X – NEO BETA. Ponúka kombináciu pevnosti a obratnosti, vďaka čomu je vhodný pre montážne a automatizačné úlohy. Jeho konštrukcia obsahuje viacero kĺbov, ktoré poskytujú flexibilitu pri vykonávaní detailných operácií.
8. Figure AI – Figure 02. Tento robot je optimalizovaný pre priemyselné pracovné postupy a zložité manipulačné úlohy. Má integrované videnie a obratné manipulačné schopnosti. Je navrhnutý tak, aby vykonával úlohy vyžadujúce presnosť aj vytrvalosť, vďaka čomu je cenným nástrojom pre modernú výrobu.
9. Sanctuary AI – Phoenix. Je navrhnutý tak, aby prirodzene interagoval s ľuďmi pri vykonávaní zložitých úloh. Jeho sofistikovaný systém umelej inteligencie mu umožňuje rozumieť ľudským signálom a reagovať na ne, vďaka čomu je ideálny pre servisné aj kolaboratívne pracovné prostredia.
10. Engineered Arts – Ameca. Dizajn robota sa zameriava na komunikáciu podobnú ľudskej, s výraznou tvárou a plynulými pohybmi tela. Je ideálny pre zákaznícky servis, vzdelávanie a zábavu a ponúka pohľad do budúcnosti spolupráce medzi človekom a robotom.
11. DEEP Robotics – Dr01. Je to robustný humanoid navrhnutý pre priemyselnú presnosť a odolnosť. Tento robot je navrhnutý tak, aby spĺňal prísne požiadavky modernej výroby a kontroly kvality.
12. Robot Era – STAR 1. Je navrhnutý tak, aby bol flexibilný a ľahko sa prekonfiguroval, vďaka čomu je vhodný na demonštračné účely, ako aj na praktické nasadenie v rôznych odvetviach. Jeho pokročilé plánovanie pohybu mu umožňuje vykonávať plynulé pohyby podobné ľudským.

Podľa (Koetsier 2025) patria medzi vedúcich výrobcov humanoidných robotov nasledujúce spoločnosti (uvedený je názov spoločnosti, označenie humanoidného robota a krajina z ktorej firma pochádza):

1. Tesla (Optimus) – USA
2. Figure AI (Figure 02) – USA
3. Agility Robotics (Digit) – USA
4. Boston Dynamics (Atlas) – USA
5. Unitree (H1, G1) – Čína
6. 1X Technologies (NEO) – USA
7. Agibot (Yuanzheng A2) – Čína
8. Apptronik (Apollo) – USA
9. Beijing HRIC (Tiangong) – Čína
10. EngineAI (SE01) – Čína
11. Engineered Arts (Ameca) – UK
12. Fourier Intelligence (GR-2) – Čína
13. Kepler (Forerunner K2) – Čína
14. Robot Era (Star1) – Čína
15. Sanctuary AI (Phoenix) – Kanada
16. Xpeng – Čína

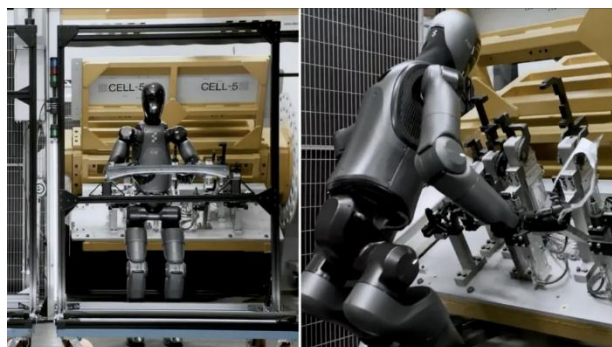
Ak porovnáme oba vyššie uvedené zoznamy, uvidíme, že v druhom zozname sa nachádza desať firiem z prvého zoznamu. To znamená, že pri týchto firmách panuje zhoda, čo sa týka ich významu a postavenia v oblasti vývoja humanoidných robotov v súčasnosti. Ak sa pozrieme na krajiny z ktorých tieto firmy sú, vidíme dominanciu USA a Číny. To vyvoláva znepokojujúce otázky ohľadom Európy a jej firiem v tejto oblasti. A pokiaľ ide o vývoj umelej inteligencie, ktorá bude zohrávať rozhodujúcu úlohu pri autonómii humanoidných robotov nie je situácia európskych firiem o nič lepšia. Podľa správy Stanford AI Index Report väčšina (83%) duševného vlastníctva v oblasti umelej inteligencie a 90% významných základných modelov pochádza z Číny a USA, nasleduje Francúzsko s 5%. Patria sem rozsiahle jazykové modely, učenie s presadzovaním, neurónové siete a tisíce typov senzorov, čo znamená, že takéto roboty pochádzajú takmer výlučne z Číny alebo USA. (Neumann 2025).

Analytici predpovedajú, že humanoidní roboti by sa mohli v priebehu nasledujúceho desaťročia stať bežnou súčasťou nášho každodenného života. Odhady naznačujú, že do roku 2040 by ich mohli po celom svete fungovať miliardy a budú vykonávať prácu ďaleko za hranicami dnešných továrenských robotov, a to aj v tak rôznorodých odvetviach, ako je zdravotníctvo, údržba verejných priestorov, maloobchodné služby a osobná asistencia, atď. (Neumann 2025).

Pokiaľ nedôjde k dramatickým zmenám v orientovaní výskumu a vývoja v Európe, môže sa stať, že úloha Európy bude degradovaná do role obyčajného užívateľa a nie tvorcu týchto technológií. V oblasti AI už došlo k aktivácii úsilia o vybudovanie a vývoj vlastných európskych modelov umelej inteligencie, čo možno hodnotiť pozitívne, avšak netreba zabúdať na to, že čipy používané pre stavbu centier umelej inteligencie

sú najmä od amerických firiem ako sú NVIDIA, AMD, Intel, Meta, Google, Apple, Amazon, Microsoft takže je tu stále otázka závislosti na amerických technológiách. Čo sa týka nasadzovania humanoidných robotov v reálnych výrobných podmienkach, niektoré firmy s tým už začali.

Praktické aplikácie humanoidných robotov sa zatiaľ obmedzujú na testovanie v reálnych podmienkach za účelom získania ďalších poznatkov pre zdokonaľovanie týchto robotov. Príkladom takéhoto testovania je aplikácia robota Figure 02 od spoločnosti Figure AI v automobilke BMW (obr. 5).



**Obr. 5 Humanoidný robot Figure 02 (Daily Automation 2024)**

Podľa vyjadrenia spoločnosti BMW bol humanoidný robot Figure úspešne testovaný začiatkom roka 2024 v závode BMW v Spartanburgu. Bolo to po prvýkrát čo sa spoločnosti podarilo integrovať humanoidného robota do svojej výrobnéj linky. Robot Figure 02 vykonával až 1 000 umiestnení denne. Išlo o úlohu vkladania plechu. Táto úloha vyžadovala, aby robot umiestnil plech do otvoru s priemerom menej ako jeden centimeter. Tento proces si vyžadoval presnosť na úrovni milimetrov. Robot zvýšil rýchlosť o 400% a zlepšil úspešnosť operácií sedemnásobne.

Ďalším príkladom testovania humanoidného robota je autonómna prevádzka robota Atlas od firmy Boston Dynamics pri odoberaní automobilových komponentov z kontajnerov a ich následné vkladanie na určené miesta v mobilnom kontajnery určenom pre zásobovanie pracoviska montáže (obr. 6).



**Obr. 6 Humanoidný robot Atlas (Boston Dynamics 2024)**

Humanoidné roboty začala vo svojich prevádzkach testovať aj automobilka Mercedes. Vo svojej továrni Berlin-Marienfelde testuje roboty Apollo od americkej spoločnosti Apptronik (obr. 7).



Obr. 7 Humanoidný robot Apollo (Mára, 2025)

Testovanie robotov prebieha v oblasti vnútornej logistiky s dôrazom na nasadenie pri často opakovaných činnostiach. Napríklad pri prenášaní komponentov či modulov z výroby linky a odovzdávaní ľudským pracovníkom, ktorí ich následne inštalujú priamo do automobilu. Roboti navyše môžu vykonávať aj kontrolu kvality dielov, s ktorými manipulujú. Zamestnanci továrne sa priamo podieľajú na trénoch robotov, na čo využívajú technológiu diaľkového ovládania i rozšírenej reality. Roboti sa tak postupne môžu naučiť pracovať samostatne, bez ľudského dohľadu. Vo chvíli, keď sa im vybíjajú batérie, sú navyše schopní sa automaticky pripojiť na nabíjačku (Mára 2025).

Tieto príklady sú len začiatkom aplikácie humanoidných robotov. V priebehu krátkej doby môžeme očakávať explóziu ich nasadzovania v rôznych oblastiach. Všetko bude závisieť od nákladov spojených s nasadzovaním týchto robotov. V súčasnosti sa ich ceny pohybujú od cca 15 tisíc do cca 200 tisíc USD v závislosti od schopností a vybavenia. Ak v priebehu vývoja dôjde k racionálnemu kompromisu medzi schopnosťami robota a jeho cenou, nič nezastaví ich masové nasadenie. Aj keď zaobstarávanie cena môže byť vyššia, robot to kompenzuje schopnosťou pracovať 24 hodín denne, 365 dní v roku bez nároku na dovolenku, prestávky a pod.

Všestrannosť humanoidných robotov závisí od komplexného multiodvetvového dodávateľského reťazca, ktorý zahŕňa polovodiče, systémy umelej inteligencie, aktuátory (ktoré premieňajú energiu na pohyb alebo silu) a senzory. Tieto roboty vyžadujú množstvo vysokovýkonných čipov na riadenie pohybu, vnímanie a rozhodovanie, čo znamená, že polovodičový priemysel zaznamená bezprecedentný rast s rozširovaním trhu s humanoidnými robotmi. Zároveň pokroky v technológii umelej inteligencie presunuli humanoidných robotov z výskumných laboratórií na trh, čo vyvolalo široký záujem v celom technologickom svete. Prelomové projekty, ako napríklad Optimus od Tesly, Figure AI podporovaná OpenAI a humanoidní roboti od Unitree Technology, urýchlili komercializáciu a hromadnú výrobu, čím priblížili tieto kedysi futuristické stroje k každodennej realite. Keďže sa humanoidné roboty stávajú bežnejšími v každodennom živote, globálna pracovná sila čelí narušeniam v zmysle nahradenia práce človeka robotom. Spoločnosť ako taká bude musieť vytvoriť nové politiky a riešiť ich etický a ekonomický dopad. Táto rýchlo sa rozvíjajúca technológia prináša vzrušujúcu, no zároveň zložitú budúcnosť – s rozširujúcim sa množstvom aplikácií, ktoré poháňajú rast trhu. Zatiaľ čo niektorí sa pochopiteľne obávajú straty pracovných miest a nadmernej závislosti od technológií, aj pracovníci z nich môžu

profitovať. Rozšírenie ľudských schopností môže zvýšiť spokojnosť a produktivitu práce a zároveň zlepšiť bezpečnosť na pracovisku, keďže roboty zvládajú nebezpečnejšie úlohy (Neumann 2025).

## ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- Rainey, David L., (2005). Product Innovation – Leading Change through Integrated Product Development – 9.3.4 Flexibility in Manufacturing and its Relationship to Lean Production. (pp. 407). Cambridge University Press. [cit. 2024-11-29]. Dostupné na internete: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00C3TNF4/product-innovation-leading/flexibility-in-manufacturing>
- Gunasekaran, A., (2001). Agile Manufacturing – The 21<sup>st</sup> Century Competitive Strategy – 28.4.2 Cycle Time and Capacity Planning. (pp. 541). Elsevier. [cit. 2024-11-29]. Dostupné na internete: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt009Y6HS3/agile-manufacturing-21st/cycle-time-capacity-planning>
- Owen-Hill, Alex (2023). 10 Fantastic Examples of Flexible Manufacturing. Publikované 09.02.2023. [online] [cit. 2024-11-30] Dostupné na internete: <https://robodk.com/blog/10-examples-of-flexible-manufacturing/>
- Automation Tools, (2024). Main Goal of Automation: Understanding the Core Objectives. Publikované 29.01.2024. [online] [cit. 2024-11-30]. Dostupné na internete: <https://subscribed.fyi/blog/main-goal-of-automation-understanding-the-core-objectives/>
- Davim, J. Paulo, (2019). Additive and Subtractive Manufacturing – Emergent Technologies – 1.9.7.3 Ceramics. (pp. 37). De Gruyter. [cit. 2024-11-30]. Dostupné na internete: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt01365I43/additive-subtractive/ceramics>
- Bi, Zhuming Wang, Xiaoqin. (2020). Computer Aided Design and Manufacturing – 9.1.2.2 Programmable Automation. (pp. 371). John Wiley & Sons. [cit. 2024-11-30]. Dostupné na internete: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt012ENF61/computer-aided-design/programmable-automation>
- Radhakrishnan, P. (2015). Computer Numerical Control Machines and Computer Aided Manufacture (2nd Edition) – 18.5 Flexible Manufacturing Cells (FMC). (pp. 426). New Academic Science. [cit. 2024-11-30]. Dostupné na internete: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011NRXC1/computer-numerical-control/flexible-manufacturing>
- Intel (2024). Types of Robots: How Robotics Technologies Are Shaping Today's World. [online] [cit. 2024-11-30]. Dostupné na internete: <https://www.intel.com/content/www/us/en/robotics/types-and-applications.html>
- Robotnik, (2024). What are the different types of robots? The 5 strong points of 5 autonomous mobile robots. Publikované: 15.02.2024. [online] [cit. 2024-11-30]. Dostupné na internete: <https://robotnik.eu/what-are-the-different-types-of-robots-the-5-strong-points-of-5-autonomous-mobile-robots/>
- Thompson Clive. (2024). 13 Milestones in the History of Robotics. [online] [cit. 2024-11-30]. Dostupné na internete: <https://www.aventine.org/robotics/history-of-robotics>
- IFR (2024). Robot History. International Federation of Robotics [online] [cit. 2024-11-30]. Dostupné na internete: <https://ifr.org/robot-history>
- AlMaadeed, Mariam Al Ali Ponnammam, Deepalekshmi Carignano, Marcelo A.. (2020). Polymer Science and Innovative Applications - Materials, Techniques, and Future Developments 12.1.4.9 Driving High-Current Loads from Logic Controllers. (pp. 399). Elsevier. [cit. 2024-11-30]. Dostupné na internete: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt012H4441/polymer-science-innovative/driving-high-current>
- Daily Automation, s.r.o. (2024). Základné delenie robotov. [online] [cit. 2024-11-30] Dostupné na internete: <https://www.dailyautomation.sk/01-zaklady-priemyselnej-robotiky-zakladne-delenie>
- Daily Automation, s.r.o. (2025). BMW odhalilo svoju tajnú zbraň, Humanoidný robot zvyšuje efektívnosť o 400 %. [online] [cit. 2025-06-01]. Dostupné na internete:

- <https://www.dailyautomation.sk/xbfre-bmw-odhalilo-svoju-tajnu-zbran-humanoidny-robot-zvysuje-efektivitu-o-400>
- Niku, Saeed B.. (2020). Introduction to Robotics – Analysis, Control, Applications (3<sup>rd</sup> Edition) 1.7 Robot Components. (pp. 5). John Wiley & Sons. [cit. 2025-06-01]. Dostupné na internete: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt0137S701/introduction-robotics/robot-components>
- Gupta, A.K. Arora, S.K. Westcott, Jean Riescher. (2017). <i>Industrial Automation and Robotics – 13.7 Advantages and Disadvantages of Robots.</i> (pp. 401). Mercury Learning and Information. [cit. 2025-06-01]. Dostupné na internete: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt0119K3U3/industrial-automation/robotics-advantages>
- Salvendy, Gavriel Karwowski, Waldemar. (2021). Handbook of Human Factors and Ergonomics (5<sup>th</sup> Edition) 54.3.3.2 Technical Substitution of Human Work. (pp. 1444). John Wiley & Sons. [cit. 2025-06-01]. Dostupné na internete: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt012XGJS1/handbook-human-factors/technical-substitution>
- Fanuc. FANUC CRX. (2024). Completes me. Collaborative Robots Smart Guide. [online] [cit. 2025-01-06]. Dostupné na internete: [https://one.fanuc.eu/CRX\\_smartguide\\_preview](https://one.fanuc.eu/CRX_smartguide_preview)
- IFR, (2024). Global Robot Density in Factories Doubled in Seven Years. Publikované 20.11.2024. [online] [cit. 2025-01-06]. Dostupné na internete: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/global-robot-density-in-factories-doubled-in-seven-years>
- Owen-Hill, Alex (2024). 15 Assembly Types: Which to Automate and Which to Avoid. Publikované 14.11.2024. [online] [cit. 2025-01-06]. Dostupné na internete: <https://blog.robotiq.com/15-assembly-types-which-to-automate-and-which-to-avoid/>
- Waseem Umar (2024). Automotive Robots: Revolutionizing the Assembly Line. Publikované 01.08.2024. [online] [cit. 2025-01-06]. Dostupné na internete: <https://www.wevolver.com/article/automotive-robots>
- Thompson Alan D. (2024). Lifearchitct.ai/Humanoids. [online] [cit. 2025-01-06]. Dostupné na internete: <https://docs.google.com/spreadsheets/d/105KVQW1Hx5ZAkcg8AIRjbQLQzx2wVaLI0SqUu-ir9Fs/edit#gid=973484009>
- Hanson Robotics Limited. Sophia. (2024). [online] [cit. 2025-01-06]. Dostupné na internete: <https://www.hansonrobotics.com/sophia/>
- United Nations (2017). Humanoid robot joins UN meeting on artificial intelligence, sustainable development. Publikované 12.10.2017. [online] [cit. 2025-01-07]. Dostupné na internete: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/blog/2017/10/humanoid-robot-joins-un-meeting-on-artificial-intelligence-sustainable-development/>
- Boston Dynamics (2024). Atlas Goes Hands On. [online] [cit. 2025-01-07]. Dostupné na internete: [https://www.youtube.com/watch?v=F\\_7IPm7f1vI](https://www.youtube.com/watch?v=F_7IPm7f1vI)
- Senderská, K. (2015). Prednášky z predmetu: „Metódy pre inteligentné výrobné systémy“. TU v Košiciach. 2015.
- HRT (Humanoid Robotics Technology). (2025). Top 12 Humanoid Robots of 2025. [online] [cit. 2025-06-25]. Dostupné na internete: <https://humanoidroboticstechnology.com/articles/top-12-humanoid-robots-of-2025/>
- Koetsier John, (2025). Humanoid Robots: Here Are The 16 Leading Manufacturers. Publikované 25.01.2025. [online] [cit. 2025-06-25]. Dostupné na internete: <https://www.forbes.com/sites/johnkoetsier/2025/01/25/humanoid-robots-here-are-the-16-leading-manufacturers/>
- Neumann Clas, (2025). Humanoid robots offer both disruption and promise. Here's why. Publikované 16.06.2015. [online] [cit. 2025-06-25]. Dostupné na internete:

<https://www.weforum.org/stories/2025/06/humanoid-robots-offer-disruption-and-promise/>

Mára, O. (2025). Mercedes nasazuje humanoidní roboty ve výrobě. [online] [cit. 2025-03-21]. Dostupné na internete: <https://www.novinky.cz/clanek/auto-mercedes-nasazuje-humanoidni-roboty-ve-vyrobe-40514053>

## 4 ZARIADENIA PRE ZÁSBOVANIE A SKLADOVANIE

Skladovanie je súčasťou logistického systému. Ide o každé plánované uloženie tovaru, materiálu, hotových dielcov a podobne. Sklad je objekt určený pre skladovanie, zvyčajne vybavený skladovacou technikou. Výber spôsobu skladovania má vplyv na jednotlivé prvky skladovacieho systému (spôsob ukladania, spôsob manipulácie, prepravy a pod.). Jednotlivé prvky systému skladovania sú uvedené na obr. 1.

| Skladovaný objekt                | Veľmi malý                                                                                              | Malý                                                                                                      | Stredne veľký                                                                                              | Veľký, dlhý                                                                                                            |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                  | <br>Malé               | <br>Zásobníky            | <br>Palety               | <br>Kazety                          |
| Skladovací obal                  | <br>zásobníky          |                          |                          |                                     |
| Skladovacie zariadenie           | <br>Skriňa             | <br>Regál                | <br>Paletový regál       | <br>Špeciálny regál pre dlhé dielce |
| Dopravný/manipulačný prostriedok | <br>Transportný vozík | <br>Valčekový dopravník | <br>Vysokozdvížný vozík | <br>Vysokozdvížný vozík            |

Obr. 1 Kritériá výberu vhodného systému skladovania kusového tovaru (Büngers 2014)

### Funkcie skladov:

- **Preklenovacia** (vyrovnávacia) funkcia – sklad umožňuje preklenúť obdobie, kým dôjde k doručeniu materiálu od dodávateľa pre potreby výroby a nie je teda nutné zastaviť výrobu.
- **Zabezpečovacia** funkcia – sklad umožňuje zásobovanie materiálom aj v prípade neočakávaných výpadkov v dodávkach.
- **Kompletačná** funkcia – „pre tvorbu sortimentu v obchode alebo pre tvorbu sortimentných druhov podľa potrieb individuálnych prevádzok v priemyselných podnikoch pretože materiály dostupné na trhu neodpovedajú obvykle konkrétnym výrobným technickým požiadavkám“ (Schulte 1994).
- **Konsolidačná** – konsolidovanie jednotlivých komponentov objednávok a zasielanie zákazníkovi.
- **Špekulačná** funkcia – sklad sa využije aj na predzásobenie sa v prípade mimoriadne výhodných cenových a dodacích podmienok dodávateľov, alebo sa využije na uskladnenie výhodne nakúpeného tovaru s očakávaním jeho budúceho predaja za vyššie ceny, než boli nákupné.
- **Zušľachtovacia** (transformačná) funkcia – niektoré materiály a výrobky získavajú skladovaním nové úžitkové vlastnosti, ako napríklad zrenie ovocia, syrov, vína, sušenie ovocia, kvasenie a starnutie. „V tomto prípade sa hovorí o tzv.

produkčných skladoch, pretože ide o skladovanie spojené s výrobným procesom“ (Schulte 1994).

#### 4.1 Druhy skladov

Pre rozdelenie skladov existuje celý rad kritérií. V poslednej dobe veľmi rozšírenou sa stáva klasifikácia vyvinutá maklérskou spoločnosťou Knight Frank. Vychádza z technických parametrov skladov, infraštruktúrnych zariadení a inžinierskych komunikácií (Khaletskaya 2021). Podľa tejto klasifikácie je možné sklady rozdeliť na:

- **Sklady triedy A+ (Class A+)**

Sklad najvyššej triedy A+, musí spĺňať množstvo štandardov z hľadiska bezpečnosti a prispôsobenia ako z hľadiska skladovania, tak aj z hľadiska sociálneho zázemia pre zamestnancov (LCL Logistic 2022).

Takýto sklad sa musí vyznačovať (Khaletskaya 2021), (Alfa Warehouses 2024):

- ľahká dostupnosť (nachádza sa vo vzdialenosti maximálne 10 km od rýchlostnej cesty alebo diaľnice),
- primerané osvetlenie (intenzita svetla najmenej 150 luxov),
- primeraná protipožiarna ochrana (postrekovače a detektory dymu),
- regulácia teploty a vlhkosti, vetranie, klimatizácia,
- parkovacie a manévrovacie plochy pre nákladné autá,
- monitorovací systém,
- minimálna výška 13 metrov,
- minimálna hĺbka 75 metrov,
- veľká vzdialenosť medzi stĺpmi (najmenej 12 metrov) a medzi priečnikmi (najmenej 24 metrov),
- žiadne obytné budovy v blízkosti skladu,
- energeticky efektívne riešenia,
- 24/7 bezpečnosť,
- internetové pripojenia (optické),
- aby bola nakládka a vykládka v sklade čo najefektívnejšia, je sklad triedy A+ vybavený automatickými prístavnými bránami. Podľa klasifikácie Knight Frank musí byť aspoň 1 jednotka na každých 500 metrov štvorcových skladovej plochy.

- **Sklady triedy A (Class A)**

Od triedy A+ sa líši polohou a minimálnou výškou: kým sklady triedy A+ sú postavené ďaleko od obytných budov, no s priamym prístupom k hlavným cestám či diaľniciam, sklady triedy A sa najčastejšie nachádzajú v priemyselných zónach miest. Ich minimálna výška je od 10 metrov (LCL Logistic 2022). Taktiež na rozdiel od skladov triedy A+ majú sklady triedy A menej brán typu dokov. Podľa klasifikácie Knight Frank musí byť aspoň 1 jednotka na každých 700 metrov štvorcových (Khaletskaya 2021).

- **Sklady triedy B+ (Class B+)**

Do tejto kategórie patria aj tie priestory, ktoré neboli postavené špeciálne pre logistické potreby, ale boli pre ne zrekonštruované. Výška stropu musí byť aspoň 8 m, čo si vyžaduje starostlivý výber zariadenia (Ally Logistic 2023). Sklad triedy B+

nesplňa len 2-3 kľúčové parametre na to, aby sa stal skladom triedy A, čo si vyžaduje modernizáciu a niekedy aj menšie prestavby (LCL Logistic 2022). Okrem toho počet brán typu dock v takýchto zariadeniach je najmenej 1 na každých 1 000 metrov štvorcových skladu. Z tohto dôvodu môže byť rýchlosť nakladania/vykladania nižšia ako u skladov vyššej triedy (Khaletskaya 2021).

- ***Sklady triedy B (Class B)***

Táto kategória pozostáva výlučne zo starých budov, ktoré boli zrekonštruované pre potreby logistiky. Často pozostávajú z niekoľkých poschodí, čo komplikuje skladové operácie a vyžaduje si vybavenie priestorov nákladnými výtahmi s nosnosťou nie menšou ako 3 tony. Minimálna výška stropu je 6 m, takže v takýchto priestoroch je ťažké inštalovať viacúrovňové regálové zariadenia. To znamená, že užitočný skladový priestor sa nemusí dať efektívne využiť (Ally Logistic 2023), (Khaletskaya 2021). Navyše sklady triedy B vzhľadom na klasifikáciu nemusia spĺňať požiadavku minimálneho povoleného zaťaženia podlahy. Medzi výhody týchto skladov patrí prítomnosť rampy na nakladanie a vykladanie. Priestory sú spravidla napojené na systém ústredného kúrenia alebo majú vlastnú kotolňu. K dispozícii sú požiarne hlásiče a požiarne hydranty/hadice (Khaletskaya 2021).

- ***Sklady triedy C (Class C)***

Do tejto kategórie patria budovy, ktoré sa pôvodne nepoužívali ako sklady. Sú prerobené z dielní alebo hangárov. Minimálna výška stropu je 4 m (Ally Logistic 2023). Z tohto dôvodu sa vo väčšine prípadov nemôžu inštalovať regálové zariadenia. Voľný pohyb ťažkých nákladných vozidiel pri nakladaní/vykladaní vo vnútri skladu je možný vďaka bráne na nulovej úrovni. Ventilačný a vykurovací systém zaisťuje stálu teplotu a optimálnu vlhkosť. Na území skladu je fyzická ochrana. Tieto sklady sa nachádzajú v určitej vzdialenosti od diaľnic, ale majú pohodlné prístupové cesty. Na území skladu sú manévrovacie a parkovacie plochy pre nákladné vozidlá (Khaletskaya 2021).

- ***Sklady triedy D (Class D)***

Tento typ budov vo všeobecnosti nie je prispôsobený pre potreby skladovania. Patria sem aj bývalé hangáre a dielne. Modernizácia a inštalácia špeciálneho zariadenia na manuálnu reguláciu podmienok skladovania nákladu je v tomto prípade nepraktická. Vďaka tomu sú sklady triedy D vhodné len na skladovanie tovaru, ktorý si nevyžaduje špeciálne skladovacie podmienky napr. na skladovanie priemyselných výrobných surovín, kovov, gumy, plastových výrobkov, palív, mazív a pod. (Ally Logistic 2023), (LCL Logistic 2022). Skladové vybavenie je v takýchto skladoch inštalované len zriedka. Preto teplota vo vnútri priestorov závisí od ročného obdobia. Modernizácia skladov triedy D nemá zmysel, pretože ich renovácia bude stáť viac ako demolácia a výstavba nového skladu od začiatku. V klasifikácii Knight Frank nie sú na tieto sklady žiadne špeciálne požiadavky. Takéto priestory musia byť len v prevádzkyschopnom stave (Khaletskaya 2021).

V tabuľke 1 je uvedené porovnanie charakteristík jednotlivých tried skladov.

**Tab. 1 Porovnanie charakteristík rôznych tried skladov (Khaletskaya 2021)**

| Špecifikácia podľa triedy                                                         | A+             | A                 | B+                | B                  | C                  | D                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Výška stropu                                                                      | od 13 m        | od 10 m           | od 8 m            | od 6 m             | od 4 m             | ľubovoľná          |
| Podlahová krytina                                                                 | proti prachová | proti prachová    | proti prachová    | betón alebo asfalt | betón alebo asfalt | betón alebo asfalt |
| Vetrací a klimatizačný systém                                                     | +              | +                 | +                 | +                  | žiadne požiadavky  | –                  |
| Dodávka energie a inžinierske siete                                               | +              | +                 | +                 | +                  | žiadne požiadavky  | –                  |
| Bezpečnostný systém                                                               | +              | +                 | +                 | +                  | žiadne požiadavky  | žiadne požiadavky  |
| Kancelársky a úžitkový priestor                                                   | +              | +                 | +                 | +                  | +                  | –                  |
| Parkovacia plocha                                                                 | +              | +                 | +                 | +                  | +                  | –                  |
| Vylepšená pôda                                                                    | +              | +                 | +                 | +                  | +                  | –                  |
| V súkromnom vlastníctve alebo sa nachádza v blízkosti vedľajšej železničnej trate | +              | žiadne požiadavky | žiadne požiadavky | žiadne požiadavky  | –                  | –                  |

Ďalšie prístupy ku klasifikácii skladov podľa rôznych kritérií sú uvedené nižšie.

### **Podľa funkcie**

- „Centrálny sklad – sklad hotových výrobkov danej spoločnosti.
- Obchodný sklad – charakteristický je veľký počet dodávateľov a tiež veľký počet odberateľov, pričom jeho základnou funkciou okrem skladovania tovarov je i zmena sortimentu.
- Expedičný sklad – umiestnené sú tu hotové výrobky pripravené na predaj, respektíve na expedíciu.
- Tranzitný sklad – nachádza sa najmä na miestach prekládky tovaru, t.j. v prístavoch, na železničných prekladiskách a inde. Jeho základnou funkciou je tovar prijať, rozdeliť a odoslať na prepravu.
- Sklad náhradných dielov.
- Sklad materiálov a surovín.
- Sklad nedokončenej výroby
- Sklad polotovarov.
- Konsignačný sklad – odberateľ si zriadi sklad u dodávateľa, pričom tovar je tam uskladnený na účet a riziko dodávateľa, odberateľ má právo si tovar odoberať podľa vlastnej potreby. Cieľom zriadenia takéhoto typu skladu je priblížiť tovar zákazníkovi, mať ho vždy k dispozícii a v čo najkratšej dodacej lehote“ (Village 2017). resp. „Konsignačné sklady – nachádzajú sa v priestoroch vo vlastníctve colných orgánov. Skladujú sa v nich výrobky, ktoré čakajú na prevzatie

oprávnenými osobami, napr. po medzinárodnej námornej preprave“ (Sojka 2023).

#### ***Podľa štruktúry budovy skladu***

- „Uzavretý sklad – uzavretý objekt, ktorý sa používa na skladovanie výrobkov, ktoré si vyžadujú správne podmienky, napríklad upravenú teplotu vzduchu, ochranu pred UV žiarením alebo vlhkosť. Tento typ skladu sa delí na nadzemné objekty, ktoré sú nad zemou, a podzemné objekty, ako sú pivnice alebo bunkre.
- Polootvorený sklad (kryté sklady) – tento typ skladu sa často označuje aj ako prístrešok. Konštrukcia je zvyčajne postavená z troch strán a poskytuje veľmi dobrú cirkuláciu vzduchu. Tento typ konštrukcie sa často používa na skladovanie stavebných materiálov, ktoré si vyžadujú ochranu pred zrážkami, ale nie sú nepriaznivo ovplyvnené vlhkosťou.
- Otvorené skladovanie – tento názov sa vzťahuje na dvory, ktoré nie sú kryté. Takýto sklad je najčastejšie oploštená a spevnená plocha, kde sa skladujú predmety, ako sú stavebné kontajnery“ (Sojka 2023).

#### ***Podľa stupňa mechanizácie***

- „nemechanizované sklady – všetko sa vykonáva manuálnym spôsobom,
- mechanizované sklady – zariadenia vybavené zariadeniami, ktoré uľahčujú prácu ľudí,
- automatizované sklady – pracovný cyklus, ktorý minimalizuje potrebu práce ľudí v sklade. Všetky procesy sú založené na fungovaní IT systémov a robotov“ (Sojka 2023).

#### ***Podľa stupňa centralizácie:***

- centralizované – jeden veľký sklad zásobuje všetky úseky výroby,
- decentralizované – podnik má viac menších skladov,
- kombinované – podnik má jeden veľký a niekoľko menších skladov (Encyklopédia poznania 2020).

#### ***Podľa postavenia v hodnototvornom procese:***

- vstupné sklady (nákupné, zásobovacie) – udržiavajú zásoby vstupných materiálov,
- medzisklady – sú určené k predzásobovaniu medzi rôznymi stupňami výrobného procesu (napr. pri rôznych kapacitných profiloch),
- odbytové sklady – určené k vyrovnaniu časových rozdielov medzi výrobnými a odbytovými procesmi (Schulte 1994).

#### ***Podľa úrovne kompletizácie***

- len materiál, polotovary a suroviny,
- rozpracované výrobky a dielce,
- hotové výrobky a dielce.

### **Podľa umiestnenia**

- vnútorné (interné) – sklad sa nachádza v areály podniku,
- vonkajšie (externé) – sklad je mimo plochy areálu podniku (buď z dôvodu nedostatku miesta v areály podniku, alebo z dôvodu dosiahnutia kratšej vzdialenosti a tým aj kratšieho času dodania tovaru zákazníkovi).

### **Podľa spôsobu skladovania**

- voľné,
- stohovanie,
- regály, police a pod.

„Pri rozhodovaní o umiestnení skladov je potrebné rešpektovať dĺžku a smer dopravných ciest medzi objektmi skladov, výrobnými budovami, dodávateľmi a odberateľmi a tiež dĺžku dopravných ciest vo vnútri skladu. Ďalej treba brať ohľad na množstvo skladovaného materiálu, frekvenciu jeho pohybu, stavebné náklady na vybudovanie skladu, náklady na prevádzku skladu a podobne“ (Tecta Logistic 2023). „Určenie vhodného počtu skladov je tiež dôležitou otázkou z hľadiska efektívnosti, pretože zvyšovaním počtu skladov sa skracujú priemerné prepravné vzdialenosti, klesá stav zásob na kolesách, prepravujú sa menšie množstvá, rastú náklady na prevádzku skladov, pretože v každom sklade je zvyčajne určitý objem zásob, ktorý zvyšujúcim sa počtom skladov rastie“ (Tecta Logistic 2023). Ďalej sú dôležité aj náklady na prevádzku skladov a prepravné náklady (Tecta Logistic 2023).

### **Organizácia skladovania**

- **FIFO** je skratka anglického výrazu **First In, First Out** v preklade **prvý dnu, prvý von**. Ide o metódu organizácie a riadenia pohybu materiálu podľa poradia – „kto prvý prišiel, prvý odíde.“
- **LIFO** je skratka anglického výrazu **Last In First Out** čo v preklade znamená **posledný dnu, prvý von**. Ide o metódu organizácie a riadenia pohybu materiálu podľa poradia – „kto prišiel posledný, odíde prvý“.
- **FEFO** je akronym zo slov **First Expired, First Out**, preložené ako **prvý expiruje, prvý von**, teda tovar s najbližšou dobou expirácie je expedovaný ako prvý.
- **HIFO** je akronym zo slov **Highest In, First Out**, preložené ako **najdrahší dnu, prvý von**, čiže najdrahší tovar resp. materiál je expedovaný ako prvý.
- **LOFO** je skratka pre **Lowest In – First Out**, čo znamená **najlacnejší dnu, prvý von**.

### **4.2 Palety, prepravné obaly**

Palety slúžia na jednoduchšiu a produktívnejšiu prepravu a manipuláciu s tovarom, pretože sa tovary a materiály neprepravujú jednotlivo, ale ako skupiny umiestnené na paletách, ktoré môžu mať rôzne prevedenie (obr. 2).



Obr. 2 Palety ako dopravné a skladovacie pomôcky (Büngers 2014)

Obal je výrobok, ktorý sa používa na balenie, ochranu, manipuláciu, dodávanie a uvádzanie tovarov, od výrobcu po užívateľa alebo spotrebiteľa; za obaly sa považujú aj nevratné časti obalov používané na tie isté účely.

### Funkcie obalu

- **primárne funkcie**
  - **ochranná** – chrániť obsah pred vonkajším prostredím a naopak: strata, poškodenie, krádež, statické a dynamické sily, klimatické podmienky (teplota, vlhkosť, zrážanie, slnečné žiarenie, kontaminácia, ochrana životného prostredia),
  - **skladovacia** – Palety slúžia na jednoduchšiu a produktívnejšiu prepravu a manipuláciu s tovarom, pretože sa tovary a materiály neprepravujú jednotlivo, ale ako skupiny umiestnené na paletách, ktoré môžu mať rôzne prevedenie (obr. 2).
  - obsah sa skladuje na rôznych miestach v rámci prepravného reťazca, preto obal musí zabezpečiť aj túto funkciu,
- **manipulačná a prepravná** – Palety slúžia na jednoduchšiu a produktívnejšiu prepravu a manipuláciu s tovarom, pretože sa tovary a materiály neprepravujú jednotlivo, ale ako skupiny umiestnené na paletách, ktoré môžu mať rôzne prevedenie (obr. 2).
  - obaly sa navrhujú tak, aby boli ľahko manipulovateľné a aby zvyšovali efektivitu prepravy, manipulácie a skladovania, najefektívnejšia metóda pre manipuláciu všeobecného nákladu je tvorba jednotiek nákladu, preto obal musí byť vždy svojím tvarom a rozmermi vhodný pre vytváranie takýchto jednotiek (obr. 3).
- **sekundárne funkcie**
  - **obchodná** – pre zabezpečenie a podporu predaja,
  - **reklamná** – etikety na obaloch majú pritiahnuť potenciálneho zákazníka a vplývať na jeho rozhodovanie pre daný výrobok,
  - **úžitková** – obal obsahuje informácie ako návod na použitie, zloženie výrobku, nutričné hodnoty, obal po použití výrobku môže plniť aj ďalšie funkcie – hračka, skladovací kontajner,

- **záručná** – výrobca zaručuje, že informácie uvedené na obale zodpovedajú skutočnosti, obal je preto základom pre značkové tovary, ochranu zákazníka a spoľahlivosť výrobku, sú legislatívne požiadavky, ktoré požadujú aby tovary boli jasne označené informáciami o ich pôvode, zložení, hmotnosti, množstve a dobe použitia.
- **terciárne funkcie**
  - **prídavná** – napr. recyklačná funkcia obalov a ich opätovné použitie.



Obr. 3 Príklady prepravných kontajnerov (Büngers 2014)

#### 4.3 Zariadenia pre dopravu a manipuláciu

Podľa DIN 30 781 sú dopravníky „dopravné prostriedky, ktoré sa pohybujú v rámci lokalizovaných a prepojených prevádzkových jednotiek.“ V závislosti od kontinuity materiálového toku sa rozlišujú (Büngers 2014):

- Nespojité dopravníky – dopravné prostriedky, ktoré pracujú v takzvanom touchdown režime (Büngers 2014).
- Kontinuálny dopravník – dopravné prostriedky používané na nepretržitý pohyb tovaru po pevnej dráhe (nepretržitý pohyb môže byť horizontálny, vertikálny alebo šikmý). Kontinuálne dopravníky majú nízke energetické nároky, nízke prevádzkové náklady a vysokú prevádzkovú spoľahlivosť. Môžu však spôsobiť problémy s usporiadaním skladu (krížová premávka) (Büngers 2014).

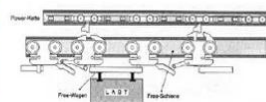
V závislosti od toho, či sa dopravníky pohybujú po zemi sa rozlišujú dopravníky viazané na podlahu a dopravníky bez viazanosti na podlahu (obr. 4) (Büngers 2014). Výhody a nevýhody jednotlivých druhov preprav, ukazano v tab. 2.



vysokozdvížený vozík



AGV vozidlo



reťazový závesný dopravník



regálový zakladač



valčeková dopravná dráha



reťazový závesný dopravník

Obr. 4 Príklady prepravných prostriedkov (Büngers 2014)

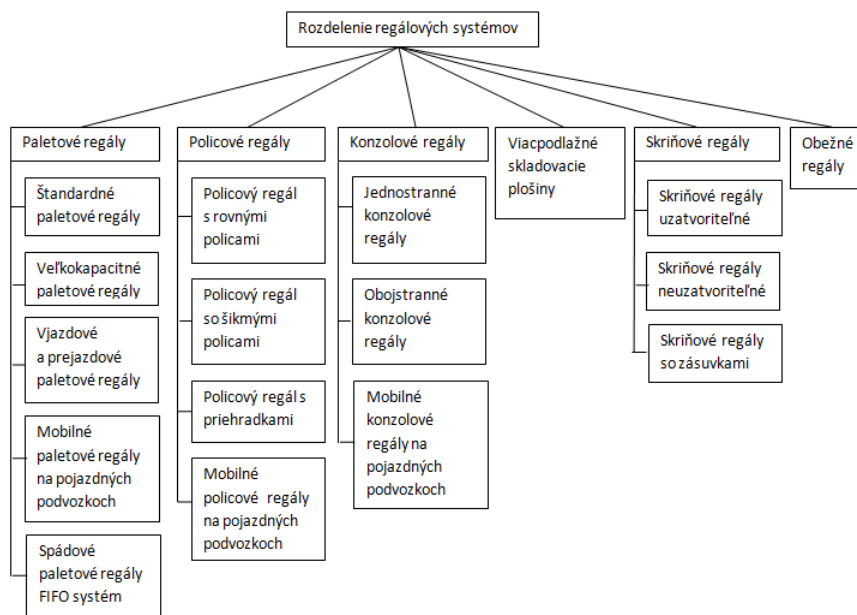
Tab. 2 Výhody a nevýhody jednotlivých druhov prepravy (Büngers 2014)

| Zariadenie                                                    | Výhody                                                                                                                         | Nevýhody                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vysokozdvížený vozík                                          | Flexibilné použitie, vysoká rýchlosť 12 km/hod., vysoká nosnosť až do 2500 kg., nízke náklady.                                 | Potreba širokých uličiek cca 3 až 5 metrov, obmedzená výška zdvihu.                      |
| Regálový zakladač                                             | Veľmi vysoká rýchlosť tým, že sa môže pohybovať diagonálne, malé nároky na plochu cca 1,45 metra, vysoký stupeň automatizácie. | Vysoké požiadavky na kvalitu zariadenia, vysoké investičné náklady.                      |
| Valčeková dopravná dráha                                      | Možnosť zastavenia a akumulácie, vysoký stupeň automatizácie, nízke investície, nízke náklady na údržbu.                       | Menšia flexibilita pohybu, kvôli pevnej trase (tvorba prekážok).                         |
| Reťazové závesné dopravníky                                   | Vysoký stupeň automatizácie, transport aj v nebezpečných zónach (napr. V lakovni), bez vytvárania prekážok.                    | Vysoká hlučnosť v prípade reťazových dopravníkov, vysoké investície a náklady na údržbu. |
| AGV (Automated Guided Vehicle) - automaticky navádzané vozíky | Pohybuje sa autonómne, nepotrebuje k riadeniu človeka.                                                                         | Vysoké náklady.                                                                          |

#### 4.4 Typy regálových systémov

Existuje mnoho druhov regálových systémov. Na obr. 5 je rozdelenie najpoužívanejších regálov.

Medzi najviac používané regály patria paletové, policové konzolové regály, viacpodlažná skladovacia plošina, skriňové a obežné regály.



**Obr. 5 Rozdelenie najpoužívanějších regálov (Bátovský 2013)**

## Paletové regály

„Paletové regály (Tab. 1) sú vhodné zvlášť pri veľkom množstve na položku a súčasne pri rozsiahlom sortimente a pri požiadavke na vysoký manipulačný výkon.

**Tab. 3 Rozdelenie paletových regálov**

| P.č. | Názov                                 | Popis a parametre                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Obrázok                                                                                                                                        |
|------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.   | Štandardný paletový regál             | Najbežnejšia forma skladovania paliet. Ponúka neobmedzený prístup ku všetkým paletám.<br>Max. výška [m]/max. hĺbka [m]/max. dĺžka [m]: 12/1,2/5<br>Zaťaženie [kg]: 12000                                                                                                                          | <br>Štandardný paletový regál (STILL International 2013). |
| 2.   | Veľkokapacitné regály                 | Používa sa pre zvýšenie kapacity. Regálový zakladač má priamy prístup ku všetkým skladovým jednotkám v jednej uličke.<br>Max. výška [m]/max. hĺbka [m]/max. dĺžka [m]: 40/1,2/5<br>Zaťaženie [kg]: 40 000                                                                                         | <br>Veľkokapacitný regál (Kardexstow 2013).                |
| 3.   | Vjazdové a prejazdové paletové regály | Tento typ regálov sa používa na uskladnenie väčšieho množstva tovaru rovnakého druhu. Výhodou je minimalizácia uličiek pre manipulačnú techniku. Obsluha regálov prebieha z jednej strany (vjazdové regály) alebo z oboch strán (prejazdové regály). Parametre sú totožné so štandardným regálom. | <br>Vjazdové a prejazdové paletové regály (Kredit 2013)    |

|    |                                                  |                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                        |
|----|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4. | Mobilné paletové regály na pojazdných podvozkoch | Zefektívňuje skladovací priestor. Pohyb je po zapustených koľajniciach. Pohyb môže byť manuálny alebo elektrický. Max. výška [m]: 12<br>Zaťaženie [kg]: 24000                                                                         | <br>Mobilné paletové regály na pojazdných podvozkoch (Mecalux 2013) |
| 5. | Spádové paletové regály                          | Regály sú prepojené s valčekovými dopravníkmi s miernym sklonom, čo umožňuje riadený pohyb paliet s pomocou gravitácie z miesta nakladania na miesto vykladania. Sklon dopravníka: 2-6°. Parametre sú totožné so štandardným regálom. | <br>Spádové paletové regály (Jungheinrich 2013)                      |

Výhodami paletového regálu sú priamy prístup ku všetkým položkám a dobré využitie výšky. Paletový regál je však vždy viazaný na určitý ukladací prostriedok. Stupeň využitia plochy je medzi 40 až 65% v závislosti na spôsobe obsluhy a na rozmeroch manipulačnej jednotky“ (Miras.cz 2013).

U automatizovaných skladov je výškový sklad jednou z najosvedčenejších skladových techník. O výškovom sklade sa hovorí pri výške nad 12 metrov. Regálový zakladač má priamy prístup ku všetkým skladovým jednotkám v jednej uličke. Pomocou softwaru pre uskladňovaciu a vyskladňovaciu stratégiu ide bez problémov zaistiť princíp FI-FO ("prvý do skladu, prvý zo skladu"). Oproti skladu obsluhovanému vozíkmi sa dá u výškového skladu so zakladačom výrazne zlepšiť stupeň využitia plochy, pretože regálová ulička môže byť užšia. U automatizovaných skladoch sa často používa zámenné (tzv. chaotické) uskladňovanie (Miras. cz 2013).

#### 4.4.1 Policové regály

„Policové regály patria k najrozšírenejším skladovým systémom. Dajú sa použiť pri skladovaní nepaletizovaného materiálu s rozsiahlym sortimentom a s malým až stredným množstvom na položku. Zvyčajne sa výšky policových regálov pohybujú do 1,8 m u ručnej obsluhy a až do 12 m u automatizovaných systémoch. Prednosťou tohto systému je priamy prístup ku všetkým položkám, pomerne dobrá prehľadnosť a u policových regáloch s ručnou obsluhou i relatívne nízke investičné výdaje. Nevýhodou je vysoká potreba plochy a ergonomiou obmedzovaný odber z najvyššej a z najnižšej police“ (Miras 2013) (tab. 4).

„Priehradkové regály sa vyskytujú najčastejšie. Sú v prevedení rovinnom alebo spádovom (gravitačnom). Spádové gravitačné regály sú vybavené nepoháňanými valčekovými dopravníkmi pre ukladanie dební, prepraviek či kartónov (o hmotnosti od 50 do 2 200 kilogramov). Ich pohyb je spôsobený gravitačnou silou pri odobratí materiálu. (sklon dráhy musí byť minimálne od 2 do 8%.) alebo prostredníctvom pohonu od miesta nakladania k miestu odberu.

**Tab. 4 Rozdelenie policových regálov**

| P.č. | Názov                                            | Popis a parametre                                                                                                                                                                                                                                                                               | Obrázok                                                                                                                                                      |
|------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.   | Policové regály s rovnými policami               | Policové regály patria k najrozšírenejším skladovým systémom. Dajú sa použiť pri skladovaní nepaletizovaného materiálu s rozsiahlym sortimentom a s malým až stredným množstvom na položku.<br>Max. výška[m]:<br>Ručná obsluha: 1,8 m<br>Automatizovaná obsluha: 12m<br>Zaťaženie [kg]: 2200 kg | <br>Policové regály s rovnými policami (Megainzerce 2013)                  |
| 2.   | Policové regály so šikmými policami              | Spádové gravitačné regály sú vybavené nepoháňanými valčekovými dopravníkmi pre ukladanie dební, prepraviek či kartónov.<br>Parametre totožné s regálmi s rovnými policami<br>Sklon: 2-8°                                                                                                        | <br>Policové regály so šikmými policami (Regálové systémy 2013)            |
| 3.   | Policové regály s priehradkami                   | Priehradkové regály môžu byť rovinné alebo spádové. Slúžia pre uloženie rozsiahleho sortimentu, ktorý je uložený v priehradkách.<br>Parametre totožné s regálmi s rovnými policami<br>Sklon: 2-8°                                                                                               | <br>Policové regály s priehradkami (Tvoja provozna 2013)                 |
| 4.   | Mobilné policové regály na pojazdných podvozkoch | Pohyb policových regálov je po koľajniciach a ovládanie môže byť s elektrickým pohonom alebo manuálne<br>Parametre totožné s regálmi s rovnými policami                                                                                                                                         | <br>Mobilné policové regály na pojazdných podvozkoch (Regal sistem 2013) |

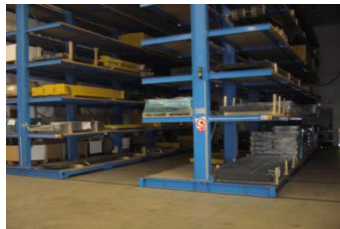
Po vybratí jednej palety sa ostatné samospádom posunú smerom k miestu odberu. Brzdové zariadenie zabráňuje prepadnutiu palety cez okraj“ (Bátovský 2013).

#### 4.4.2 Konzolové regály

„Určené sú predovšetkým pre ukladanie materiálu doskového alebo tyčového charakteru pomocou manipulačných prostriedkov alebo ručne. Materiál môže byť na

nosníky regálov zakladaný buď jednotlivo alebo ako zväzok. Uložený je vždy na dvoch alebo viac nosníkoch ukladacej úrovne regálu (tab. 5).

**Tab. 5 Rozdelenie konzolových regálov**

| <i>P.č.</i> | <i>Názov</i>                                      | <i>Popis a parametre</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <i>Obrázok</i>                                                                                                                                                    |
|-------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.          | Jednostranné konzolové regály                     | Určené sú predovšetkým pre ukladanie materiálu doskového alebo tyčového charakteru pomocou manipulačných prostriedkov alebo ručne. Materiál môže byť na nosníky regálov zakladaný buď jednotlivo alebo ako zväzok.<br>Výška [m]: 7<br>Rozostup stĺpov [cm]: 1000, 1250, 1500<br>Dĺžka ramien [m]: 0,5-2<br>Max. zaťaženie [kg]: 6 500 | <br>Jednostranné konzolové regály<br>(Fénix kovovýroba 2013)                   |
| 2.          | Obojstranné konzolové regály                      | Princíp skladovania je rovnaký ako u jednostranných konzolových regáloch. Rozdiel je v tom, že ramená regála sú na oboch stranách. Týmto sa zvýšila kapacita regála. Parametre totožné s jednostranným konzolovým regálom.<br>Max. zaťaženie [kg]: 13 000                                                                             | <br>Obojstranné konzolové regály<br>(Enprag 2013)                             |
| 3.          | Mobilné konzolové regály na pojazdných podvozkoch | Mobilné konzolové regály sa pomocou elektrického alebo manuálneho pohonu pohybujú po zapustených koľajniciach. Parametre totožné s jednostranným konzolovým regálom.                                                                                                                                                                  | <br>Mobilné konzolové regály na pojazdných podvozkoch<br>(Mercator DMS 2013) |

Pre zakladanie do regálu môžu byť použité rôzne typy manipulačných prostriedkov – podľa druhu ukladaneho materiálu. Regály sú určené pre zakladanie pomocou vysokozdvížných vozíkov alebo žeriavov s príslušenstvom. Regály menšej výšky je možné obsluhovať i ručne.

Jedná sa o stavebnicový systém, dimenzovať je možno podľa požiadaviek na rozmery a nosnosti. Ako u ďalších typov regálov i tu je možnosť využiť jednostranné alebo obojstranné prevedenie.

Medzi hlavné výhody konzolových regálov patrí možnosť výškovej prestaviteľnosti ramien, varianta doplnenia políc pre ukladacie úrovne alebo upraviť regály podľa požiadaviek zákazníka na rozmery a nosnosti ukladaneho materiálu“ (Bátovský 2013).

#### 4.4.3 Skriňové regály

„Sú vhodné na skladovanie rôznych drobných materiálov s nízkym množstvom. Všetky steny sú kryté, okrem čelnej. Môžu byť priečkové, alebo so zásuvkami. Čelná stena je buď voľná, alebo uzatvárateľná (možnosť uzamykania)“ (Bátovský 2013) (tab. 6).

Tab. 6 Rozdelenie skriňových regálov

| P.č. | Názov                           | Popis a parametre                                                                                                                                                                                                                                         | Obrázok                                                                                                                                             |
|------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.   | Skriňové regály uzatvoriteľné   | Skriňový regál s uzatvoriteľnými dverami slúži na skladovanie drobných materiálov, ktoré musia byť chránené pred nečistotami.<br>Výška regála [mm]: 1800-1950<br>Šírka regála [mm]: 620-950<br>Hĺbka regála [mm]: 400-600<br>Nosnosť regála [kg]: 100-300 | <br>Skriňové regály uzatvoriteľné<br>(Mercator DMS 1 2013)       |
| 2.   | Skriňové regály neuzatvoriteľné | V tomto regály sa skladujú materiály, ktoré nie je potrebné chrániť pre znečistením.<br>Parametre sú totožné s uzatvoriteľným skriňovým regálom                                                                                                           | <br>Skriňové regály neuzatvoriteľné<br>(Priemyselný tovar 2013) |
| 3.   | Skriňové regály so zásuvkami    | Tento regál so zásuvkami umožňuje bezpečné a prehľadné uloženie rôznorodého materiálu, náradia, nástrojov a meradiel.<br>Výška regála [mm]: 1000-3000<br>Šírka regála [mm]: 714-1428<br>Hĺbka regála [mm]: 553-705<br>Nosnosť regála [kg]: 100-300        | <br>Skriňové regály so zásuvkami<br>(Regaz 2013)               |

#### 4.4.4 Obežné regály

„Konkrétne ide o skriňové paternostery s obložením po celom obvode (okrem vstupných a výstupných miest), najčastejšie s priehradovými podlažiami. Používajú sa na uskladnenie drobných súčiastok a náhradných dielov, pričom etážové paternostery sa používajú na uskladnenie tyčových profilov a balíkov.

Funkcie:

- automatizovaný obežný regál na skladovanie rozličného tovaru, ako napríklad náradie, šanóny, priemyselný tovar, spotrebný tovar a iné.

- b) flexibilne použiteľné priečinkové dná ktoré sú zavesené na vertikálne obiehajúcej reťazi dopravujú skladovaný tovar priamo na výdajový otvor – podľa princípu "tovar k človeku".
- c) tovar sa tu môže priamo odobrať, alebo uložiť.
- d) integrovaný systém pre optimalizáciu cesty umožňuje skrátenie prístupových časov.

Obežné regály môžu mať výšku až 12 m a šírku 5 m“ (Bátovský 2013) (obr. 6).



Obr. 6 Obežný regál (Epoťavka 2013)

#### 4.4.5 Mobilné regály

„Ďalšiu možnosť ako skladovať materiál na malej ploche poskytujú pojazdné regály. Regálové uličky sú obmedzené na minimum. Vytvárajú sa regálové bloky, ktorých veľkosť závisí predovšetkým na frekvencii obsluhy. Posuvný regál sa skladá z pojazdného podvozku, na ňom môžu byť namontované rôzne typy regálu (napríklad policové, paletové alebo stromčekové) ako dvojité regály, a tvoria tak regálový vozík. Vozíky jazdia po koľajniciach na podlahe; v závislosti na ich veľkosti a nosnosti sú poháňané ručne alebo motoricky. Jednotlivé vozíky s regálovými nadstavbami môžu prísť tesne k sebe. Komprimovaná štruktúra má za následok i sústredené zaťaženie. Preto je treba, aby prevádzkovateľ preveril statické skutočnosti a venoval pozornosť i deformáciám. Regálová ulička pripadá spravidla na osem až desať regálových jednotiek. Vnútorne strany tvoria dva pevné jednoduché regály. Rýchlosť regálových vozíkov je pri jednotlivom pohone okolo 0,08 m/s, pri skupinovom pohone asi 0,15 m/s.

Oproti výhode vysokého stupňa využitia plochy a priestoru sú nevýhodou malé uskladňovacie a vyskladňovacie frekvencie, vysoké investície a malá prehľadnosť. Uskladňovať a vyskladňovať sa dá podľa typu a veľkosti regálu ručne alebo vozíkom. Časy prístupu sa dajú zvýšiť predvoľbou otvárania uličiek“ (Bátovský 2013).

#### 4.4.6 Viacpodlažné regálové systémy

Pokiaľ je kapacita skladu nedostatočná a neexistuje priestor pre rozšírenie skladu, používajú sa poschodové skladovacie plošiny, pokiaľ sú dostatočne vysoké priestory

skladu. Tento systém je vhodný pre skladovanie veľkého počtu súčiastok. Musí byť dodržaná vysoká nosnosť podlahy a ukladacích úrovní. Prístup na podlažie je umožnený schodmi. Môžu byť zavedené aj viac schodišť. Tovar sa na podlažie dostáva cez predávajúce miesto alebo je zabezpečený pomocou výtahu. Zariadenie na poschodí sa obsluhuje ručne, ale na prízemí sa môžu využívať aj vysokozdvížne vozíky (Regaleshop 2013), (Bátovský 2013) (obr 7).



Obr. 7 Viacpodlažný regálový systém (Regaleshop 2013)

#### 4.4.7 Organizácia skladovania

Organizácia skladovania môže byť viazaná na bunku skladovacieho systému alebo je skladovanie bez tohto systému organizácie. Organizácia skladovania viazaná na bunku skladovacieho systému sa rozdeľuje na skladovanie s pevným miestom uloženia alebo s voľným miestom uloženia (Büngers 2014) (tab. 7).

Tab. 7 Porovnanie systémov skladovania (Büngers 2014).

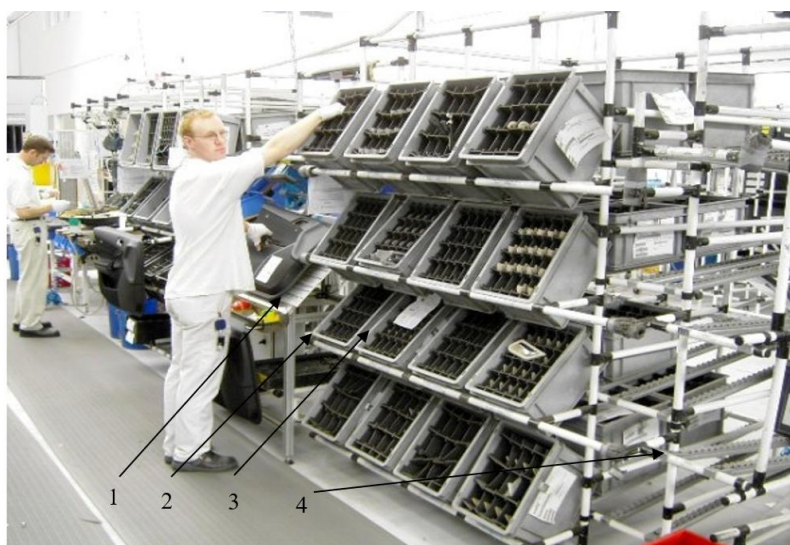
|            | Systém skladovania s pevným miestom uloženia                                                                                                     | Systém skladovania s voľným miestom uloženia             |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|            |                                                                                                                                                  |                                                          |
| Výhody     | Známe miesto uloženia.<br>Ľahká orientácia pracovníkov skladu.<br>Jednoduchá manipulácia.<br>Nie je potrebný žiadny systém pre prevádzku skladu. | Lepšie využitie kapacít. Aplikácia princípu FIFO         |
| Nevýhody   | Zlé kapacitné využitie skladu.<br>Ťažké použitie princípu FIFO                                                                                   | Permanentná kontrola obsadených a voľných miest v sklade |
| Vhodné pre | Malé dielce.<br>Tovar konštantného objemu                                                                                                        | Meniaci sa objem skladovaných položiek                   |

#### 4.5 Príklady aplikácií skladovacích systémov

Existuje mnoho druhov regálových systémov. Na obr. 5 je rozdelenie najpoužívanejších regálov. Medzi najviac používané regály patria paletové, policové konzolové regály, viacpodlažná skladovacia plošina, skriňové a obežné regály.

##### 4.5.1 Regálový systém pre montáž dverí automobilu od firmy TRILOGIQ

„Tento regálový systém je súčasťou pracoviska pre montáž dverí. Je vyrobený z ľahkých materiálov a je úplne rozmontovateľný. Je ho možné rozobrať a poskladať na iný regálový systém“ (Bátovský 2013) (obr. 8).



Obr. 8 Regálový systém pre montáž dverí od firmy TRILOGIQ (Trilogiq 2013)

Legenda:

1. Pracovný stôl
2. Rám regálového systému
3. Box s dielcami
4. Regál pre odkladanie prázdnych boxov

„Regál sa kvôli obsiahlemu sortimentu skladá zo 4 úrovní, v ktorých sú uložené jednotlivé boxy. Tento regál je imobilný, to znamená, že nemá posuvné kolieska. Regál sa zásobuje zozadu. Boxy sa pomocou valčiek a s využitím spádového systému dostávajú na pozíciu vhodnú pre montáž. Tieto boxy sa na konci spádu naklopia na vhodný uhol pre lepšiu manipuláciu pri montážnych operáciách. Aby nevypadli zo zásobníka, montuje sa na regál doraz. Tento regálový systém je uložený vedľa montážneho stola. Výhodou regála je, že má veľkú kapacitu pre rôzne dielce. Nevýhodou zas je, že montážny pracovník sa musí zohýbať, aby vybral dielce z nižších úrovní. To zvyšuje čas montáže a zvyšuje sa námaha pracovníka.

Vedľa zásobovacieho regála je odkladací regálový systém pre prázdne boxy. Tiež sa tu využíva spádový systém. Pri odkladaní prázdnych boxov, pracovník musí vybrať prázdny box zo zásobovacieho regála a vkladať ho do vedľajšieho regála, čo má nepriaznivý vplyv na montážne časy“ (Bátovský 2013).

#### 4.5.2 Regálové systémy pre montáž náprav prívesných vozíkov automobilu vo firme KNOTT

„Na pracovisku pre montáž náprav automobilu sa používajú rôzne druhy regálových systémov. Kvôli nedostatku miesta na pracovisku, je regálový systém rozmiestnený okolo montážneho pracovníka“ (Bátovský 2013) (obr. 9).



**Obr. 9 Regálové systémy pre montáž náprav prívesných vozíkov automobilu vo firme KNOTT (Knott 2013)**

Legenda:

1. Regál na hotové výrobky
2. Pracovná konštrukcia
3. Regálový mobilný zásobník
4. Palety pre uskladnenie tyčového materiálu

„Ako pracovný stôl slúži konštrukcia s ramenami, na ktorej je sa montuje náprava . Celá táto konštrukcia je na kolieskach. Za pracovníkom sa nachádza mobilný obojstranný regálový systém s montážnymi dielcami. Ak sa pracovníkovi minú dielce, musí celý regál odtlačiť ku zásobníku regálov a vymeniť za plný. Tyčové dielce sú pomerne dlhých rozmerov a preto sú uložené na paletách. Tento systém uloženia má výhodu rýchleho a jednoduchého dodania. Ak montážny pracovník dokončí prácu, tak pomocou žerjavu je zmontovaná súčiastka presunutá do regála s hotovými výrobkami“ (Bátovský 2013)

#### 4.5.3 Regálový systém pre uskladnenie nárazníkov automobilu od firmy BESTO

„Uloženie nárazníkov automobilu je na policových regáloch. Využíva sa metóda LIFO, to znamená, že posledný nárazník, ktorý bol vložený do regálového systému, bude prvý vybratý na montáž“ (Bátovský 2013).

„Konštrukcia regála je montovateľná s možnosťou nastavenia výšky políc. Nárazníky automobilov sú ukladané v rade za sebou (obr. 10). Využíva sa spádový valčekový systém. Dielce sa na spádovom systéme ukladajú dopredu regála, aby boli ľahko dostupné. Pri uskladnení nového dielca sa používa metóda Push-back. Táto metóda znamená, že nový dielce pri uskladnení, posunie po valčekoch ostatné dielce smerom dozadu regála. Každý nárazník v regáli je položený na vlastnej skladovacej plošine.

Táto plošina je uložená na mobilnom regáli s mechanizmom, ktorý slúži na nakladanie a vykladanie dielcov“ (Bátovský 2013).



**Obr. 10 Regálový systém pre uskladnenie predných masiek automobilu od firmy BESTO (Besto 2013)**

Legenda:

1. Zakladací mechanizmus s plošinou pre dielec
2. Mobilný regál so základacím mechanizmom
3. Rám regálového systému
4. Uložený dielec

#### **4.5.4 Regálový systém pre uskladnenie výfukov automobilu vo firme Hyundai**

„Výfuky sú dlhé súčiastky nepravidelných tvarov (obr. 11). Skladované sú na policovom delenom regály s rôznymi výškami polic“ (Bátovský 2013).



**Obr. 11 Regálový systém pre uskladnenie výfukov automobilu vo firme Hyundai (Pecák 2012)**

Legenda:

1. Dolná úroveň
2. Rám regálu
3. Skladovaný výrobok
4. Horná úroveň

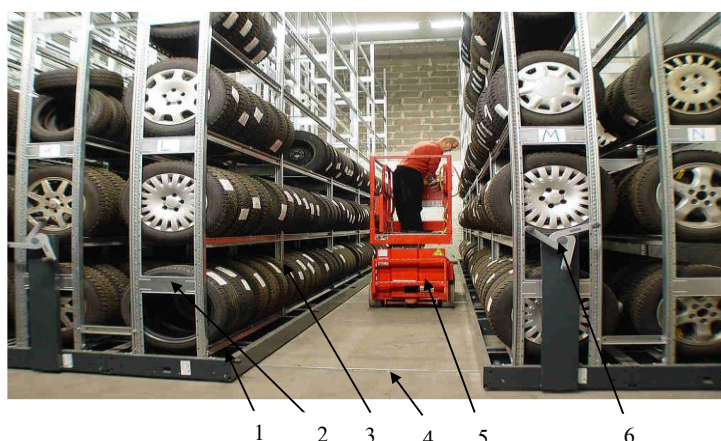
„Tento regálový systém pre uskladnenie výfukov má tuhú a zoskrutkovanú konštrukciu. Celý regál je postavený na posuvných kolieskach, čo zaručuje jeho mobilitu. Vzhľadom na tvar výfuku je regál rozdelený na 3 časti:

- Dolná polica, kde je uložená výfuková časť s prírubou.
- Stredná časť, kde nie je polica, slúži na uloženie tlmiča výfuku.
- Horná polica, kde je uložená koncová časť výfuku.

Police majú rebrinový tvar, pre lepšie uloženie výfuku, a pre odľahčenie regálového systému“ (Bátovský 2013).

#### **4.5.5 Mobilný regálový systém pre uskladnenie kolies automobilov od firmy DEXION**

Kolesá automobilov sú umiestnené na vysokom policovom regáli. Kolesa majú úzky profil, tak sú skladované na výšku, kvôli lepšiemu využitiu plochy, lepšej prehľadnosti a lepšej manipulácie (obr. 12).



**Obr. 12 Mobilný regálový systém pre uskladnenie kolies automobilov od firmy DEXION (Dexion 2013)**

Legenda:

1. Mobilná konštrukcia regálového systému na pojazdnom podvozku
2. Policový rám
3. Skladované koleso
4. Koľajnica pre podvozok regála
5. Zdvíhacia plošina
6. Mechanická kľuka manipuláciu s regálmi

Regálový systém pre uskladnenie kolies má mobilnú konštrukciu na pojazdnom podvozku. Tento systém šetrí priestor v sklade a to tak, že eliminuje zbytočné uličky. Jednotlivé regály sú prisunuté pri sebe a pomocou mechanickej kľuky posunieme regály. Tým nám vznikne len jedna ulička pre vjazd zdvíhacej plošiny. Táto plošina funguje na elektrický pohon a má hydraulické zdvíhacie zariadenie. Vďaka tejto plošine je možné použiť vysoké policové regály. Plošina slúži na vkladanie a vyberanie sortimentu z regála. Rám regála je vyrobený z hliníka a má jednoduchú konštrukciu. Police nie sú vyplnené, ale je tam medzera, aby kolesu do nej zapadlo a ostalo pevne ukotvené.

## ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- Alfa Warehouses. (2024). Class A+ warehouse Find out what characterizes a top-class facility. Publikované 06.02.2024. [dostupné online] <https://alfamagazyn.pl/en/class-a-warehouse-find-out-what-characterizes-a-top-class-facility/>
- Ally Logistic – Logistic Services. (2023). Storage facility classification: characteristics and differences. Publikované 22.03.2023. <https://allylogistic.com/en/storage-facility-classification-characteristics-and-differences/>
- Bátovský, J. (2013). Regálové systémy pre montážne pracoviská. Diplomová práca. Košice Technická univerzita v Košiciach. 84 s.
- BESTO. (2013). Skladovacia technika [online] [cit. 2013-23-04]. Dostupné na internete: <http://www.besto.sk/sk/skladovacia-technika.php>
- Büngers, A. (2014). Material - und Fertigungswirtschaft. WS 2014/2015. Technische Hochschule Mittelhessen. Studium Plus.
- DEXION. (2013). BEKO Bil, Švédsko [online] [cit. 2013-10-04]. Dostupné na internete: <http://www.dexion.sk/Referencie/Maloobchodne-uskladnenie/Maloobchodne-uskladnenie-pre-automobilove-diely/BEKO-Bil-vedsko/>
- Encyklopédia poznania. (2020). Skladové hospodárstvo, členenie, súčasti. Publikované 22.04.2020. <https://encyklopediapoznania.sk/clanok/8630/skladove-hospodarstvo-clenenie-sucasti>
- Enprag. (2013). Kozolový regál multistrong M [online] [cit. 2013-18-04] Dostupné na internete: <http://www.kovovynabytek.cz/Konzolove-regaly-MULTISTRONG-M-jednostranne-zakladni-7507-5020.html>
- Epoptavka. (2013). Regálové systémy Toman [online] [cit. 2013-10-04] Dostupné na internete: <http://dodavatele.epoptavka.cz/5554-regalove-systemy-toman/nabidka/305349-obezne-regaly>
- Fénix kovovýroba. (2013). Konzolové regály [online] [cit. 2013-22-04] Dostupné na internete: <http://fenix.wz.sk/konzolove%20regaly.html>
- Jungheinrich. (2013). Valčkové a push back regály [online] [cit. 2013-18-04] Dostupné na internete: <http://www.jungheinrich.sk/sk/sk/jungheinrich/logisticke-systemy/regaly/valcekové-a-push-back-regaly>
- Kardexstow. (2013). Výškové poliové regálové systémy [online] [cit. 2013-26-04] Dostupné na internete: [http://www.regaly-stow.cz/index.php?option=com\\_content&view=article&id=30&Itemid=43&lang=cs](http://www.regaly-stow.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=30&Itemid=43&lang=cs)
- Khaletskaya, A. (2021). Warehouse Classes: Guide to Their Characteristics And Differences. Publikované 21.05.2021. [dostupné online] <https://wareteka.com.ua/en/blog/warehouse-classes/>
- Knott. (2013). Montáž. [online] [cit. 2013-14-04]. Dostupné na internete: <http://www.knott.sk/vyrobne-moznosti/montaz>
- Kredit s.r.o. (2013). Vjazdové regály DRIVE-IN [online] [cit. 2013-26-04] Dostupné na internete: <http://www.pojazdne-regaly.sk/vyrobky/sklady/paletove-regaly/vjazdove-regaly-drive-in/>
- LCL Logistic. (2022). Class A warehouse. What does this mean? Publikované 25 April 2022. <https://lcl-logistic.com/en/class-a-warehouse-what-does-this-mean/>
- MECALUX. (2013). Mobilné regálové systémy MOVIRACK [online] [cit. 2013-27-04] Dostupné na internete: <http://www.mecalux.sk/paletove-regaly/paletove-posuvne-regaly>
- Megainzerce. (2013). Spádový regál [online] [cit. 2013-13-04] Dostupné na internete: <http://stroje.megainzerce.cz/prumyslove-vybaveni/spadovy-regal-293175.htm>
- Mercator DMS 1. (2013). Dielenská skriňa s boxami UK2 [online] [cit. 2013-12-04] Dostupné na internete: <http://www.mercator.sk/?clanok=item&cat=108&item=1047>
- Mercator DMS. (2013). Mobilné konzolové regály [online] [cit. 2013-20-04] Dostupné na internete: <http://www.mercator.sk/?clanok=item&cat=10&item=5025>
- Miras.cz. (2013). Logistika – skladové systémy. [online]. [cit. 2013-12-03]. Dostupné na internete: <http://www.miras.cz/seminarky/logistika-skladove-systemy.php>

- Pecák, R. (2012). Výroba nové generace Hyundai i30 v Nošovicích. Publikované 11.02.2012. [online] [cit. 2024-11-29]. Dostupné na internete: <http://auto.aktualne.centrum.cz/fotogalerie/2012/02/11/vyroba-nove-generace-hyundai-i30-v-nosovicich/foto/448190/>
- Priemyselný tovar. (2013). Skriňa pre 48 násypiek [online]. 2010. [cit. 2013-14-04]. Dostupné na internete: <http://www.priemyselnytovar.sk/predaj/1604/Skrina-pre-48-nasypiek/>
- Regal sistem. (2013). Mobilné policové regály [online] [cit. 2013-22-04]. Dostupné na internete: <http://www.regalsistem.sk/eshop/mobilne-policove-regaly>
- Regaleshop. (2013). Viacpodlažné riešenia [online] [cit. 2013-13-04]. Dostupné na internete: <http://www.regaleshop.sk/viacpodlazne-regalove-systemy>
- Regálové systémy. (2013). Regály, regálové systémy [online] [cit. 2013-15-04]. Dostupné na internete: <http://www.regalovy-system.cz/>
- Regaz. (2013). Zásuvkový systém FSR [online] [cit. 2013-13-04]. Dostupné na internete: <http://www.regaz.cz/sk/page/2733.zasuvkovy-system-fsr/>
- Schulte, Ch. (1994). Logistika. Praha – Victoria Publishing. 312 s. ISBN 80-85605-87-2
- Sojka, M. (2023). Typy skladovacích zariadení a ich funkcie. Publikované 11.05.2023. <https://www.bekuplast.sk/post/typy-skladovacich-zariadeni-a-ich-funkcie/>
- STILL International. (2013). Sklad so širokými uličkami [online] [cit. 2013-27-04]. Dostupné na internete: <http://www.stillsr.sk/sklad-so-sirokeymi-ulickami.0.0.html>
- Tecta Logistic. (2023). Delenie skladov. Publikované 13.06.2023. [cit. 2023-12-02]. Dostupné na internete: <https://www.tecta.sk/delenie-skladov/>
- Trilogiq. (2013). Regály a regálové systémy [online] [cit. 2013-17-04]. Dostupné na internete: <http://trilogiq.cz/produkty-leantek/regaly-regalove-systemy/>
- Tvoja provozna. (2013). Police se šikmými policemi [online] [cit. 2013-26-04]. Dostupné na internete: <http://www.tvojeprvozovna.cz/regalove-a-policove-systemy/regaly-se-sikmyimi-policemi/>
- Village. (2017). Rozdelenie skladov: Aké druhy poznáme? Publikované 02.04.2017. [cit. 2023-12-02]. Dostupné na internete: <https://www.village.sk/rozdelenie-skladov-ake-druhy-pozname/>

## **ZÁVER**

Cieľom učebnice je rozšíriť poznatky čitateľa v oblasti montáže o tematické okruhy súvisiace so stanovením času, rozmerovými obvody, automatizáciou a zariadeniami pre zásobovanie a skladovanie.

Učebnica je rozdelená do štyroch kapitol. V prvej kapitole sú popísané prístupy k stanoveniu času montáže s prihliadnutím na ich výhody a nevýhody.

Druhá kapitola sa venuje rozmerovým obvodom, ktoré zohrávajú významnú úlohu pri montáži, pretože majú priamy vplyv na zmontovateľnosť súčiastok. Popísané sú základné typy rozmerových obvodov a spôsoby ich riešenia.

Tretia kapitola je zameraná na základný popis flexibility, automatizácie a robotizácie v montáži s prihliadnutím na súčasný trend čoraz širšieho nasadzovania humanoidných robotov.

Posledná, štvrtá kapitola popisuje zariadenia používané na zásobovanie a skladovanie. Skladovanie a zásobovanie má veľmi významnú úlohu v montáži, pretože zvyčajne sa finálny výrobok skladá zo súčiastok vyrobených inde a pred tým než vstúpia do montážneho procesu je potrebné ich doviesť a skladovať.

Veríme, že učebnica bude prínosom nielen pre študentov strojárskych odborov ale aj všetkých záujemcov o problematiku montáže.

## ULTIMEDIÁLNA VIDEO – PODPORA PRE UČEBNICU

### Videá ku kapitole: 1 METÓDY STANOVENIA ČASU MONTÁŽE

História montáže, Henry Ford – stopky:

<https://www.youtube.com/watch?v=cTZ3rjHHSik>

MTM – <https://www.youtube.com/watch?v=J0WNQJl6WRI>

MTM – <https://www.youtube.com/watch?v=h68iWHQ9AtQ>

Časové a pohybové štúdie – <https://www.youtube.com/watch?v=077eIB7-CYE>

MOST – [https://www.youtube.com/watch?v=vn8ga-atDVw&list=PLBoQBjMRs5ZLXJYArU\\_0TC1YN486djIhn](https://www.youtube.com/watch?v=vn8ga-atDVw&list=PLBoQBjMRs5ZLXJYArU_0TC1YN486djIhn)

MOST – <https://www.youtube.com/watch?v=0Vwxz0TXpB8>

Časové štúdie – <https://www.youtube.com/watch?v=3lq-6CdelbM>

Časové štúdie – <https://www.youtube.com/watch?v=oYwc7HceBHg>

MODAPTS – <https://www.youtube.com/watch?v=Thfq-t27m9Q>

### Videá ku kapitole: 2 ROZMEROVÉ REŤAZCE V MONTÁŽ

Rozmerový obvod (jednoduchá zostava) –

<https://www.youtube.com/watch?v=GSXZipWl0fU>

Tolerančná analýza – <https://www.youtube.com/watch?v=oSL3E0IKonA>

Rozmerový obvod – <https://www.youtube.com/watch?v=Ts2aYZD9z40&t=1246s>

Rozmerový obvod –

<https://www.youtube.com/watch?v=PcDaJBzSK90&list=PLKaojPU8IONFW8VWrUNGoSLvmY3FsBDXb>

Rozmerový obvod diera – hriadel' –

<https://www.youtube.com/watch?v=HSSeaLUnKO8>

Tolerančná analýza – <https://www.youtube.com/watch?v=EVDE7VTv-8s>

Metóda Maxima-Minima vs RSS –

<https://www.youtube.com/watch?v=q3SQBYQELtE>

Metóda Monte Carlo – <https://www.youtube.com/watch?v=f4eEgNPGG0I>

Six Sigma – [https://www.youtube.com/watch?v=VY8oL\\_RYCi0](https://www.youtube.com/watch?v=VY8oL_RYCi0)

Rozmerový obvod – <https://www.youtube.com/watch?v=MUB9DumAHmw>

Rozmerový obvod – <https://www.youtube.com/watch?v=7lysMxpZjpY>

### Videá ku kapitole: 3 FLEXIBILITA, AUTOMATIZÁCIA A ROBOTIZÁCIA V MONTÁŽNOM PROCESE

Humanoidné roboty – [https://www.youtube.com/watch?v=W\\_tKQCzLnI4](https://www.youtube.com/watch?v=W_tKQCzLnI4)

Top 10 čínskych humanoidných robotov – <https://www.youtube.com/watch?v=i4J-4VOnXJI>

Mikrotovárne – <https://www.youtube.com/watch?v=VNqmvIuzbR4>

Autonómna továreň – [https://www.youtube.com/watch?v=y8bJk\\_hGYD4](https://www.youtube.com/watch?v=y8bJk_hGYD4)

Robotická revolúcia – <https://www.youtube.com/watch?v=HX6M4QunVmA>

Továreň budúcnosti – <https://www.youtube.com/watch?v=BQ5t7zgoQRM>

AI automatizácia – <https://www.youtube.com/watch?v=RnUUk4BI06w>

Automatizovaná montáž – <https://www.youtube.com/watch?v=uqLtZnI52IY>

Výroba automobilu – [https://www.youtube.com/watch?v=P7fi4hP\\_y80](https://www.youtube.com/watch?v=P7fi4hP_y80)

Výroba automobilu – <https://www.youtube.com/watch?v=g3RxpoQ-KO4>

#### **Videá ku kapitole: 4 ZARIADENIA PRE ZÁSOBOVANIE A SKLADOVANIE**

Chytrý sklad – <https://www.youtube.com/watch?v=IMPbKVb8y8s>

Sklad obsluhovaný robotmi – <https://www.youtube.com/watch?v=TUx-ljgB-5Q>

Robotizovaný sklad – <https://www.youtube.com/watch?v=U2AGLeJBFNg>

Robotizovaný sklad – <https://www.youtube.com/watch?v=eBsir9mqGeg>

AGV – <https://www.youtube.com/watch?v=qahujJ-8vdk>

Inventory Management – <https://www.youtube.com/watch?v=0NOER-Lle-0>

Regále – [https://www.youtube.com/watch?v=rIF5E\\_RXvg4](https://www.youtube.com/watch?v=rIF5E_RXvg4)

Skladovacie systémy – <https://www.youtube.com/watch?v=glC08NXJpLY>

Skladovacie systémy – <https://www.youtube.com/watch?v=gljycva55NY>

Regálové systémy – <https://www.youtube.com/watch?v=wmnHfs8cXxU>

## ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

### Kapitola 1

- Avix. 2024. [cit. 2024-08-02]. Dostupné na internete: <https://www.assecocet.com/en/products/avix/>
- Buda, J., Kováč, M. 1990: Metodika projektovania výrobných procesov v strojárstve. 2 vydanie. Bratislava – ALFA. 512 s. ISBN 80-05-00234-3
- Dlabač, Jaroslav. 2015. Analýza a měření práce. [cit. 2021-03-10]. Dostupné na: <https://www.e-api.cz/25784n-analyza-a-mereni-prace>
- Ellingerová, Helena. 2015. Techniky merania a metódy stanovenia noriem času. [cit.2021-03-05]. Dostupné na internete: <https://www.casopiseurostav.sk/casopis-eurostav/rocnik-20151/52015/techniky-merania-a-metody-stanovenia-noriem-casu>
- Füssel, U., Flemming, V. 2002: Vorlesung Fertigungsplanung I. Dresden – IPT TU Dresden.
- Gregor, M., Krišták, J., Hromada, J. 2005: *Progresívny prístup k analýze práce a zvyšovaniu produktivity na pracovisku*. Žilina – Slovenské centrum produktivity, 2005. 18 s. [cit. 2024-08-04]. Dostupné na internete: <http://www.produktivita.sk>
- Helander, Martin. 2006. A Guide to Human Factors and Ergonomics. Boca Raton : CRC Press. ISBN 0-415-28248-9.
- Hitka, Miloš. 2004. Prednášky – náuka o práci. [cit.2021-03-05]. Dostupné na internete: <http://miloshitka.szm.com/schemynop.html>
- IPA Slovakia. 2025: [cit. 2025-04-10]. Dostupné na internete: <http://www.ipaslovakia.sk>
- Kee, D. 2020. An empirical comparison of OWAS, RULA and REBA based on self-reported discomfort. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 26(2), 285-295. ISSN 2376-9130
- Keller J. J. 2015. Understanding the NIOSH lifting equation. [cit.2021-03-24]. Dostupné na internete: <https://www.safetyandhealthmagazine.com/articles/12333-understanding-the-niosh-lifting-equation>
- Kivi, P., Mattila, M. 1991. Analysis and improvement of work postures in the building industry: application of the computerised OWAS method. Applied Ergonomics, 22(1), 43-48. ISSN 0003-6870.
- Kopinec, P. 2021. Normovanie montážnych operácií, [Bakalárska práca] Slovenská technická univerzita v Bratislave. Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave; Trnava: MTF STU, 2021. 135 s.
- Košťuriak, J., Gregor, M., Mičieta, B., Matuszek, J. 2000: Projektovanie výrobných systémov pre 21. storočie. Žilina. Žilinská univerzita. 398 s. ISBN 80-7100-553-3
- Lhotský, Oldřich. 2005. Organizace a normování práce v podniku. Praha: ASPI. ISBN 80-7357-095-5.
- Macleod, Iain. 2003. Real-world effectiveness of Ergonomic methods. Applied Ergonomics, 34(5), 465-477. ISSN 0003-6870
- Mareš, A., Senderská, K. 2012: Experiences with the application of video analysis in the manual assembly. In: Machines, Technologies, Materials. Vol. 6, no. 3 (2012),

- p. 17-19. ISSN 1313-0226. [cit. 2025-03-02]. Dostupné na internete: <http://mech-ing.com/journal/3-2012.html>
- Mcatamney L., Nigel Corlett E. 1993. RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*, 24(2), 91-99. ISSN 0003-6870.
- Mertens, A., Schlick, CH. 2016. *Industrial Engineering and Ergonomics: Modeling and optimizing manual work processes with MTM*. Aachen: Chair and Institute of Industrial Engineering and Ergonomics. [cit. 2021-04-01]. Dostupné na internete: <https://iaw-aachen.de/files/iaw/vorlesungen/Winter/2016/IEE/IEE LE05 WiSe16 Slides.pdf>
- MTM 2024. [cit. 2024-03-10]. Dostupné na internete: <https://www.yourarticlelibrary.com/ergonomics/work-measurement/9-basic-motion-elements-of-method-time-measurement/34568>
- MTM-1. 2019. [cit. 2024-03-09]. Dostupné na internete: [https://mtm.org/fileadmin/user\\_upload/MTM-1\\_datacard\\_2019\\_EN.pdf](https://mtm.org/fileadmin/user_upload/MTM-1_datacard_2019_EN.pdf)
- Normativy pohybu 1. díl: Metodika výuky systému MTM-1. Praha. Kovoprojekta, 1976. 282 s.
- Patel, D., Tomar, P. 2017. A Review on Optimization in Total Operation Time Through Maynard Operation Sequence Technique. *International Journal of Science Technology & Engineering*, 3(9), 13-16. 2349-784X
- Productivity team. 2024. [cit. 2024-08-02]. Dostupné na internete: <https://productivityteam.com/modapts-modular-arrangement-of-predetermined-time-studies>
- Productivity team. 2024. [cit. 2024-08-02]. Dostupné na internete: <https://www.proplanner.com/solutions/assembly-process-planning/time-studies>
- Rashmi, Shahu. 2016. The NIOSH Lifting Equation for Manual Lifting and Its Applications. *Journal of Ergonomics*, 6(2), 1-3. ISSN 2165-7556.
- Rexroth (Bosch Group) – Ergonomie Foliensatz. Drive & Control. [cit. 2022-03-20]. Dostupné na internete: <https://www.proplanner.com/solutions/assembly-process-planning/time-studies/modapts>
- Six Sigma. 2024. [cit. 2024-08-02]. Dostupné na internete: <https://www.6sigma.us/wp-content/uploads/2024/05/modapts.webp>
- Six Sigma. 2025. [cit. 2024-08-01]. Dostupné na internete: <https://www.6sigma.us/work-measurement/modapts-modular-arrangement-of-predetermined-time-standards/>
- Soukupová, V., Strachotová, D. 2006. *Podniková ekonomika*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. [cit. 2021-03-10]. Dostupné na internete: [http://147.33.74.135/knihy/uid\\_ekniha-002/pdf/119.pdf](http://147.33.74.135/knihy/uid_ekniha-002/pdf/119.pdf)
- Svět produktivity: NIOSH Lifting Index. 2012. [cit. 2021-04-02]. Dostupné na internete: <https://www.svetproduktivity.cz/slovník/NIOSH-Lifting-Index.htm>
- Szombathyová, E. 2006. *Transfer inovací: Využití metody MTM při racionalizaci pracovní činnosti*. Košice: Technická univerzita v Košiciach. [cit. 2021-02-23]. Dostupné na internete: <http://www.sjf.tuke.sk/transferinovaci/pages/archiv/transfer/9-2006/pdf/200-202.pdf>
- Tomek, G., Vávrová, V. 2007. *Řízení výroby a nákupu*. Praha: Grada publishing. s. 131. ISBN 978-80-247-1479-0.

- Tomek, G., Vávrová, V. 2014. Integrované řízení výroby: Od operativního řízení výroby k dodavatelskému řetězci. Praha: Grada publishing. s. 134-136. ISBN 978-80-247-4486-5.
- Vision. 2024. [cit. 2025-03-02]. Dostupné na internete: <https://tmu-calculator.de/product/>
- Vision. 2024. [cit. 2025-03-02]. Dostupné na internete: <https://www.vision.fraunhofer.de/content/dam/vision/en/documents/webshop/brochures-and-prospectuses/industrial-image-processing/automatic-time-recording-for-manual-assembly-processes.pdf>
- Work and Time Study. 2003. Aachen – IAW Chair and Institute of Industrial Engineering and Ergonomics Aachen University.

## Kapitola 2

- Boca Raton. (2025). CRC Press (Taylor & Francis). 512 s. ISBN 978-1-4398-1572-4
- Cogorno, Gene R. (2006). Geometric Dimensioning and Tolerancing for Mechanical Design. New York McGraw-Hill.
- Enventive Engineering, Inc. (2025). When to Use 1D, 2D, and 3D Tolerance Stack Up Analysis? [cit. 2025-02-08]. Dostupné na: <https://enventive.com/tolerance-analysis-resources/differences-between-1d-2d-and-3d-tolerance-stacks/>
- Fischer, Bryan R. (2011). Mechanical Tolerance Stackup and Analysis, Second Edition. Glézl, Štefan, Kamarád Josef a Slimák Ivan. (1992). Presná mechanika. Bratislava: Alfa. 720 s. ISBN 80-05-00972-0 (viaz.)
- Henzold, Georg (2006). Geometrical Dimensioning and Tolerancing for Design, Manufacturing and Inspection. A Handbook for Geometrical Product Specification using ISO and ASME Standards. Second edition. Amsterdam – Elsevier. ISBN-13: 978-0-7506-6738-8
- Chiang, Young J. (2024). Product Design and Testing for Automotive Engineering, Volume II - 7.11 Homogenous Transformations for Tolerance Analysis. SAE International. [cit. 2025-02-08]. Dostupné na: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt01420081/product-design-testing/homogenous-transformations>
- Lin, Cheng (2009). AC 2009-138: Calculation of tolerance stacks using direct-position approach in geometric dimensioning and tolerancing. American Society for Engineering Education.
- Mareš, A. (2023). Základy montáže 1. 1. vyd. Košice : Technická univerzita v Košiciach 2023. 72 s. [CD-ROM]. ISBN 978-80-553-4447-8.
- Newtonian World. (2025). Engineering tolerances – introduction. [cit. 2025-02-08]. Dostupné na: <https://newtonianworld.com/engineering-drawings/engineering-tolerances-introduction/>
- Oberg, Erik Jones, Franklin D. Horton, Holbrook L. Ryffel, Henry H. McCauley, Christopher J. (2024). Machinery's Handbook (32nd Edition) 4.2.8 Tolerance Analysis and Assignment. Industrial Press. [cit. 2025-02-10]. Dostupné na: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt013SQN82/machinerys-handbook-32nd/tolerance-analysis-assignment>
- Petele, M. (2025). Tolerance analysis of 2-D and 3-D dimensional chains. [cit. 2025-02-10]. Dostupné na: <https://www.mitcalc.com/doc/tolanalysis3d/help/en/tolanalysis3d.htm>
- Petrů, J.; Čep, R. (2012) Základy montáže. Ostrava: Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 123 s. ISBN 978-80-248-2773-5
- Sahani, A. K., Jain, P. K. & Sharma, S. C. (2013) Geometrical Tolerance Stack Up Techniques, Chapter 52 in DAAAM International Scientific Book 2013, pp. 857-872, B. Katalinic & Z. Tekic (Eds.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-901509-94-0, ISSN 1726-9687, Vienna, Austria DOI: 10.2507/daaam.scibook.2013.52. [cit. 2024-06-13]. Dostupné na: [https://www.daaam.info/Downloads/Pdfs/science\\_books\\_pdfs/2013/Sc\\_Book\\_2013-052.pdf](https://www.daaam.info/Downloads/Pdfs/science_books_pdfs/2013/Sc_Book_2013-052.pdf)
- Syam, W. (2021). 3D tolerance stack-up analysis with examples. Publikované 19.10.2021. [cit. 2024-06-13]. Dostupné na: <https://www.wasyresearch.com/3d-tolerance-stack-up-analysis-with-examples/>

Umaras, E.; Barari, A.; Horikawa, O.; Tsuzuki, M.S.G. (2023). Dimensional Tolerances in Mechanical Assemblies: A Cost-Based Optimization Approach. Appl. Sci. 2023, 13, 9202. [cit. 2024-06-13]. Dostupné na: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/16/9202>

### Kapitola 3

- Rainey, David L., (2005). Product Innovation – Leading Change through Integrated Product Development 9.3.4 Flexibility in Manufacturing and its Relationship to Lean Production. (pp. 407). Cambridge University Press. [cit. 2024-11-29]. Dostupné na internete: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00C3TNF4/product-innovation-leading/flexibility-in-manufacturing>
- Gunasekaran, A., (2001). Agile Manufacturing The 21<sup>st</sup> Century Competitive Strategy 28.4.2 Cycle Time and Capacity Planning. (pp. 541). Elsevier. [cit. 2024-11-29]. Dostupné na internete: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt009Y6HS3/agile-manufacturing-21st/cycle-time-capacity-planning>
- Owen-Hill, Alex (2023). 10 Fantastic Examples of Flexible Manufacturing. Publikované 09.02.2023. [online] [cit. 2024-11-30] Dostupné na internete: <https://robodk.com/blog/10-examples-of-flexible-manufacturing/>
- Automation Tools, (2024). Main Goal of Automation: Understanding the Core Objectives. Publikované 29.01.2024. [online] [cit. 2024-11-30]. Dostupné na internete: <https://subscribed.fyi/blog/main-goal-of-automation-understanding-the-core-objectives/>
- Davim, J. Paulo, (2019). Additive and Subtractive Manufacturing – Emergent Technologies 1.9.7.3 Ceramics. (pp. 37). De Gruyter. [cit. 2024-11-30]. Dostupné na internete: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt01365I43/additive-subtractive/ceramics>
- Bi, Zhuming Wang, Xiaoqin. (2020). Computer Aided Design and Manufacturing 9.1.2.2 Programmable Automation. (pp. 371). John Wiley & Sons. [cit. 2024-11-30]. Dostupné na internete: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt012ENF61/computer-aided-design/programmable-automation>
- Radhakrishnan, P. (2015). Computer Numerical Control Machines and Computer Aided Manufacture (2<sup>nd</sup> Edition) 18.5 Flexible Manufacturing Cells (FMC). (pp. 426). New Academic Science. [cit. 2024-11-30]. Dostupné na internete: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011NRXC1/computer-numerical-control/flexible-manufacturing>
- Intel (2024). Types of Robots: How Robotics Technologies Are Shaping Today's World. [online] [cit. 2024-11-30]. Dostupné na internete: <https://www.intel.com/content/www/us/en/robotics/types-and-applications.html>
- Robotnik, (2024). What are the different types of robots? The 5 strong points of 5 autonomous mobile robots. Publikované: 15.02.2024. [online] [cit. 2024-11-30]. Dostupné na internete: <https://robotnik.eu/what-are-the-different-types-of-robots-the-5-strong-points-of-5-autonomous-mobile-robots/>
- Thompson Clive. (2024). 13 Milestones in the History of Robotics. [online] [cit. 2024-11-30]. Dostupné na internete: <https://www.aventine.org/robotics/history-of-robotics>
- IFR (2024). Robot History. International Federation of Robotics [online] [cit. 2024-11-30]. Dostupné na internete: <https://ifr.org/robot-history>
- AlMaadeed, Mariam Al Ali Ponnammam, Deepalekshmi Carignano, Marcelo A. (2020). Polymer Science and Innovative Applications – Materials, Techniques, and

- Future Developments 12.1.4.9 Driving High-Current Loads from Logic Controllers. (pp. 399). Elsevier. [cit. 2024-11-30]. Dostupné na internete: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt012H4441/polymer-science-innovative/driving-high-current>
- Daily Automation, s.r.o. (2024). Základné delenie robotov. [online] [cit. 2024-11-30] Dostupné na internete: <https://www.dailyautomation.sk/01-zaklady-priemyselnej-robotiky-zakladne-delenie>
- Daily Automation, s.r.o. (2025). BMW odhalilo svoju tajnú zbraň, Humanoidný robot zvyšuje efektívnosť o 400 %. [online] [cit. 2025-06-01]. Dostupné na internete: <https://www.dailyautomation.sk/xbfre-bmw-odhalilo-svoju-tajnu-zbran-humanoidny-robot-zvysuje-efektivitu-o-400>
- Niku, Saeed B.. (2020). Introduction to Robotics – Analysis, Control, Applications (3<sup>rd</sup> Edition) 1.7 Robot Components. (pp. 5). John Wiley & Sons. [cit. 2025-06-01]. Dostupné na internete: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt0137S701/introduction-robotics/robot-components>
- Gupta, A.K. Arora, S.K. Westcott, Jean Riescher. (2017). <i>Industrial Automation and Robotics 13.7 Advantages and Disadvantages of Robots.</i> (pp. 401). Mercury Learning and Information. [cit. 2025-06-01]. Dostupné na internete: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt0119K3U3/industrial-automation/robotics-advantages>
- Salvendy, Gavriel Karwowski, Waldemar. (2021). Handbook of Human Factors and Ergonomics (5th Edition) 54.3.3.2 Technical Substitution of Human Work. (pp. 1444). John Wiley & Sons. [cit. 2025-06-01]. Dostupné na internete: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt012XGJS1/handbook-human-factors/technical-substitution>
- Fanuc. FANUC CRX. (2024). Completes me. Collaborative Robots Smart Guide. [online] [cit. 2025-01-06]. Dostupné na internete: [https://one.fanuc.eu/CRX\\_smartguide\\_preview](https://one.fanuc.eu/CRX_smartguide_preview)
- IFR, (2024). Global Robot Density in Factories Doubled in Seven Years. Publikované 20.11.2024. [online] [cit. 2025-01-06]. Dostupné na internete: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/global-robot-density-in-factories-doubled-in-seven-years>
- Owen-Hill, Alex (2024). 15 Assembly Types: Which to Automate and Which to Avoid. Publikované 14.11.2024. [online] [cit. 2025-01-06]. Dostupné na internete: <https://blog.robotiq.com/15-assembly-types-which-to-automate-and-which-to-avoid/>
- Waseem Umar (2024). Automotive Robots: Revolutionizing the Assembly Line. Publikované 01.08.2024. [online] [cit. 2025-01-06]. Dostupné na internete: <https://www.wevolver.com/article/automotive-robots>
- Thompson Alan D. (2024). Lifearchitct.ai/Humanoids. [online] [cit. 2025-01-06]. Dostupné na internete: <https://docs.google.com/spreadsheets/d/105KVQW1Hx5ZAKcg8AIRjbQLQzx2wVaLl0SqUu-ir9Fs/edit#gid=973484009>
- Hanson Robotics Limited. Sophia. (2024). [online] [cit. 2025-01-06]. Dostupné na internete: <https://www.hansonrobotics.com/sophia/>
- United Nations (2017). Humanoid robot joins UN meeting on artificial intelligence, sustainable development. Publikované 12.10.2017. [online] [cit. 2025-01-07]. Dostupné na internete:

- <https://www.un.org/sustainabledevelopment/blog/2017/10/humanoid-robot-joins-un-meeting-on-artificial-intelligence-sustainable-development/>
- Boston Dynamics (2024). Atlas Goes Hands On. [online] [cit. 2025-01-07]. Dostupné na internete: [https://www.youtube.com/watch?v=F\\_7lPm7f1vI](https://www.youtube.com/watch?v=F_7lPm7f1vI)
- Senderská, K. (2015). Prednášky z predmetu: „Metódy pre inteligentné výrobné systémy“. TU v Košiciach. 2015.
- HRT (Humanoid Robotics Technology). (2025). Top 12 Humanoid Robots of 2025. [online] [cit. 2025-06-25]. Dostupné na internete: <https://humanoidroboticstechnology.com/articles/top-12-humanoid-robots-of-2025/>
- Koetsier John, (2025). Humanoid Robots: Here Are The 16 Leading Manufacturers. Publikované 25.01.2025. [online] [cit. 2025-06-25]. Dostupné na internete: <https://www.forbes.com/sites/johnkoetsier/2025/01/25/humanoid-robots-here-are-the-16-leading-manufacturers/>
- Neumann Clas, (2025). Humanoid robots offer both disruption and promise. Here's why. Publikované 16.06.2015. [online] [cit. 2025-06-25]. Dostupné na internete: <https://www.weforum.org/stories/2025/06/humanoid-robots-offer-disruption-and-promise/>
- Mára, O. (2025). Mercedes nasazuje humanoidní roboty ve výrobě. [online] [cit. 2025-03-21]. Dostupné na internete: <https://www.novinky.cz/clanek/auto-mercedes-nasazuje-humanoidni-roboty-ve-vyrobe-40514053>

## Kapitola 4

- Alfa Warehouses. (2024). Class A+ warehouse Find out what characterizes a top-class facility. Publikované 06.02.2024. [dostupné online] <https://alfamagazyn.pl/en/class-a-warehouse-find-out-what-characterizes-a-top-class-facility/>
- Ally Logistic – Logistic Services. (2023). Storage facility classification: characteristics and differences. Publikované 22.03.2023. <https://allylogistic.com/en/storage-facility-classification-characteristics-and-differences/>
- Bátovský, J. (2013). Regálové systémy pre montážne pracoviská. Diplomová práca. Košice. Technická univerzita v Košiciach. 84 s.
- BESTO. (2013). Skladovacia technika [online] [cit. 2013-23-04]. Dostupné na internete: <http://www.besto.sk/sk/skladovacia-technika.php>
- Büngers, A. (2014). Material – und Fertigungswirtschaft. WS 2014/2015. Technische Hochschule Mittelhessen. Studium Plus.
- DEXION. (2013). BEKO Bil, Švédsko [online] [cit. 2013-10-04]. Dostupné na internete: <http://www.dexion.sk/Referencie/Maloobchodne-uskladnenie/Maloobchodne-uskladnenie-pre-automobilove-diely/BEKO-Bil-vedsko/>
- Encyklopédia poznania. (2020). Skladové hospodárstvo, členenie, súčasti. Publikované 22.04.2020. <https://encyklopediapoznania.sk/clanok/8630/skladove-hospodarstvo-clenenie-sucasti>
- Enprag. (2013). Kozolový regál multistrong M [online] [cit. 2013-18-04] Dostupné na internete: <http://www.kovovynabytek.cz/Konzolove-regaly-MULTISTRONG-M-jednostranne-zakladni-7507-5020.html>
- Epoptavka. (2013). Regálové systémy Toman [online] [cit. 2013-10-04] Dostupné na internete: <http://dodavatele.epoptavka.cz/5554-regalove-systemy-toman/nabidka/305349-obezne-regaly>
- Fénix kovovýroba. (2013). Konzolové regály [online] [cit. 2013-22-04] Dostupné na internete: <http://fenix.wz.sk/konzolove%20regaly.html>
- Jungheinrich. (2013). Valčkové a push back regály [online] [cit. 2013-18-04] Dostupné na internete: <http://www.jungheinrich.sk/sk/sk/jungheinrich/logisticke-systemy/regaly/valcekové-a-push-back-regaly>
- Kardexstow. (2013). Výškové poliové regálové systémy [online] [cit. 2013-26-04] Dostupné na internete: [http://www.regaly-stow.cz/index.php?option=com\\_content&view=article&id=30&Itemid=43&lang=cs](http://www.regaly-stow.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=30&Itemid=43&lang=cs)
- Khaletskaya, A. (2021). Warehouse Classes: Guide to Their Characteristics And Differences. Publikované 21.05.2021. [dostupné online] <https://wareteka.com.ua/en/blog/warehouse-classes/>
- KNOTT. (2013). Montáž. [online] [cit. 2013-14-04]. Dostupné na internete: <http://www.knott.sk/vyrobne-moznosti/montaz>
- Kredit s.r.o. (2013). Vjazdové regály DRIVE-IN [online] [cit. 2013-26-04] Dostupné na internete: <http://www.pojazdne-regaly.sk/vyrobky/sklady/paletove-regaly/vjazdove-regaly-drive-in/>
- LCL Logistic. (2022). Class A warehouse. What does this mean? Publikované 25 April 2022. <https://lcl-logistic.com/en/class-a-warehouse-what-does-this-mean/>

- MECALUX. (2013). Mobilné regálové systémy MOVIRACK [online] [cit. 2013-27-04]  
Dostupné na internete: <http://www.mecalux.sk/paletove-regaly/paletove-posuvne-regaly>
- Megainzerce. (2013). Spádový regál [online] [cit. 2013-13-04] Dostupné na internete:  
<http://stroje.megainzerce.cz/prumyslove-vybaveni/spadovy-regal-293175.htm>
- Mercator DMS 1. (2013). Dielenská skriňa s boxami UK2 [online] [cit. 2013-12-04]  
Dostupné na internete: <http://www.mercator.sk/?clanok=item&cat=108&item=1047>
- Mercator DMS. (2013). Mobilné konzolové regály [online] [cit. 2013-20-04] Dostupné na internete: <http://www.mercator.sk/?clanok=item&cat=10&item=5025>
- Miras.cz. (2013). Logistika – skladové systémy. [online]. [cit. 2013-12-03]. Dostupné na internete: <http://www.miras.cz/seminarky/logistika-skladove-systemy.php>
- Pecák, R. (2012). Výroba nové generace Hyundai i30 v Nošovicích. Publikované 11.02.2012. [online] [cit. 2024-11-29]. Dostupné na internete: <http://auto.aktualne.centrum.cz/fotogalerie/2012/02/11/vyroba-nove-generace-hyundai-i30-v-nosovicich/foto/448190/>
- Priemyselný tovar. (2013). Skriňa pre 48 násypiek [online]. 2010. [cit. 2013-14-04]. Dostupné na internete: <http://www.priemyselnystovar.sk/predaj/1604/Skrina-pre-48-nasypiek/>
- Regal sistem. (2013). Mobilné policové regály [online] [cit. 2013-22-04]. Dostupné na internete: <http://www.regalsistem.sk/eshop/mobilne-policove-regaly>
- Regaleshop. (2013). Viacpodlažné riešenia [online] [cit. 2013-13-04]. Dostupné na internete: <http://www.regaleshop.sk/viacpodlazne-regalove-systemy>
- Regálové systémy. (2013). Regály, regálové systémy [online] [cit. 2013-15-04]. Dostupné na internete: <http://www.regalovy-system.cz/>
- Regaz. (2013). Zásuvkový systém FSR [online] [cit. 2013-13-04]. Dostupné na internete: <http://www.regaz.cz/sk/page/2733.zasuvkovy-system-fsr/>
- Schulte, Ch. (1994). Logistika. Praha – Victoria Publishing. 312 s. ISBN 80-85605-87-2
- Sojka, M. (2023). Typy skladovacích zariadení a ich funkcie. Publikované 11.05.2023. <https://www.bekuplast.sk/post/typy-skladovacich-zariadeni-a-ich-funkcie/>
- STILL International. (2013). Sklad so širokými uličkami [online] [cit. 2013-27-04]. Dostupné na internete: <http://www.stillsr.sk/sklad-so-siromymi-ulickami.0.0.html>
- Tecta Logistic. (2023). Delenie skladov. Publikované 13.06.2023. [cit. 2023-12-02]. Dostupné na internete: <https://www.tecta.sk/delenie-skladov/>
- Trilogiq. (2013). Regály a regálové systémy [online] [cit. 2013-17-04]. Dostupné na internete: <http://trilogiq.cz/produkty-leantek/regaly-regalove-systemy/>
- Tvoja provozna. (2013). Police se šikmými policemi [online] [cit. 2013-26-04]. Dostupné na internete: <http://www.tvojeprvozovna.cz/regalove-a-policove-systemy/regaly-se-sikmymi-policemi/>
- Village. (2017). Rozdelenie skladov: Aké druhy poznáme? Publikované 02.04.2017. [cit. 2023-12-02]. Dostupné na internete: <https://www.village.sk/rozdelenie-skladov-ake-druhy-pozname/>