

Štefan VÁCLAV
Albert MAREŠ
Witold BIAŁY
Katarina SENDERSKÁ

MONTÁŽ V STROJÁRSKOM PRIEMYSLE



KOMAG

GLIWICE 2025

ISBN: 978-83-65593-44-3

MONTÁŽ V STROJÁRSKOM PRIEMYSE

Štefan VÁCLAV

Albert MAREŠ

Witold BIAŁY

Katarína SENDERSKÁ



ISBN: 978-83-65593-44-3

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

Ing. Katarína SENDERSKÁ, PhD.
Technická univerzita v Košiciach
Košice, Slovensko

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: ©
Štefan VÁCLAV, Albert MAREŠ, Witold BIAŁY, Katarína SENDERSKÁ
Všetky práva vyhradené.
Učebnica je dostupná v elektronickej verzii.
Odkaz na stránku: <https://doi.org/10.32056/KOMAG/Monograph2025.1>

ISBN: 978-83-65593-44-3

Montáž v strojárskom priemysle

(Proces montázu w przemyśle maszynowym)

Vysokoškolská učebnica

Štefan VÁCLAV^{1*}

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3266-3645>

WOS: <https://www.webofscience.com/wos/author/record/P-5009-2016>

Scopus:

<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55158103400>

Albert MAREŠ²

Witold BIAŁY³

Katarína SENDERSKÁ²

¹ Ústav výrobných technológií, Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave, Slovenská technická univerzita v Bratislave

² Strojnícka fakulta, Technická univerzita v Košiciach

³ Instytut Techniki Górniczej, KOMAG Gliwice

* Korešpondenčný autor:

e-mail: stefan.vaclav@stuba.sk

Pod'akovanie

Vysokoškolská učebnica bola spracovaná s finančnou podporou Kultúrnej a edukačnej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky 001STU-4/2022 s názvom: „*Podpora dištančnej formy vzdelávania formou on-line prístupu pre vybrané predmety študijných programov počítačovej podpory*“.

Predhovor

Súčasnosť je možné charakterizovať neustálymi zmenami, globalizáciou, rastúcou konkurenciou a modernými trendami ako sú Priemysel 4.0, 5.0, umelá inteligencia, internet vecí, veľké dáta a pod. Ak chcú byť firmy úspešné, musia byť schopné ponúknuť zákazníkovi výrobok resp. službu s takými vlastnosťami, ktoré zákazník ocení a bude ochotný za to zaplatiť. Spomínané súčasné trendy majú napomáhať pri zvyšovaní efektívnosti procesov kde vzniká hodnota, ako aj pri zvyšovaní kvality, znižovaní nákladov a zvyšovaní produktivity. Avšak akákoľvek aplikácia bez hlbšieho porozumenia hodnototvorných procesov môže byť kontraproduktívna. Procesy v ktorých vzniká hodnota pre zákazníka počnúc od prijatia objednávky až po expedíciu hotového výrobku k zákazníkovi sú predmetom analýz, optimalizácie, zvyšovania efektívnosti, znižovania nákladov a pod. Zvládnutie týchto opatrení nie je možné bez porozumenia jednotlivých procesov.

Väčšina výrobkov, ktoré sú dostupné na trhu pozostáva z niekoľkých súčiastok, ktoré sa vyrábajú postupne a na konci sa zmontujú spolu.

Montáž je nevyhnutnou súčasťou výrobného procesu pri všetkých výrobkoch, ktoré pozostávajú z viacerých dielov, pokiaľ sa výrobok dodáva zákazníkovi v zmontovanom stave. Aj v prípade, že je výrobok dodávaný zákazníkovi v rozloženom stave, je potrebné u výrobcu naplánovať postup montáže, určiť druh a počet náradia potrebného k montáži, overiť čas montáže a pod.

Problematika montáže je značne rozsiahla a integruje v sebe celé spektrum rôznych technológií, dopravu, logistiku, ergonómiu, aplikáciu vyspelých počítačových technológií ako aj zabezpečenie a riadenie kvality.

Vzhľadom na rozsiahlosť problematiky je plánovaná edícia a postupné vydávanie viacerých učebníc, ktoré sa budú venovať jednotlivým tematickým okruhom.

Cieľom učebnice je uviesť čitateľa do problematiky montáže a oboznámiť ho so základnými pojmami, jej člením, ako aj s prvkami montáže, technickými zariadeniami a organizáciou montážneho procesu.

Učebnica je určená pre študentov I. a II. stupňa vysokoškolského štúdia ako aj pre odborníkov z praxe a záujemcov o danú problematiku. Poslúžia k získaniu základných poznatkov v oblasti montáže.

Autori

OBSAH

ÚVOD	9
1 MONTÁŽ A JEJ POSTAVENIE VO VÝROBNOM PROCESÉ	11
1.1 História montáže	11
1.2 Montážny proces	19
1.2.1 Montáž z hľadiska systémového prístupu	19
1.2.2 Montáž ako technológia.....	22
1.3 Základné pojmy	25
2 ROZDELENIE MONTÁŽNYCH PROCESOV	43
2.1 Klasifikácia výrobných procesov podľa DIN 8580:2003-09	45
2.2 Montážny proces podľa VDI 2860	47
2.3 DIN 8593 – Hlavná skupina 4 – Spájanie	48
2.3.1 Skladanie (skupina 4.1)	50
2.3.2 Plnenie (skupina 4.2)	53
2.3.3 Stláčanie a zatlačanie (mechanické spájanie) (skupina 4.3)	54
2.3.4 Spájanie primárnym tvarovaním (skupina 4.4)	57
2.3.5 Spájanie tvárnením (skupina 4.5)	59
2.3.6 Zváranie (skupina 4.6)	66
2.3.7 Spájkovanie (skupina 4.7)	74
2.3.8 Lepenie (skupina 4.8)	75
2.3.9 Spájanie textílií (skupina 4.9)	76
3 MONTÁŽNE TECHNOLOGIE	78
3.1 Klasifikácia montážnych technológií	78
3.2 Montážne spoje.....	79
3.3 Klasifikácia spojov	79
3.3.1 Rozoberateľné spoje	82
3.3.1.1 Skrutkové spoje	82
3.3.1.2 Zaťaženie skrutkového spoja	87
3.3.1.3 Metódy ťahovania.....	91
3.3.1.4 Sadanie skrutkového spoja	96
3.3.1.5 Uvoľňovanie skrutkového spoja	96
3.3.1.6 Poist'ovacie súčiastky	101

3.3.1.7 Realizácia skrutkového spoja	102
3.3.2 Pružné (elastické) spoje.....	105
3.3.2.1 Pružné (elastické) spoje	105
3.3.2.2 Pružné tvarové spoje.....	111
3.3.3 Nerozoberateľné spoje.....	112
3.3.3.1 Nitové spoje	112
3.3.3.2 Tvarované (plastické) spoje	117
3.3.3.3 Zvárané spoje.....	119
3.3.3.4 Spájkované spoje	121
3.3.3.5 Lepené spoje	127
3.3.3.6 Tmelené spoje	130
3.4 Progresívne metódy spájania súčiastok	133
3.4.1 Systémy poist'ovania skrutkových spojov	133
3.4.1.1 Systém IstLock	133
3.4.1.2 Systém TaTrim	135
3.4.2 Systémy poist'ovania skrutkových spojov	136
3.4.2.1 Základné metódy, ich výhody a nevýhody	136
3.4.2.2 Slepé nitovanie.....	136
3.4.2.3 Samonapichovacie nitovanie	138
3.4.2.4 Zalisovanie.....	139
3.4.3 Prvky polyfunkčných spojov	140
3.4.3.1 TEK skrutky.....	140
3.4.3.2 Skrutky, matice s prírubou alebo s integrovanou podložkou	142
3.4.3.3 TEK Skrutky s trojuholníkovým prierezom	142
3.4.3.3 Skrutka AMTEC®.....	144
3.4.4 Povrchové úpravy skrutiek	145
3.4.4.1 Mechanické poist'ovanie.....	145
3.4.4.2 Chemické lepidlá	146
3.4.4.3 Tesnenia pod hlavou spojovacích prvkov.....	149
3.4.4.4 Tesnenie závitov	151
3.4.5 Nevýhody skrutkových spojov	152
3.4.5.1 Korózia	152
3.4.5.2 Nevýhoda progresívnych spojovacích prvkov skrutkových spojov	154
3.5 Zhodnotenie metód spájania.....	155

4 TECHNICKÉ ZARIADENIA V MONTÁŽI.....	159
4.1 Technické prvky a riešenia ručného montážneho pracoviska	159
4.2 Montážne stoly a ich komponenty pre ručnú montáž.....	162
4.3 Konfiguratory montážnych pracovísk	166
4.4 „PICK BY“ systémy a ich aplikácia.....	169
4.5 Asistenčné systémy	173
4.6 Systémy identifikácie	176
4.6.1 Prehľad používaných kódov	177
4.6.2 Zariadenia pre čítanie čiarových kódov	180
4.6.3 Prehľad metód označovania	183
5 ERGONÓMIA	189
5.1 Ergonómia v ručnej montáži	191
5.2 Ergonómia v navrhovaní pracovísk.....	192
5.3 Nové prístupy k riešeniu ergonómie.....	197
ZÁVER	205
VIDEO – PODPORA PRE UČEBNICU	206
LITERATÚRA.....	208

ÚVOD

Význam montáže dokumentujú údaje o podiele montáže na celkovom čase výroby a nákladoch. Podľa Nofa (1997) pripadá v automobilovej výrobe 50% priamych mzdových nákladov do oblasti montáže. Vo výrobe presných prístrojov sa toto číslo pohybuje medzi 20-70%. Taktiež z hľadiska celkového času potrebného na výrobu výrobku montážne operácie môžu dosahovať až 53%. Podľa Petrů (2012) v strojárstve je podiel montáže na prácnosti strojárskych výrobkov 30 až 40% a z hľadiska počtu pracovníkov vo výrobe, je podiel pracovníkov pracujúcich v montáži 30 až 50%. Z týchto údajov je zrejmé, že montáž má významný podiel na celkových nákladoch a čase výroby.

Montážny proces, ktorý predstavuje súhrn operácií spájania súčiastok, komponentov a uzlov až po finálny výrobok v istej technicky a ekonomicky účelnej postupnosti sa vyznačuje niektorými špecifickými znakmi:

– ***montážny proces je organizovaný a synchronizovaný vo väzbe na súčiastky, ktorých výroba sa realizuje v rôznom čase a na rôznych miestach.*** Do montážneho procesu vstupujú súčiastky/dielce, ktoré boli vyrobené pred začatím montážneho procesu a často aj na inom mieste než na ktorom prebieha montáž. Z toho vyplýva nutnosť dopravy, skladovania a manipulácie s dielcami. V súvislosti s tým netreba zabúdať ani na spôsob balenia dielcov resp. ich konzervácie, aby sa pri preprave nepoškodili mechanicky, chemicky (korózia) a pod.

– ***vo všeobecnosti v montážnych procesoch je v porovnaní s výrobnými procesmi podstatne väčší podiel ručných úkonov.*** Aj keď v niektorých typoch výrob je zabezpečená plná automatizácia montážnych procesov z globálneho hľadiska je pre montáž typická manuálna práca. Napr. V karosárňach automobilových výrobcov je dosahovaná takmer 100% automatizácia, ale vo finálnej montáži tých istých automobiliek prevláda manuálna práca. Dôvodom na vysoký podiel manuálnej práce v montážnych procesoch je, že automatizácia týchto činností by si vyžadovala veľmi komplikované a nákladné zariadenia. Existujú aj montážne úkony, ktorých automatizácia pri súčasnej úrovni vedy a techniky je takmer nemožná.

– ***v montážnom procese sa integrujú všetky stránky zabezpečenia kvality z predchádzajúcich procesov, ako aj prejavy z vlastného montážneho procesu.*** Táto integrácia sa prejavuje tak, že všetky chyby z predchádzajúcich procesov, pokiaľ nie sú včas odhalené a odstránené,

prichádzajú do montážneho procesu či už vo forme chybných, alebo nesprávnych dielcov avšak za chybu je možné považovať aj nedodanie dielca včas alebo vôbec. Netreba zabúdať na to, že chyby dielcov môžu vzniknúť nie len pri ich výrobe, ale aj pri ich preprave t.j. dielec bol: vyrobený v súlade s technickými požiadavkami, ale k jeho poškodeniu došlo počas prepravy. V podstate môžu nastať tri základné situácie týkajúce sa zlyhania kvality v montážnom procese

- Niektoré súčiastky/dielce neboli vyrobené v súlade s požiadavkami a v dôsledku toho nie je možné dielce zmontovať (napr. hriadeľ má väčší priemer než bol predpísaný a v dôsledku toho nie je možné na neho nasadiť ložisko).
- Niektoré súčiastky/dielce neboli vyrobené v súlade s požiadavkami, ale napriek tomu je možné súčiastky zmontovať (napr. hriadeľ má menší priemer než bol predpísaný a ložisko sa naň dá ľahko nasadiť, ale v dôsledku toho vznikne medzi hriadeľom a vnútorným krúžkom ložiska veľká vôľa, čo bude mať za následok vibrácie, hlučnosť ako aj riziko poškodenia mechanizmu).
- Všetky súčiastky/dielce boli vyrobené v súlade s požiadavkami, ale boli zle zmontované resp. nejaká súčiastka nebola namontovaná či už v dôsledku nepozornosti, alebo nesprávneho pochopenia montážnych inštrukcií.

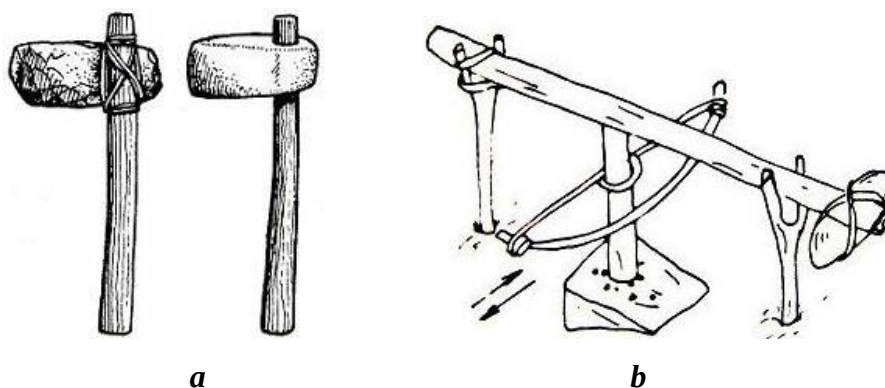
– *objavuje sa rozporné pôsobenie princípu diferenciácie a koncentrácie operácií.* Pokiaľ sa na montážny proces pozrieme z jedného hľadiska tak, za istých okolností je výhodnejšie montážne operácie diferencovať a rozdeliť medzi viacero pracovísk, pracovníkov a strojov, ale ak sa na ten istý montážny proces pozrieme z iného hľadiska ukazuje sa ako výhodnejšie integrovať montážne operácie na jedno pracovisko.

1 MONTÁŽ A JEJ POSTAVENIE VO VÝROBNOM PROCESSE

Význam montáže dokumentujú údaje o podiele montáže na celkovom čase výroby a nákladoch. Podľa Nofa (1997) pripadá v automobilovej výrobe 50 % priamych mzdových nákladov do oblasti montáže. Vo výrobe presných prístrojov sa toto číslo pohybuje medzi 20–70 %. Taktiež z hľadiska celkového času potrebného na výrobu výrobku montážne operácie môžu dosahovať až 53 %. Podľa Petrů (2012) v strojárstve je podiel montáže na prácnosti strojárskych výrobkov 30 až 40% a z hľadiska počtu pracovníkov vo výrobe, je podiel pracovníkov pracujúcich v montáži 30 až 50%. Z týchto údajov je zrejmé, že montáž má významný podiel na celkových nákladoch a čase výroby.

1.1 História montáže

Pojem „montáž“ sa pravdepodobne objavil v dobe železnej, kedy človek vytváral pracovné nástroje spojením dvoch častí (napr. rukoväte a kladiva) alebo zariadenie na zakladanie ohňa a vytváranie otvorov (obr. 1).



Obr. 1 Pracovné nástroje v dobe železnej.
a – praveká sekera, b – zariadenie slúžiace k zakladaniu ohňa (Václav 2011).

Postupne človek vytváral stále zložitejšie viac súčiastkové stroje a mechanizmy. Predstaviteľom takýchto štruktúr boli napr. mechanické hodiny, ako najzložitejší produkt manufaktúrne výroby. Typickým rysom manufaktúrne výroby bolo, že jeden remeselník bol zároveň konštruktérom, výrobcou súčiastok, montážnikom a často aj predajcom svojich produktov. Každý z nich predstavoval viac menej neopakovateľný originál. Práca vo všetkých fázach tvorby mala veľký pracovný obsah a bola charakteristická relatívnou pracovnou slobodou výrobcu (tvorca). Produktivita procesu bola veľmi nízka.

Vedecko-technická revolúcia bola charakteristická hlavne náhradou ľudskej a zvieracej sily motormi, ktoré cez zložité mechanické sústavy vykonávali mechanickú prácu (obr. 2). Sústavný nárast potreby týchto produktov si vyžiadala zmeny zamerané hlavne na zvýšenie produktivity práce tzn. spotrebu pracovného času robotníkov potrebného na zhotovenie produktu.



Obr. 2 Lokomotíva poháňaná vodnou parou – James Watt 1769 (Václav 2011).

Oliver Evans` (1793) zavádza myšlienku presúvania materiálu (pásové dopravníky), čo viedlo k automatizácii montáže.

Prvá továreň bola založená v roku 1771 Richardom Arkwrightom v anglickom Cromptone (obr.3). V tej dobe sa vyrábal jeden alebo maximálne niekoľko kusov daného výrobku, podľa súčasnej terminológie išlo vtedy o kusovú alebo malosériovú výrobu. Vtedajšie znalosti neumožňovali a spotreba ani nevyžadovala sériovú výrobu.



Obr. 3 Prvá továreň založená v roku 1771 Richardom Arkwrightom (Václav 2023).

Eli Whitney (1798) je považovaný za pioniera masovej produkcie, dokázal vyrobiť 10000 muškiet (strelných zbraní) namiesto za 10,5 roka za 28 mesiacov (obr. 4). Whitney zaviedol výmennosť jednotlivých súčiastok vo výrobku.

SOME EARLY STANDARD PARTS



Système Gribeauval (1765)

Cannons
Standard bores

Eli Whitney (1801)

Muskets with interchangeable parts
Still costly and handmade

Obr. 4 Logo firmy: W. Eli Whitney – výroba pušiek a zbraní (Václav 2023).

Elihu Root (1849) pri výrobe kolto (strelných zbraní) rozdelil operácie na základné jednotky vykonateľné rýchlo s menším nebezpečím chýb. Zaviedol koncepciu „rozdeľ prácu, znásobíš výstup“.

Pásová linka sa objavila ako prvá v r. 1865 na amerických jatkách, kde sa používala na posúvanie porciovaných zvierat od jedného pracoviska k druhému.

Najznámejšia linka pracovala na jatkách v Chicagu (obr. 5). Výskumné laboratória pracujúce v priemysle boli zakladané až okolo r. 1900, do tej doby prebiehal vývoj živelne.



Obr. 5 Pásová linka na jatkách v Chicagu (Václav 2023).

Historický vývoj v montáži súvisí s menom Winslow Taylor (obr. 6a). Od jeho mena je odvodená výrobná filozofia Taylorizmus (Re Velle 2000), ktorej realizátorom bol Henry Ford.



a



b

Obr. 6

a Frederick Winslow Taylor 1856-1915, b Dopravníkový pás vo firme Ford (Václav 2011).

Výraz vedecké riadenie bol prevzatý z anglického jazyka, kde sa začal používať vďaka F. W. Taylorovi, ktorý zásady vedeckého riadenia a spôsoby jeho používania predniesol už v roku 1903 v práci „**Riadenie dielni**“. Obaja prehľadli metódy už spomenutých autorov a realizovali ich v širokom rozsahu vo výrobe (obr. 6b).

Začiatok sériovej výroby automobilov sa datuje do r. 1902, tá v roku 1912 prerastá do pásovej výroby (obr. 7 a 8).



Obr. 7 Henry Ford (Václav 2023).

Výroba

Prvý Ford Model T vyrobili manuálne v továrni na Piquette Avenue v Detroite dňa 1. októbra 1908. Pásová výroba sa objavila až neskôr, v roku 1913, v Highland Park, neďaleko Detroitu a stala sa počiatkom automobilovej éry.



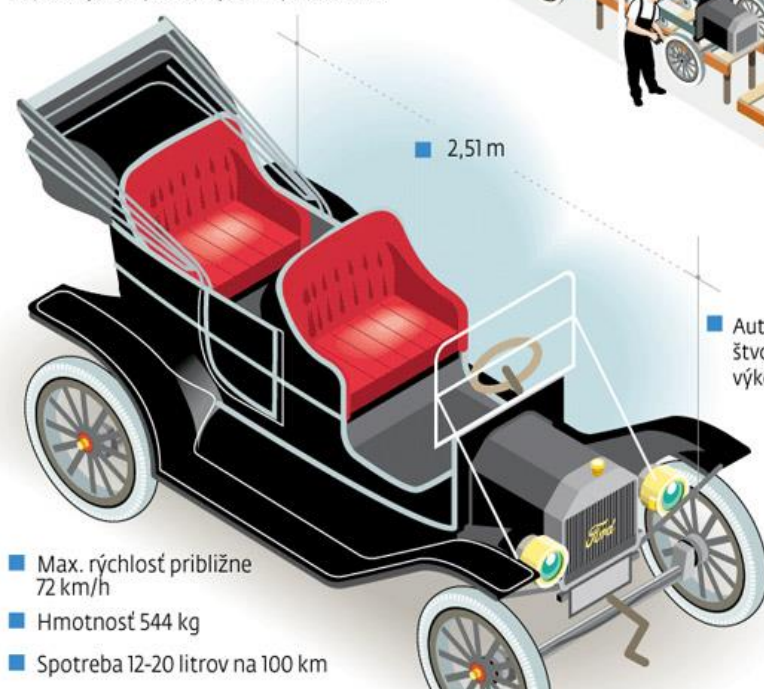
Dizajn

Štandardné, zameniteľné časti a pásová výroba pomohli znížiť cenu Modelu T, čím sa stal dostupný pre strednú triedu. Za 19 rokov jeho výroby došlo k masovému rozšíreniu Modelu T.

- Kolesá sa montovali na poschodí a k pásom sa spúšťali.
- Karosérie a podvozky sa montovali na samostatných pásoch. Karosérie sa potom zosunuli na hotový podvozok.

Automobil

Model T bol koncipovaný ako nízkonákladové, spoľahlivé auto, ktoré sa ľahko udržiava a je schopné úspešne jazdiť po vtedajších zlých cestách.



- Auto bolo vybavené štvorvalcovým motorom s výkonom 20 konských síl.
- Do 26. mája 1927, keď sa formálne ukončila výroba modelu T, sa predalo 15-miliónov automobilov.
- Motory a nádrže sa montovali zvlášť a na pásy sa dovážali.

- Max. rýchlosť približne 72 km/h
- Hmotnosť 544 kg
- Spotreba 12-20 litrov na 100 km

Obr. 8 Montáž automobilov Ford modelu – T. (Václav 2011).

Po zavedení pásovej výroby automobilov na montážnej linke Američan Henry Ford, o svojich výrobných postupoch povedal:

„Najskôr sme vozy skladali na holej zemi. Ale výroba rástla tak, že som musel zabrániť, aby robotníci o seba zakopávali.“

Usporiť som každý zbytočný krok, vylúčiť som každý zbytočný pohyb, nikto sa nesmie zbytočne zohýnať, nikto sa nesmie nakloniť na stranu. Od mojich Fordiek sa naučilo dvadsiate storočie pásovú výrobu“.

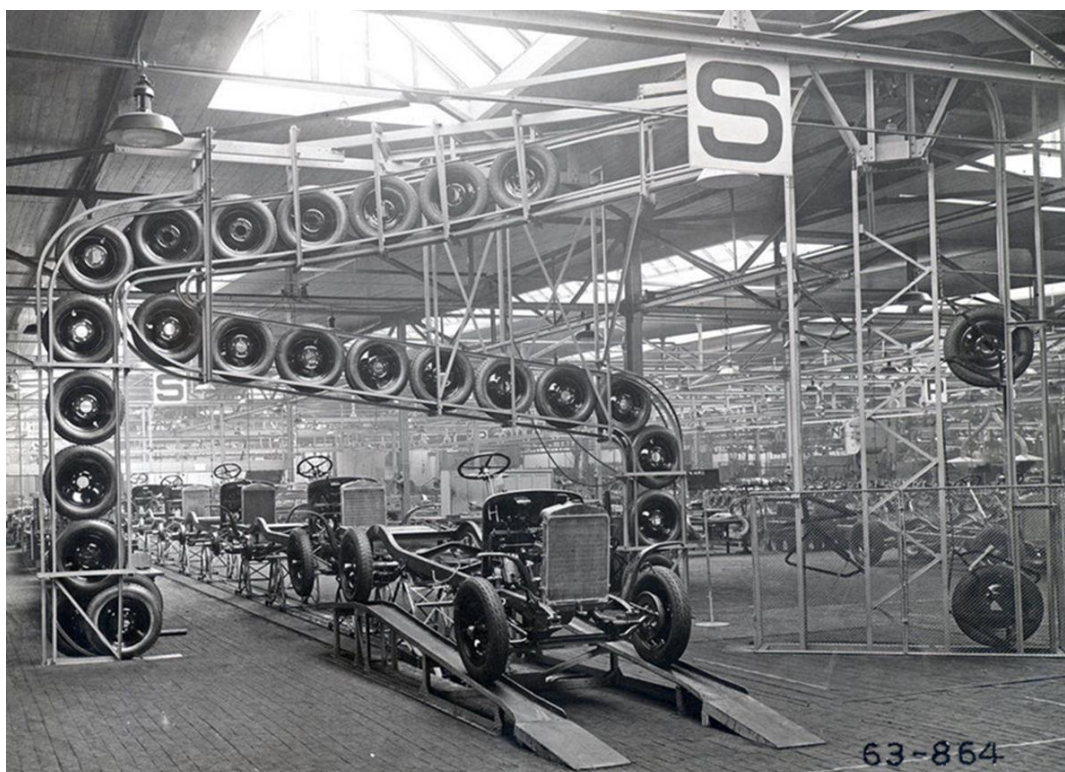
Nová továreň v Highland Parku začala v roku 1913 hromadnú výrobu automobilov Ford T. Predtým potrebovala automobilka na montáž jedného auta 12,5 hodiny, po spustení linky to trvalo len 93 minút. Už v roku 1914 opúšťalo bránu továrne nové auto každé tri minúty. Spolu s automatizáciou klesla aj cena.

V roku 1909 stál Ford T 825 dolárov, čo bol takmer dvojnásobok ročnej priemernej mzdy v USA, po spustení montážnej linky klesla na 260 dolárov.

V rokoch 1908 až 1927, keď sa Ford T vyrábal, vzniklo vďaka revolučnému systému výroby celkovo 15.176.888 kusov.

Pásovú výrobu vozidiel odštartoval v Európe v roku 1920 ako prvý André Citroën. Model A bol okamžitým úspechom.

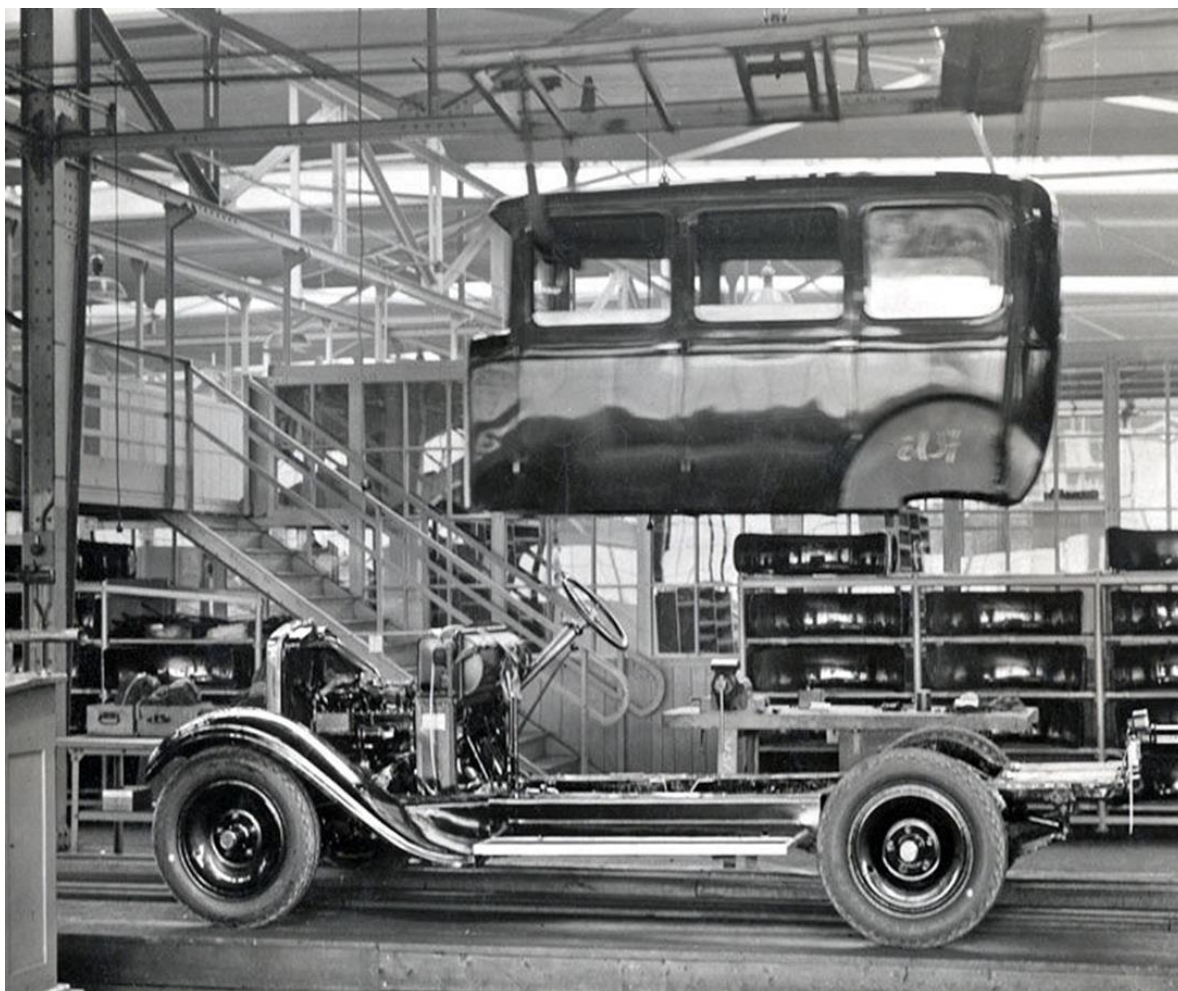
V roku 1929 spustila česká Škoda ako prvá automobilka v Československu a jedna z prvých na svete pásovú výrobu.



Obr. 9 Montáž automobilov Škoda (Václav 2023).

V roku 1930 mala linka kapacitu 25 áut denne, ale po menších úpravách a zavedení trojzmennej prevádzky stúpla na 85 áut za deň (obr. 10).

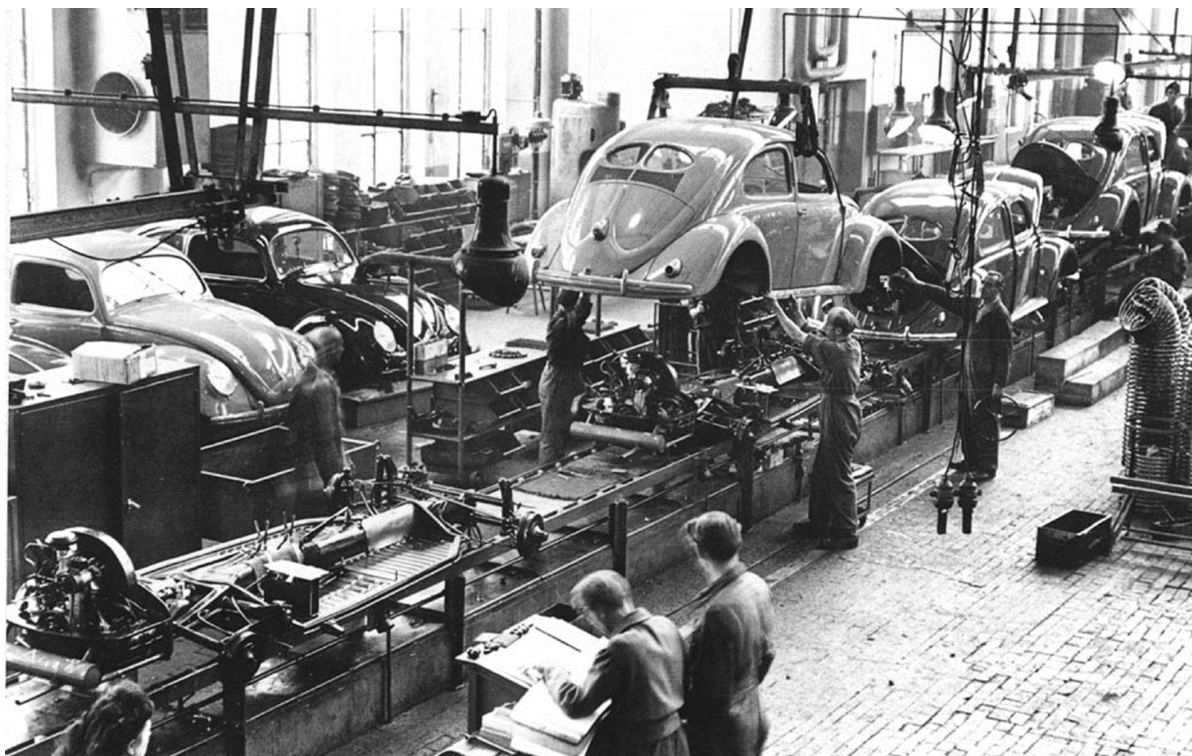
Pásová výroba zároveň umožnila rozšíriť ponuku modelov automobilky Škoda. V tridsiatych rokoch sa predstavilo úplne nové trio – Popular, Rapid a Superb.



Obr. 10 Montáž automobilov Škoda (Václav 2023).

V začiatkoch 20-tych rokov 20-teho storočia pri výrobe automobilov modelu – T u Forda počet vyrobených automobilov predstavoval svetový rekord, ktorý bol prekonaný až známym automobilom “Chrobák” firmy Volkswagen (obr. 11).

Od tejto doby možno datovať históriu modernej priemyselnej montáže.



Obr. 11 Montáž automobilov Volkswagen "Chrobák" (Václav 2023).

Pred druhou svetovou vojnou vyrobili v USA prvý synchronný montážny automat na montáž batériových článkov.

V priebehu druhej svetovej vojny v ZSSR zaviedli rotorové linky na výrobu a montáž ľahkého streliva, čím dosiahli prevahu nad nepriateľom.

Ďalšími prelomovými udalosťami v montáži bolo zavedenie priemyselných robotov (Schwartz 1998) a George Deval v roku 1954. Prvý robot bol patentovaný firmou Unimate v roku 1962 (Boothroyd 1991).

K vážnejšiemu úsiliu o automatizáciu montáže dochádza v šesťdesiatych rokoch v oblasti drobných výrobkov. Mechanizácia a automatizácia postupuje i smerom k väčším a zložitejším výrobkom, hlavne v priemysle osobných motorových vozidiel.

V montáži motorov sa miesto Ford-Taylorovského pásu s vynúteným pracovným rytmom zavádza čiastočne automatizovaný asynchronný montážny systém s relatívne voľným pracovným rytmom. Na takýto typ výroby prešli dosiaľ len niektoré automobilky pri finálnej montáži.

Vo svete sa odborníci v montáži v 60-tych rokoch rozdeľujú na dva tábory: na obhajcov a kritikov Taylorizmu. Obhajcovia boli prevažne z USA a Japonska. Kritici Taylorizmu hlavne z

Európy poukazujú na jeho degradačné faktory na intelekt a oddelovanie záujmov robotníka od záujmov podniku. Tieto spory ovplyvňujú i rozvoj mechanizovanej a čiastočne automatizovanej montážnej techniky dodnes. Postupne prevláda antitaylorovské nazeranie na prácu, vznikajú asynchrónne linky s veľkými medzioperačnými zásobami umožňujúcimi prerušiť prácu na jednej stanici až na pol hodiny bez zastavenia ostatných staníc.

Úplná automatizácia montáže je ekonomicky a technicky úspešná len v oblasti drobných výrobkov v ročnom objeme nad 1 milión kusov. Realizuje sa hlavne prostriedkami „tvrdých“ automatizácie pomocou synchronných, asynchronných a rotorových viacstaničných liniek. Adaptívna automatizácia (automatická vizualizácia) je pre vysokú cenu zriedkavá.

Súčasnú dobu možno charakterizovať ako obdobie zdokonaľovania v minulosti vytvorených „tvrdých“ technických princípov a hľadania nových relatívne lacných adaptívnych princípov. Zvláštny dôraz sa kladie na **humanizáciu montáže**.

Zvláštny dôraz sa začína klásť aj na objektivitu a kvalitu ekonomických prepočtov v súvislosti s optimálnym používaním ručnej, mechanizovanej, tvrdej, pružnej mechanizácie, adaptívnej automatizácie a kvality montáže (Václav 2005). **Za hlavný zdroj rezerv sa považuje využitie metód DFA (Konštruovanie z hľadiska montáže)** (Václav 2011).

1.2 Montážny proces

Vo výrobnom procese predstavuje montáž zvyčajne jednu z finálnych operácií, po ktorej môže nasledovať povrchová úprava, testovanie, balenie a expedícia.

Pre výrobný proces je charakteristická transformácia vstupov na požadované výstupy prostredníctvom technológií, zariadení, nástrojov a ľudí.

Vstupmi sú surové materiály, dielce, informácie, energia a informácie. Výstupmi sú súčiastky, dielce, výrobky, informácie a odpad. To isté platí aj pre samotný montážny proces.

Cieľom je pretransformovať vstupy (súčiastky, materiál, informácie a energie) na požadované výstupy t.j. zmontované dielce, zostavy, výrobky.

1.2.1 Montáž z hľadiska systémového prístupu

Čo je montáž ?

Z hľadiska hierarchie celej výroby je montáž posledná fáza výroby, v ktorej sa vyrobené súčiastky spájajú do zmontovaného výrobku.

Pre hlbšie skúmanie takáto definícia nestačí. Kybernetika (LOTTER 2006) nás poučuje, že pre hlbšie skúmanie akéhokoľvek objektu treba použiť tzv. systémový prístup. Na skúmanom objekte v prvom rade definujeme cieľ bádania, potom rozhodujúce faktory a ich väzby ovplyvňujúce cieľ, ďalej existenčne potrebné vstupy, možné výstupy a tzv. okolie (príroda, trh a pod.) Spravidla skúmaný systém je podsystémom nejakého systému vyššieho rádu. Ak to ciele bádania vyžadujú definujeme väzby skúmaného systému na systémy vyššieho alebo rovnakého rádu.

Skúmaný systém sa spravidla správa ako regulačná slučka – poruchy na výstupe generujú informácie o potrebných zmenách na vstupe.

Warnecke (1975) uvádza hore uvedený pohľad na montáž na obr. 12.

Vnútro montážneho systému ho nezaujímame, z jeho „vyššieho pohľadu“ na celú výrobu je vnútro montážneho systému „čierna skrinka“, ktorá musí plniť svoju funkciu v záujme celého výrobného systému.

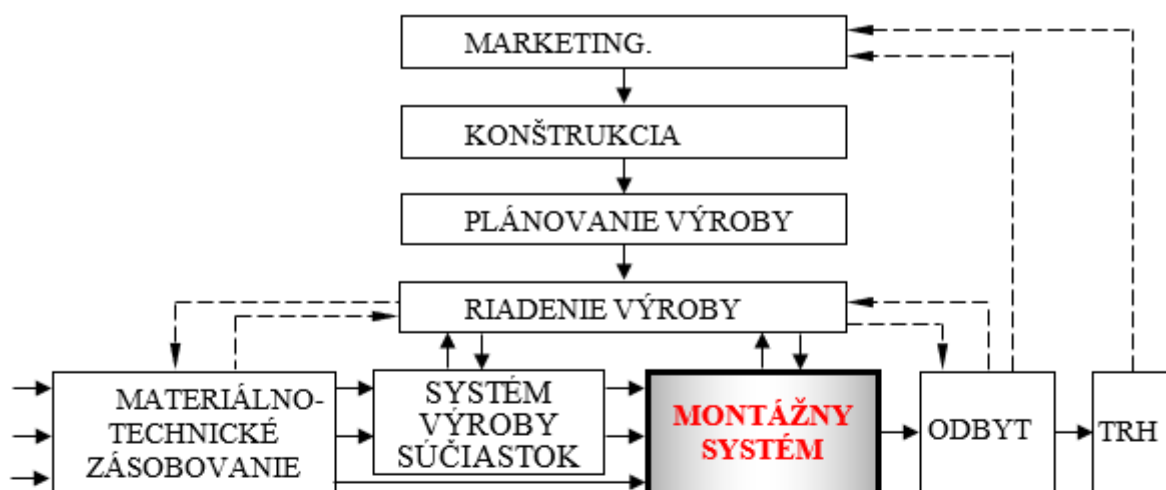
Cieľ nášho výskumu je znížiť montážne náklady v montážnej prevádzke. Preto musíme „otvoriť čiernu skrinku“, definovať montáž na úrovni jedného výrobku, teda na poslednej úrovni hierarchie, aby sme mohli v zmysle systémového prístupu odhaliť zdroje rezerv na znižovanie montážnych nákladov. Montáž ako systém v tomto zmysle je zobrazená na obr. 12.

Prax ukázala, že rozhodujúcimi faktormi na znižovanie montážnych nákladov sú:

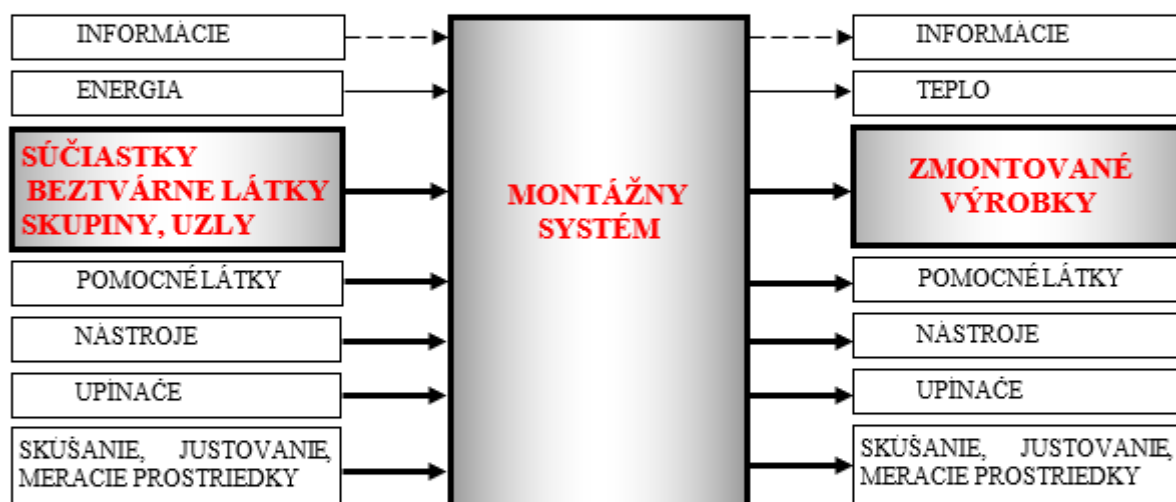
1. Montovaný výrobok (hlavne jeho konštrukcia),
2. Metódy spojovania (tzv. technológia),
3. Montážna technika,
4. Informačný tok,
5. Materiálový tok,
6. Energetický tok,
7. Človek.

Cieľom tejto publikácie je hľadať zdroje zníženia montážnych nákladov v zlepšení konštrukcie výrobku z hľadiska montáže.

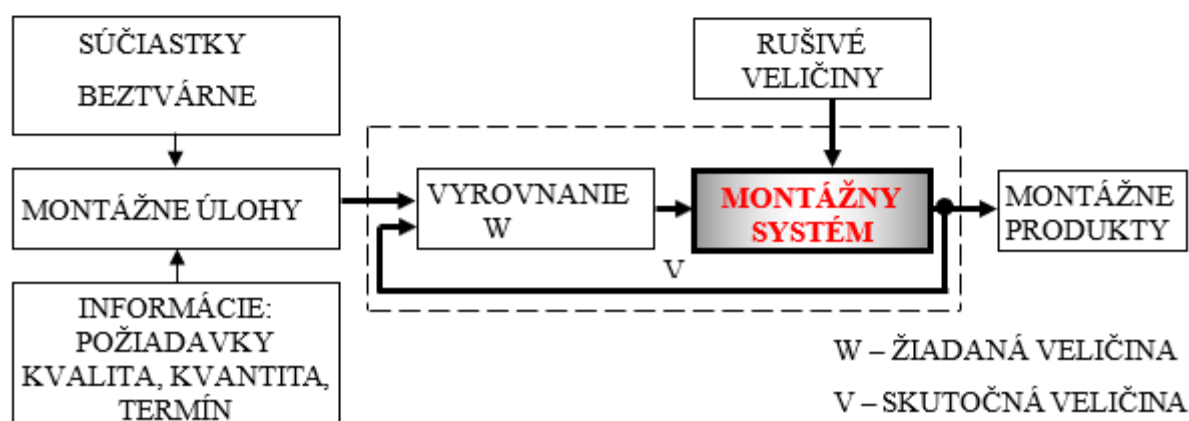
Zvláštnosťou prvku „**montovaný výrobok**“ je, že vhodná konštrukčná zmena výrobku spravidla **znižuje najvýraznejšie montážne náklady**, pričom takáto **zmena je najmenej finančne náročná** (len mzdy konštruktérov, technológov, režijné náklady a pod.).



a – montáž ako podsystém výrobného systému



b – funkcia montážneho systému



c – montážny proces ako regulačná slučka

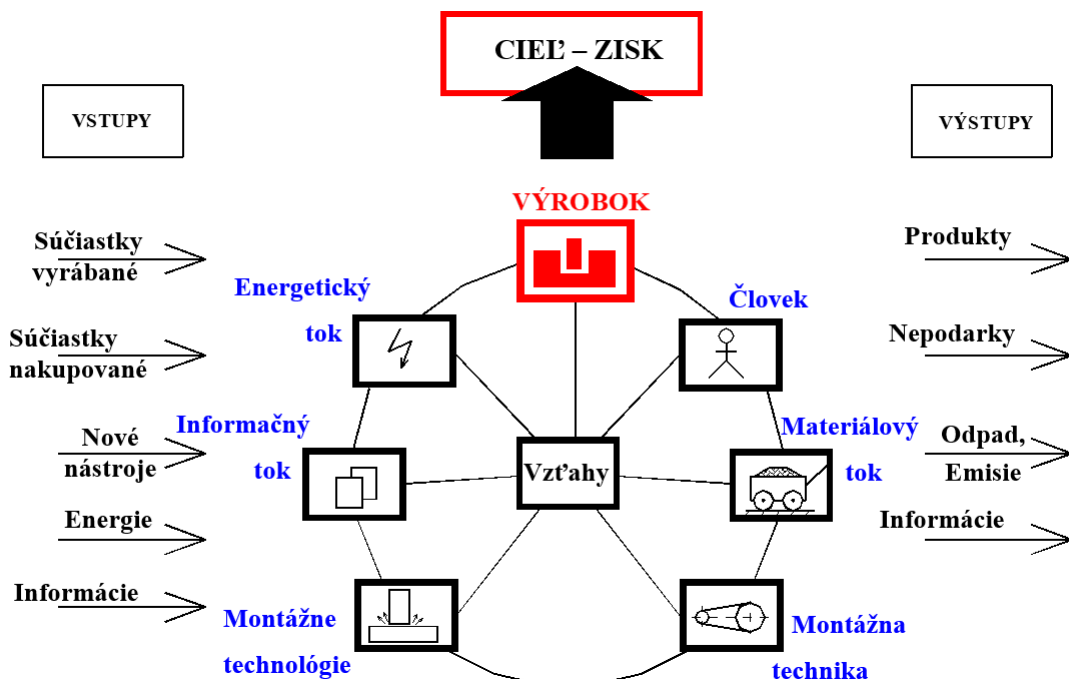
Obr. 12 Montážny systém. Funkčné schémy (Warnecke 1975).

a – montáž ako systém výrobného systému,

b – funkcia montážneho systému,

c – montážny proces ako regulačná slučka.

Montáž z hľadiska systémového prístupu je podsystem výrobného systému, ktorého cieľom je spojovaním súčiastok dosiahnuť maximálny zisk, ktorý rozhodujúcou mierou ovplyvňujú prvky, vstupy a výstupy zobrazené na (obr. 13) (Václav 2011).



Obr. 13 Montáž ako podsystem výrobného systému (Václav 2011).

Dosiaľ sme opísali proces z hľadiska systémového, je však potrebné skúmať montáž aj z hľadiska technologického.

1.2.2 Montáž ako technológia

V anglosaskej literatúre slovo „technology“ má iný význam ako slovo „technológia“ používané v slovanských jazykoch (Názov Slovenská technická univerzita je v angličtine Slovak University of Technology).

Zatiaľ, čo v angličtine „technology“, znamená všetky aktivity potrebné na výrobu výrobkov (projektovanie, konštruovanie, vlastná výroba) u nás slovo „technológia“ znamená spôsob, resp. metódu premeny fyzikálnych vlastností nejakého objektu na iné vlastnosti.

Nemci sa slovu „technológia“ vyhýbajú a používajú názov „Výrobný postup (Die Fertigungsverfahren)“.

Podľa našich zvyklostí chápania slova technológia, by sme montáž ako technológiu chápali len ako „metódy spájania súčiastok“, pri ktorých dochádza k fyzikálnym premenám v materiáloch (plastická deformácia pri nitovaní, zmena predpätia po skrútkovaní a pod.).

Takto by sme dostali príliš skreslený obraz montáže. Pojem „technológia“ musíme rozšíriť v tom zmysle, že pri vykonaní technológie dochádza k fyzikálnym premenám v materiáloch objektov, hlavne však **k zmenám polohy spracovávaného objektu a jeho komponentov.**

Tieto polohové zmeny sú súčasťou aj „nemontážnych“ technológií, ich podiel na čase a nákladoch je u nich nepodstatný.

Naopak u **montáže je operačná montážna manipulácia hlavná aktivita montážneho procesu.** Redukcia tejto aktivity čo do počtu pohybov i čo do veľkosti dráh je hlavným zdrojom znižovania montážnych nákladov (Václav 2011).

Na (obr.14) je zobrazená montáž ako technológia. Cieľom je napr. vložiť nit do diery a znitovať ho.

K tomu sú potrebné tieto úkony:

- 0 – Uchopenie,**
- 1,2 – Premiestnenie,**
- 3 – Orientácia,**
- 4 – Umiestnenie,**
- 5 – Spojenie (fyzikálna premena – napr. nitovanie).**

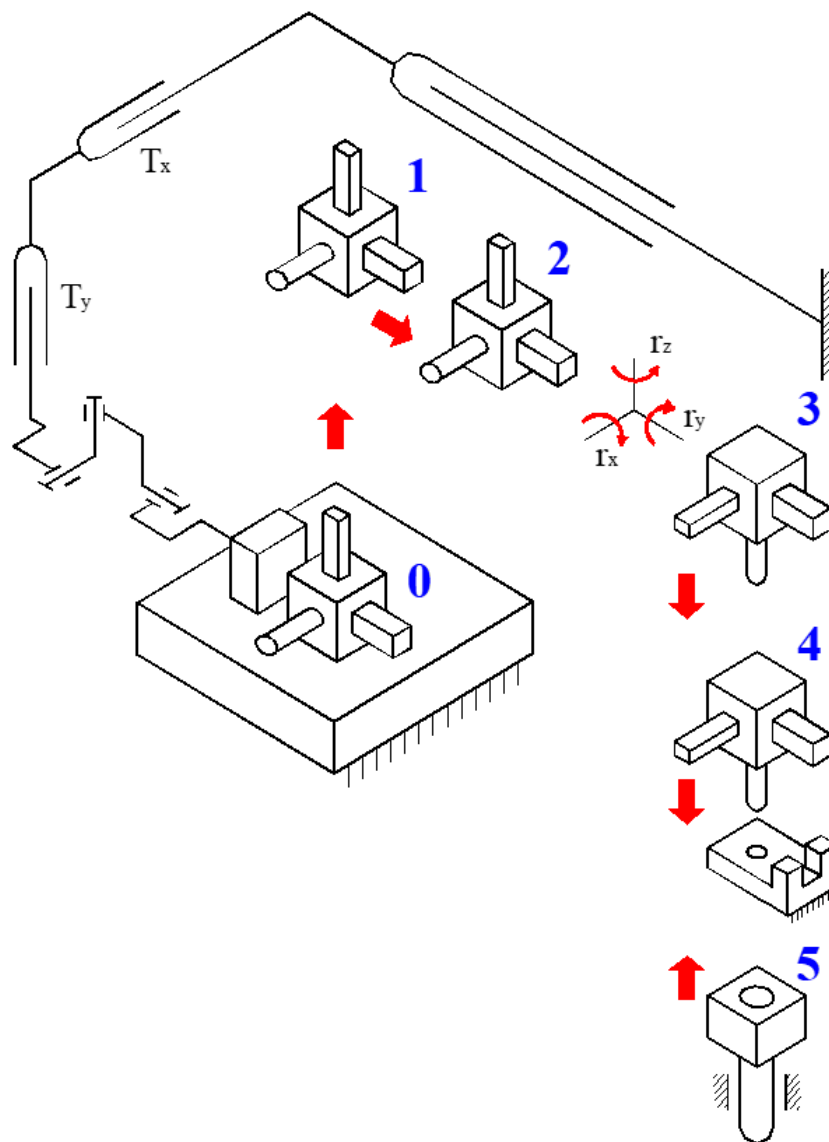
Počet potrebných pohybov na realizáciu montáže je priamoúmerný počtu potrebných aktuátorov (translátorov alebo rotátorov) realizovaných ručne alebo motormi. súčtová dráha (zložitosť) nejakého vzťahného bodu na manipulovanej súčiastke je v priamej súvislosti so spotrebou času (prácnosť) na jej montáž.

Zložitosť a prácnosť montáže vypočítanú s využívaním vhodných objektívnych zákonov geometrie a mechaniky, budú v tejto práci dva hlavné objektívne ukazovatele montážnej kvality výrobku.

Všimnime si ešte, za ktoré montážno-manipulačné pohyby zodpovedá montážny systém a za ktoré zodpovedá konštrukcia výrobku.

Konštrukcia výrobku ovplyvňuje tieto úkony:

1. *Uchopovanie* (sú tvary uchopiteľné ľahko a jednoznačne. Sú tvary aj opačných vlastností),
2. *Orientácia* (tvar súčiastky),
3. *Umiestnenie* (dĺžky montážnych dutín),
4. *Premiestňovanie* je priblíženie súčiastky z „krabice“ k výrobku. Vzdialenosť má byť minimálna a určuje ju konštruktér systému (Václav 2011).



Obr. 14 Montáž ako technológia (Václav 2011).
 Uchopenie, T_x, T_y, T_z – Manipulačné
 1,2 – Premiestnenie, translácie,
 3 – Orientácia, r_x, r_y, r_z – Orientačné
 4 – Umiestnenie, rotácie,
 5 – Spojenie (fyzikálna premena – napr. nitovanie)

Podkapitoly 1.2.1 a 1.2.2 dávajú odpoveď na časté otázky:

Čo to vlastne je montáž ?

Aká to je technológia ?

Existuje nejaká všeobecná teória montáže ?

1.3 Základné pojmy

Ani v slovenskej, českej, ani inej zahraničnej literatúre nie je ustálené a v dostatočnej miere normalizované názvoslovie z oblasti montáže, čo vedie často k nedorozumeniam.

Ďalej bude vysvetlený význam menej známych názvov, používaných v týchto skriptách i v inej literatúre o montáži. Ide o pracovné názvy a ich definície bez nárokov na ich normovanie (Valentovič 2001).

Montáž

Pre samotnú montáž existuje viacero definícií. Nižšie sú uvedené niektoré z nich.

Nof (1997) montáž definuje ako súhrn všetkých procesov, pomocou ktorých sú rôzne časti a podzostavy zostavené dokopy tak, aby vytvorili kompletnú, geometricky navrhnutú zostavu alebo produkt (ako je stroj alebo elektronický obvod) buď individuálnym, dávkovým alebo kontinuálnym procesom.

Businessdictionary definuje montáž nasledovne: Komponent alebo koncový výrobok pozostávajúci z niekoľkých častí alebo podzostáv zostavených tak, aby plnili špecifickú funkciu, a schopný demontáže bez zničenia. Čo však môže byť v jednom bode zostavou, môže byť v inom bode podzostavou.

SMS group Standards Office uvádza nasledovnú definíciu montáže: Montáž je trvalé spojenie alebo iný spôsob spojenia dvoch alebo viacerých obrobkov definovaného geometrického tvaru; zahŕňa všetky manipulačné a pomocné postupy, ako aj meranie a kontrolu/inšpekciu.

Podľa Petrů (2012) montáž je možné charakterizovať ako súbor činností ľudí, zariadení a strojov, pričom vykonávaním činností v stanovenom poradí a čase vznikne z jednotlivých súčiastok a montážnych skupín hotový výrobok. Montáž je obvykle záverečnou fázou výrobného procesu v strojárnej výrobe.

Lotter (2013) vychádzajúc z normy DIN 8593 definuje montáž nasledovne: Montáž, často tiež definovaná ako spájanie, je spojenie dvoch alebo viacerých obrobkov určitého pravidelného geometrického tvaru alebo podobných obrobkov pomocou beztvareho materiálu. Pritom sa lokálne vytvorí väzba, ktorá sa spravidla zväčšuje. V súlade s tým je akt zloženia spolu a plnenia definovaný ako montáž. Montáž rôznych častí jedného a toho istého objektu, napr. krúžok, spadá tiež do definície montáže.

Valentovič (2001) definuje **montáž ako konečnú fázu pretržitej výroby, v ktorej sa vykonávajú práce: príprava súčiastok na montáž, spojovanie, skúšanie, justovanie, zabehávanie a balenie výrobkov.**

Pri pohľade na vyššie uvedené definície je zrejmé, že všetky definície majú spoločné to, že uvádzajú spájanie dielcov resp. zostavovanie dielcov do celkov.

V takomto ponímaní a s prihliadnutím na normu DIN 8593 bude v ďalšom texte chápaná montáž.

Montovaný výrobok

Je z hľadiska montáže buď finálny výrobok, alebo časť (montážna podskupina, celok) finálneho výrobku, ktorého montáž je predmetom riešenia. Svojimi charakteristickými vlastnosťami (veľkosť, hmotnosť, zložitosť, počet súčiastok z ktorých sa skladá, stav povrchu súčiastok – drsné, hladké, šmykľavé, lepkavé, atď.) zásadným spôsobom ovplyvňuje všetky etapy projektovania, implementácie a prevádzkovania montážneho pracoviska.

Montážny proces

Podsystem výrobného systému, ktorého cieľom je montáž výrobkov (Petrů, 2012). Môže byť vykonávaný ako súčasť výrobnéj linky, alebo na samostatnom pracovisku resp. linke. Zvyčajne sa nachádza na konci výrobného procesu aj keď v prípade montáže podskupín to tak nemusí byť. Montáž podskupín môže byť vykonávaná paralelne, alebo bokom od hlavnej výrobnéj linky.

Montážna operácia

Ukončená časť montážneho procesu, ktorá je realizovaná pri montáži celku alebo výrobku jedným alebo skupinou pracovníkov na jednom pracovisku spravidla bez prestavovania montážneho zariadenia. (napr. zváranie, nitovanie, kontrola rozmerov). Montážna operácia je základnou štrukturálnou jednotkou montážneho procesu (Petrů, 2012).

Montážne operácie možno vykonávať manuálne, automaticky alebo nejakou formou kombinácie automatizácie a manuálnej práce. Ak sa použije manuálna montáž, operátor sa môže prispôbiť meniacim sa podmienkam, ako sú tie, ktoré sú spôsobené odchýlkami dielov, nesprávnym umiestnením a rôznym mixom modelu produktu. Operátor môže kompenzovať tieto meniace sa podmienky a v dôsledku toho, nemusí na vykonávanie montážnych úloh potrebovať zložité nástroje a prípravky. Avšak chyba obsluhy a únava však môžu viesť k problémom s kvalitou (Crowson, 2006).

Montážny úsek

Časť operácie, ktorá je vykonávaná na jednom spoji jedným nástrojom za približne rovnakých technologických podmienok (napr. úprava rozmerov na mieste na hrubo a úprava rozmerov súčiastok na mieste na čisto) (Petrů, 2012).

Montážny úkon

Ucelená jednoduchá pracovná činnosť pracovníka v montážnom procese alebo príprave výrobku k montáži v rámci úseku (napr. upínanie súčiastok do montážnych prípravkov, zapnutie stroja a pod.) (Petrů, 2012).

Montážny pohyb

Najmenšia časť pracovnej činnosti v montážnom procese. Sú podrobne popisované v hromadnej výrobe (napr. uchopiť kľúč, nasadiť kľúč, otočiť kľúčom a pod.) (Petrů (2012).

Využívajú sa v rôznej úrovni detailnosti popisu pohybov pri stanovení času montáže pomocou metód vopred určených časov ako sú MTM (Method Time Measurement), WorkFactor, MOST (Maynard Operation Sequence Technique) a MODAPTS (Modular Arrangement of Predetermined Time Standards).

Technologický postup montáže (montážny postup)

Detailný popis postupu montáže vrátane spôsobu vykonávania montážnych operácií, ich poradia, času trvania ako aj kontrolných, manipulačných a pomocných operácií (napr. čistenie).

Montážne postupy alebo pracovné pokyny musia jasne popisovať, čo sa má robiť, v akom poradí s akými nástrojmi, materiálmi a strojmi (vrátane toho s akými prevádzkovými podmienkami majú byť stroje spúšťané a prevádzkované). Taktiež popisujú použitie prípravkov a pod. Môže obsahovať aj popis činností, ktoré je potrebné vykonať pri výskyte chyby v montážnom procese.

Karty montážnych postupov by mali minimalizovať čas na učenie sa operátora a musia byť ekonomické na prípravu, reprodukciu, distribúciu a zmenu. Plánovanie montážneho procesu by malo zahŕňať súhrn montážneho procesu, alebo priebeh procesu, podrobné pracovné pokyny pre každú operáciu uvedenú v súhrne, zoznam dielov a úkonov pre každú operáciu, náčrty procesu alebo vizuálne pomôcky a rozloženie (layout) pracoviska pre každú operáciu. Pracovné pokyny by mali uvádzať všetky nástroje potrebné na vykonanie operácie a na súhrne procesu pre každú vyvolanú operáciu by mal byť určený štandardný čas a ten rozčlenený na čas nastavenia a čas chodu (Crowson, 2006).

Ak je závod veľkoobjemovým výrobcom jednej produktovej línie, podrobné pracovné pokyny pre montáž nemusia byť potrebné. Akonáhle sú operátori vyškolení na vykonávanie montážnej operácie s krátkym cyklom, nie je potrebné už nič iné, okrem niektorých jasných a stručných vizuálnych pomôcok, ktoré zobrazujú kritické detaily operácie v obrazovej alebo rozobranej forme. Výrobný inžinier však musí takú výrobu naplánovať až do tej najpodrobnejšej úrovne. Musí pripraviť plán montážnych liniek, zobrazit' každé pracovisko v pôdoryse, naplánovať potrebné montážne nástroje a napísať úplný popis prác vykonávaných na každom pracovisku linky. Výrobný inžinier musí stanoviť štandardné časy a rozhodnúť, kde sú potrebné vizuálne pomôcky a pripraviť ich, a potom doladiť alebo vyvážiť linku, pomôcť pri školení operátorov a nakoniec linku otestovať v prevádzkových podmienkach (Crowson, 2006).

Ak spoločnosť vyrába množstvo rôznych produktových radov v stredných až veľkých objemoch alebo vyrába na zákazku, alebo robí oboje, je obzvlášť dôležitá dokumentácia montážneho procesu, ktorá je kompletná a do najvyššej úrovne detailov. Je dokázaným faktom, že dobré plánovanie montážneho procesu a dokumentácia výrazne skracujú čas na zaučenie (a preučenie) operátora. To je dôležité najmä vtedy, keď je výrobný cyklus relatívne krátky. Taktiež učí operátorov správnym metódam a tým znižuje náklady na montážnu prácu (Crowson, 2006).

Montážna základňa

Skupina plôch a prvkov súčiastky, ktoré určujú jej polohu vzhľadom k iným predtým zostaveným súčiastkam alebo základným plochám (Petrů, 2012).

Montážna pracovná poloha

Časť operácie vykonávaná v rovnakej polohe prípravku a montážneho prvku (Petrů, 2012).

Montážna schéma

Najčastejšie grafické znázornenie montážneho postupu. Zvyčajne má podobu grafu, pretože grafická informácia je jednoduchšia na porozumenie a spracovanie užívateľom. Veľmi často sa na ručných montážnych pracoviskách nachádzajú informačné tabule, na ktorých majú pracovníci pripnuté montážne schémy.

Justovanie

„Nastavovanie a vymedzovanie rozmerov, mechanických, elektrických a iných parametrov za súčasného merania a skúšania“ (Valentovič, 2001).

Podľa normy DIN 8580 je klasifikovaných šesť spôsobov justovania. S týmto termínom sa môžeme stretnúť aj v metrológii, kde je definované ako: „Justovanie meracej sústavy (adjustment of a measuring system) – súbor činností uskutočnených na meracej sústave tak, aby poskytovala predpísané údaje zodpovedajúce daným hodnotám meranej veličiny“ (Halaj & Mikulecký, 2014).

Organizačno technické usporiadanie

„Je schéma priestorového (hlavne pôdorysného) usporiadania jednotlivých montážnych staníc, dopravníkov a medzioperačných zásobníkov s popisom postupu vykonávania montáže v priestore a čase“ (Valentovič, 2001).

Montážna linka

Rad strojov a pracovníkov v továrni, po ktorej sa pohybuje výrobok počas jeho výroby. Každý stroj alebo pracovník vykonáva určitú prácu, ktorá musí byť dokončená predtým, ako sa produkt presunie na ďalšiu pozíciu v linke (Cambridge, n.d. 2022).

Vyvažovanie liniek

Činnosť plánovania operácií, ktoré budú vykonávané na jednotlivých pracoviskách zaradených do linky tak, aby na každom pracovisku bol čas potrebný na vykonanie príslušných operácií rovnaký alebo aspoň približne rovnaký t.j. bez extrémnych rozdielov medzi jednotlivými pracoviskami.

Práca je rozdelená na sériu elementárnych úloh s krátkym trvaním. Úlohy sú zoskupené do skupín, ktoré sú priradené k pracovisku. Cieľom je získať skupiny úloh, ktoré budú minimalizovať prestoje pracovníkov a zabezpečiť vysoké využitie pracovnej sily a vybavenia. Tento cieľ možno dosiahnuť navrhnutím skupín tak, aby reprezentovali približne rovnaké časové požiadavky (vyvažovanie). Každý robí rovnaké množstvo práce, nikto nie je preťažený, nikto nečaká. Nevyvážené linky sú nežiaduce, pretože spôsobujú morálne problémy. Zvyčajne sa berú do úvahy dva základné modely vyvažovania liniek:

- Model I sa snaží určiť minimálnu pracovnú silu na dosiahnutie danej požadovanej rýchlosti výroby.
- Model II sa snaží určiť maximálnu mieru produkcie, ktorú je možné dosiahnuť s daným počtom pracovníkov.

Pre vyvažovanie liniek sú potrebné nasledujúce údaje: pracovné prvky a súvisiace časy, diagram prednosti, miera požadovanej produkcie.

Rýchlosť výroby závisí od najpomalšej stanice (t. j. úzkeho miesta). (SixLeanSigma 2023)

Cyklový čas

Čas, za ktorý jedna pracovná stanica v procese dokončí svoju prácu potrebnú na spracovanie dielu. Čas cyklu je celkový čas, ktorý uplynie na presun pracovnej jednotky zo začiatku na koniec fyzického procesu (SixLeanSigma 2023).

Čas taktu (Taktový čas)

Je to pomer medzi čistým dostupným časom za deň a dopytom zákazníka za deň. Určuje "rytmus" organizácie v synchronizácii s dopytom zákazníkov. Je to jeden z troch prvkov Just In Time. (spolu s jednodielnym tokom a ťahovým princípom). Vyrovnáva pracovné zaťaženie rôznych zdrojov a identifikuje úzke miesta. Čas taktu sa používa na prispôbenie tempa práce priemernému tempu dopytu zákazníkov. Cyklový čas môže byť menší, väčší alebo rovnaký ako čas taktu. Taktový čas nie je možné merať stopkami. Musí sa vypočítať. Čas taktu je vyjadrený ako „sekundy na kus“, čo znamená, že zákazníci kupujú produkt raz za toľko sekúnd. Čas taktu nie je vyjadrený ako „kusy za sekundu“ (SixLeanSigma 2023).

Synchrónna montáž

Montáž s vynúteným a synchronizovaným rytmom práce na všetkých montážnych staniciach vzájomne spojených dopravníkom (Valentovič, 2001).

Pri synchronizovanej montáži je podmienka, že na každej pracovnej stanici zaradenej do montážnej linky, musí byť čas vykonávania prác rovnaký. Pokiaľ to tak nebude dôjde k zastaveniu linky na najpomalšej pracovnej stanici t.j. tej, kde vykonávanie operácií trvá najdlhší čas. Táto pracovná stanica sa stane úzkym miestom linky tzv. bottleneck.

Asynchrónna montáž

Medzi stanicami sa nachádzajú medzioperačné zásoby, ktoré umožňujú relatívne nezávislý rytmus práce na jednotlivých staniciach (Valentovič, 2001).

Medzioperačné zásobníky vyrovnávajú rozdiely v čase vykonávania prác na jednotlivých pracovných staniciach zaradených do montážnej linky.

Stacionárna montáž

Výrobok sa počas montáže nepohybuje. Pokiaľ sa všetko zmontuje na jednom mieste hovoríme o *stacionárnej sústredenej montáži*. Pokiaľ sa montáž rozdelí na montáž dielov a až potom sa vykoná finálna montáž, hovoríme o *stacionárnej rozčlenenej montáži*. Výhodou sústredenej montáže je to, že je možné zapojiť do montáže väčší počet pracovníkov, čím sa skracuje celková doba montáže (Vasilko et al., 1991).

Pohyblivá montáž

Počas montáže sa výrobok pohybuje od jednej montážnej stanice k druhej. Tento pohyb môže byť voľný alebo viazaný. Výrobok sa môže pohybovať nepretržite (napr. finálna montáž automobilov), alebo sa môže na jednotlivých staniaciach na určitý čas zastaviť (kým sa nevykonajú všetky operácie predpísané pre danú stanicu) a potom sa presunie na ďalšiu stanicu.

Interná montáž

Je vykonávaná v rámci podniku, pracovníkmi podniku. Ide o najčastejší spôsob vykonávania montážnych operácií.

Externá montáž

Je vykonávaná mimo podniku. Typická je pre veľké montážne celky ako sú napr. turbíny elektrární, veterné turbíny, mosty, žeriavy, vysielacie, potrubia, konštrukcie budov a pod. Niekedy z dôvodov zabezpečenia kvality je výrobok zmontovaný, skontrolovaný resp. odskúšaný v podniku a následne rozobratý, prevezený a znovu zmontovaný u zákazníka. Je to z toho dôvodu, že niektoré chyby a poruchy nie je možné opraviť na externom pracovisku a ak by k niečomu takému došlo, bolo by potrebné celok rozobrať a prepraviť naspäť k výrobcovi a následne opraviť a znova prepraviť na miesto montáže. Navyše, niektoré celky po osadení u zákazníka, už nie je možné demontovať a v prípade neopraviteľnej chyby by došlo k totálnemu zlyhaniu celej zákazky. Takýto spôsob montáže sa niekedy označuje ako interne externá montáž.

Predmetné usporiadanie montáže

Tak isto ako pri výrobných linkách, kde v prípade tohto usporiadania sú stroje zoradené za sebou v takom poradí v akom za sebou nasledujú technologické operácie, tak pri montáži ide o také usporiadanie pri ktorom sú montážne pracoviská a technika usporiadaná v poradí za sebou tak, ako nasledujú jednotlivé montážne operácie.

Technologické usporiadanie montáže

Je to opäť tak ako pri výrobných linkách, kde sú stroje zoskupované podľa rovnakej technológie do jedného miesta (napr. sústružnícka dielňa, brusiareň, frézovacia dielňa, vrtacia dielňa a pod.). V prípade montáže pri tomto usporiadaní sú stroje a zariadenia pre montáž zoskupované podľa druhu do jedného miesta napr. zvarovňa, lisovňa a pod. Toto usporiadanie je pri sériových a hromadných výrobách nevýhodné z hľadiska zložitých materiálových tokov, problémov skladovania a riadenia výroby.

Organizačno-technické usporiadanie montáže

Organizačno-technické usporiadanie montáže je schéma priestorového (hlavne pôdorysného) usporiadania jednotlivých montážnych staníc, dopravníkov a medzioperačných zásobníkov s popisom postupu vykonávania montáže v priestore a čase. V anglickej literatúre sa nazýva Layout (náčrt). Takéto usporiadanie môže zobrazovať len jediný viacstanícový automat alebo linku, alebo i celú montážnu prevádzku. Automaty a linky majú niektorý zo známych a ustálených spôsobov organizačno-technického usporiadania (jedno opozičný, rotorový, synchronný, asynchronný, prúdový, hniezdový, bunkový atď.).

Podľa typického usporiadania sa potom automaty a linky nazývajú: synchronný automat, asynchronná linka a pod. (Valentovič 2001).

Hromadná, sériová, dávková a kusová montáž

Rozdeľuje sa podľa počtu vyrábaných kusov za jednotku času (typicky za rok). Toto rozdelenie je dôležité z hľadiska plánovania montáže, návrhu prípravkov, náradia, strojov a podobne. Čím väčší je počet vyrábaných kusov, tým viac záleží na jednotlivých detailoch pretože napr. pri produkcii 200 tisíc kusov za rok, úspora 1 sekundy na jednom kuse predstavuje úsporu 200 tisíc sekúnd, čo už je nezanedbateľné. Obdobne úspora nákladov vo výške 10 centov môže vyzerat' zanedbateľná, ale pri množstve 200 tisíc kusov už ide o zaujímavú úsporu. Počet vyrábaných kusov môže mať vplyv aj na konštrukciu výrobku. Pri vysokých počtoch vyrábaných výrobkov sa zvažuje automatizácia a niektoré konštrukčné riešenia výrobku, ktoré sú vyhovujúce z hľadiska ručnej montáže, môžu byť úplne nevhodné z hľadiska automatizácie (Mareš 2023).

Pri hromadnej montáži sa ten istý typorozmer výrobku montuje súvislé celý rok vo veľkom ročnom objeme montáže.

Pri sériovej výrobe existuje len málo typorozmerov toho istého výrobku, ktoré sa montujú vo veľkých sériách na sklad.

Pri dávkovej montáži existuje veľa typorozmerov jedného druhu výrobku, ktoré sa montujú pre okamžité potreby zákazníkov v dávkach veľmi rozdielnych veľkostí. V súčasnosti, v dobe nasýteného trhu, prevláda výroba v malých dávkach. Hlavným problémom montáže je zdokonalenie tohto typu montáže.

Kusová montáž je montáž malého počtu výrobkov za rok, extrémne jediný kus.

Uvedené názvy nie sú presne ohraničené, napr. veľká séria predstavuje iný počet výrobkov u lokomotív než u sústruhov, prevodoviek, resp. žiaroviek (Valentovič 2001).

Typizácia

„Zakladá sa na výbere už používaných súčiastok, skupín a celých výrobkov, ktoré sa v praktickom živote ukázali ako spoľahlivé a účelné. Typizácia je vždy spojená s redukciou počtu existujúcich konštrukčných riešení“ (Valentovič, 2001).

Typizácia súčiastok vychádza z dodržania veľmi podobného tvaru a rozmerov súčiastok. (Buda, 1985).

Unifikácia

„Unifikácia (zjednocovanie) je proces vytvárania technicky a ekonomicky opodstatnených veľkostných radov výrobkov, pričom hlavný parameter výrobku je spravidla členom radu tzv. vyvolených čísiel. Niektoré súčiastky sú zhodné pre viac blízkych členov radu, iné sú aspoň konštrukčne podobné (typizácia konštrukčného riešenia)“ (Valentovič, 2001).

Normalizácia

„Vypracovanie predpisov pre vykonávanie opakujúcej sa práce do optimálnej a právne záväznej formy – normy. Normy môžu byť napr. podnikové, národné, európske, medzinárodné“ (Valentovič, 2001). Normalizácia sa netýka iba procesov, ale aj súčiastok. V tomto prípade sa stanovujú najvhodnejšie tvary a veľkosti súčiastok.

Modulárny komponent

Ide o štandardizovaný, často vymeniteľný komponent systému alebo výrobku, ktorý je určený na jednoduchú montáž alebo variabilné použitie, napr. modul rukoväte orezávača papiera alebo skriňa pozostávajúca z dvoch koncových modulov a troch stredových modulov. V elektronickej výrobe je modul samostatná zostava elektronických súčiastok a obvodov, napr. karta s riadiacimi obvodmi, ktorá sa inštaluje ako celok (Nof, 1997).

Skupinová technológia

Vychádza sa z tých istých princípov ako pri aplikácii skupinovej technológii pri výrobe súčiastok. Skupinou sa rozumie súbor súčiastok, pri spracovaní ktorých sa používa ten istý typ výrobného zariadenia, jednotné technologické náradie a zoradenie stroja. Uplatňuje sa v malosériovej a v sériovej výrobe. Pre skupinu konštrukčne a technologicky podobných súčiastok sa stanovujú produktívne technologické metódy s využitím rovnakých výrobných zariadení (Mareš 2023).

Ručná (manuálna) montáž

Ručná montáž zahŕňa zloženie predtým vyrobených komponentov a/alebo podzostáv do kompletného výrobku alebo jednotky výrobku, primárne vykonávané ľudskými operátormi s využitím ich prirodzenej zručnosti, zručnosti a úsudku. Operátor môže byť na pracovnej stanici alebo môže byť súčasťou prepravného systému, ktorý premiestňuje výrobok počas jeho montáže. Ručná montáž môže byť ďalej podporovaná mechanizovanými alebo automatizovanými systémami na podávanie, manipuláciu, montáž a kontrolu (Swift, 2013).

Pri ručnej montáži jedným z hlavných prvkov montážneho procesu človek vykonávajúci montážne operácie (montážnik). Preto je potrebné brať ohľad na ergonómiu (Mareš 2023).

Flexibilná (pružná) montáž

Flexibilné montážne systémy využívajú programovateľné robotické zariadenia na skladanie predtým vyrobených komponentov a/alebo podzostáv do kompletného výrobku alebo jednotky výrobku. Na dosiahnutie všeobecného montážneho systému možno využiť množstvo prenosových mechanizmov, podávacích zariadení, typov robotov a koncových efektorov (Swift, 2013).

Automatizovaná montáž

Keď sú objemy produkcie dostatočne vysoké, niektoré montážne operácie možno vykonávať automaticky pomocou špeciálnych strojov. Tieto automatické montážne stroje pozostávajú z pracovných staníc zoskupených pozdĺž určitého typu dopravného systému na prepravu dielov. Každá stanica vykonáva jednu úlohu alebo skupinu úloh s pomocou špeciálneho vybavenia, montážnych prípravkov a prípravkov na vedenie nástrojov. Odchýlky dielov, nesúosovosť a mix produktov (rôzne varianty produktu) nie sú ľahko prispôsobené na automatizovanú montáž, pretože senzory nie je možné vždy použiť efektívne alebo ekonomicky na riadenia alebo monitorovanie procesu montáže. Preto môžu odchýlky dielov a mierne

nesúososti viesť k zasekávaniu, nedokončeniu operácií a nadmerným prestojom stroja. Automatizácia však môže byť stále opodstatnená, keď sú objemy výroby vysoké, životnosť produktu je dlhá a montážne úlohy sú jednoduché (Crowson, 2006).

Aby bola montážna operácia úspešne vykonaná na opakovanom základe, je absolútne nevyhnutné minimalizovať variácie a umiestnenie dielov a maximalizovať konzistentnosť rozmerov a umiestnenia. Na dosiahnutie tohto cieľa v prostredí hromadnej výroby sú potrebné komplikované a nákladné nástroje, prípravky a použitie drahých výrobných kontrol. Preto sa mnohé montážne operácie vykonávajú manuálne, aby sa vyriešili niektoré problémy pri spájaní dielov s variáciami alebo nesprávnym umiestnením, čo môže viesť k zvýšeným nákladom na montáž a nižšej produktivite (Crowson, 2006).

Všeobecne udávané dôvody pre automatizáciu sú: konzistentná vysoká kvalita, znížené jednotkové náklady a eliminácia nebezpečných manuálnych operácií (Mareš 2023).

Špecializovaná montáž

Špecializované (vyhradené) montážne systémy sú účelové, plne mechanizované alebo automatizované systémy na skladanie predtým vyrobených komponentov a/alebo podzostáv do kompletného výrobku alebo jednotky výrobku. Zvyčajne ide o niekoľko pracovných staníc, ktoré obsahujú automatické podávače dielov a pevných pracovných hláv sú usporiadané na automaticky riadenom prenosovom systéme na postupné zostavovanie výrobku (Swift, 2013).

Montážnik (montážny pracovník)

Ide o pracovníka, ktorý montuje a skladá komponenty vyrábaného výrobku (Nof, 1997). Musí dokonale poznať postup montáže ako aj zariadenia, nástroje a prípravky používané pri montáži. Pri nasadzovaní montážnych pracovníkov treba zohľadniť pri projektovaní montážnych pracovísk, projektovaní samotných výrobkov ako aj organizácie práce ergonomické aspekty (Mareš 2023).

Metóda JUST IN TIME (JIT)

Metóda JUST IN TIME (práve na čas) je taký systém riadenia výrobného procesu, pri ktorom sa nevytvárajú poistné medzi-zásoby (alebo sú minimálne) vo výrobnom procese a príslušná časť výrobku príde na potrebné miesto práve v tom čase, keď ju potrebujeme.

Pri aplikácii metódy JIT sa výroba súčiastok pri poruche na montáži okamžite zastavuje – evyrába sa na sklad. Predtým prebytok súčiastok na sklade "tlačil" na montáž (PUSH metód – tlačná metóda). Pri použití JIT montáž "ťahá" výrobu (PULL metóda). Cieľom JIT je skrátiť

priebežnú dobu výroby a minimalizovať priebežné zásoby. V Japonsku existuje obdobná metóda známa pod menom KANBAN (Václav 2011).

Výrobné inžinierstvo (Production Engineering)

Inžinierstvo zamerané na zdokonaľovanie výrobného procesu.

Konkurentné inžinierstvo

V anglickej literatúre sa používajú ekvivalentné názvy: Simultaneos Engineering (Simultánne inžinierstvo), Lead Engineering (Vedené inžinierstvo), Integrated Engineering (Integrované inžinierstvo).

Starý postup zavádzania nového výrobku na trh začína vývojom výrobku. Až po skončení vývoja a overení trhu nasleduje vývoj výrobného systému a potom montážneho systému. Doba na zavedenie nového výrobku je pri starej filozofii neprimerane dlhá a náklady vysoké. Simultánne inžinierstvo sa usiluje skrátiť túto dobu tak, že výrobok, výrobný a montážny systém vytvára tím špecialistov temer súčasne (simultánne). Charakteristické pre SI sú veľké jednorazové náklady a s tým spojené veľké podnikateľské riziko. V prípade úspechu však tento postup dáva možnosť obsadiť trhy a získať temer monopolné postavenie na svetovom trhu. Metóda SI je typická hlavne pre japonské firmy (Václav 2011).

Metóda MTM – Method of Time Measurement

Metóda široko používaná pre plánovanie (normovanie) ľudskej práce na montáži ale i v iných ľudských fyzických aktivitách.

Podstatou metódy je atomizácia ľudskej práce na elementárne úkony, resp. pohyby (napr. pohyby: siahnuť, uchopiť, točiť, kľaknúť, otočiť telom a pod). Pre tieto elementárne pohyby sú v tabuľkách udané priemerné normatívne časy, zohľadňujúce hmotnosť manipulovanej súčiastky, jej vzdialenosť a iné faktory.

Časy sú udávané v desaťtisícinách hodiny - jedna jednotka času sa označuje TMU – Time Measurement Unit.

Vyškolený špecialista určuje pomocou metódy MTM nielen normu času, ale navrhuje i taký postup, pri ktorom sa dosahuje vysoká produktivita práce, pričom sa neohrozí zdravie robotníka (Václav 2011).

Metóda kritickej cesty

Základom metódy je sieťový úsečkový graf postupu tvorby zložitého systému. Niektoré činnosti sa môžu vykonať kedykoľvek v prekrytom čase s inými činnosťami. Iné činnosti musia nasledovať len v určitom slede. Ak tieto činnosti nasledujú bez prestávok za sebou, skráti sa tvorba systému na minimum. Nájdenie tejto "kritickej cesty" a jej časová minimalizácia sú cieľmi metódy. V montáži sa táto metóda využíva pri plánovaní montáže zložitých výrobkov (lode, lietadlá a pod) (Václav 2011).

Technologickosť konštrukcie

Norma STN 01 0304 Technologickosť konštrukcie strojárskych výrobkov – základné názvy a definície uvádza: *"Technologickosť konštrukcie výrobku je súhrn vlastností konštrukcie výrobku, ktoré zabezpečujú možnosť optimálnych nákladov pri výrobe, použití a opravách výrobku pri zadaných ukazovateľoch akosti a výrobných a užívateľských podmienkach"*.

Montáž predpokladá taký výrobok, ktorý zodpovedá požiadavkám na manipuláciu a spojovanie jednotlivých súčiastok do vyšších celkov (montážnych podskupín a skupín). Aby sa zohľadnili všetky aspekty potrebujú konštruktéri a vývojári výrobku porozumieť montážnym procesom a postupom. Komplexné výrobky sa vyvíjajú tímovo. Základnou otázkou ktorou sa musíme zaoberať je ako sa súčiastky a dielce chovajú počas transportu, manipulácie, spojovania a skúšania. V tejto súvislosti sú v popredí iné vlastnosti súčiastok a dielcov ako pri posudzovaní ich funkčnosti (Mareš 2023).

Je známe, že 70 až 80% nákladov na výrobu a montáž súvisí s konštrukciou výrobku. Súvislosti hospodárskej výroby a montáže s konštrukciou výrobku sú obsahom náuky o technologickosti konštrukcie. Ťažisko tejto náuky bolo dosiaľ v oblasti výroby súčiastok.

Problematika súvislosti konštrukcie výrobku a jeho efektívnej montáže bola donedávna v náuke o technologickosti konštrukcie sledovaná len okrajovo. Aspekt montáže zohľadňoval konštruktér len tým, že preveroval či sa dá výrobok zmontovať ručne. I pri ručnej sériovej montáži takýchto výrobkov vznikali problémy hlavne v prípadoch keď montáž vyžadovala vykonať niekoľko pokusov, montáž bola spojená s úpravou rozmerov, justovaním a pod. Táto neistota neumožňovala zaviesť objektívne normy montážnej práce a mala i nepriaznivý vplyv na kvalitu výrobku a produktivitu práce.

Automatizácia montáže takto skonštruovaných výrobkov sa ukázala ako technicky mimoriadne náročná, málo efektívna a často nerealizovateľná vôbec.

Z výrobkov ktoré dnes spĺňajú ekonomické predpoklady pre automatizáciu montáže len cca 20% má takú konštrukciu, ktorá umožňuje úplnú automatizáciu montáže.

Je dosť rozšírený názor, že aplikovanie poznatkov technologickosti konštrukcie z hľadiska montáže je účelné len v súvislosti s automatizáciou. Prax však ukázala, že výrobky upravené pre automatizáciu montáže sa montujú efektívnejšie i ručne. Závažným rozdielom medzi ručnou montážou a tvrdou automatizáciou je, že človek vie vyhľadať montážny otvor, vykonať kontrolu správnosti operácie, prípadne jej zopakovanie. Pre tvrdý automat musí byť tento otvor v predpísanej polohe, čo vedie na zvýšené nároky na presnosť výrobku i stroja. Existujú i adaptívne automaty, ktoré vedia nájsť montážny otvor, sú však niekoľkonásobne drahšie ako "tvrdé" automaty (Václav 2011).

V anglickej literatúre a dosť často aj v našej sa pre označenie technologickosti konštrukcie z hľadiska montáže používa termín Design for Assembly (DFA) a v nemeckej literatúre termín motagegerechte Produktgestaltung (Mareš 2023).

Rozmerový reťazec

Proces analýzy tolerancií sa používa na akumuláciu jednotlivých tolerancií komponentov v rámci zostavy s cieľom určiť celkový rozsah tolerance. Tento výsledok musí byť v súlade so špecifikovanou konštrukčnou hodnotou. V kontexte mechanických zostáv tento proces zohľadňuje postupné poradie tolerancií komponentov, ktoré sa označuje ako rozmerový reťazec. Zahrnutie znamienka plus a mínus do reťazca je diktované geometrickým umiestnením komponentov v zostave (Umaras, 2023).

Existujú tri druhy rozmerových reťazcov, jednorozmerné (lineárne), dvojrozmerné (rovinné) a trojrozmerné (priestorové) reťazce. Pre ich riešenie existuje viacero metód, pričom každá z nich má svoje určenie. Ide o metódu maxima-minima, štatistické metódy (RSS – Root Sum Square, 6 Sigma, Monte Carlo) (Mareš 2023).

Metóda úplnej zameniteľnosti

Všetky vyrobené súčiastky, ktoré vstupujú do montáže sú vyrobené s takými toleranciami, že pri výbere ktorejkoľvek súčiastky a jej osadení, budú vždy splnené požiadavky na výsledný rozmer a jeho toleranciu. Hovorí sa tiež o 100% zameniteľnosti. Výhodou tejto metódy je bezproblémová montáž, nevýhodou zvýšené náklady na výrobu súčiastok v dôsledku prísnych tolerancií (Mareš 2023).

Metóda čiastočnej zameniteľnosti

Pri tejto metóde vo väčšine prípadov je splnená podmienka výsledného rozmeru a jeho tolerance, ale nie je to na 100%. Niektorí autori uvádzajú dosahovanú zameniteľnosť 99,73%.

Súčiastky, ktoré nespĺňajú podmienku zmontovateľnosti sú buď vyradené, alebo potom za určitých podmienok sú zaradené naspäť do montážneho procesu t.j. ak sa nájde vhodný protikus. Táto metóda umožňuje vyrábať súčiastky v širších toleranciách a teda lacnejšie, ale na druhej strane zvyšuje náklady na montáž. Je potrebné správne nastaviť šírku tolerančného pásma tak, aby nedošlo k neúmernému zvýšeniu nákladov na montáž (Mareš 2023).

Metóda výberová (metóda skupinovej zameniteľnosti, selektívna metóda)

„Súčiastky sa vyrábajú v širších, ľahšie dosiahnuteľných toleranciách a montujú sa v užších toleranciách. Dosiahne sa to triedením prvkov podľa veľkosti odchýlok do určitého počtu rozmerových skupín a ich vhodnou kombináciou pri montáži“ (Glézl, 1992).

U výrobkov konštruovaných pre zámennú montáž možno zamieňať ktorúkoľvek súčiastku jedného výrobku za rovnakú súčiastku iného výrobku. Zámenná montáž kladie vysoké nároky na presnosť výroby. Tieto nároky sa zmenšia použitím pružných kompenzátorov (Valentovič 2001).

Výberová montáž (Párovanie)

Hraničný prípad výberovej montáže, ktorý je charakterizovaný rovnakým počtom rozmerových skupín a vyrobených dvojíc súčiastok (Glézl, 1992).

Zjednodušene povedané, každá dvojica súčiastok (kus a proti-kus) je vyrobená na mieru a nedá sa ľubovoľne zamieňať.

Pri výberovej montáži sa vhodná montovaná entita súčiastok vyberie na základe merania a výberu tak, aby bolo dosiahnuté požadované uloženie. Typickým príkladom výberovej montáže je montáž guľkových ložísk, kde po zmeraní montovaného vnútorného a vonkajšieho krúžku sa montujú guľky takej rozmerovej skupiny, ktorá zabezpečí bezvôľový dotyk krúžkov a guliek (Valentovič 2001).

Metóda lícovania (prispôsobovania - úprava na mieste)

Súčiastka sa vyrobí s väčšími toleranciami a potom sa pri montáži dodatočne upraví odobraním určitej vrstvy materiálu kompenzátora (súčiastky na ktorej sa nachádza kompenzačný člen) na požadovanú presnosť napríklad obrobením, brúsením, zaškrabávaním. Niektorí autori zdôrazňujú dôležitosť strojového opracovania kompenzačného člena, pretože pri ručnom opracovaní nie je možné zabezpečiť dostatočnú presnosť (Mareš 2023).

Metóda kompenzácie (pevný člen)

Jej princíp je postavený na tom, že do rozmerového reťazca sa vloží určitý počet kompenzačných prvkov, ktoré majú určitú veľkosť a toleranciu. Tieto kompenzačné členy môžu byť pevné (vložky, dištančné krúžky) alebo nastaviteľné. Výhodou je, že sa členy reťazca nemusia dodatočne prispôbovať. Nevýhodou je zvýšenie počtu členov rozmerového reťazca. Metóda sa využíva v kusovej a malosériovej výrobe, v prípadoch, keď je použitie metódy lícovania veľmi nákladné (Petrů, 2012).

Metóda regulačná (pohyblivý člen)

Je podobná ako metóda kompenzačná, s tým rozdielom, že do rozmerového reťazca sa vkladá pohyblivý kompenzátor, ktorý zmenou svojej polohy dosiahne požadovanú toleranciu uzatvárajúceho člena. Ide napríklad o nastavovacie lišty, klin vo vodiacich saniach sústruhu, mechanizmus regulácie polohy vonkajšieho krúžku valčekového ložiska a pod. (Petrů, 2012).

Ergonómia

Riešenie vzťahov človek – stroj, človek – nástroj, človek – pracovné prostredie na základe využitia poznatkov z rôznych vedných disciplín ako sú napr. fyziológia, hygiena práce, pracovné lekárstvo, antropológia a antropometria, psychológia a sociológia, teória riadenia, ekonómia a pod. Má významný vplyv na produktivitu, kvalitu, bezpečnosť a zdravie pracovníkov pri ručných montážnych pracoviskách (Mareš 2023).

Projektovanie montážnych systémov

Projektovanie je možné charakterizovať ako použitie vedeckých princípov, technických informácií a fantázie pre určenie mechanickej štruktúry stroja alebo systému určeného na realizáciu predtým definovaných funkcií s čo najlepšou ekonomickou efektívnosťou.

Hlavným problémom je, že projektant musí na základe súčasných informácií prognózovať niektoré budúce stavy, ktoré vzniknú iba v tom prípade, že sú prognózy správne. Projektant je nútený skúmať javy v obrátenom poradí od následkov k príčinám, od očakávaného pôsobenia na okolité prostredie k začiatku reťazca výsledkom ktorého vzniká pôsobenie. Často sa stáva, že v priebehu takéhoto procesu sa v niektorej prechodovej fáze odhalia nepredvídané ťažkosti, alebo sa zistia nové, lepšie možnosti. Pritom sa charakter východiskového problému môže zmeniť zásadným spôsobom a projektant sa dostáva na začiatok riešenia. Táto nestabilita samotnej úlohy pridáva procesu projektovania oveľa zložitejší charakter.

Projektovanie montážnych pracovísk a liniek má svoje špecifiká, ktoré treba brať do úvahy (Mareš 2023).

Montážny prípravok

Prípravok, ktorý slúži na ustavenie súčiastok pri montáži, pre uľahčenie práce ako aj dodržanie presnosti vzájomnej polohy súčiastok, skrátenie montážneho času, zvýšenie produktivity a zefektívnenie montážneho procesu. V anglickej literatúre sa na označovanie montážnych prípravkov používajú pojmy „Fixture“ a „Jig“. Fixture sa obvyčajne používa na označenie montážnych prípravkov, ktoré zabezpečujú správne ustavenie súčiastok. Pojem „Jig“ označuje prípravok, ktorý okrem ustavenia slúži aj na navádzanie nástrojov, ktoré sa používajú na opracovanie súčiastok upevnených v prípravku (napr. kalené puzdrá pre vedenie vrtákov na vyvrtávanie otvorov v správnych pozíciách) (Mareš 2023).

Počítačová simulácia metód spájania

Využitie výpočtovej techniky na analýzu a simuláciu metód spájania za účelom predvídania vlastností spoja ako aj správania sa spájaného materiálu (Mareš 2023).

Počítačová simulácia metód spájania

V slovanských jazykoch sa pod pojmom "technológia" rozumie fyzikálno-chemicko-kinematický spôsob premeny spracovávaného materiálu pri postupnej premene surovín na výrobok.

V anglickej literatúre (hlavne v USA) má slovo „Technology“ ďaleko širší obsah. Pod týmto slovom sa rozumejú všetky duševné i hmotné aktivity, súvisiace s výrobou.

Nemecká odborná literatúra sa vyhýba tomuto nejednoznačnému slovu a používa radšej slovo Postup zhotovenia (das Fertigungsverfahren).

V tomto kontexte montážne technológie budú základnými princípmi vytvorenia montážneho spoja (Fugen).

Väčšina známych spojení je vytvorený len malým počtom princípov:

a) Tvarové spojenie

Príklad: spojenie dvoch článkov bicyklovej reťaze.

b) Silové spojenie

Súčiastky sú udržiavané v definovanej relatívnej polohe zásluhou vonkajších síl, pritláčajúcich súčiastky k sebe.

Príklad: spojenie dvoch článkov napnutej článkovej reťaze.

c) Trecie spojenie

Súčiastky sú udržiavané v želanej vzájomnej polohe vďaka existencii prítlačnej sily a koeficientu trenia. Prítlačná sila môže byť sila pruženia jednej zo súčiastok, alebo to môže byť cudzia vonkajšia sila. Príklad: spinka na papier.

d) Adhézne spojenie

Príčinou spojenia sú adhézne sily medzi povrchovými molekulami spojovaných súčiastok. Príklady: lepenie, spájkovanie.

e) Tavné spojenie

Dočasným čiastočným alebo úplným roztavením spojovaných súčiastok sa dosiahne ich spojenie v jeden celok. Príklad: zváranie.

f) Kombinované spojenie

Príklad: skrutkové spojenie je kombináciou tvarového a trecieho spojenia. Montážna technológia je potom náuka o montážnych spojoch a metódach ich vytvorenia. Časti tejto náuky obsahuje náuka o častiach strojov, hlavne spojovacích prvkoch, ale hlavne náuka o konštruovaní výrobkov z hľadiska montáže (DFA), špecializované náuky o zváraní, spájkovaní a iných spojových technológiách (Václav 2011).

2 ROZDELENIE MONTÁŽNYCH PROCESOV

Ako už bolo spomenuté, montáž je súčasťou výrobných procesov. Ak chceme porozumieť klasifikácii montážnych procesov je vhodné uviesť klasifikáciu výrobných procesov a postavenie montáže v tejto klasifikácii. Aj ku klasifikácii výrobných procesov existuje rôzny prístup, ktorý sa následne prenáša do klasifikácie montážnych procesov. Rôzni autori resp. inštitúcie pristupujú ku klasifikácii výrobných procesov na základe rôznych kritérií. Niektorí zohľadňujú zmenu fyzického stavu, niektorí zmenu tvaru a niektorí kombináciu viacerých zmien. V tabuľke 1 sú znázornené rôzne prístupy ku klasifikácii technologických procesov a výrobných techník. Údaje uvedené v tabuľke vychádzajú z práce Kuznetsova (2018), ale sú upravené a rozšírené vlastným spracovaním (Mareš 2023).

Tab. 1 Klasifikačné princípy pre technologické procesy a výrobné techniky (Mareš 2023).

Klasifikácia podľa	Klasifikácia	Klasifikačné kritériá	Výhody
National Institute of Standards and Technology NISTIR 7913 (USA)	5 skupín fyzikálnych procesov: 1 – zmena hmotnosti 2 – zmeny stavu materiálu 3 – štrukturálne zmeny 4 – zmeny tvaru 5 – spájanie	Zmena fyzického stavu	Využívanie výskumu
R. H. Todd et al. (USA)	6 skupín zmien tvaru: 1 – mechanická redukcia 2 – tepelná redukcia 3 – chemická redukcia 4 – konsolidácia 5 – deformácia 6 – spájanie (termálne, chemické) 5 skupín bez zmeny tvaru: 1 – žihanie 2 – kalenie 3 – príprava povrchu 4 – povlakovanie 5 – zmena povrchu	Zmena tvaru, bez zmeny tvaru	Jednoduché používanie
Norma DIN 8580:2003-09 (Nemecko)	6 skupín výrobných procesov: 1 – primárne tvarovanie, vytváranie formy 2 – pretváranie 3 – oddelenie 4 – spájanie 5 – povlakovanie 6 – zmena vlastností materiálu	Zmena tvaru, zmena vlastností materiálu	Používané CIRP skupinou CO2PE! na definovanie špecifikácií procesov obrábania
E. Paul De Garmo (USA)	7 skupín výrobných procesov: 1 – odlievanie alebo tvárnenie 2 – zmena tvaru alebo rezanie	Zmeny tvaru a materiálových vlastností	Ľahko zrozumiteľné

	3 – obrábanie, ablácia 4 – tepelné procesy 5 – dokončovacie práce 6 – spájanie 7 – kontrola		
M. F. Ashby (Veľká Británia)	4 skupiny výrobných procesov: 1 – primárne tvarovanie 2 – sekundárne tvarovanie 3 – spájanie 4 – dokončovacie práce	Primárne a sekundárne procesy	Lahko zrozumiteľné
J. T. Black, Ronald A. Kohser (nadväzujú na Garma)	9 skupín výrobných procesov 1 – procesy odlievania, zlievania alebo tvarovania 2 – tvárnenie alebo obrábanie kovov 3 – procesy obrábania (úber materiálu) 4 – nano, mikro a netradičné procesy 5 – spájanie a montáž 6 – povrchové úpravy (dokončovacie práce) 7 – aditívna výroba alebo 3D tlač 8 – tepelné spracovanie 9 – ostatné	Zmeny tvaru a materiálových vlastností	Berie do úvahy nové technologické procesy (3D tlač)

Ako vidieť z tabuľky v každej klasifikácii má samostatnú kategóriu spájanie, avšak v niektorých prípadoch napr. Traidia et al. pod týmto pojmom rozumie termálne spájanie (rôzne metódy zvarovania – MIG, TIG, laser, elektrónový lúč, plazma, bodové zvarovanie, atď. A spájkovanie) a chemické spájanie (lepenie), ale nie spájanie v zmysle skladania súčiastok do komplexnejších celkov.

V ďalšom sa bude vychádzať z klasifikácie podľa normy DIN 8580. Jednak z dôvodu širokého naviazania nášho priemyslu v zmysle exportu na nemecký trh – Nemecko predstavuje pre Slovensko dlhodobu najväčšieho obchodného partnera a jednak z dôvodu, že táto klasifikácia je široko používaná a citovaná v množstve publikácií v globálnom meradle. Ako je aj uvedené v tabuľke 1, je používaná aj organizáciou CIRP – College International pour la Recherche en Productique (International Institution for Production Engineering Research). CIRP je poprednou svetovou organizáciou v oblasti výskumu výrobného inžinierstva a stojí na čele dizajnu, optimalizácie, kontroly a riadenia procesov, strojov a systémov.

2.1 Klasifikácia výrobných procesov podľa DIN 8580:2003-09

Norma DIN 8580 pristupuje ku klasifikácii výrobných procesov z hľadiska typu súdržnosti materiálu a spôsobu prevádzky (Tabuľka 2). Všetky procesy na výrobu geometricky definovaných pevných telies; zahŕňajú procesy na **vytváranie formy** (primárne tvarovanie) z beztvárneho stavu, na **zmenu** tejto **formy** a na **zmenu vlastností** materiálu.

Poznámka: Výrobné procesy sa môžu vykonávať ručne alebo pomocou strojov a iných výrobných zariadení v priemysle.

Tab. 2 Klasifikácia výrobných procesov podľa typu súdržnosti a spôsobu účinku
v súlade s DIN 8580 – charakteristiky hlavných skupín

Vytváranie tvaru	Zmena tvaru				Zmena vlastností materiálu
Vytváranie súdržnosti	Zachovanie súdržnosti	Zmenšenie súdržnosti	Zvýšenie súdržnosti		
Hlavná skupina 1 Primárne tvarovanie (vytváranie formy)	Hlavná skupina 2 Tvarovanie/ Pretváranie	Hlavná skupina 3 Oddelovanie	Hlavná skupina 4 Spájanie	Hlavná skupina 5 Povlakovanie	Hlavná skupina 6 Zmena vlastností materiálu

Všetky výrobné procesy, pri ktorých sa teleso vyrába z beztvarého materiálu, sa označujú ako hlavné formy. V týchto procesoch sa prvýkrát vytvára súdržnosť častíc materiálu. Nové telesá môžu byť vyrobené z kvapalného, plynného, plastického, zrnitého alebo práškoveho počiatočného stavu. Hlavná skupina primárnych foriem sa delí na podskupiny znázornené v tabuľke 2 a popísané nižšie.

Primárne tvarovanie (vytváranie formy) (hlavná skupina 1)

Výroba pevného telesa z beztvarého materiálu vytvorením súdržnosti; pri tomto procese sa zohľadňujú vlastnosti materiálu, možno určiť materiálové vlastnosti obrobku.

Poznámka 1: Pri niektorých procesoch primárneho tvarovania sa používajú pomocné materiály, napr. spojivá.

Poznámka 2: Procesy primárneho tvarovania sa používajú aj na spájanie a povrchovú úpravu.

Tvarovanie/pretváranie (hlavná skupina 2)

Výroba tvárnením – plastickou zmenou tvaru pevného telesa; zachováva sa hmotnosť aj súdržnosť.

Poznámka: Procesy tvárnenia sa používajú aj na spájanie.

Oddel'ovanie (hlavná skupina 3)

Výroba zrušením súdržnosti telies, pričom súdržnosť sa čiastočne alebo úplne zníži.

Poznámka: Konečný tvar je obsiahnutý vo východiskovom tvare. Demontáž zmontovaných telies je tiež je tiež kategorizovaná ako oddel'ovanie.

Spájanie (hlavná skupina 4)

Trvalé spojenie alebo iné spojenie dvoch alebo viacerých obrobkov geometricky definovaného pevného tvaru alebo takýchto obrobkov s beztvárým materiálom; pri tomto procese súdržnosť sa vytvára lokálne a zvyšuje sa ako celok.

Povlakovanie (hlavná skupina 5)

Výroba nanesením pevne pril'avej vrstvy beztvareho materiálu na obrobok; rozhodujúcim faktorom je stav povlakovacieho materiálu bezprostredne pred nanesením povlaku.

Poznámka: V bežnej reči sa pod povlakovaním rozumejú procesy ako pokovovanie. Lepenie na fólie (laminovanie) alebo dyhovanie, sa často nesprávne zaraďujú medzi povlakovanie. Keďže však vrstva nie je vyrobená z beztvareho materiálu, ale je spojená s obrobkom ako geometricky definované teleso zváraním, spájkovaním alebo lepením. Takéto procesy sú tiež také procesy, ako je tapetovanie alebo lepenie na podlahové krytiny.

Zmena vlastností materiálu (hlavná skupina 6)

Výroba zmenou vlastností materiálu, z ktorého je obrobok vyrobený; vykonáva sa zmenami v submikroskopickom alebo atómovom rozsahu, napr. difúziou atómov, generovaním a pohybom dislokácií v atómovej mriežke, chemickými reakciami. Nevyhnutne sa vyskytujúce zmeny tvaru nie sú súčasťou povahy týchto procesov.

Poznámka: Rôzne procesy formovania hlavných skupín 2 až 5 sú nevyhnutne sprevádzané zmenami vlastností materiálu, ktoré môžu mať technický význam.

Podľa normy DIN 8580 spadá spájanie do hlavnej skupiny 4 t.j. spájanie. Spadajú sem všetky spôsoby spájania vrátane mechanického, tepelného, adhézneho atď. Táto skupina bude

v ďalšom popísaná detailne aj s jednotlivými skupinami a podskupinami. Okrem spájania však vystupujú v montáži aj iné operácie. Týmto sa detailne zaoberá norma VDI 2860.

2.2 Montážny proces podľa VDI 2860

Norma VDI nesie názov VDI 2860: 1990-05 Montáž a manipulácia; manipulačné funkcie, manipulačné jednotky; terminológia, definície, symboly (Montage- und Handhabungstechnik; Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen; Begriffe, Definitionen, Symbole).

Podľa tejto normy sa do montáže okrem spájania zahŕňajú aj ďalšie operácie ako sú manipulácia, kontrola, justovanie a špeciálne operácie. V tabuľke 3 sú znázornené jednotlivé čiastkové operácie montážneho procesu a ich ďalšie členenie. Prvý stĺpec detailnejšie uvádza čo všetko spadá do hlavnej skupiny 4 t.j. spájanie. Ako vidieť klasifikovaných je deväť rôznych metód spájanie.

Tab. 3 Čiastkové operácie montážneho procesu podľa VDI 2860

Montáž				
Spájanie (DIN 8593)	Manipulácia (VDI 2860)	Kontrola (VDI 2860)	Justovanie (DIN 8580)	Špeciálne operácie
• Skladanie, zloženie • Plnenie • Stláčanie a zatlačanie • Spájanie odlieváním • Spájanie tvárnením • Zváranie • Spájkovanie • Lepenie • Spájanie textílií	• Skladovanie • Zmena množstva • Presunutie • Zaistenie • Kontrola	• Meranie • Testovanie	• Justovanie formovaním • Justovanie tvarovaním • Justovanie oddelením • Vkladaním kompenzačných dielcov • Justovanie nastavovaním • Justovanie dodatočným spracovaním	• Označovanie • Ohrev • Chladenie • Čistenie • Odihlenie • Potlač • Pokrytie • Stiahnutie • Rozbaľovanie • Mazanie/Olejovanie • Striekanie • Utesnenie

Keď sa pozrieme na operáciu manipulácie v tabuľke 4 je definovaných päť činností, ktoré spadajú pod manipuláciu. Avšak aj tieto činnosti je možné podrobnejšie rozdeliť. V tabuľke 4 je uvedené členenie manipulačných operácií podľa normy VDI 2860.

Tab. 4 Manipulačné operácie podľa VDI 2860

Manipulácia				
Skladovanie	Zmena množstva	Presunutie	Zaistenie	Kontrola
• Usporiadané skladovanie • Čiastočne usporiadané skladovanie • Neusporiadané skladovanie	• Rozdelenie • Spájanie • Oddelenie • Pridel'ovanie • Rozvetvenie • Zlúčenie • Triedenie	• Otáčanie • Posun • Zmena smeru • Orientovanie • Polohovanie • Usporiadanie • Vedenie • Posunúť ďalej • Dodávanie	• Pridržanie - Utiahnutie • Odstránenie - Uvoľnenie	• Kontrola - Kontrola prítomnosti - Kontrola identity - Kontrola tvaru - Kontrola veľkosti - Kontrola farby - Kontrola hmotnosti - Kontrola polohy - Kontrola orientácie • Meranie - Meranie orientácie - Meranie pozície • Počítanie

Ako je možné vidieť norma VDI ide pokiaľ sa jedná o členenie a klasifikáciu montáže do úplných detailov. Gro montáže tkvie v spájaní. Ako už bolo viackrát spomenuté, spájaním sa detailne zaoberá norma DIN 8593 a v nej je to hlavná skupina 4.

2.3 DIN 8593 – Hlavná skupina 4 – Spájanie

„Pojmom spájanie sa nazývajú výrobné metódy slúžiace k vzájomného spojeniu súčiastok a dielcov. Je možné identifikovať pevné a pohyblivé spoje. U pevných spojov nie možný relatívny pohyb činných plôch na mieste spojenia pri prevádzkovom zaťažení u pohyblivých spojov ako sú kĺby alebo vedenia je možný relatívny pohyb aj keď prípadne len v jednom smere.

Dôležitou charakteristikou procesu spájania je spojovací pohyb, ktorý je v priestore nutné vykonať aby došlo k vytvoreniu spoja. Každý dielec alebo súčiastka má v priestore 6 stupňov

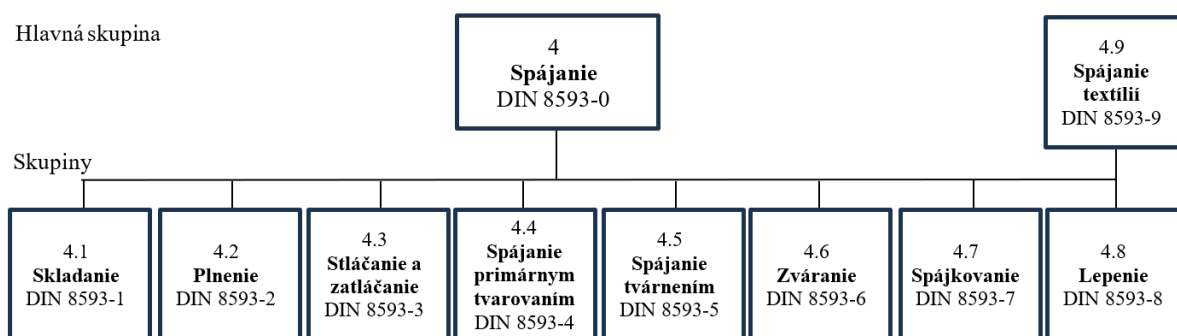
voľnosti. Môže sa pohybovať pozdĺž osí x, y a z (translačný pohyb) a otáčať sa okolo osí x, y a z (rotačný pohyb)“ (Senderská & Mareš, 2013).

„Samotná montážna úloha potom zahŕňa nielen vytvorenie spoja, ale aj všetky ďalšie potrebné úkony a operácie, ktoré zabezpečia vytvorenie spoja a to vrátane kontroly, orientácie a pod.“ (Senderská & Mareš, 2013).

Podľa normy DIN 8593 je možné spájať deviatimi rôznymi spôsobmi a to: skladaním, plnením, stláčaním, odlievaním tvárnením, zváraním spájkovaním a lepením. Špeciálnu kategóriu tvorí spájanie textílií, ktoré taktiež patrí do tejto skupiny. Na obr. 1 je členenie operácií spájania podľa DIN8593.

Pre porovnanie napr. Black (2017) popisuje procesy spájania nasledovne: Z hľadiska rôznorodosti aj množstva sú asi najrozsiahlejším súborom procesov spájanie, ktoré zahŕňa tieto procesy:

1. Mechanické spájanie
2. Mäkké spájkovanie a tvrdé spájkovanie
3. Zváranie
4. Lisovanie, zmršťovanie alebo zacvakávanie tvaroviek
5. Lepenie
6. Montážne procesy.“



Obr. 1 Členenie spájania podľa normy DIN 8593

Všetky tieto metódy spájania (skupiny) sa členia ďalej na rôzny počet podskupín, pričom každou podskupinou sa zaoberá samostatná norma. Jednotlivé normy sa odlišujú číselným doplnkom od čísla 1 po 9 v závislosti od skupiny. V ďalšom bude uvedené členenie jednotlivých skupín spájania na podskupiny, podľa toho ako to uvádza norma DIN 8593-1 až 9.

2.3.1 Skladanie (skupina 4.1)

Prvou skupinou je skladanie (norma 8593-1). Skladanie je spájanie, pri ktorom je súdržnosť spájaných dielov spôsobená gravitáciou (trením), tvarovým stykom, silou pružiny alebo ich kombináciou. Skladanie sa podľa normy DIN 8593-1 delí na šesť podskupín a to:

- ***Položenie, nasadenie, vrstvenie (podskupina 4.1.1)***

Pri kladení alebo vrstvení sa dve časti spájajú pomocou gravitačnej sily. Výsledkom je zvyčajne tvarové spojenie. Spojovacie plochy vytvorené medzi spojovacími partnermi dokážu fixovať uložený diel vo všetkých rozmeroch tak, aby sa nemohol otáčať ani sklznúť (Feldmann et al., 2014).

- ***Vloženie, vsadenie (podskupina 4.1.2)***

Vkladanie alebo vsadenie je proces, pri ktorom sa diel vkladá do tvarovaného prvku iného dielu, napríklad vkladanie rezervného kolesa do príslušného výklenku (priehlbiny pre rezervné koleso) vozidla. Povrchy, ktoré sú kolmé na smer spájania (bočné steny), sa môžu použiť ako doraz a tiež absorbovať bočné sily (Feldmann et al., 2014).

- ***Vzájomné zasunutie (podskupina 4.1.3)***

Pri teleskopickom zasúvaní sa jedna časť zasúva do druhej alebo cez ňu. Rozlišujú sa dva varianty:

- Zatláčanie alebo ťahanie: Vonkajšia časť sa nasunie na vnútornú časť.
- Zasunutie alebo vloženie: Vnútorná časť sa zasúva do vonkajšej časti.

Pri zatlačení do seba sa medzi spájajúcimi partnermi vytvorí spojenie, ktoré ho odlišuje od iných príbuzných procesov. Pri zasúvaní alebo vkladaní nedochádza k žiadnemu lícovaniu. Pri zalisovaní sú potrebné veľké sily na spojenie, zatiaľ čo pri zasúvaní do seba sú relatívne nízke. Môže sa použiť aj na lícovanie, v ktorom sú spojovací partneri navzájom pohybliví (Feldmann et al., 2014).

- ***Zavesenie (podskupina 4.1.4)***

Pri zavesení sa komponenty zavesia na napínacie pružiny a zaistia sa nimi. Montážna námaha je zvyčajne nízka a prenášané sily sú vysoké, preto majú široké spektrum použitia. Príkladom sú závesy zadných dverí. Spoje môžu byť pevné alebo pohyblivé (Feldmann et al., 2014).

- ***Manipulovať do správnej polohy (ustavenie) (podskupina 4.1.5)***

Ustavenie sa vyznačuje vhodnou kombináciou alebo sledom zatlačenia a otáčania. Ustavenie prebieha lineárnym (translačným) a potom rotačným pohybom. Spojenie

drží pomocou tvarového zaistenia, otvorenie sa môže uskutočniť prekonaním statického trenia a/alebo sily pružiny a/alebo obídením uzamykacieho kroku alebo otvorením zámku.

Typické sú bajonetové spoje na otvoroch nádob (tlakový hrniec, plniaci uzáver motorového oleja), ťažné zátky (BNC zátky), objímkach odolných proti vibráciám pre žiarovky a poistky (autá, stroje) a objektívy fotoaparátov.

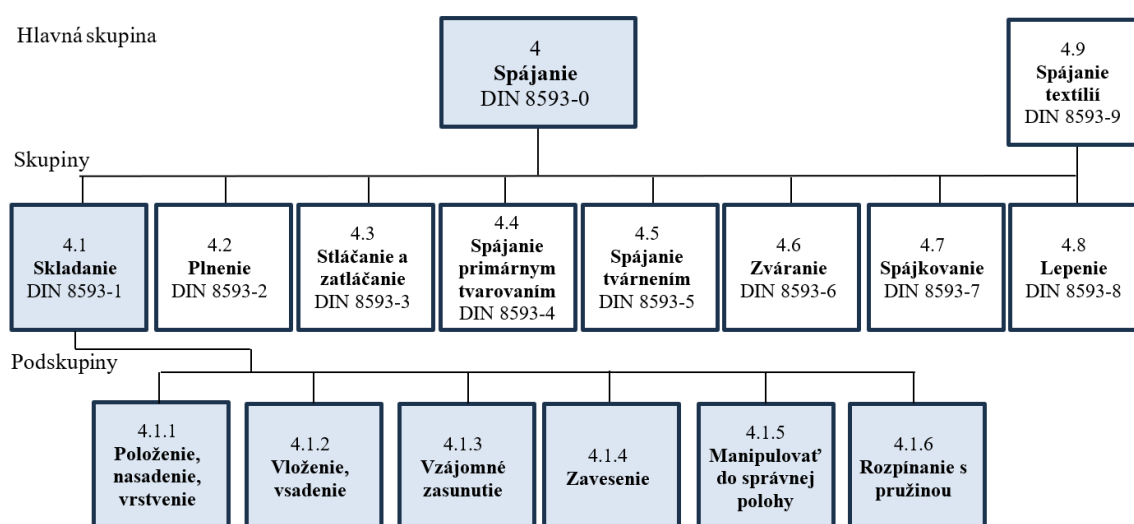
Vkladanie jednotlivých batériových alebo akumulátorových článkov v tvare valca alebo gombíka do zariadení sa zvyčajne vykonáva ich vkladáním orientovaným smerom k plochej základni oproti vyčnievajúcemu pólu.

Vykĺbené kĺby človeka je možné opäť napraviť – často za asistencie lekára – pomocou výkonného manuálneho vedenia jedného alebo viacerých ľudí (Feldmann et al., 2014).

- **Rozpínanie s pružinou (podskupina 4.1.6)**

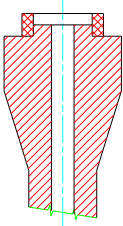
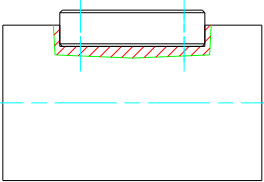
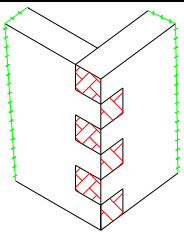
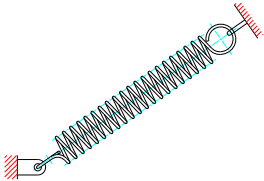
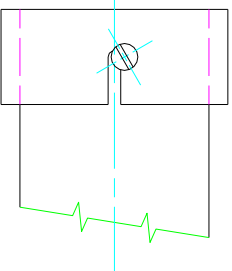
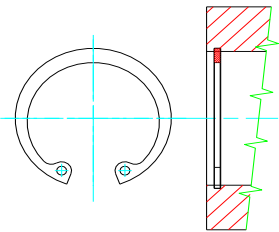
Pri pružnom roztáhovaní sa spojovací diel najskôr elasticky deformuje. Po vložení alebo zatlačení dôjde k spätnému pruženiu. Príkladmi sú spony, západkové spoje, rozpínacie krúžky, plechové pružiny a poistné krúžky (Feldmann et al., 2014).

Na obr. 2 je znázornené členenie skladania a v tabuľke 5 sú uvedené príklady jednotlivých druhov spojov.



Obr. 2 Možné spôsoby skladania podľa normy DIN 8593-1

Tab. 5 Skladanie – popis a príklady použitia

Hlavná skupina 4: SPÁJANIE		Popis	Príklady
Skupina	Podskupina		
4.1 Skladanie	4.1.1 Položenie, nasadenie, vrstvenie	Ide o spojovanie položením na alebo nad dielec.	
	4.1.2 Vloženie, vsadenie	Je operácia vloženia menšieho dielca do väčšieho.	
	4.1.3 Vzájomné zasunutie	Je spojovanie založené na vzájomnom zasunutí súčiastok, alebo zasunutí tvarových prvkov jednej súčiastky do odpovedajúcich prvkov inej súčiastky.	
	4.1.4 Zavesenie	Je spojovanie dielcov resp. dielca spojovacieho prvku bez resp. S elasticou deformáciou zavesením.	
	4.1.5 Manipulovať do správnej polohy (napr. spojovanie vsunutím a pootočením)	Je spojovanie charakteristické kombináciou translačného a rotačného pohybu. Spojované dielce sú vsunuté jeden do druhého a následne navzájom pootočené.	
	4.1.6 Rozpínanie s pružinou (napr. montáž poistných prvkov)	Je spojovanie pomocou predchádzajúcej elastickej deformácie pričom dielec po založení zaujme pôvodný tvar a tým dochádza k tvarovému spojeniu.	

2.3.2 Plnenie (skupina 4.2)

Plnenie je súhrnné označenie pre vnášanie plyných alebo parných, kvapalných alebo pastovitých látok, ako aj práškových alebo kryštalických látok alebo malých teliesok do dutých alebo pórovitých telies. Inak povedané, plnenie zahŕňa zavádzanie bez tvarých látok do dutín alebo nádob. Aby bola dosiahnutá rozmerová stálosť spoja, musí prebehnúť fázová zmena alebo chemická reakcia, aby výplň stuhla. Okrem fixácie nie je nezvyčajné, že je požadovaná izolácia alebo odvod tepla cez výplň. Rozlišuje sa napríklad plnenie plynov alebo kvapalín do dutého telesa a ich impregnácia (Feldmann et al., 2014).

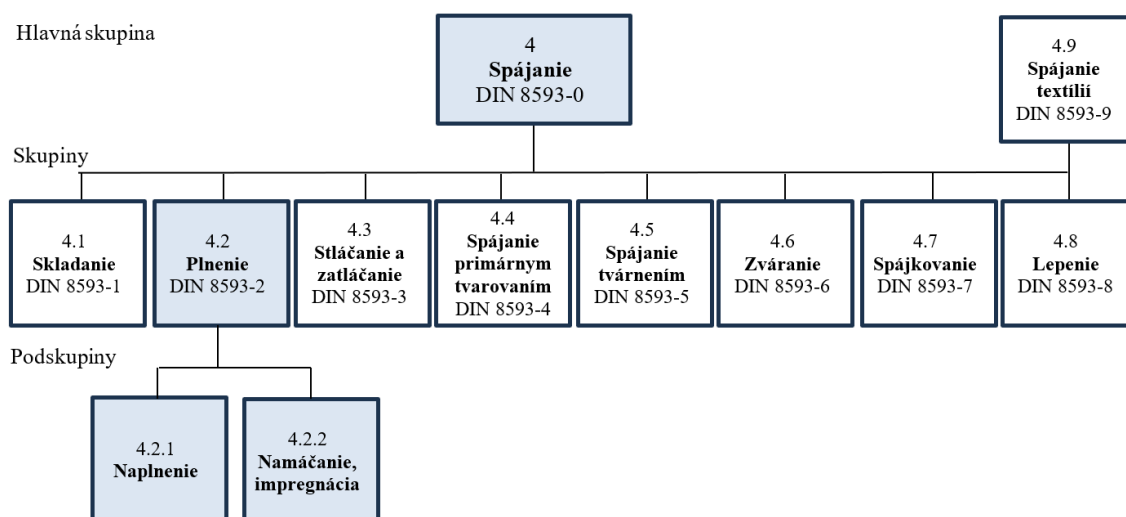
Ak je obsahom okolitý vzduch, vo všeobecnosti sa nehovorí o plnení, ale skôr sa nádoba opisuje ako prázdna, nenaplnená. Existujú nasledujúce výnimky:

- obsah je pod pretlakom (napr. v nádrži na stlačený vzduch)
- nevakuovaná vákuová nádoba (recipient, vákuový systém, vákuová rúra) sa označuje ako ventilovaná alebo zaplavená.

Príklady plnenia a odlievania ako procesov spájania:

- zalievanie liatou živcou, olovom atď.
- plnenie zubných dutín zubnými protézami, (plombovanie – zubné lekárstvo)
- penenie (vyplnenie konštrukčného alebo montážneho spoja) (Feldmann et al., 2014).

Na obr. 3 je znázornené členenie plnenia podľa normy DIN 8593-2.



Obr. 3 Možné spôsoby plnenia podľa normy DIN 8593-2

Okrem technológie výroby sa hovorí o plnení aj v iných oblastiach, ale nie v súvislosti s fixáciou komponentu.

Príklady: neónový plyn vo žiarivkách, brzdová kvapalina v brzdových valcoch, kusy kovu v krytoch filtrov, izolačný lak v elektrických vinutiach, vlákňité jadro lana s mazivom, impregnácia textílií, plnenie do nápojových fliaš, plnenie hydraulických bŕzd brzdovou kvapalinou, plnenie chladiacich strojov chladivom, piesok v poistkách, olej vo veľkých transformátoroch, ističoch alebo kondenzátoroch.

2.3.3 Stláčanie a zatláčanie (mechanické spájanie) (skupina 4.3)

Stláčanie a zatláčanie je súhrnný pojem pre procesy, pri ktorých sa spájané diely a všetky pomocné diely počas spájania v podstate len pružne deformujú a neúmyselnému uvoľneniu sa zabráňuje trecím spojením. V anglickom preklade je táto podskupina uvádzaná ako „Joining by mechanical means“ čo môžeme preložiť ako „Spájanie mechanickými prostriedkami“. Patria sem nasledovné spôsoby spájania:

- ***Skrutkovanie (podskupina 4.3.1)***

Patria sem spoje vytvorené skrutkami (závrtnými, skrutkovanými do závitových dier), ako aj spojov vytvorených kombináciou skrutiek spolu s maticami.

- ***Upínanie (podskupina 4.3.2)***

Vytvorenie svorky pomocou pružných spojovacích častí. Upínacie napätie sa často vytvára pomocou tuhých pomocných spojovacích dielov, ktoré môžu tiež jednoducho slúžiť ako zabezpečenie (Feldmann et al., 2014).

- ***Spájanie svorkami (podskupina 4.3.3)***

Vytvorenie zverného spoja pomocou pomocných spojovacích dielov (svoriek) na stlačenie tuhých dielov k sebe. Používa sa v kancelárii na spájanie listov papiera pomocou kancelárskych sponiek alebo v medicíne po chirurgických zákrokoch a v elektrotechnike a automobilovom priemysle (Feldmann et al., 2014).

- ***Lisovanie (podskupina 4.3.4)***

Spojenie vytvorením lisovaného spoja. Vnútný diel sa vtlačí do o niečo menšieho výrezu vonkajšieho dielu. Pri lisovaní lisovaného spoja sa tenkostenné lisovacie tvarovky deformujú spolu s rúrou tak, aby sa diely nedali od seba oddeliť bez ďalšej deformácie. Lisovacie spoje, v ktorých sa tenkostenné diely formujú pomocou špeciálnych nástrojov, sa tiež nazývajú lisovacie spoje. Ručné tvarovanie (plechových dielov) je známe aj ako obrubovanie, lisovanie, krimpovanie, ohýbanie alebo lemovanie (Feldmann et al., 2014).

- **Pribíjanie, zatĺkanie (podskupina 4.3.5)**

Vytvorenie spoja zatĺkaním klinca alebo skrutky do pevného materiálu. Môžu sa zatĺkať aj háky, ktoré zasa slúžia ako pomocný spojovací diel (Feldmann et al., 2014).

- **Spájanie klinmi (podskupina 4.3.6)**

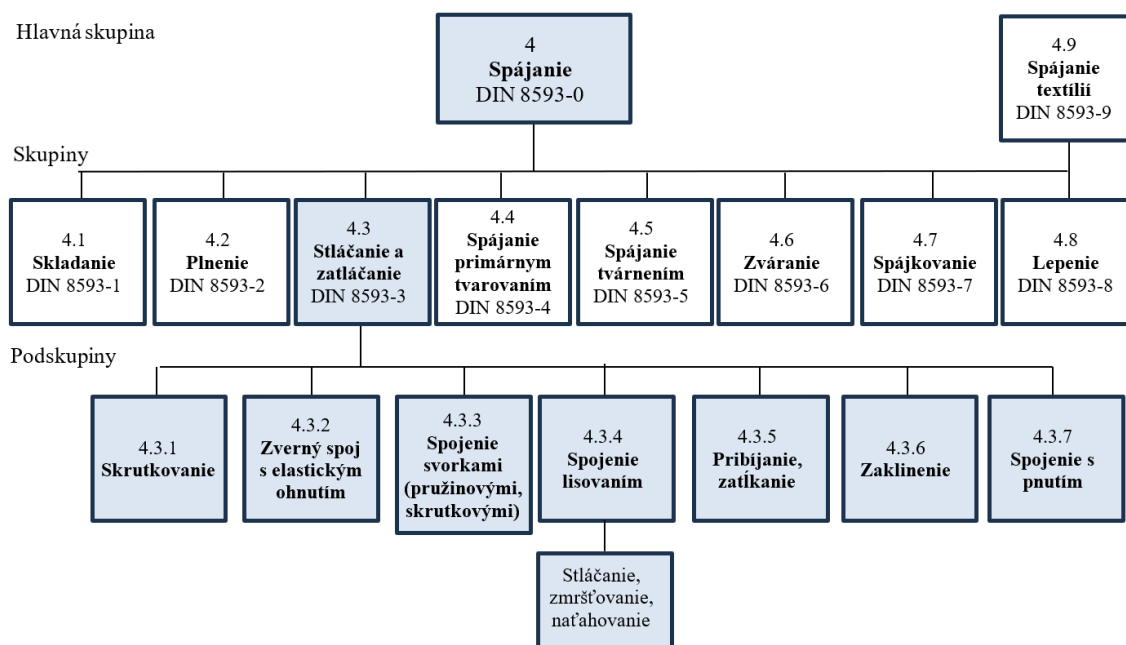
Samosvorné spojenie pomocou klinov.

- **Spojenie s vytvorením napätia (zopnutie) (podskupina 4.3.7)**

Vytvorenie spoja vytvorením napätia, t.j. silové spojenie stlačením častí k sebe napr. silové spojenie medzi nábojom a hriadeľom uľahčené kužeľom alebo prstencovými drážkovanými klinmi. Potrebná uzatváracia sila sa môže zabezpečiť pomocou matice a závit.

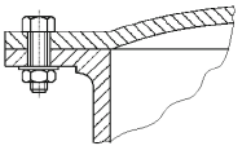
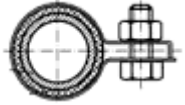
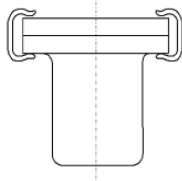
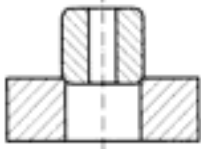
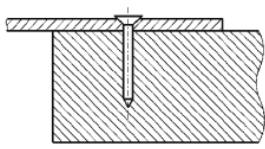
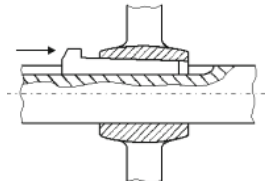
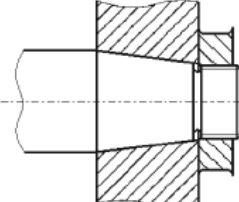
Vytvorené spoje sa dajú opäť uvoľniť s osobitným úsilím, ale zvyčajne bez poškodenia materiálu.

Na obr. 4 je znázornené členenie spájania a zatlačania a v tabuľke 6 sú uvedené príklady jednotlivých druhov spojov.



Obr. 4 Možné spôsoby spájania stláčaním a zatláčaním podľa normy DIN 8593-3

Tab. 6 Stlačenie a zatlačenie – popis a príklady použitia, CIRP, (2020).

Hlavná skupina 4: SPÁJANIE		Popis	Príklady
Skupina	Podskupina		
4.3 <i>Stlačenie a zatlačanie</i>	4.3.1 Skrutkovanie	Je pritlačenie pomocou samosvorného závitu na dielcoch a/alebo spojovacích prvkoch (skrutky, matice).	
	4.3.2 Zverný spoj	Je spojenie vzniknuté vzájomným stlačením dielcov pomocou spojovacích prvkov.	
	4.3.3 Spojenie svorkami (pružinovými, skrutkovými)	Je spojovanie vzájomným stlačením dielcov pomocou svoriek.	
	4.3.4 Spojenie lisovaním	Je zalisovanie vnútorného dielca do vonkajšieho dielca pričom medzi dielcami existuje presah. Je axiálne spojovanie pričom vnútorný dielce- spojovací prvok (kolík) je zalisovaný do vonkajšieho dielca.	
	4.3.5 Pribíjanie, zatĺkanie	Spojovanie zalisovaním spojovacieho prvku do dielca pomocou mechanickej energie pričom sú viaceré dielce spojené vzájomným stlačením.	
	4.3.6 Spojenie klinom	Je spojovanie pri ktorom spojovací prvok v tvare klinu zalisovaný alebo zatĺčený do medzery napríklad v tvare drážky.	
	4.3.7 Spojenie vytvorením napätia/ zverný spoj kužeľom	Je spojovanie pri ktorom sú dielce s kužeľom zalisované, pričom potrebná axiálna sila môže byť prenášaná pomocou závitu.	

2.3.4 Spájanie primárnym tvarovaním (skupina 4.4)

Spájanie primárnym tvarovaním je súhrnný pojem pre procesy, pri ktorých sa buď obrobok vytvára z beztváreho materiálu, alebo pri ktorých sa niekoľko častí, ktoré sa majú spojiť, spája beztvárým materiálom vloženým medzi nich, alebo pri ktorých sa do beztvárneho materiálu vložia kovové alebo podobné časti (Uhlmann).

- ***Vylievanie (nalievanie, škárovanie, injektáž) (podskupina 4.4.1)***

Spájanie primárnym tvarovaním takým spôsobom, že sa vyrobí doplnkový kus pre jeden alebo viac obrobkov odlievaním z beztvárneho materiálu. Vyplnenie medzier alebo dutín v spájaných predmetoch materiálom vo forme pasty alebo kvapaliny, ktorá následne stuhne (CIRP, 2020).

- ***Zapuzdrenie (podskupina 4.4.2)***

Spájanie jedného alebo viacerých obrobkov ich spájaním do beztváreho materiálu napr. spojenie alebo montáž predmetov ich obklopením roztaveným plastom, ktorý stuhne a drží predmety pohromade (CIRP, 2020).

- ***Utesňovanie, zalievanie (podskupina 4.4.3)***

Spojenie dvoch komponentov pomocou kvapaliny, ktorá tuhne, aby držala predmety pohromade a vytvorila vzduchotesný alebo vodotesný spoj (CIRP, 2020).

- ***Galvanizácia (elektrolytické spájanie) (podskupina 4.4.4)***

Procesy mikromontážneho spájania, pri ktorých sa komponenty dávajú do kopy a spájajú pomocou elektrolyticky nanesených materiálov (CIRP, 2020).

- ***Oplášťovanie (podskupina 4.4.4)***

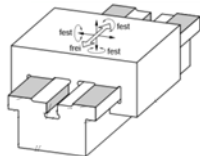
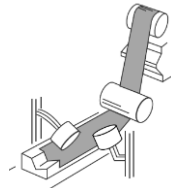
Spájanie primárnym tvarovaním plášťa z beztváreho materiálu s drôtom, pásikom, lanom alebo rúrkovým spojovacím dielom pomocou tvarovacieho nástroja napr. udržiavanie častí typu prameňov, ako sú drôty, ich pozdĺžnym zapuzdrením pomocou stlačenej rúrkovej časti (CIRP, 2020).

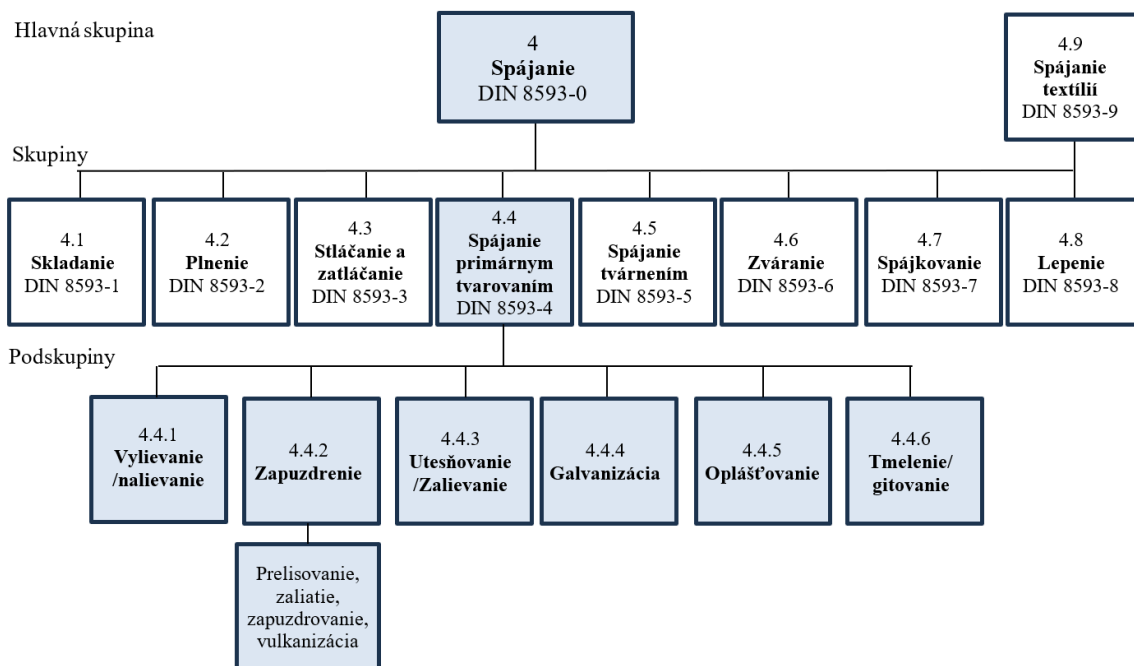
- ***Tmelenie, gitovanie (podskupina 4.4.6)***

Lepenie rôznych materiálov alebo vyplňanie medzier medzi predmetmi pomocou tmelov a/alebo cementov. Možno vyplniť veľké medzery, prispôbiť sa rôznym koeficientom rozťažnosti a utesniť spoje (CIRP, 2020).

Na obr. 5 je znázornené členenie spájania primárnym tvarovaním a v tabuľke 7 sú uvedené príklady jednotlivých druhov spojov.

Tab. 7 Spájanie odlieváním – popis a príklady použitia

Hlavná skupina 4: SPÁJANIE		Popis	Príklady
Skupina	Podskupina		
4.4 <i>Spájanie primárnym tvarovaním</i>	4.4.1 Vylievanie/ Nalievanie	Ložiskové panvy v skrinách, vodiace a dosadacie plochy na vozíkoch	 
	4.4.2 Zapuzdrenie	Obstriekať puzdro, zalievanie vodiacich dráh, vulkanizácia drôtených prameňov	  
	4.4.3 Utesňovanie/ zalievanie	Zalievanie koncov lana v objímke lana, kryt v objímke	
	4.4.4 Galvanizácia (elektrolytické spájanie)	Spojenie dielcov nanesením tenkej kovovej vrstvy .	
	4.4.5 Oplášťovanie	Kábel s izoláciou, rúrka s izolačným materiálom, drôt s plastom, zvaracie elektrody	
	4.4.6 Tmelenie/ Gitovanie	Upevnenie a utesnenie skla v ráme	



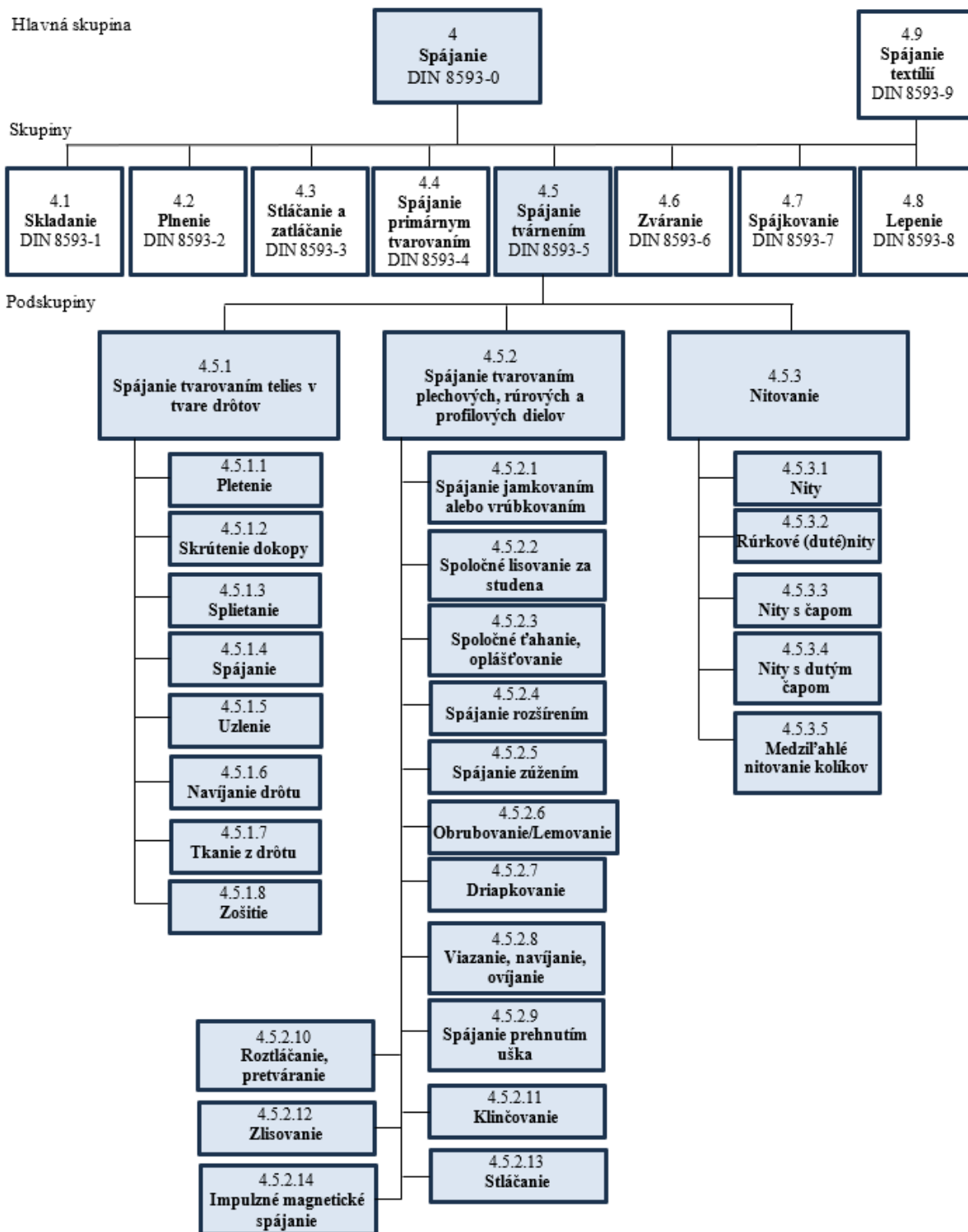
Obr. 5 Možné spôsoby spájania primárnym tvarovaním podľa normy DIN 8593-4

2.3.5 Spájanie tvárnením (skupina 4.5)

Spájanie tvarovaním je súhrnný termín pre procesy, pri ktorých sa lokálne – niekedy úplne – formujú spojovacie diely, alebo pomocné spojovacie diely. Formovacie sily môžu byť mechanické, hydraulické, elektromagnetické alebo iného typu. Spojenie je vo všeobecnosti zabezpečené proti náhodnému uvoľneniu tvarovým zaistením (Uhlmann).

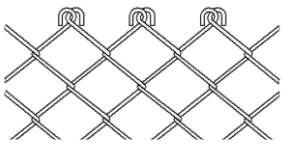
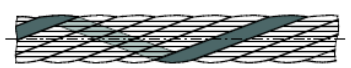
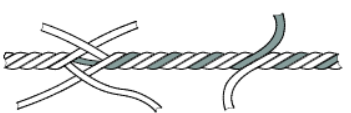
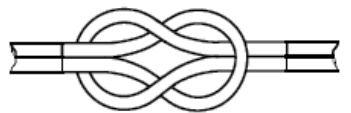
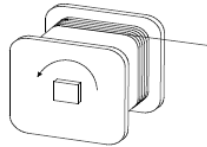
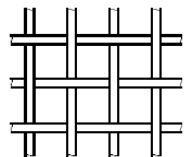
Táto skupina patrí k najrozsiahlejšej, čo sa týka počtu podskupín (obr. 6). Podľa normy DIN 8593-5 sa spájanie tvárnením delí na 3 podskupiny:

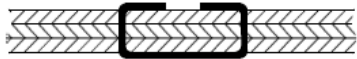
- **Spájanie tvarovaním telies v tvare drôtov (podskupina 4.5.1)** – Tento spôsob spájania sa člení na ďalších 8 podskupín (tabuľka 8). Do tejto skupiny spadá napr. aj navíjanie cievok elektromotorov.
- **Spájanie tvarovaním plechových, rúrových a profilových dielov (podskupina 4.5.2)** – tabuľka 9.
- **Nitovanie (podskupina 4.5.3)** – Do tejto skupiny patria všetky spôsoby nitovania: klasické (rozklepávacie) nity, odtrhávacie nity, nitovacie matice, zarážacie nity, duté nity, rúrkové nity, nity s čapom, nity s dutým čapom, nity s driekom, atď.



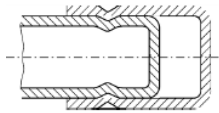
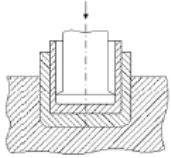
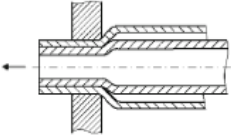
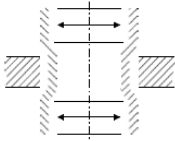
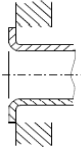
Obr. 6 Klasifikácia spôsobov spájania tvárením podľa normy DIN 8593-5

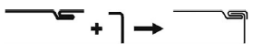
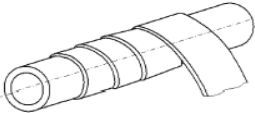
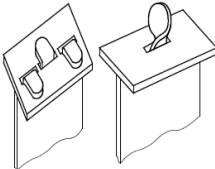
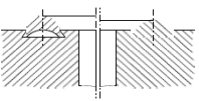
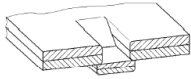
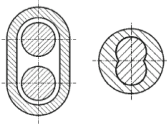
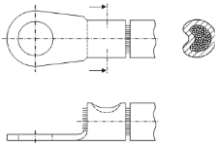
Tab. 8 Spájanie tvarovaním telies v tvare drôtov – popis
a príklady použitia podľa CIRP, (2020).

Hlavná skupina 4: SPÁJANIE		Popis	Príklady
Skupina	Podskupina		
4.5 <i>Spájanie</i> <i>tvárnením</i> Podskupina 4.5.1 <i>Spájanie</i> <i>tvarovaním</i> <i>telies v tvare</i> <i>drôtov</i>	4.5.1.1 Pletenie	Spájanie drôtov ovíjaním alebo krútením, čím sa vytvárajú dvojrozmerné alebo trojrozmerné siete drôtov.	
	4.5.1.2 Skrútenie dokopy	Spájanie dielov z drôtu alebo plechových výstupkov ich vzájomným špirálovým ohýbaním – krútením.	
	4.5.1.3 Splietanie, skrúcanie	Spájanie, pri ktorom sa drôty, pramene a laná ukladajú okolo seba do tvaru špirály.	
	4.5.1.4 Spájanie	Spájanie tvarovaním, pri ktorom sa konce lán spájajú alebo sa koniec lana spája s tým istým lanom, aby sa vytvorila slučka. Žily kábla alebo lana na konci lana sa prepletajú a spájajú spôsobom silového a tvarového spojenia.	
	4.5.1.5 Uzlenie	Spájanie, pri ktorom sa laná alebo drôty spájajú do tvarového alebo silového spojenia ohýbaním okolo seba (uzly).	
	4.5.1.6 Navíjanie drôtu	Spojenie jednej alebo viacerých vnútorných častí drôtom jeho plynulým ohýbaním okolo vnútorných častí.	
	4.5.1.7 Tkanie z drôtu	Krížové prepletanie drôtov podľa daného vzoru na vytvorenie sieťoviny alebo tkaniny.	

	4.5.1.8 Zošitie	Proces spájania, pri ktorom sa spájajúci partneri navzájom spájajú vytvorením pomocných spojovacích častí v tvare drôtu. Pomocná spojovacia časť má často tvar písmena U.	
--	--------------------	---	---

Tab. 9 Spájanie tvarovaním plechových, rúrových a profilových dielov – popis a príklady použitia podľa CIRP, (2020).

Hlavná skupina 4: SPÁJANIE		Popis	Príklady
Skupina	Podskupina		
4.5 <i>Spájanie tvárnením</i> Podskupina 4.5.2 <i>Spájanie tvarovaním plechových, rúrových a profilových dielov</i>	4.5.2.1 Spájanie jamkovaním alebo vrúbkovaním	Proces, pri ktorom sa voľný koniec súčiastky vlozenej cez obrobok alebo tenkostenný obrobok vtlačí do voľného miesta na proti-kuse v tvare bodu alebo čiary.	
	4.5.2.2 Spoločné lisovanie za studena	Spájanie dvoch počiatočných tvarov umiestnených na seba alebo do seba spoločným tvárnením za studena.	
	4.5.2.3 Spoločné ťahanie, oplášťovanie	Spájanie spoločným tvárnením za studena preložených alebo vzájomne prepojených predmetov umiestnených na sebe alebo vo vnútri seba cez tvárniacu medzeru.	
	4.5.2.4 Spájanie rozšírením	Spojenie rúrkovej časti s inými predmetmi pretiahnutím rúrky cez otvor jednej alebo viacerých častí, ktoré sa majú spojiť a jej následným rozťahnutím pomocou vnútorného tlaku, napr. hydraulickou kvapalinou alebo tvarovaním elastoméru.	
	4.5.2.5 Spájanie zúžením (krimpovanie)	Spájanie zúžením, lemovaním alebo zošíkmením dutej súčiastky voči vnútornej časti, čím vzniká tvarový alebo silový spoj.	
	4.5.2.6 Obrubovanie /Lemovanie	Spojenie rúrkového dielu s iným dielom miestnym ohnutím jedného z jeho koncov s cieľom vytvoriť prírubu.	

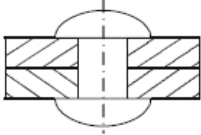
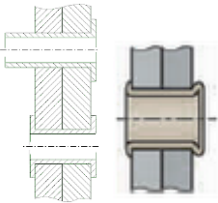
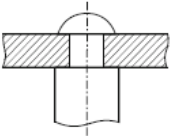
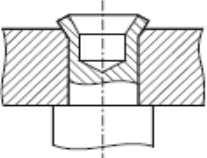
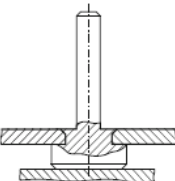
4.5 Spájanie tvárnením Podskupina 4.5.2 Spájanie tvarováním plechových, rúrových a profilových dielov	4.5.2.7 Driapkovanie	Spájanie plošných materiálov deformovaním prekrývajúcich sa okrajov tak, aby vznikol šev. Pred montážou môže byť potrebné pripraviť okraje plechu. Príkladom je dvojité zámkový šev na vrchných častiach plechoviek od nápojov, atď.	
	4.5.2.8 Viazanie, navíjanie, ovíjanie	Montáž jedného alebo viacerých obrobkov omotaním pásky, drôtu alebo kábla okolo predmetov, aby držali pohromade	
	4.5.2.9 Spájanie prehnutím uška	Montážna operácia, ktorá pozostáva z prevlečenia jazýčkov vyrobených z plechu (tiež nazývaných uška, chlopne, oká alebo hroty) cez otvory inej časti a ich následná deformácia na upevnenie oboch komponentov. Vznikne tak tvarové alebo silové spojenie. Jednou bežne používanou formou je spojenie s otočným pohybom, aby sa predmety držali pohromade (zaistenie skrútením), iná je ohýbanie ušíek (zaistenie ohnutím).	
	4.5.2.10 Roztláčanie, pretváranie	Montáž, pri ktorej sa časť jedného obrobku vtlača do dutiny v inom obrobku lisovaním alebo valcovaním.	
	4.5.2.11 Klinčovanie	Spájanie plechových, rúrkových alebo pretláčaných profilov pomocou prelínaných výrezov a výstupkov, ktoré sa potom stláčajú, čím vzniká tvarové spojenie.	
4.5 Spájanie tvárnením Podskupina 4.5.2 Spájanie tvarováním	4.5.2.12 Zlisovanie	Spojenie dvoch koncov lana alebo slučky lana pomocou lisovacej objímky, ktorá oba pramene obopína a po deformácii v lise vytvára silové a tvarové spojenie.	
	4.5.2.13 Stláčanie	Ukončenie kábla pomocou vonkajšej objímky, ktorá je stlačená, aby držala pramene kábla pohromade. Vzniká tak silové a tvarové spojenie.	

<i>plechových, rúrových a profilových dielov</i>	4.5.2.14 Impulzné magnetické spájanie	Je možné spájať podobné, ale aj rôznorodé materiály a to: • pomocou pružno-plastického napätia medzi komponentami, ktoré sa majú spojiť, • tvarovým prispôbením prostredníctvom vytvárania podrezaní. Spájanie profilov je hlavnou oblasťou použitia tejto metódy, ale záujem o spájanie plechov neustále rastie. Bez ohľadu na geometriu polotovaru je základným predpokladom spájania pomocou tejto metódy dobrá elektrická vodivosť spojovacieho partnera, ktorý sa má tvarovať. (Fraunhofer IWU, 2021).	
--	--	--	--

V tabuľke 10 je uvedená klasifikácia nitových spojov podľa normy DIN 8593-5, ale nitové spoje sa z hľadiska použitia, výpočtu a konštrukcie dajú deliť ešte do týchto kategórií (Wittel et al., 2015):

- pevné spoje (silové spoje) v oceľových a hliníkových konštrukciách na podperné spoje, podpery, uzly v styčníkoch priehradových strešných trámov, plnostenných nosníkoch, atď.
- pevné a utesnené spoje v konštrukcii kotlov a tlakových nádob, prevažne tesné spoje v konštrukcii nádob pre silá, zásobníky, potrubia atď. ako aj lepené spoje (lepené nity) pre plechové obklady v konštrukcii karosérií automobilov, vagónov a lietadiel.

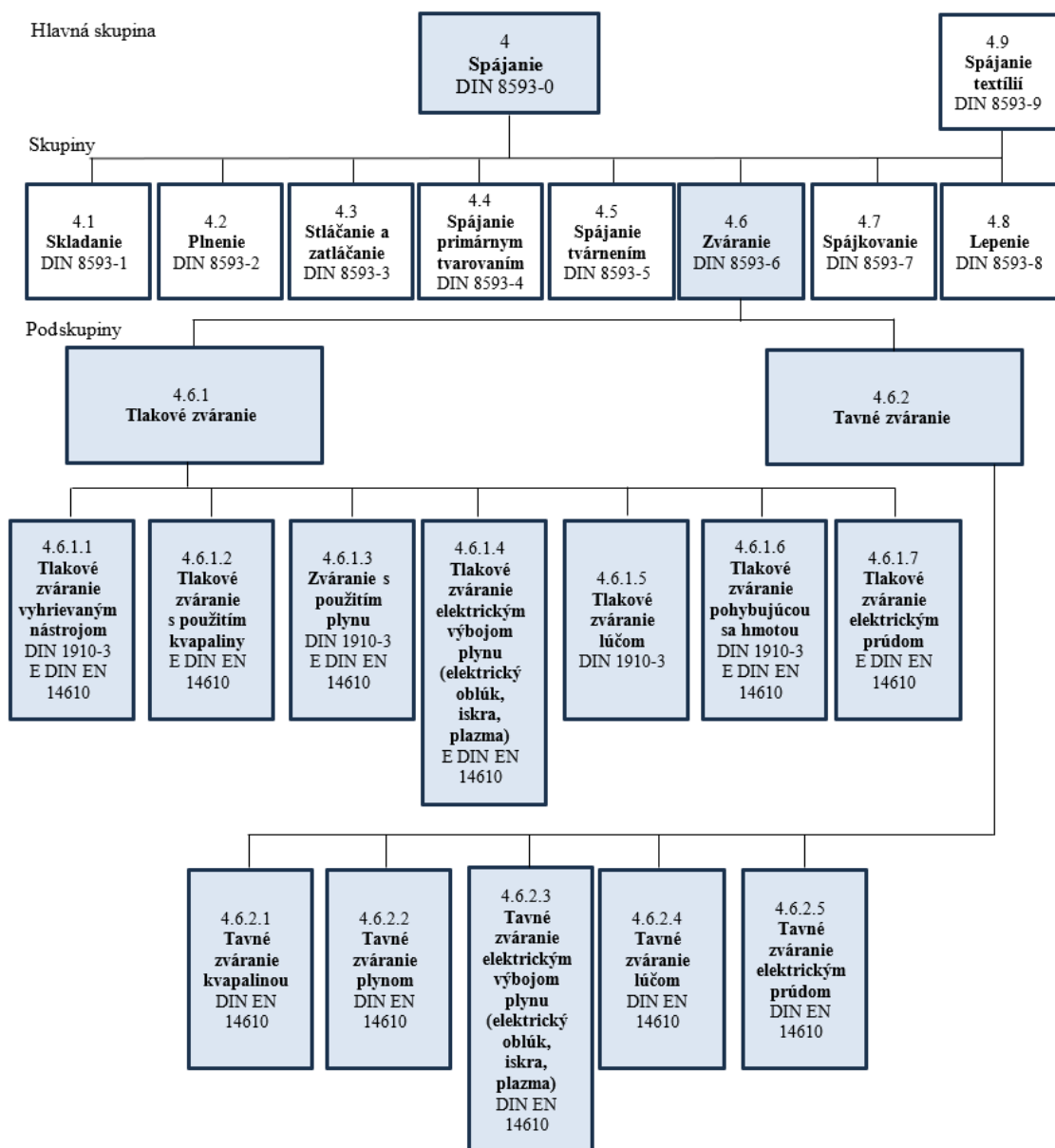
Tab. 10 Spájanie nitovaním – popis a príklady použitia podľa CIRP, (2020).

Hlavná skupina 4: SPÁJANIE		Popis	Príklady
Skupina	Podskupina		
4.5 <i>Spájanie tvárnením</i> Podskupina 4.5.3 <i>Spájanie nitovaním</i>	4.5.3.1 Nity	Spájanie samostatnými spojovacími prvkami (nitmi) alebo výstupkami, ktoré prechádzajú cez spájané predmety, t. j. krátkymi valcovými spojovacími prvkami s hlavou na jednom konci, ktorých druhý koniec je počas operácie sploštený.	
	4.5.3.2 Rúrkové (duté) nity	Technika spájania ohnutím vyčnievajúcich prvkov dutého alebo rúrkového nitu.	
	4.5.3.3 Nity s čapom	Spájanie deformovaním výstupku v tvare kolíka na konci jedného zo spájaných dielov, ktorý prechádza cez vhodný otvor v druhom diele.	
	4.5.3.4 Nity s dutým čapom	Montáž deformáciou alebo nitovaním vyčnievajúcej časti konca v tvare dutého kolíka na jednom prvku, ktorý prechádza otvorom v druhom prvku.	
	4.5.3.5 Medziľahlé nitovanie kolíkov	Montáž rozrušením medzistupňa v jednom z dielov, ktoré sa majú spojiť, do vhodného otvoru v druhom diele.	

2.3.6 Zváranie (skupina 4.6)

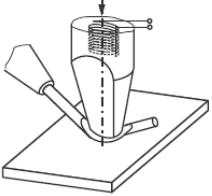
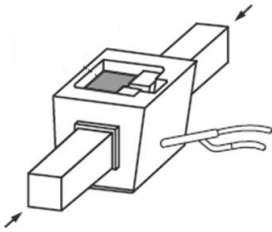
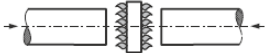
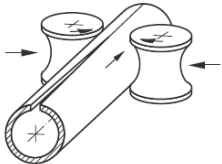
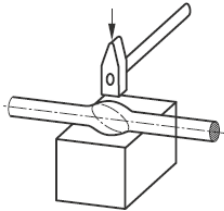
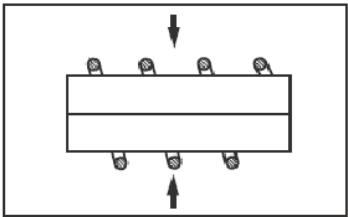
Zváranie je spájanie kovov alebo plastov teplom, tlakom alebo oboma spôsobmi, s pridaním alebo bez prídania prídavného materiálu (Uhlmann).

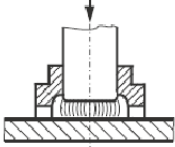
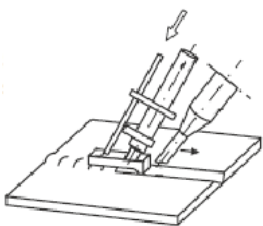
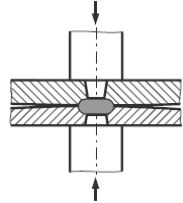
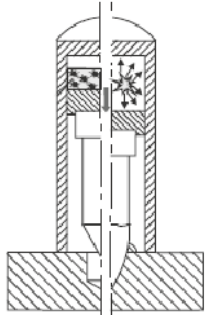
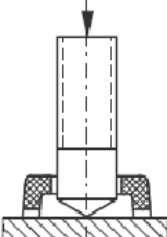
Na obr. 7 je uvedená klasifikácia metód zvarovania a v tabuľkách 11 a 12 sú popisy a príklady použitia jednotlivých metód.

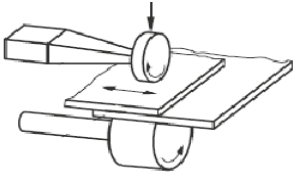
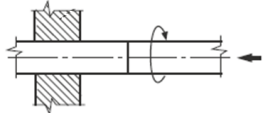
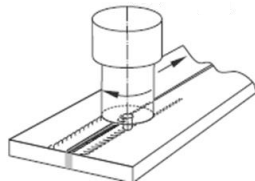
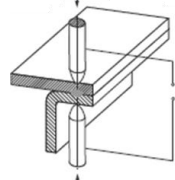
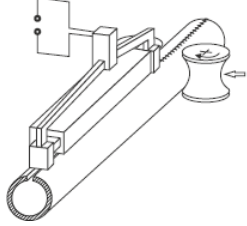


Obr. 7 Klasifikácia spôsobov spájania zvarovaním podľa normy DIN 8593-6

Tab. 11 Tlakové spôsoby zvarovania – popis a príklady
použitia podľa Kusch et al., (2021). CIRP, (2020).

Hlavná skupina 4: SPÁJANIE		Popis	Príklady
Skupina	Podskupina		
4.6 <i>Zváranie</i> Podskupina 4.6.1 <i>Tlakové zvarovanie</i>	4.6.1.1 Zváranie vyhrievaným nástrojom	Zváranie vyhrievaným nástrojom – súhrnný termín pre procesy tlakového zvarovania, pri ktorých sa obrobky v oblasti zvarového spoja zahrievajú pomocou ohrievacieho nástroja.	
	4.6.1.2 Zváranie s použitím kvapaliny	Zváranie pri tlakovom liatí – tlakové zvarovanie, počas ktorého sa spájané materiály upnú do formy a roztavený kov sa naleje do formy a po natavení koncov sa spájané materiály pritlačia k sebe, kým sa spoj nevytvorí.	
	4.6.1.3 Zváranie s použitím plynu	Tlakové plameňové zvarovanie – spájanie lisovaním obrobkov s povrchmi spojov ohrievanými plameňom.	
		Zváranie valcovaním – tlakové zvarovanie, pri ktorom sa postupne pôsobí silou pomocou mechanicky poháňaných valčiek, a to buď pri izbovej teplote, alebo po zahriatí rôznymi metódami.	
		Kováčske zvarovanie – spájanie obrobkov voľným kovaním, zápustkovým kovaním, alebo lisovaním cez dosadacie plochy vyhrievané plameňom.	
		Difúzne zvarovanie – spájanie obrobkov vo vákuu, v inertnom plyne alebo v kvapaline v dôsledku difúzie na povrchu spoja prostredníctvom tepla a sily.	

4.6 Zváranie Podskupina 4.6.1 Tlakové zváranie	4.6.1.4 Zváranie elektrickým výbojom plynu	Oblúkové tlakové zváranie – spájanie lisovaním obrobkov, ktoré boli zahriate krátko horiacim elektrickým oblúkom.	Priváranie svorníkov  alternatívny variant procesu: Zváranie s magneticky posúvaným oblúkom.
	4.6.1.5 Zváranie pomocou lúča	Zváranie lúčom svetla (známe len pre plasty). Plast sa privádza do zvárackej hlavy cez extrudér vyhrievaný svetelným lúčom, ktorý tlačí zahriatu hmotu medzi predtým zahriate dosadacie plochy.	
	4.6.1.6 Zváranie pohybujúcou sa hmotou	Zváranie tlakom za studena – spájanie plastickou deformáciou obrobkov v mieste spoja pôsobením konštantnej sily bez tepla.	
		Zváranie nárazom – spájanie obrobkov náhlým pôsobením sily.	Zváranie výbuchom  Zváranie dvoch obrobkov ich vrhnutím proti sebe cieľenou detonáciou výbušnej nálože a ich spojenie plastickou deformáciou na ich styčnej ploche tvarovým a materiálovým spojením.
4.6 Zváranie Podskupina 4.6.1 Tlakové zváranie	4.6.1.6 Zváranie pohybujúcou sa hmotou	Nárazové zváranie – spájanie obrobkov náhlým pôsobením sily.	Zváranie magnetickými impulzmi 

		Ultrazvukové zváranie – spájanie silou a kmitavým pohybom s frekvenciou v ultrazvukovom rozsahu ($f \geq 20000$ Hz).	
		Trecie zváranie – spájanie lisovaním obrobkov zahriatych trením.	Pohybuje sa aspoň jeden dielec: Zváranie rotačným trením. 
			Dielce sa nepohybujú: Zváranie trením 
			Zváranie pomocou zváracieho tŕňa, kde sa teplo vytvára trením medzi rotujúcim vretenom nástroja odolným voči opotrebovaniu a plechovými dielcami, ktoré sa majú zväzať.
4.6 Zváranie Podskupina 4.6.1 Tlakové zváranie	4.6.1.7 Zváranie elektrickým prúdom	Odporové tlakové zváranie – Spájanie dielcov čiastočným elektrickým odporovým ohrevom v zóne zvárania a následným lisovaním.	Vodivé (kondukčné) tlakové zváranie: Bodové odporové zváranie 
			iné varianty procesu: výstupkové zváranie, švové zváranie, zváranie na tupo. Indukčné tlakové zváranie: Indukčné zváranie  Tlakové zváranie, kde teplo vzniká ako výsledok odporu obrobku voči indukovanému elektrickému prúdu.

Bližší popis niektorých vybraných metód tlakového zvarovania:

- ***Tlakové plameňové zvarovanie***

Súhrnný termín pre tlakové zvarovanie, pri ktorom sa dielce na spojovacích plochách zahrievajú plameňom vytvoreným horením zmesi plynu a kyslíka. Spoj vzniká pôsobením sily bez aplikácie prídavného kovu. Spoj môže byť otvorený alebo uzavretý.

- ***Zvarovanie kovaním***

Tlakové zvarovanie, prostredníctvom plastickej deformácie na rozhraní spájaných súčiastok pri ktorom sa obrobky zahrievajú a zvarujú údermi kladiva alebo inými nárazovými silami, ktoré vedú k dostatočnej trvalej deformácii prierezu zvaru.

- ***Difúzne zvarovanie***

Forma zvarovania pod tlakom, pri ktorej sa obrobky udržiavajú v kontakte pod určitým nepretržitým tlakom počas kontrolovaného času a zahrievajú sa na určitú teplotu vcelku alebo v oblasti spoja. Spoj vzniká difúziou medzi materiálmi v pevnom stave.

- ***Zvarovanie s magneticky posúvaným oblúkom***

Oblúkové zvarovanie, kde sa oblúk poháňaný magnetickým poľom pohybuje pozdĺž zvarového spoja a ohrieva spojovacie plochy, ktoré sú následne spojené pôsobením sily. Tento proces sa niekedy označuje ako „magnetické zvarovanie“.

- ***Bodové odporové zvarovanie***

Odporové zvarovanie na spájanie plechových dielov v prekrývajúcom sa šve. Zvarový spoj sa vytvára v obrobkoch medzi bodovými zvaracími elektródami, ktoré stláčajú obrobky k sebe a cez ktoré preteká prúd obrobkami. Táto tzv. zvaracia šošovka má takmer rovnakú plochu ako konce elektród. Sila medzi elektródami sa udržiava dovtedy, kým materiál vo zvaracej šošovke nezatuhne.

- ***Výstupkové zvarovanie***

Proces odporového zvarovania, pri ktorom sú kontaktné body tvorené výstupkami vyrazenými na jednom z dielov, ktoré sa majú spojiť. Prúd prechádza dielcami, zatiaľ čo sú stlačené k sebe, aby sa materiál roztavil v bodoch kontaktu, ktorý potom stuhne a vytvorí zvar. Zvlášť vhodné na spájanie tenkých plechových dielov s hrubšími predmetmi.

- ***Švové zvarovanie***

Odporové zvarovanie, pri ktorom je sila nepretržitá a prúd nepretržitý alebo pulzujúci na vytvorenie čiarového zvaru a pri ktorom je obrobok umiestnený medzi dvoma valčekovými elektródami alebo medzi valčekovou elektródou a trňom. Valce prenášajú silu a prúd a počas zvarovania spoja (švu) sa nepretržite otáčajú.

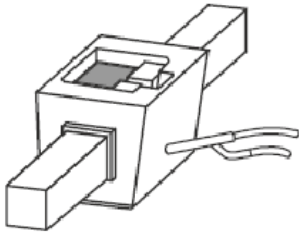
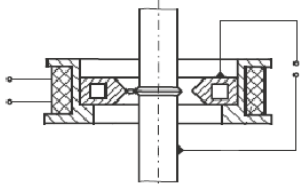
- **Odtavovacie stykové zváranie**

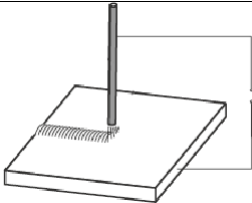
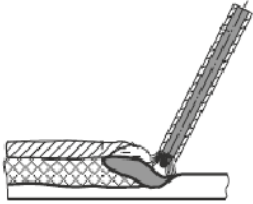
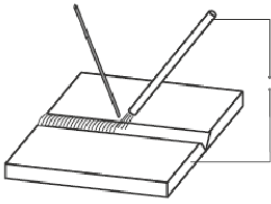
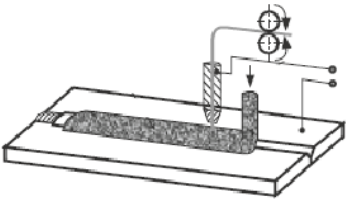
Odporové zváranie, pri ktorom sú komponenty upnuté medzi čeľuste a pomaly sa spájajú pri zapnutom prúde. Prúd preteká cez postupné body kontaktu, ktoré sa rýchlo zahrievajú, tavia a vystrekujú zo spoja, čím vzniká charakteristický zábleskový efekt. Keď sa lokálne roztaví dostatočné množstvo materiálu, súčiastky sa pritlačia k sebe a vytvorí spoj.

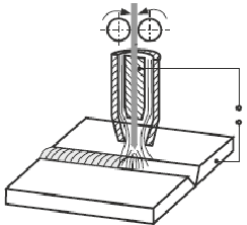
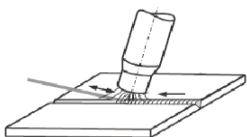
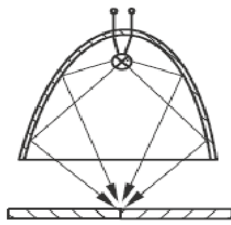
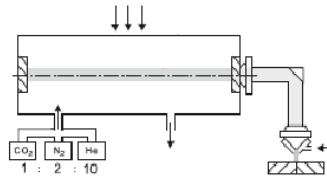
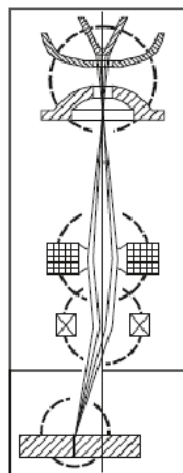
- **Stláčacie stykové zváranie**

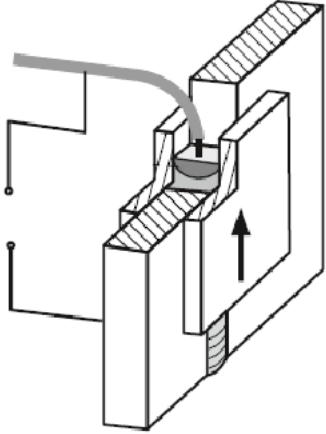
Odporové zváranie, pri ktorom sa dielce pred začatím ohrevu navzájom tlakovo dotýkajú. Pri udržiavaní tlaku tečie prúd, až kým sa nedosiahne zváracia teplota a nevytvorí sa zvar.

Tab. 12 Tavné spôsoby zvárania - popis a príklady
použitia podľa Kusch et al., (2021). CIRP, (2020).

Hlavná skupina 4: SPÁJANIE		Popis	Príklady
Skupina	Podskupina		
4.6 <i>Zváranie</i> Podskupina 4.6.2 Tavné zváranie	4.6.2.1 Zváranie s použitím kvapaliny	Zlievačské zváranie – tavné zváranie, pri ktorom je zvarový spoj obklopený formou do ktorej sa nalieva roztavený prídavný kov, ktorý vytvorí zvarový spoj. V porovnaní s tlakovým zváraním sa v tomto prípade dielce k sebe nepritlačujú silou.	
	4.6.2.2 Zváranie s použitím plynu	Zváranie plameňom – súhrnný názov pre procesy tavného zvárania, pri ktorých sa teplo potrebné na zváranie dodáva spaľovaním plynu (napr. acetylén, propán, vodík) alebo zmesi plynov, do ktorých sa primiešava kyslík.	
	4.6.2.3 Zváranie elektrickým výbojom plynu	Zváranie rotujúcim oblúkom – tavné zváranie s magneticky sa pohybujúcim oblúkom. Spájanie obrobkov pomocou magneticky vychýleného oblúka, ktorý taví zvarový spoj.	

		Zváranie elektrickým oblúkom – spájanie prenosom materiálu z elektródy do základného materiálu pomocou elektrického oblúka.	
4.6 Zváranie Podskupina 4.6.2 Tavné zváranie	4.6.2.3 Zváranie elektrickým výbojom plynu	Zváranie kovovou elektródou – spájanie roztavením spoja pomocou elektrického oblúka, ktorý horí medzi tavnou, troskotvornou elektródou a obrobkom. Medzi varianty tohto procesu patrí: gravitačné zváranie, oblúkové zváranie plnenou drôtovou elektródou s vlastnou ochranou (zváranie pomocou rúrkového plneného drôtu, ktorého stred je vyplnený tavivom bez externe dodávaného ochranného plynu), zváranie položenou elektródou.	
		Zváranie uhlíkovou elektródou – Spájanie roztavením spoja pomocou elektrického oblúka, ktorý horí medzi netaviacou sa uhlíkovou elektródou a obrobkom.	
		Zváranie pod tavivom – Súhrnný termín pre procesy oblúkového zvárania kovov, pri ktorých sa používa jedna alebo viac holých drôtených alebo páskových elektród. Oblúk(y) je(sú) úplne pokrytý(é) roztavenou troskou, ktorá vzniká tavením zváracieho taviva voľne nasýpaného na zváraciu zónu. Môže sa použiť aj plnená drôtová resp. plnená pásková elektróda. Existuje aj vo verzii kde sa pridáva kovový prášok.	

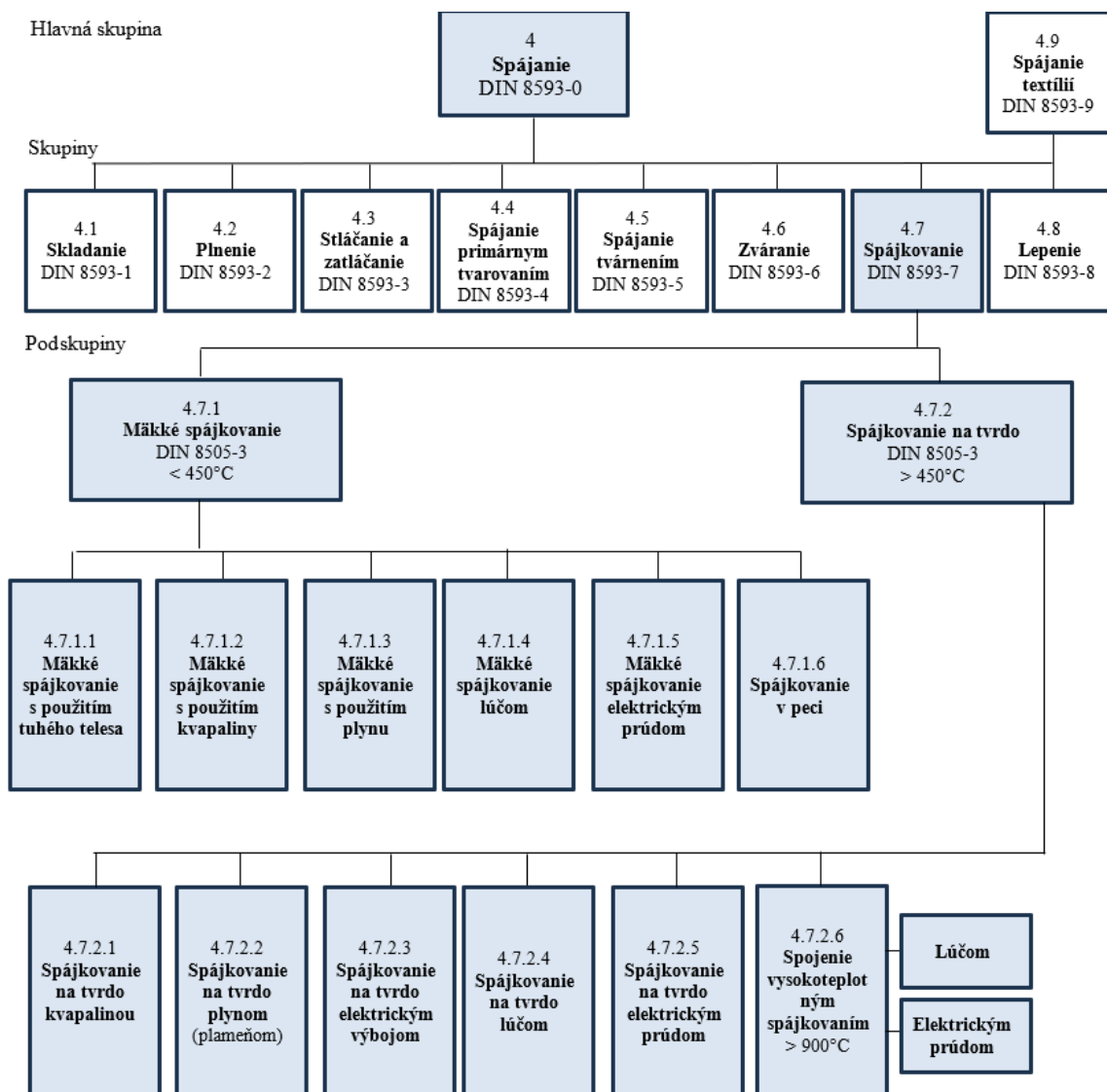
4.6 Zváranie Podskupina 4.6.2 Tavné zváranie	4.6.2.3 Zváranie elektrickým výbojom plynu	Zváranie v ochrannej atmosfére plynu – oblúkové zváranie v ochrannej atmosfére plynu, pri ktorom sa na nanášanie kovu do zvarového kúpeľa používa drôtová elektróda. Patria sem zváranie kovovou elektródou v ochrane inertným plynom (MIG), zváranie kovovou elektródou s ochranou aktívnym plynom (MAG), zváranie wolfrámovou elektródou s inertným plynom (TIG), zváranie wolfrámovou elektródou v aktívnom plyne (TAG).	1. zváranie taviacou sa elektródou (zváranie kovovou elektródou s plynovou ochranou) 
			2. zváranie netaviacou sa elektródou (napr. wolfrámová elektróda) 
	4.6.2.4 Lúčové zváranie	Zváranie svetelným lúčom – Spájanie materiálov tavením spoja pomocou energie nekoherentného svetelného lúča.	
		Zváranie laserovým lúčom – Súhrnný termín pre procesy tavného zvárania využívajúce koherentný, zaostrený lúč monochromatického svetla ako zdroj tepla.	
4.6 Zváranie Podskupina 4.6.2 Tavné zváranie	4.6.2.4 Lúčové zváranie	Zváranie elektrónovým lúčom – Súhrnný termín pre procesy tavného zvárania pomocou fokusovaného elektrónového lúča.	

	4.6.2.5 Zváranie elektrickým prúdom	Elektrotroskové zváranie – Tavné zváranie, pri ktorom sa využíva vzájomné pôsobenie prúdu a elektrického odporu, ku ktorému dochádza v jednej alebo viacerých prídavných elektródach, a vodivej trosky, ktorá prechádza elektródou smerom k zvarovému kúpeľi; zvarový kúpeľ aj troska sa udržiavajú vo zvarovom spoji pomocou chladených klzných plôch, ktoré sa postupne pohybujú smerom nahor.	
--	--	--	---

2.3.7 Spájkovanie (skupina 4.7)

Spájkovanie je tepelný proces spájania a povlakovania materiálov, pri ktorom sa kvapalná fáza vytvára tavením spájky alebo difúziou na rozhraniach (Uhlmann).

Pri spájkovaní je teplota spájania nižšia ako je teplota tavenia spájaného materiálu. Keďže táto technológia je dobre známa a podrobne opisovaná v celom rade publikácií, je nižšie uvedená iba základná schéma rozdelenia spájkovania podľa normy DIN 8593-7 (Obr. 8).



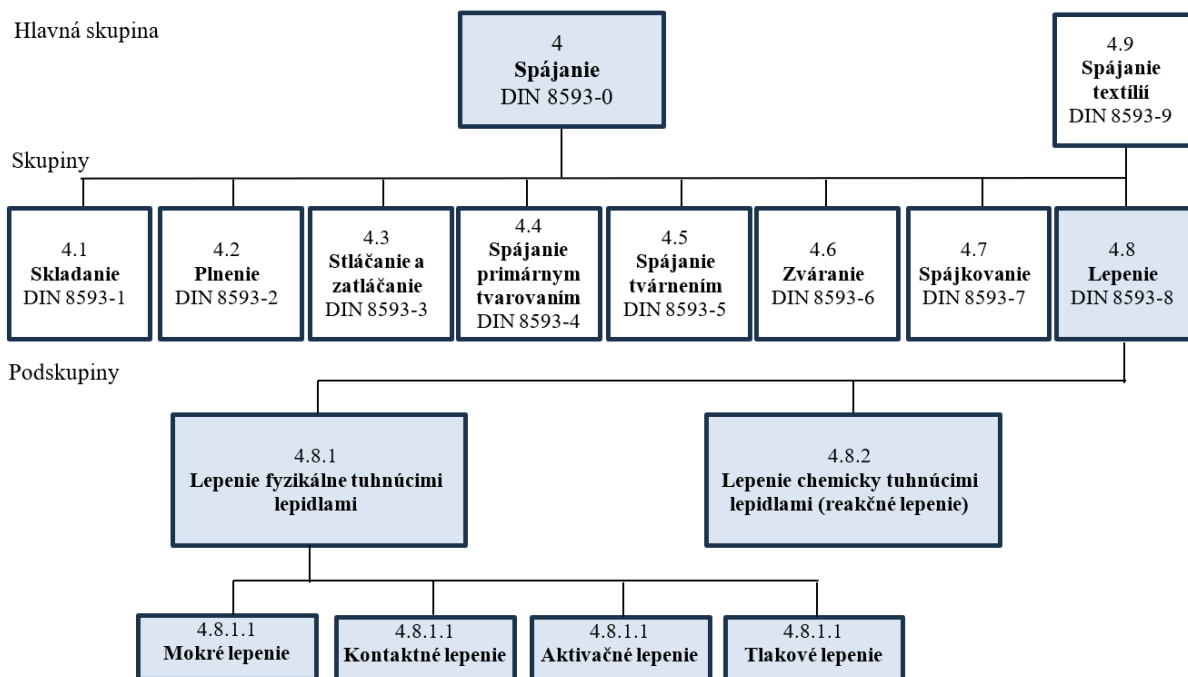
Obr. 8 Klasifikácia spôsobov spájania spájkovaním podľa normy DIN 8593-7

2.3.8 Lepenie (skupina 4.8)

Lepenie je spájanie pomocou lepidla, t. j. nekovového materiálu, ktorý dokáže spojiť časti pomocou povrchovej príľnavosti a vnútornej pevnosti, t. j. adhézie a kohézie (Uhlmann).

Aj keď v predchádzajúcom popise je uvedené, že lepidlo je nekovový materiál, vývoj neustále napreduje a v súčasnosti sú k dispozícii aj lepidlá na báze kovov.

Na obr. 9 je znázornené členenie lepenia podľa normy DIN 8593-8.



Obr. 9 Klasifikácia spôsobov spájania lepením podľa normy DIN 8593-8

2.3.9 Spájanie textílií (skupina 4.9)

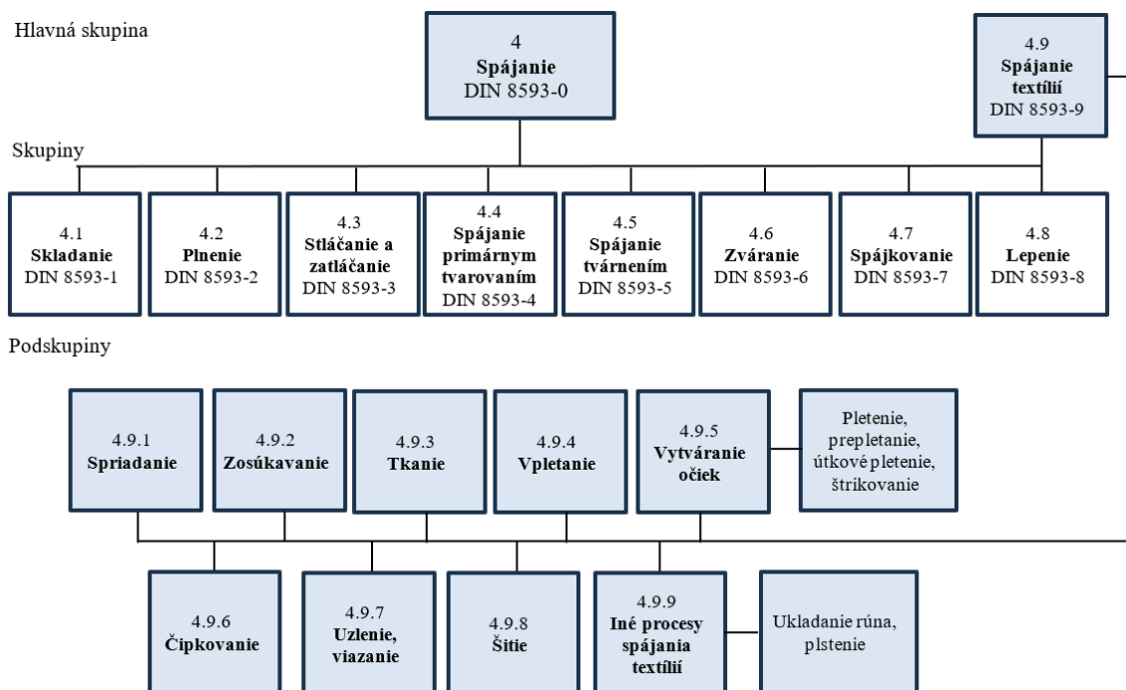
Podľa návrhu normy DIN 8593-9 z roku 1984 zahŕňa spájanie textílií všetky výrobné procesy, ktoré sa zaoberajú spájaním textilných materiálov (Textiles Fügen).

Súdržnosť medzi konštrukčnými prvkami (spojovacími dielmi) pri spájaní textílií sa dosahuje tvarovým prispôbením, silovým prispôbením, ako aj prispôbením tkaniny (Textiles Fügen).

Medzi tieto výrobné procesy patria okrem iného (Textiles Fügen):

- spriadanie a súkanie na výrobu nití (priadzí, krútených priadzí) z textilných vlákien (strižných vlákien, filamentov);
- ďalšie spracovanie priadzí a nití tkaním, procesmi vytvárania stehov, ako je pletenie, šitie, osnovné pletenie, útkové pletenie, čipkovanie, uzlovanie (súkanie) na textilné tkaniny, ktoré sa môžu použiť ako hotové výrobky alebo ako polotovary na výrobu odevov, posteľnej bielizne, technických textílií a mnoho ďalších;
- netkané textílie, ktoré sa používajú na výrobu textílií pozostávajúcich prevažne z vlákien, pričom súdržnosť je v podstate spôsobená len vlastným statickým trením vlákien a je veľmi slabá; rúna preto zvyčajne slúžia len ako predbežný výrobok na výrobu netkaných textílií (stužené rúna – viazané netkané textílie) alebo na plstenie;
- šitie s textilnými materiálmi (napr. šijacia niť ako spojenie medzi textilnými a netextilnými časťami – napr. koža, papier).

Na obr. 10 je rozdelenie spôsobov spájania textílií podľa normy DIN 8593-9.



Obr. 10 Klasifikácia spôsobov spájania textílií podľa normy DIN 8593-9

3 MONTÁŽNE TECHNOLOGIE

3.1 Klasifikácia montážnych technológií

Dobrá klasifikáciu ponúka norma DIN 8593. Namiesto neohraničeného pojmu "technológia" norma pojednáva o "spôsoboch (metódach) zhotovenia alebo výroby" (die Vertigungsverfahren), pričom rozlišuje len tieto spôsoby zhotovovania vecí:

1. Výroba látky,
2. Zmena tvaru,
3. Delenie,
4. Spojovanie,
5. Celoobjemové zmeny látky,
6. Povrchové zmeny.

Pre montáž je charakteristický spôsob SPOJOVANIE. Tento spôsob používa podľa normy tieto montážne operácie:

Vzájomné skladanie – Priloženie, Vloženie, Zasúvanie, Zavesenie, Zaskočenie, Pružné rozopnutie.

Plnenie – Naplňovanie, Napájanie (máčanie), Primiešavanie.

Pritláčanie a zatláčanie – Skrutkovanie, Zvieranie, Pružná spona, Lisovanie s presahom.

Spojenie zmenou skupenstva – Vyliatie, Vliatie, Odliatie, Zaliatie.

Spojenie zmenou tvaru – Pretvorením jednej časti. Pretvorenie oboch častí. Pretvorenie spojovacieho prvku.

Spojenie prelínaním látky – Zváranie, Spájkovanie, Lepenie, Tmelenie.

Dodajme, že spoj dvoch tuhých súčiastok možno vytvoriť principiálne len týmito spôsobmi:

- a) Vhodným tvarom súčiastok, alebo zmenou ich tvaru. **Tvarový spoj.**
- b) Vyvolaním trenia medzi súčiastkami nejakou silou (pružnosť súčiastok, vonkajšia sila). **Trecí spoj.**
- c) Materiálovým prienikom (zváranie, spájkovanie). **Materiálový spoj.**
- d) Adhéznymi silami (lepenie). **Adhézný spoj.**

U zaplňovania objemov tekutými a sypkými látkami hovoríme nie o spojovaní, ale plnení. Výsledkom striekania a máčania (laku) je adhézny spoj (Václav 2011).

3.2 Montážne spoje

Montáž je záverečnou etapou výrobného procesu, v ktorej dochádza k postupnému zostavovaniu súčiastok, podskupín a skupín do montážnych celkov alebo výrobkov. Montáž sa nedá chápať iba ako zostavovanie, ale treba ju chápať ako súhrn viacerých činností:

- prípravných činností,
- manipulačných činností,
- spojovacích činností,
- kontrolných činností (Václav 2011).

Spojovacie činnosti majú veľký podiel na práci montáže. V minulosti sa percentuálny podiel práce týchto činností v montáži pohyboval v intervale 37-45%. Situácia sa v priebehu času zlepšuje a to z dôvodu mechanizácie a automatizácie. Aj keď ich podiel klesá, majú stále významný vplyv na výslednú prácu. Práve kvôli tejto skutočnosti je potrebné si problematiku spojov dôkladne priblížiť (Václav 2011).

3.3 Klasifikácia spojov

Široká škála výrobkov donútila konštruktérov vyvinúť rozmanité druhy spojov. Tieto spoje sú založené na rôznych princípoch a taktiež spĺňajú rôzne funkcie. Vo vyrobených strojoch a zariadeniach je okolo **35 až 40% valcových spojov, 15 až 20% plošných spojov, 15 až 25% závitových spojov, 6 až 7% kužeľových spojov, 2 až 3% sférických spojov.**

Všetky druhy spojov sú charakterizované rôznymi technologickými, konštrukčnými a ekonomickými faktormi. Medzi typické faktory patrí stupeň vzájomného pohybu, možnosť rozoberania súčiastok, technologickosť montáže a demontáž, druh kontaktu plôch, pevnosť, chemická stálosť a podobne. Z toho vyplýva že klasifikácia môže byť realizovaná z celého radu hľadísk. Základné prístupy vychádzajú z konštrukčných, prevádzkových, principiálnych, technologických a iných hľadísk (Václav 2011).

Rozdelenie podľa konštrukcie a prevádzkových podmienok:

Zo všeobecnosti si ich môžeme rozdeliť do dvoch základných skupín.

- **Rozoberateľné spojenia** sú také, ktoré môžeme bez poškodenia alebo bez deformácie spojovaných súčiastok uvoľniť a znovu spojiť.

- ***Nerozoberateľné spojenia*** sú také, pri ktorom uvoľnenie spoja vyžaduje poškodenie, alebo deformáciu niektorej zo spojovaných (spojovacích) súčiastok. Opätovné spojenie nie je možné.

Toto všeobecné rozdelenie nie je však úplné, dá sa ďalej doplniť o skupiny spojení, ktorých rozoberateľnosť a nerozoberateľnosť je podmienená určitým okolnostiam (faktorom).

Podmienene rozoberateľné spojenia sú také spojenia, ktoré sú za určitých podmienok rozoberateľné. Dajú sa iba niekoľko krát rozobrať a opätovne zložiť.

Podmienene nerozoberateľné spojenia sú také spojenia, ktoré sú za určitých podmienok nerozoberateľné.

K podmienkam, ktoré ovplyvňujú rozoberateľnosť patrí hlavne teplota a typ prostredia. Ako príklad by sme mohli uviesť spojenia spájkovaním a lepením. Pri spájkovaní sa dá podmieniť rozoberateľnosť teplotou a to z dôvodu, že spájka má nižší bod tavenia ako spájané materiály, teda zohriatím na túto teplotu dôjde k roztečeniu spojovacieho materiálu a zároveň k demontáži jednotlivých častí. Pri lepení je táto situácia obdobná len demontáž nastane po reakcii lepidla s prostredím (rozpúšťadlo). Počet demontáží je limitovaný. Za podmienene rozoberateľné považujeme aj lisované spoje.

Ďalším dôležitým rozdelením spojov je rozdelenie podľa funkcie konštrukcie:

- ***Pohyblivé spoje*** sú spojenia, ktoré umožňujú meniť polohu v určitých smeroch (osiach), teda ponechávajú určitý stupeň voľnosti. K takýmto spojeniam patria: ložiska, rôzne drážkové spoje, pružné spoje, atď. Tieto spojenia sú väčšinou riešené ako rozoberateľné a to z dôvodu flexibilnej údržby a opravy.
- ***Nepohyblivé spoje*** sú spojenia, ktoré zabezpečujú nemennú polohu jednotlivých častí teda ich súdržnosť a celistvosť.

Ku hlavným rozdeleniam patrí aj rozdelenie podľa použitia spojovacieho elementu na:

- ***Priame spoje*** sú realizované bez použitia spojovacieho elementu, teda spoj je vytvorený iba vzájomnou interakciou spojovaných súčiastok.
- ***Nepriame spoje*** sú vytvorené pomocou spojovacieho elementu. K týmto spojom patria napríklad nitové spoje, skrutkové spoje, atď. Nesmieme zabudnúť do tejto kategórie zaradiť aj lepené, spájkované a zvárané spoje, kde spojovacím elementom je lepidlo, spájka a prídavný materiál.

Rozdelenie podľa princípu:

Spoje sú založené na rôznych princípoch. V podstate ich môžeme podľa princípu rozdeliť do 4 respektíve 5 skupín a to:

- **Tvarové spoje** sú realizované vhodným tvarom súčiastok alebo zmenou ich tvaru.
- **Trecie spoje** vznikajú dôsledkom vyvolania trenia medzi súčiastkami určitou vhodne orientovanou a dostatočne veľkou silou (pružnosť súčiastok, vonkajšia sila).
- **Materiálový spoj** vzniká pomocou takzvaného materiálového prieniku, to je prienik molekúl (krištáľov) jedného spájaného materiálu do druhého.
- **Adhézny spoj** je realizovaný adhéznymi silami.
- **Kombinované spoje.**

Rozdelenie z technologického hľadiska:

Princípy uvedené v predchádzajúcom bode je možné realizovať viacerými spôsobmi (technologiami). Pribehu rokov pribúdajú rôzne nové technologické riešenia spojov, my sme sa rozhodli v tom to bode uvidíme tieto základné riešenia.

- Skrutkové spoje,
- Nitové,
- Spoje kolíkom, klinom, perom,
- Lisované spoje,
- Zverné spoje,
- Zvárané spoje,
- Spájkové spoje,
- Lepené spoje,
- Tmelené spoje atď.

Vybrané technologické riešenia budú ďalej rozvedené v nasledujúcich kapitolách.

Rozdelenie z iných hľadísk:

Využíva sa aj klasifikácia spojov podľa tvaru a kontaktu spájaných povrchov súčiastok. Kvalita, životnosť a odolnosť v konečnom dôsledku závisí od správnosti kontaktovania súčiastok spájaných v montážnom procese. Tento kontakt môže byť:

- **Bezprostredný kontakt** môže byť realizovaný ako miestny, čiarový, bodový. Príkladom sú kontakty v ložiskových uzloch, ozubených prevodoch, závitových spojeniach a podobne.
- Pri spojoch **cez sprostredkujúci materiál** je medzi spojovanými súčiastkami spojovací materiál. Ide o spoje realizované zvaraním, spájkovaním, lepením a pod.

Vykonávanie mnohých horeuvedených operácií nevyžaduje zvláštne materiálovo - technologické znalosti. Z uvedeného dôvodu budú ďalej podrobnejšie pojednávané len tieto spoje náročné na materiálovo – technologické znalosti:

- skrutkové spoje,
- lisované spoje (pružné),
- nitové spoje,
- tvarované spoje (plastické),
- zvarané spoje,
- spájkované spoje,
- lepené spoje,
- tmelené spoje.

Z predchádzajúcej klasifikácie vieme, že spoje ako také môžu byť vyhotovené rozmanitými spôsobmi, ktoré sú založené na rôznych princípoch. Ako najdôležitejšie rozdelenie sme si zvolili rozdelenie na základe ich rozoberateľnosti. A preto sa budeme držať tohto rozdelenia. Ako prvé si priblížime rozoberateľné spoje (Václav 2011).

3.3.1 Rozoberateľné spoje

K rozoberateľným spojom patria: skrutkové spoje, spoje kolíkom, spoje klinom, spoje perom, lisované spoje, zverné spoje.

3.3.1.1 Skrutkové spoje

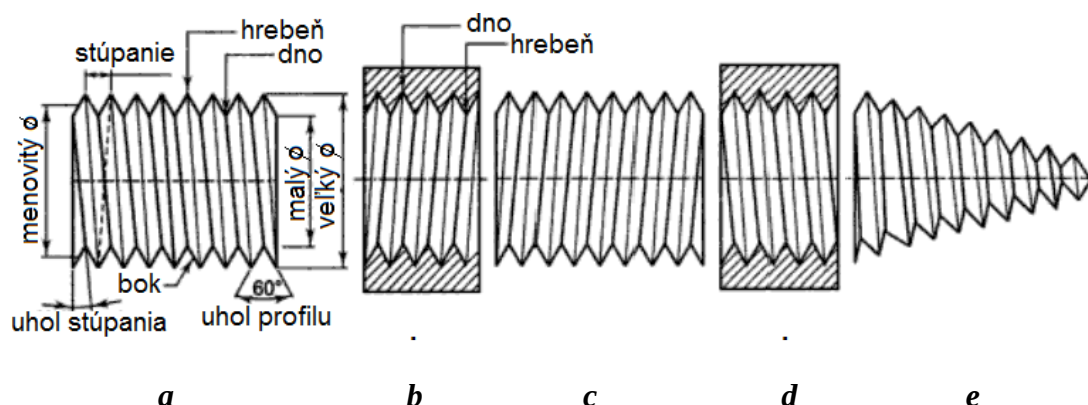
Hlavnými prvkami SS je skrutka a matica, ktorých súčasťou sú závit, bez ktorých by nebolo možné vzájomné spojenie. Plnia ich primárnu funkciu.

Závit je „povrch plochy vytvorenej rovinnou lomenou čiarou tvoriacou profil, navinutou v skrutkovi na povrch valca (kužeľa). Každý bod závitu tvorí skrutkovicu, kde pomer medzi

osovým posunutím bodu a príslušným uhlovým natočením je konštantný. Všetky skrutkovice majú spoločnú os a rovnaké stúpanie" (Danišová a kol. 2012, s. 151).

Skrutkovica je „dráha na rotačnej ploche vytvorená bodom pohybujúcim sa tak, že pomer medzi jeho osovým posunutím a príslušným uhlovým natočením je konštantný" (Lacko a kol., s. 117).

Profil závitu je „lomená či súvislá čiara v rovine prechádzajúcej osou závitu" (Medvecký a kol. 2007, s. 353). Závity (obr. 1) sa delia podľa typu povrchu na valcové a kužeľové, umiestnenia na vonkajšie a vnútorné, počtu plôch závitov na jednoduchové a viacchodové, zmyslu vinutia na pravé a ľavé, profilu závitu na metrické (60°), Whitworthove (55°), rúrkové, lichobežníkové (rovnoramenné, nerovnoramenné), oblé a štvorcové (Singh 2008), významu a použitia na závity spojovacích skrutiek, pohybových skrutiek, spájanie rúrok, špeciálne ciele (Danišová a kol. 2012).



Obr. 1 Závity: a – valcový, vonkajší, pravý, b – valcový, vnútorný, pravý, c – valcový, vonkajší, ľavý, d – valcový, vnútorný, ľavý, e – kužeľový, vonkajší, pravý (Singh 2008).

Skrutkové spoje patria medzi najčastejšie používané rozoberateľné spoje a to kvôli tomu, že vytvárajú ľahko rozoberateľný a spoľahlivý spoj. Skrutkový spoj sa dá definovať ako:

- Rozoberateľný spoj
- Je to spojenie súčiastok, ktoré je realizované pritlačením samosvorným závitom, ktorý je umiestnený na súčiastkach, resp. skrutkách alebo maticiach.
- Skrutkový spoj založený na kombinovanom princípe. Tvorí ho kombinácia tvarového a silového (trecieho) spoja.

Skrutkové spojenia sú charakteristické týmito vlastnosťami:

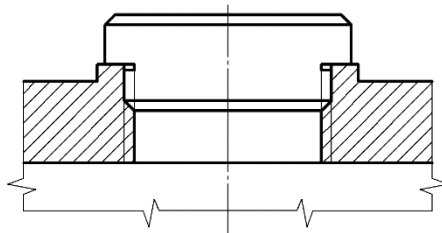
- jednoduchosť a spoľahlivosť spoja,

- možnosť opakovanej montáže a demontáže bez porušenia spájaných častí a prvkov, ktoré tvoria spoj,
- Pevnosť spoja, zabezpečenie tesnosti, prípadne možnosť zabezpečenia nastavenia a vzájomnej polohy spájaných častí (Velíšek 2003).

Poznáme rôzne druhy skrutkových spojov, ktoré vychádzajú z dvoch základných princípov:

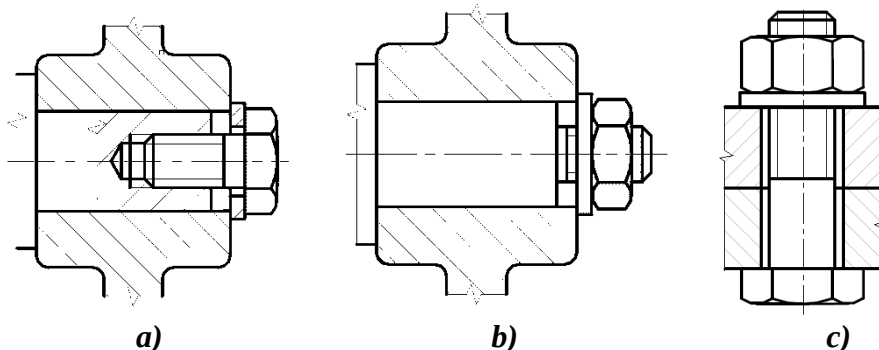
- Priame skrutkové spoje,
- Nepriame skrutkové spoje.

Pri **priamych skrutkových spojo**ch je umiestnení nosný závit priamo na spojovaných súčiastkach. Pre príklad si môžeme uviesť veko na obr. 2.



Obr. 2 Príklad priameho skrutkového spoja (veko) (Václav 2011).

Nepriame skrutkové spoje sa vyznačujú použitím spojovacích elementov skrutiek a matic. To znamená, že spojovaciu silu vyvodzuje závit umiestnený na spojovacích elementoch. Spoj môže byť realizovaný pomocou súčiastky na ktorej závit a skrutky alebo matice, ale často krát spoj pozostáva z oboch elementov (obr. 3).



Obr. 3 Príklady nepriameho skrutkového spoja.

- a) Vnútorný závit na hriadeli plus skrutka, b) Vonkajší závit na hriadeli plus matica, c) spoj pozostávajúci zo skrutky aj matice (Václav 2011).

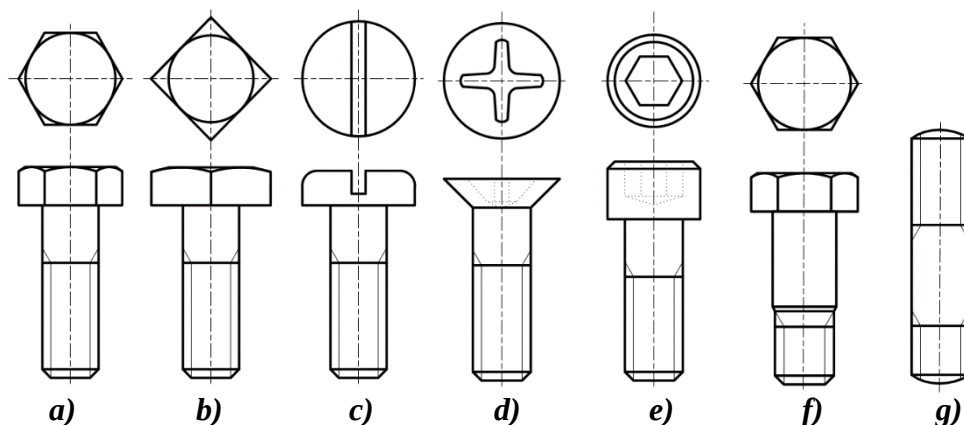
Ako ste mohli postrehnúť na predchádzajúcich obrázkoch, skrutkový spoj sa môže skladať z troch základných členov: skrutka, matica, podložka. Existuje široká škála konštrukčných prevedení, všetkých troch členov.

Skrutky sa používajú na spojenie jednej alebo viacerých častí, na nastavenie vzájomnej polohy súčiastok, prípadne na zmenu krútiaceho momentu v osovú silu (Pohyblivé skrutky).

Skrutky sú normalizované strojové súčiastky s hlavou a vonkajším závitom po celej dĺžke/časti na druhej strane pre rozoberateľné spoje (Singh 2008). Prenášajú a menia pohyb (Danišová a kol. 2012), ušľachťujú vzájomnú polohu alebo spájajú dielce. Ich konštrukcia závisí od účelu použitia, tvaru a materiálu spojovaných komponentov.

Dôležitým faktom je, že skrutky a matice sú **normalizované**. Ich konštrukčné vyhotovenie je závislé od účelu použitia, tvaru a materiálu spojovaných častí. Skrutky (obr. 4, 5) a matice (obr. 6, 7), sú najčastejšie vyrábané z ocelí, ktoré sú dané normou STN 02 1010 (presné skrutky a matice) alebo STN 021006 (hrubé skrutky a matice). Ďalej sa vyrábajú zo zliatin farebných kovov ako napríklad mosadz, zliatiny hliníka a aj z plastických materiálov (Peterka 2009).

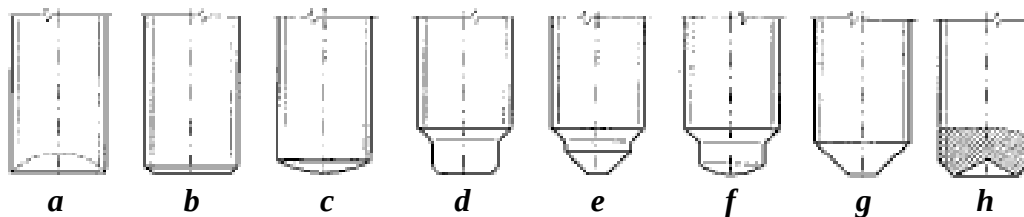
V dnešnej dobe sú badateľné tendencie používať materiál stále vyššej pevnosti. To vedie k miniaturizácii nielen skrutkového spoja, ale aj celej konštrukcie výrobku.



Obr. 4 Rôzne typy skrutiek.

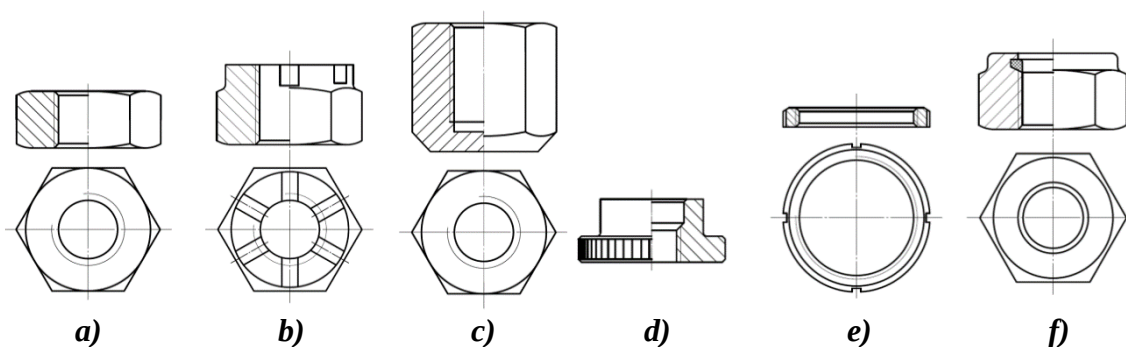
- a) Skrutka so šesťhrannou hlavou, b) Skrutka so štvorhrannou hlavou, c) Skrutka s valcovou hlavou, d) Zápustná skrutka, e) Skrutka s valcovou hlavou a vnútorným šesťhranom, f) Lícovaná skrutka, g) Závrtná skrutka (Václav 2011).

Z hľadiska použitia sa volí úprava konca skrutky podľa normy – normálne ukončenie, s čapíkom, so zrezaným kužeľom, s kužeľovým vybraním (obr. 5).



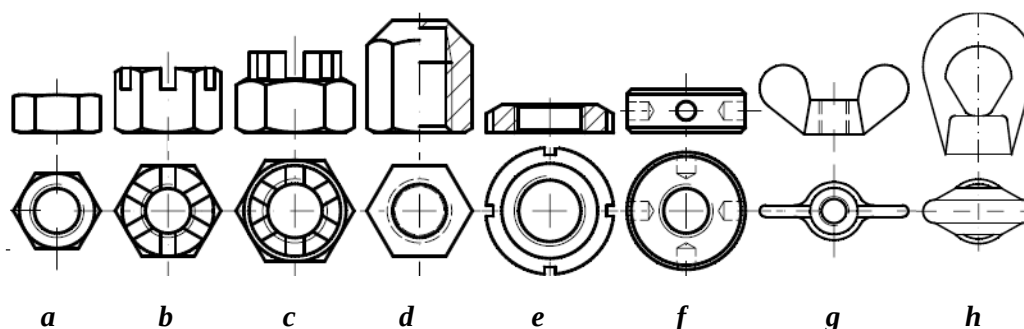
Obr. 5 Konce skrutiek: a až c – normálne ukončenie, d až f – s čapíkom, g – so zrezaným kužeľom, h – s kužeľovým vybratím (Medvecký a kol. 2007)

Maticami sú normalizované súčiastky s vnútorným metrickým závitom rovnakého stúpania ako u skrutiek (Singh 2008), sú súčasťou SS. Matice (obr. 6 a 7) sa delia podľa presnosti vyhotovenia na presné a hrubé, ťahované rukou na krídlové a závesné, ťahované kľúčom alebo špeciálnym nástrojom na šesťhranné, korunové, uzavreté, kruhové so zárezmi pre upínacie a sťahovacie puzdrá typu KM, kruhové s otvormi po obvode, štvorhranné, valcové s drážkou a i. (Danišová a kol. 2012; Medvecký a kol. 2007).



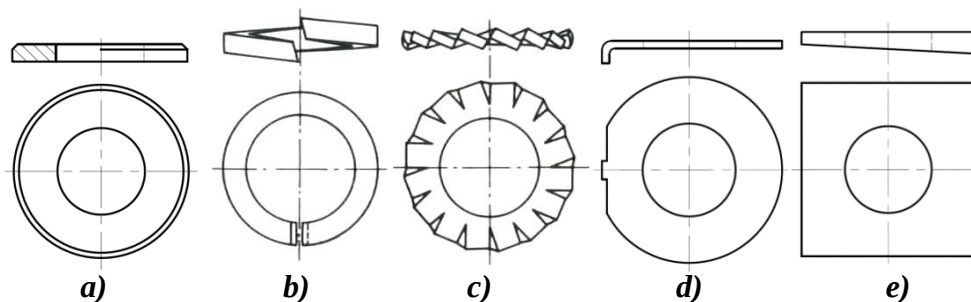
Obr. 6 Základné typy matic.

a) Presná šesťhranná matica, b) Korunová matica, c) Uzavretá matica, d) ryhovaná matica, e) Upínacia a sťahovacia matica KM, f) Samopoistná šesťhranná matica (Václav 2011).



Obr. 7 Matice: a – šesťhranná, b, c – korunová, d – uzavretá, e – kruhová so zárezmi pre upínacie a sťahovacie puzdrá typu KM, f – kruhová s otvormi po obvode, g – krídlová, h – závesná (Lacko a kol. 2010)

Ďalšou dôležitou súčasťou skrutkového spoja je podložka (obr. 8), ktorá spĺňa viaceré funkcie. Prvou a najdôležitejšou funkciou je zväčšenie stykovej plochy skrutky so spojovaným materiálom, ďalej to je prekrytie diery, zamedzenie poškodeniu spojovaného pri prevádzke ale hlavne pri ťahovaní, vyrovnanie nerovného povrchu. Špeciálne funkcie podložiek sú poistenie proti uvoľneniu skrutkového spoja, podložky tesniace (napr. fibrové), podložky elektro a tepelno-izolačné, podložky pre uchytenie elektrických vodičov (Václav 2011).



Obr. 8 Základné typy podložiek.

a) Podložka pre skrutky so šesťhrannou hlavou, b) Pružná podložka, c) Vejárová podložka, d) Poistná podložka s nosom, e) Šikmá podložka (Václav 2011).

3.3.1.2 Zaťaženie skrutkového spoja

Skrutkový spoj zachycuje zaťažujúce sily iba vtedy ak v ňom vznikne dostatočná zverná sila F_{zv} . Pritom platí zásada, že ťahovaním sa nesmie prekročiť medza pružnosti všetkých prvkov skrutkového spoja. Z toho dôvodu je nutné pracovať v pružnej oblasti, kde ťahovaním odpor stále rastie.

Utiahnutím skrutky vznikne predpätie, ktoré vo všetkých častiach spoja vyvoláva konštantnú zložku zaťaženia F_0 . V prevádzke na spoj pôsobí dodatočné zaťaženie, vo veľkých prípadoch ide o premenlivé nestacionárne zaťaženie vyvolané vonkajšou silou F . Podiel vonkajšej sily na zaťažení skrutky F_v určuje súčiniteľ η , ktorého veľkosť pre spoje bežnej konštrukcie sa pohybuje v intervale 0,2 až 0,3.

$$F_{zv} = F_0 + F_v = F_0 + \eta \cdot F \quad (1)$$

Spoj môže vytvárať jedna skrutky alebo skupina skrutiek. V niektorých špeciálnych prípadoch sa skrutky kombinujú s inými spojovacími elementmi ako sú napr. kolíky.

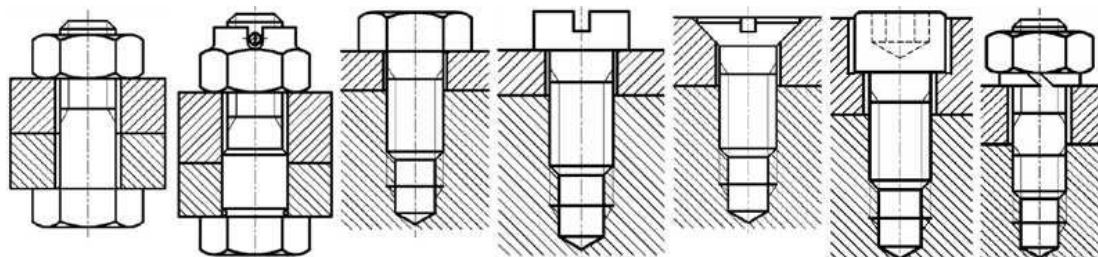
Osová sila spôsobuje v drieku skrutky osovú napätie σ_o a krútiaci moment τ . Potom celkové napätie je.

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_o + 3 \cdot \tau^2} \quad (2)$$

Skrutkový spoj musí spĺňať zásady bezpečnosti, ktoré sú vyjadrené súčiniteľom bezpečnosti k_b . Tento súčiniteľ by sa mal nachádzať v intervale 1,5 až 3,0 (134).

$$k_b = \frac{R_e}{\sigma_c} \quad (3)$$

SS sú rozoberateľné, a vznikajú vhodnou kombináciou už spomínaných strojových súčiastok ako vidno na obr. 9 (Danišová a kol. 2012).



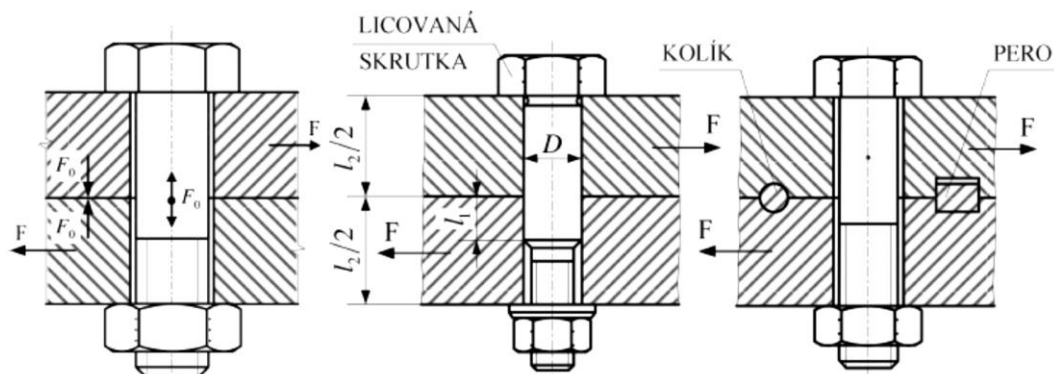
Obr. 9 Skrutkové spoje (Danišová a kol. 2012)

SS sú jednoduché a spoľahlivé, vhodné na spojenie jednej či viac častí, nastavenie ich vzájomnej polohy, príp. zmenu rotačného pohybu na posuvný. Spojovacie súčiastky sú normalizované, najpoužívanejšie sú s metrickým závitom (Bošanský 2009). Presné a hrubé spojovacie skrutky prechádzajú otvormi s vôľou v dielcoch. Ak má SS prenášať silu kolmú na os skrutky či zaistiť polohu častí, použijú sa lícované skrutky so zosilneným driekom uložené v otvore H7/n6 (Medvecký a kol. 2007).

Podľa namáhania a dimenzovania môžu byť SS bez predpätia alebo s predpätím. Premennivé namáhanie je miznúce, pulzujúce, striedavé súmerné či nesúmerné. K poruchám dochádza kvôli napätiu v kritických prierezoch a únavovému lomu. Najväčší účinok vrubu je na 1. závite kvôli nerovnomernému zaťaženiu závitov. Eliminuje to úprava matice, zmena namáhania na ťahové. Na zlepšenie únavového poškodenia sa používa mechanické spevnenie, chemicko-tepelne úpravy (Žiačík a kol. 2008).

Pri spojoch zaťažených silou kolmou na os skrutky sa sila prenáša (obr. 10):

1. trením – pri statickom namáhaní. Trecí odpor je vyvolaný utiahnutím skrutky na dané predpätie. Zväčšuje sa povrchovou úpravou dielcov,
2. tvarovým stykom – pri premenlivom dynamickom zaťažení. Tvarový styk je robí lícovanou skrutkou, kolíkom a perom (Žiačík a kol. 2008).



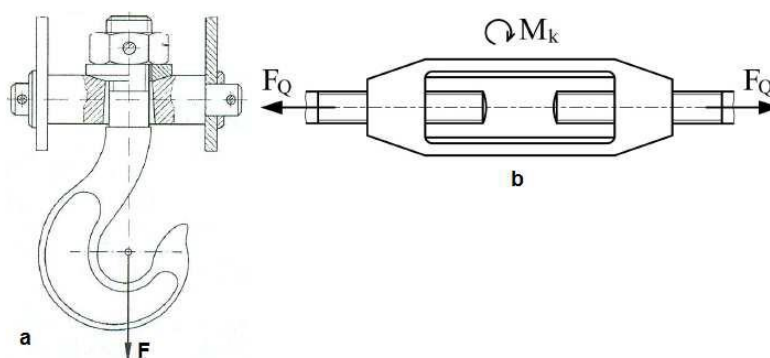
Obr. 10 Skrutky namáhané silou kolmou na os (Žiačik a kol. 2008)

Skrutkové spoje bez predpätia

U skrutiek bez predpätia zohráva významnú úlohu spôsob namáhania skrutky.

Môžu nastať tieto prípady (obr. 11) – skrutka je pri ťahovaní:

1. **nezaťažená** – ak pôsobí v osi skrutky sila po utiahnutí, v skrutke sa kontroluje napätie v priereze jadra za predpokladu rovnomerného rozloženia. Vyrába sa priemer, volí sa normalizovaná skrutka väčšieho priemeru,
2. **zaťažená** – skrutka zaťažená osovou silou je pri otáčaní namáhaná ťahom a krutom. V priereze skrutky dochádza tiež k normálovému a tangenciálnemu napätiu. Na základe toho sa určí normalizovaný priemer skrutky, ktorý podlieha kontrole bezpečnosti na trvalé deformácie (Bošanský 2009).



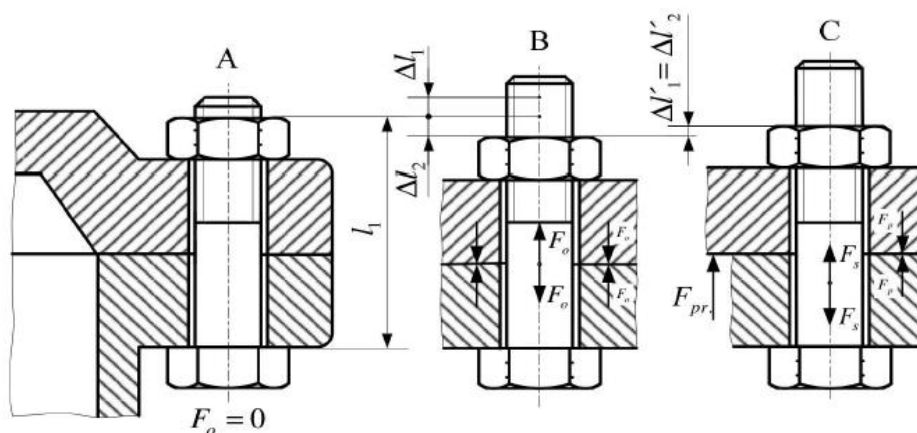
Obr. 11 Skrutkové spoje bez predpätia: a – nezaťažný, b – zaťažný (Bošanský 2009)

Skrutkové spoje s predpätím

U skrutiek bez predpätia zohráva významnú úlohu spôsob namáhania skrutky.

Používajú sa, ak treba zvýšiť únavovú pevnosť súčiastok, zabezpečiť tesnosť či tuhosť spoja, zabrániť tvorbe rázov pri premenlivom namáhaní, príp. oslabiť ich účinky (Žiačik a kol. 2008).

Sú pri montáži dotiahnuté na pomerne veľkú vnútornú silu. Tým sa zaistí žiaduca silová väzba dotykových plôch (Obr. 12) (Bošanský 2009).



Obr. 12 Silové a deformačné pomery v predpätom SS (Žiačik a kol. 2008)

Skrutkový spoj má zaručený silový styk v dosadacích plochách a stálu vzájomnú polohu častí. Táto tesnosť je významná, ak je spoj namáhaný premenlivým zaťažením. Ak je východiskom matica dosadajúca na hornú spájanú časť, žiadna vôľa ani silové pôsobenie v spoji, potom doťahovaním matica smeruje k hlave skrutky na hodnotu Δl .

V prípade, že je príruha dokonale tuhá, predĺžila by sa o túto hodnotu poddajná skrutka. V opačnom prípade by sa v okolí diery stlačili o túto hodnotu poddajné spájané časti. Reálne sa však deformácia rozčlení na predĺženie skrutky Δl_1 a stlačenie spájaných častí v okolí diery Δl_{p2} (v opačnom pomere ich tuhosti). Keď v spoji vznikne elastická deformácia, predĺženie skrutky i stlačenie dielcov je úmerné predpätiu. Pri navrhovaní spoja sa vyžaduje okrem statickej pevnosti skrutky riešiť aj tesnosť spoja, ktorú možno sledovať súčiniteľom prevádzkového predpätia (Bošanský 2009).

Predpätie sa v spoji počas prevádzky stráca otláčením dosadacích plôch spojovaných častí a závitú skrutky a matice ako aj pomalým tečením materiálu pri vyšších teplotách. Preto treba spoj niekedy dotiahnuť. „Pokles predpätia trvalou deformáciou je tým menší, čím bude celková pružnosť spoja väčšia“ (Žiačik a kol. 2008, s. 58). Ak má byť spoj tesný, pokles predpätia musí byť menší ako sila v tesniacich plochách. Zmenšenie trvalej deformácie sa docieli vhodným materiálom, konštrukciou skrutky (zväčšiť pružnosť), hladkým opracovaním stykových a dosadacích plôch.

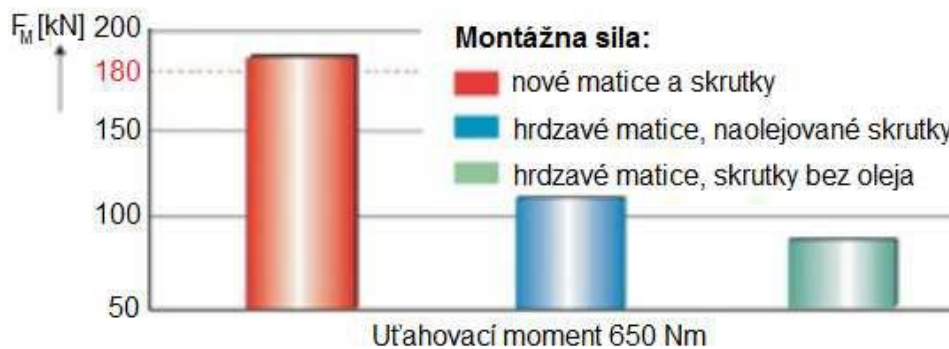
Predpätie sa mení vplyvom vyšších prevádzkových teplôt, prvky inak ohrievajú. Pri rovnomernom ohriatí závisí zmena od tepelnej rozťažnosti (ak je súčiniteľ pri skrutke menší ako u dielcov, predpätie sa zväčší). Pri nerovnomernom ohriatí predpätie porastie tým viac, čím

bude väčší rozdiel teplôt dielcov a skrutky, čím väčšia tepelná rozťažnosť dielcov oproti skrutke a čím menšia pružná poddajnosť spojenia (Žiačik a kol. 2008).

Ak nie sú SS staticky zaťažené, musia sa poistiť, lebo závity sú samovzperné. K uvoľneniu dochádza pri dynamickom zaťažení (Medvecký a kol. 2007).

3.3.1.3 Metódy utáhovania

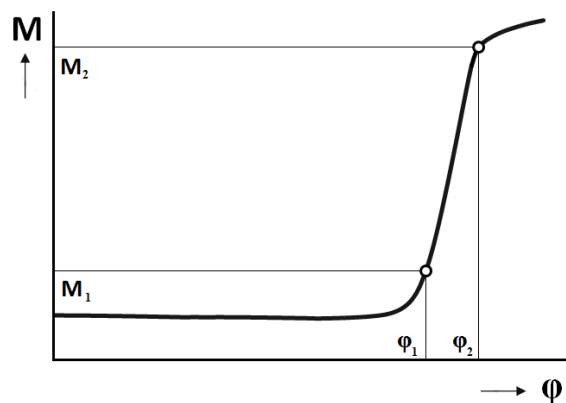
Skrutkovanie patrí medzi najčastejšie sa vyskytujúce operácie v montáži. Snahou je zaistiť SS proti uvoľneniu spojovacími či poistnými prvkami na skrutkách/maticiach. SS sa realizuje otáčaním spojovacích súčiastok. Správna funkcia závisí od rozptylu zvernej sily, koeficientu trenia, tvaru a rozmerov spoja, pevnosti a tvrdosti materiálu, rozptylu krútiacich momentov, metódy skrutkovania (Kuric 1995) a vplyvu korózie. Špecifikum SS spočíva v zmene montážnych podmienok u skorodovaných skrutiek. Ako vyplýva z obr. 13, pri utáhovaní nových skrutiek montážnym momentom 650 Nm sa vyvolá predpät'ová sila cca 190 kN, zatiaľ čo u hrdzavých skrutiek môže poklesnúť až pod 100 kN. Je to dôsledok veľkého trenia, ktoré sa musí prekonať pri utáhovaní. V takom prípade hrozí nedotiahnutie a rozpad spoja (Dominik 2013).



Obr. 13 Závislosť utáhovania od stavu povrchu (Dominik 2013)

Skrutkové spojenie je silové spojenie, veľkosť spojovacej sily je zároveň veľkosťou osovej sily v skrutke. Všeobecne máme záujem, aby pri daných rozmeroch skrutky bola táto sila maximálna, preto obecné bude výhodné utáhať skrutky až pod medzu tečenia materiálu.

Mierou kvality utiahnutia skrutky nie je teda utáhovací moment, ale osová sila, resp. osová napätie. Na obr. 14 je typická závislosť utáhovacieho momentu M na uhle otočenia kľúča φ pre tzv. tvrdé spoje.



Obr. 14 Závislosť momentu M a uhla uťahovania pre tvrdý spoj (Valentovič 1999).

Proces vlastného uťahovania začína pri prahovom uhle φ a jemu zodpovedajúcim prahovom momente M_1 . Najprv je uvedená závislosť lineárna, lebo osovú napätie je v oblasti pružnej deformácie. Pri uhle φ_2 a momente M_2 začne materiál tiecť, začína plastická deformácia. Tu treba proces uťahovania prerušiť, inak hrozí trvalá deformácia a pretrhnutie skrutky (Valentovič 1999).

Dnes existujú tri základné metódy uťahovania:

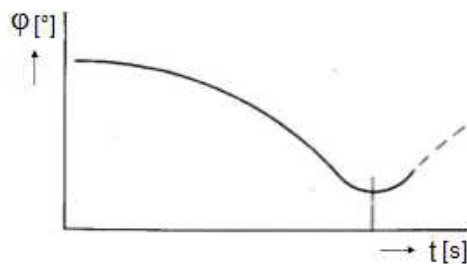
Momentová metóda uťahovania

Po dosiahnutí predpísaného momentu uťahovania sa proces uťahovania preruší. Moment uťahovania je menší ako hraničný dovolený moment M_2 , teda skrutka nie je pevnostne využitá (obr. 14). Prvá časť privádzaného momentu sa spotrebuje na prekonanie trenia a radiálnu deformáciu závitú (hlavne ak závitové uloženie je s presahom).

Druhá časť sa využije na vytvorenie osovej sily. Pomerom týchto dvoch častí sa spoj od spoja mení. Preto uťahovací moment je len približným a neistým obrazom zvernej sily. Skrutky musia byť predimenzované, lebo nie sú napínané na maximálne možnú hraničnú hodnotu osového napätia. Najlepšie je voľbu motorického náradia pre daný spoj konzultovať priamo s výrobcom náradia (Valentovič 1999).

Uhlová (Impulzná) metóda uťahovania

Podstata metódy je nasledovná. Po dosiahnutí prahového momentu M_1 sa začne merať uhol otočenia kľúča. Proces sa preruší pri otočení kľúča o predpísaný uhol, ktorý je úmerný natiahnutiu skrutky a tým i zvernej sile skrutky (obr. 15).

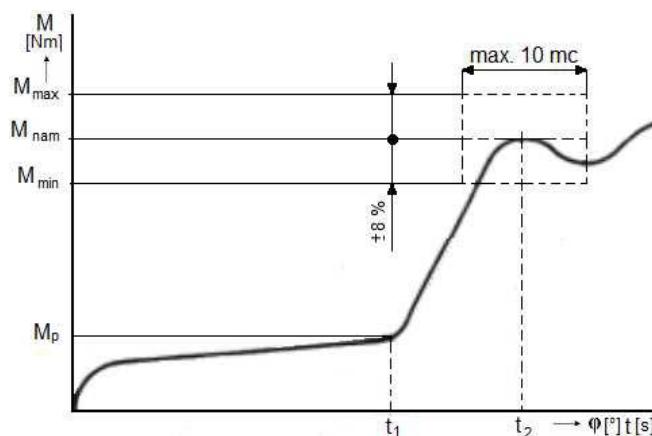


Obr. 15 Závislosť otáčania za jednotku času pri impulznom skrútkovaní (Valentovič 1999).

Z princípu metódy vyplýva, že veľkosť zvernej sily je kontrolovaná cez natiahnutie skrutky, čo je virohodnejšia metóda ako kontrola tejto sily cez privádzaný moment, kde nekontrolovateľná časť momentu sa spotrebuje na trenie a deformácie a len zbytok sa "premení" na zvernú silu.

Metóda je využiteľná na tie významné spoje, u ktorých je potrebné, aby napätie v skrutke nebolo až na hornej možnej hranici (medza tečenia), lebo pri prípadných dynamických preťaženiach by došlo k poruche. Sú to napr. skrutky spájajúce dve časti ojnice motoru (Valentovič 1999).

Vychádza z myšlienky kontrolovať hodnoty krútiaceho momentu v závislosti od času alebo uhla pootočenia, pričom materiál spojovacích súčiastok sa riadi podľa Hookovho zákona (obr. 16). Ak hodnota nameraného krútiaceho momentu po uplynutí času je v určitom rozpätí, SS je správny, ak je mimo rozpätia, je chybný (Kuric 1995).



Obr. 16 Závislosť krútiaceho momentu od času alebo uhla pootočenia (Kuric, 1995).

Kvalitne utiahnutý SS dosahuje osovú napätie v skrutke hodnotu dovoleného napätia na materiál. Po skončení skrútkovania nesmie prebehnúť úbytok zvernej sily vplyvom relaxácie (Kuric 1995).

Gradientová metóda

Dá sa realizovať len na univerzálnom ťahovacom systéme vybavenom snímačom momentu, snímačom uhlu a rýchlym odpínačom prívodu energie do motoru. Po dosiahnutí prahového momentu sa sníma závislosť momentu a uhlu (obr. 14). Proces ťahovania sa preruší, keď sa derivácia (gradient) tejto závislosti náhle poklesne, čo znamená že napätie v skrutke dosiahlo medzu tečenia. Tým sa v spoji dosiahla maximálne možná zverná sila.

Ak tento bod "odopnutia" je mimo "okna" v ktorom sa očakáva znamená to nejakú chybu v spoji. (Např. zakúsnutie matky do skrutky pred jej utiahnutím, menšia než dovolená pevnosť materiálu a pod). Druh tejto chyby môže byť priamo vypísaný na monitore. U uhlovej i momentovej metóde môže byť generovaný výpis o nameraných hodnotách momentov a uhlov a iných výsledkov súvisiacich s kvalitou ťahovania. Počítač môže generovať i štatistické údaje dosiahnuté za hodinu, smenu a pod.

Bolo zistené, že gradientová metóda oproti súčasným klasickým metódam umožňuje pri rovnakých zverných silách používať miesto skrutiek M16 skrutky M10. Požadovaný moment ťahovania je vyjadrený např. údajom $5 \text{ Nm} \pm 10\%$. Keď je už skrutka utiahnutá, je ťažko zistiť veľkosť ťahovaného momentu. Ak momentomerným kľúčom skúšame takúto skrutku ďalej ťahovať, nameraný moment, pri ktorom nastane rotačný pohyb skrutky je väčší ako moment do skrutky privedený pri ťahovaní, lebo tento moment bol privádzaný "za pohybu", kedy koeficienty trenia sú menšie ako pri meraní "za pokoja".

Jediná možnosť kontroly kvality ťahovania je merať moment počas ťahovania priamo "na kľúči" např. tenzometrickým snímačom. Proces ťahovania treba automaticky prerušiť po dosiahnutí želaného momentu. Po prerušení prívodu energie do motora sa ešte vybijie kinetická energia motora a prevodovky do kľúča. Tento "dynamický prírastok" momentu je neželateľný, lebo má veľký rozptyl závislý např. na tom či skrutkovač drží človek slabý, alebo silný, teda na tuhosti rámu v ktorej je mechanizmus uložený. Preto ideálnym riešením je nielen zastaviť prívod energie do motora, ale i okamžite odpojiť rozbehnuté hmoty motora a prevodovky od kľúča.

Týmto požiadavkám nevyhovujú "klasické" preskakovacie momentové spojky. Takáto spojka je vlastne impulzný mechanizmus. Na nástroj pri jej preskakaní pôsobia impulzné rotačné rázy. Veľkosť ťahovacieho momentu nie je tu závislá len na predpätí spojky, ale i na čase preskakovania, ktorý sa však riadi len "podľa citu" robotníka. Uvedené nevýhody veľkého rozptylu majú hlavne tzv. impulzné ťahovače, u ktorých je veľkosť momentu daná počtom a

intenzitou rotačných rázov rotačných kladiviek na rotujúci rotor. Túto nevýhodu klasických impulzných ťahovačov eliminujú vstavané počítačové impulzné rázy, alebo torzné vložky medzi motor a kľúč, ktorými sa bráni aby ťahovací moment prekročil hodnotu, ktorú limituje tuhosť použitej vložky (ťahovače fir. BOSCH, ATLAS, COPCO a i.) (Valentovič 1999).

Z uvedeného je zrejmé, že ideálny a univerzálny ťahovací systém na ktorom možno aplikovať alternatívne všetky metódy by mal mať tieto znaky:

- presný snímač ťahovacieho momentu (napr. tenzometrický),
- snímač uhlu otočenia,
- rýchly odpínač privodu energie do motora,
- okamihový odpínač motora a prevodovky od kľúča, alebo rýchle brzdenie rozbehnutých hmôt motora a prevodovky,
- malý redukovaný moment zotrvačnosti do osí kľúča.

Takýto systém môže ťahovať nielen presnou momentovou metódou, ale i ďalej opísanými metódami: uhlovou a gradientovou. Takýto systém je však nákladný a preto sa využíva zatiaľ hlavne na ťahovanie silových spojov na ktoré sa kladú mimoriadne nároky. Sú to napr. skrutkové spoje pre uchytienie hlavy valcov spaľovacieho motora, spojenie dvoch častí ojníc a iné. Pre ťahovanie "nesilových" skrutiek (cca do M6) sa hľadajú menej zložité ťahovacie systémy. Ostáva sa tu ešte na momentovej metóde ťahovania, avšak miesto nepresných rapkáčových spojok sa stále viac začínajú presadzovať spojky, ktoré pri dosiahnutí želaného momentu odpoja privod energie do motora, prípadne i mechanicky odpoja kľúč od motora a prevodovky. Nazvime tieto spojky odpínacie spojky.

Pre niektoré druhy spojov sa osvedčil najjednoduchší priamy náhon kľúča motorom pričom ťahovací moment je limitovaný maximálnym momentom motora daný alebo tlakom vzduchu pneumatického motora, alebo hraničným prúdom v kotve či statore jednosmerného motora. Voľba spojky závisí na tvare ťahovacej krivky (obr. 14) danej tvrdosťou spoja.

Výrobcovia náradia uvádzajú v prospektoch charakteristické spoje, ich ťahovacie krivky a doporučené druhy spojok. Z tabuliek je zrejmé, že najuniverzálnejšie vlastnosti má odopínacia spojka. Staré príručky uvádzali smerné hodnoty ťahovacích momentov pre rôzne priemery a materiály metrických skrutiek Uvedieme výťah z takejto tabuľky.

Tab.1 Smerné hodnoty ťahovacích momentov pre bežné metrické skrutky v Nm
(Valentovič 1999).

materiál	8G	10K	12K
	8.8	10.9	12.9
M6	10	14	17
M8	23	33	39
M10	45	63	75
M12	76	107	128
M16	168	230	280
M20	320	450	550

Poprední výrobcovia skrutiek dnes venujú veľkú pozornosť výskumu ťahovania skrutiek a na jeho základe vydávajú obsiahle tabuľky doporučených hodnôt nielen momentov ale i zverných síl nielen vo vzťahu k priemeru závitu a materiálu skrutky ale i vo vzťahu na použité mazivo (ak je použité) a na druh povrchovej úpravy závitu, ktoré ovplyvňujú koeficient trenia (Valentovič 1999).

3.3.1.4 Sadanie skrutkového spoja

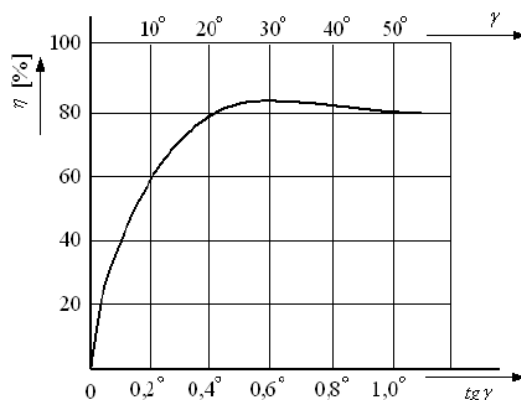
Bolo zistené, osová zverná sila v skrutke po krátkej prevádzke nekontrolovateľne poklesne. Tomuto javu hovoríme "sadanie" spoja. Vysvetľuje sa tak, že „hrbolky“ na povrchu spojovaných častí prejdú vplyvom otrasov a kmitania do plastického stavu a vyrovnajú sa.

Sadanie sa môže zmenšiť tzv. pulzačným ťahovaním, napr. tak že skrutka sa viackrát utiahne a povolí, alebo moment je do skrutky privádzaný "po skokoch" (Valentovič 1999).

3.3.1.5 Uvoľňovanie skrutkového spoja

Uvoľnenie skrutkového spoja je najčastejšou príčinou porúch a havárií strojnícových výrobkov. Každá spojovacia skrutka s metrickým závitom je samosvorná, a preto sa skrutkové spoje pri statickom zaťažení nemôžu samovoľne uvoľniť v dôsledku trenia v závitoch a na stykovej ploche medzi maticou a spojovanou súčiastkou. Príčiny uvoľňovania boli osvetlené až v 70-tich rokoch. Bolo zistené, že príčinou uvoľnenia sú hlavne kmity spojovaných častí.

Pri uvoľňovaní je dôležitá závislosť uhla stúpania s trecím uhlom (obr. 17). Trenie pod hlavou a v závitovej časti skrutky zvyšuje spotrebu energie pri ťahovaní a zabezpečuje tzv. **samosvornosť spoja**. V prípade nedostatočného trenia a predpätia môže dôjsť v prevádzke k samovoľnému uvoľneniu až totálnemu rozpadu SS. Uhol stúpania je väčší ako trecí a jedná sa **nesamosvorný SS** (Dominik 2010).



Obr. 17 Závislosť účinnosti skrutky na uhle stúpania (Žiačik a kol. 2008).

Proti uvoľneniu sa používa závit s jemným rozstupom či poist'ovacie súčiastky. Účinnosť samosvorných skrutiek je 30%. Zväčšenie je podstatné u pohybových skrutiek, kde sa transformuje rotačný pohyb na posuvný. Realizuje sa rastom uhla stúpania (max. 30°), výberom viacchodových skrutiek (Bošanský 2009). Zmenšením uhla sa zväčšuje bezpečnosť proti uvoľneniu. Dynamicky namáhané spoje treba poistiť (Žiačik a kol. 2008).

V automobilovom priemysle je samouvoľňovanie jedným z najčastejších dôvodov zlyhania SS počas prevádzky vozidla. Je to spôsobené vibráciami a cyklickým zaťažením zodpovedných konštrukčných prvkov.

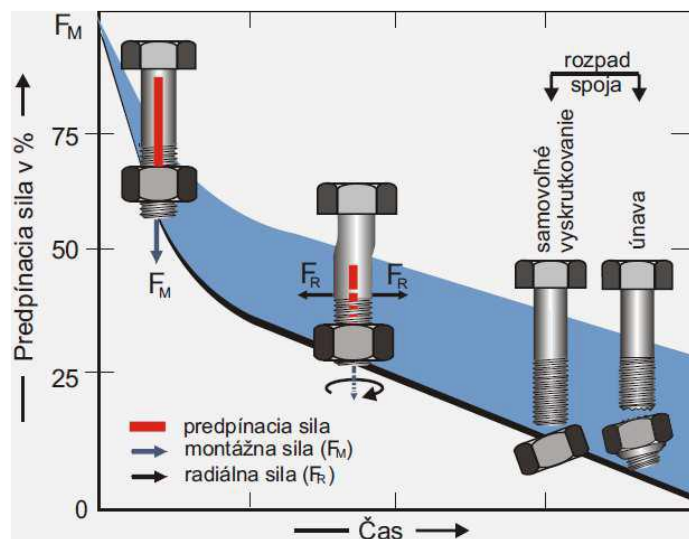
Ak je radiálna sila väčšia ako súčin zvernej sily a súčiniteľa trenia, potom dochádza k strate samosvornosti až postupne k celkovému rozpadu, keď nastane únavový lom. Je to veľmi nebezpečné, pretože vzniká riziko straty všetkých matic/skrutiek a koleso by mohlo spadnúť počas prevádzky (Dominik 2014).

Proces samovoľného uvoľňovania prebieha v 3 etapách (obr. 18):

1. etapa – úbytok predpätia po utiahnutí. Príčinou je zahľadenie nerovností kontaktných plôch a mikroplastická deformácia na nich.
2. etapa – samovoľné pretáčanie skrutky/matice proti smeru montáže a primeraným úbytkom predpätia. Príčinou sú vibrácie a dynamické namáhanie spoja.
3. etapa – úplný rozpad spoja s nulovým predpätím. Skrutka/matica sa pretáčajú až do vypadnutia (Dominik, Žmind'ák 2012).

Závisí od mikroplastickej deformácie materiálu kontaktných plôch pod hlavou skrutky a matice, medzi spájanými časťami a v závite, veľkosti, smeru, zmyslu, frekvencie a času

interakcie možných prevádzkových síl a vibrácií, koeficientu trenia na rozhraní plôch, povrchového napätia, veľkosťou montážnej zvernej sily a povrchom styku, počtu deliacich rovín a teplotných vplyvov, dĺžky drieku skrutky (Dominik 2014).

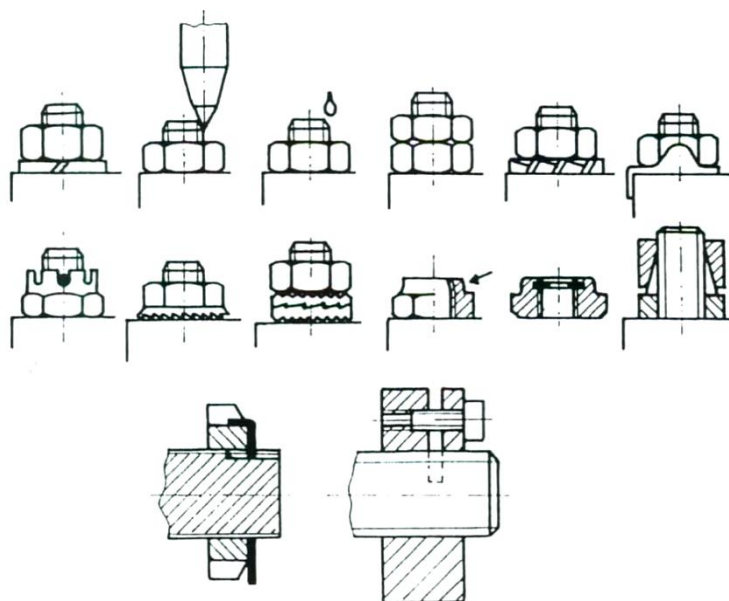


Obr. 18 Závislosť účinnosti skrutky na uhle stúpania (Žiačik a kol. 2008).

V prípade automobilových kolies má vplyv na samovoľné uvoľňovanie skrutkových spojov (SS) preťaženie vozidla, poškodené závit, poškodené a znečistené dotykové plochy, prehriatie ložiska kolesa, zlé podmienky vozovky, odlišná tepelná rozťažnosť spojovacích prvkov, intenzívne vibrácie kolesa, nízka tvrdosť skrutiek a matic, použitie zlých závitov matic alebo skrutiek, príliš veľa rozhraní, nesprávna montáž (Dominik 2014).

Boli vykonané skúšky za akých okolností prichádza k uvoľňovaniu skrutkových spojov, kde boli dve pásnice zoskrutkované skrutkou a pulzačne namáhané ťahovými silami (vibrátor). Všeobecne koeficient trenia nie je pod celou matkou rovnaký a čelo matky obecné nie je rovnobežné s pásnicou. Elementárne trecie sily pod matkou nie sú preto obecné rovnaké v celej dotykovej ploche a preto účinkom pulzačných síl sa vytvára moment pôsobiaci na matku v smere uvoľňovania, alebo uťahovania.

Častejší je prípad samouvoľňovania, lebo na uvoľnenie treba menší moment ako na ďalšie utiahnutie. Boli skúšané všetky bežné známe spôsoby poist'ovania na zube listu. Niektoré z nich sú na obr. 19.



Obr. 19 Spôsoby poist'ovania skrutkových spojov.

a) pružná (pérová) podložka, b) poistenie jamkárom (po utiahnutí), c) poistenie lepidlom, d) poistenie "kontra" maticou, e) poistenie vejárovou podložkou, f) poistenie jazýčkovou podložkou, g) korunová matica so závlačkou, h) zubová matica, i) dvojica zubových podložiek, j) matica s deformovaným krčkom (3x), k) matica s trecou vložkou, l) dvojitá matica s klieštinou (tzv. Berma matica), m) poistenie matice KM pomocou podložky MB, n) poistenie pomocou príložky a skrutky.

Ako je vidieť na obr. 19 existujú rôzne varianty poistenia, ktoré sú založené na viacerých princípoch. Môžeme ich zadeliť do piatych skupín podľa použitého poist'ovacieho prvku:

- Pružné prvky predopnuté osovou silou a), e),
- Prvky s tvarovým poistením f), g), b), m), n),
- Prvky so silovým poistením d), j), k), l),
- Zakusovacie prvky h), i),
- Poistenie lepidlo c).

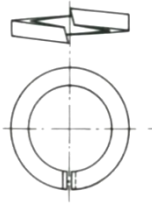
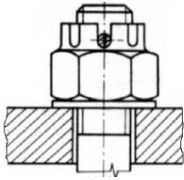
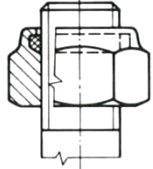
Prekvapivé výsledky boli zistené pri veľmi častom poistení tzv. "Pérovou podložkou". Skúšky ukázali, že pri vibračných skúškach sa spoj s touto podložkou uvoľnil zhruba po tom istom počte kmitov, ako spoj bez podložky za inak rovnakých podmienok (rovnaká skrutka, rovnaká zverná sila a i.).

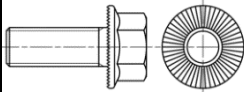
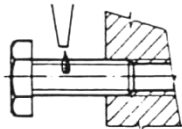
Príčiny nízkych samoistných vlastností "pérových" podložiek sa vysvetľujú takto: sila na stlačenie pérovej podložky je u skrutiek vyššej pevnosti len zlomkom zvernej sily skrutky. Pri utiahnutí je podložka narovnaná, nie je "zakusnutá" do matky ani spojovanej súčiastky a nebráni tomu aby začal proces samouvoľňovania. Po začatí tohto procesu podložka sa vystiera a len určitú malú dobu zadržiava malou silou maticu aby sa voľne nevykrútila.

Prekvapivo dobré samo istiace vlastnosti boli dosiahnuté u poistení lepidlom. Uspokojivé vlastnosti majú poistenia založené na zakúsnutí zubov do proti kusu, narušenie proti kusu vedie však k rýchlej korózii.

Ako výsledok týchto výskumov vznikla tabuľka doporučení pre voľbu poistných prvkov tab. 2 (Valentovič 1999).

Tab. 2 Poistné vlastnosti rôznych poistných prvkov podľa Strelowa (Valentovič 1999).

Skupina	Príklad	Druhy elementov	Poistné vlastnosti	Opakovateľnosť použitia
Pružné prvky predopnuté osovou silou		• Pružné krúžky • Pružné podložky • Zubové podložky • Vejárové podložky	Žiadne poistné účinky v skrutkách pevnosti 5,6	
		• Tanierové podložky • Jednostranné vyhnuté • Dvojstrane vyhnuté	Poistenie proti strate predpätia účinné pri axiálne napnutých krátkych skrutkách	áno
Prvky s tvarovým poistením		• Plechové jazýčkové podložky • Podložky s nosom • Korunové matky so závlačkou	Poistenie proti strate matky pri trvale namáhané spoje nižších pevnostných tried	áno
Prvky so silovým poistením		• Samopoistné matice • Skrutky s plastovými vložkami v závite	Poistenie proti strate matice	
		• Kontramatice • Poistné matice	Bez zaručených poistných účinkov, matky sa môže úplne vyskrutkovať	

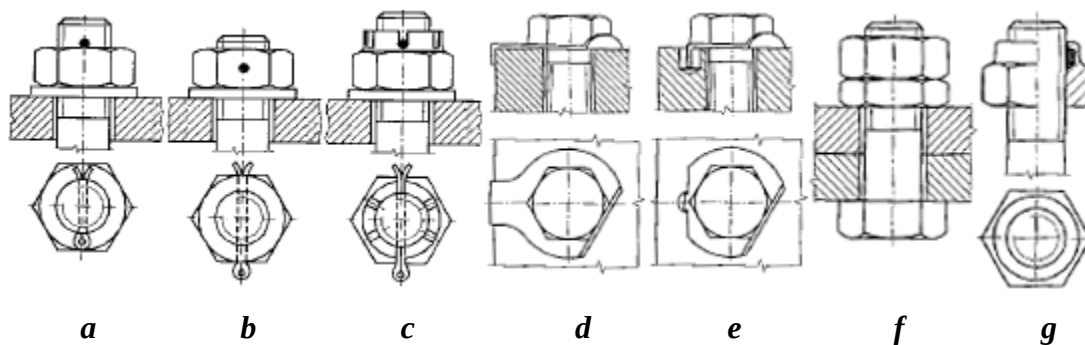
Prvky zakusovacie		Zubové skrutky a matice	Poistenie proti otočeniu, ak protikus je tvrdý nepoistujú, zuby sa nezahryznú (HRC 40)	áno
Prvky poistujúce lepidlom		Lepidlo v dutinách pórovitej látky	Poistenie proti otečeniu výnimka: teplota 160°C	3 krát
		Lepidlo z tuby	Poistenie proti otečeniu	nie
		Silikónová pasta v závitoch	Poistenie proti strate	áno

3.3.1.6 Poist'ovacie súčiastky

Preveniou samovoľného uvoľňovania SS sú **organizačné** a **konštrukčné opatrenia** – správne dimenzovanie spoja a montáž predpísaným uťahovacím momentom, hladké stykové plochy s minimálnou drsnosťou, upínacia dĺžka skrutky je minimálne 5-násobok priemeru skrutky, zachytenie priečných prevádzkových síl skrutkami s lícovaným driekom, minimalizácia deliacich rovín, použite poistných prvkov (Dominik 2010).

Poistenie môže byť (obr. 20):

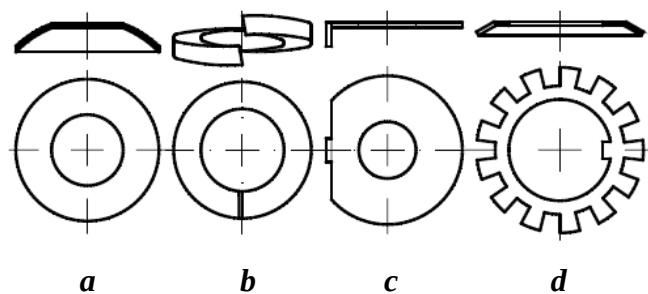
1. mechanické – proti uvoľneniu matice alebo skrutky sa používajú poist'ovacie súčiastky ako napr. závlačky, poistné podložky s jazýčkom alebo nosom,
 2. silové – uvoľneniu matice bráni trenie v závite, príp. medzi maticou a dielcami.
- Používa sa prítužná alebo samoistiaca poistná matica (Medvecký a kol. 2007).



Obr. 20 Poistenie SS: a až c – závlačkou, d – poistnou podložkou s jazýčkom, e – poistnou podložkou s nosom, f – prítužnou maticou, g – samoistiacou poistnou maticou (Medvecký a kol. 2007).

Príružné (poistné) matice sú upravené tak, že zväčšujú trenie medzi závitom skrutky a matice, čím sa zabraňuje jej samovoľnému uvoľneniu. Príružná matica je nízka a skrutkuje sa pod normálnu, ktorá sa ťahuje proti nej (Žiačik a kol. 2008).

Samoistiace poistné matice sú spoľahlivejšie. Trenie medzi maticou a závitmi skrutky je pri odľahčení zaistené polyamidovým krúžkom (Medvecký a kol. 2007). Funkciou poistných podložiek je poistenie SS proti uvoľneniu. K tomu slúžia (obr. 21) najmä pružné podložky (so štvorcovým či obdĺžnikovým prierezom, prehnuté, vyduté. Istia polohu matice permanentným pružením a zaistením tlaku a trecej sily medzi závitmi aj pri odľahčení spoja.), poistné podložky (s jazýčkom, s nosom, MB k maticiam KM), ozubené podložky, vejárové podložky (s vonkajším, vnútorným ozubením) (Danišová a kol. 2012).



Obr. 21 Podložky: a – vydutá, b – pružná, c – s nosom, d – MB k matici KM (Lacko a kol. 2010).

Závlačky (obr. 22) sú normalizované súčiastky a slúžia na poistenie matíc, skrutiek a čapov, aby neprišlo k ich uvoľneniu alebo nežiaducemu posunutiu. Sú vyrábané z drôtu, ktorý má polkruhový prierez (Danišová a kol. 2012).



Obr. 22 Závlačka (Danišová a kol. 2012).

3.3.1.7 Realizácia skrutkového spoja

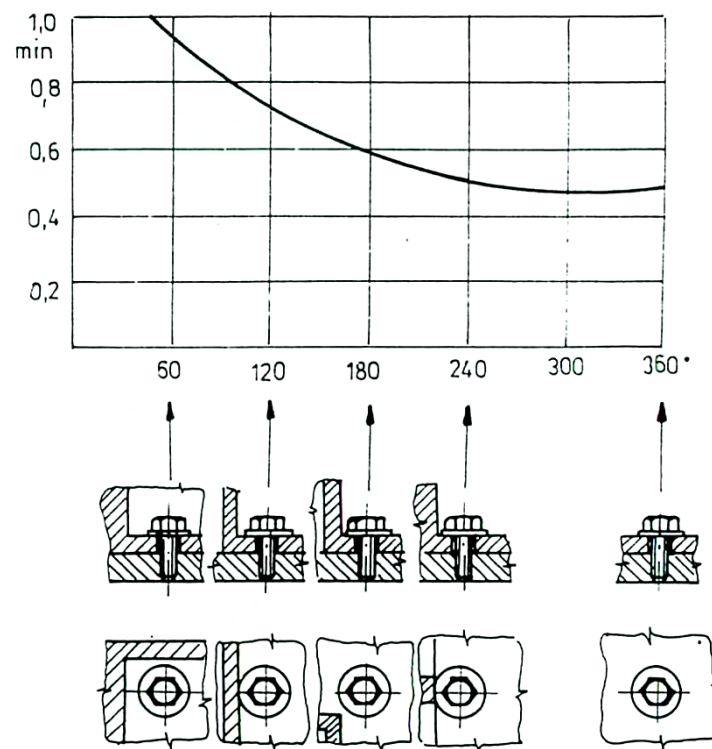
Skrutkové spoje predstavujú 20-30% z celkovej prácnosti realizovaných montážnych prác. Realizácia skrutkového spoja si vyžaduje nasledovné etapy:

- Vzájomná orientácia skrutky voči matici a ich prvý dotyk pričom v tejto etape dochádza k jednobodovému kontaktu spájaných prvkov,

- Vznik dvojbodového alebo trojbodového kontaktu, pri ktorom skrutka nájde maticu
- Zaskrutkovanie prvého závit, pri ktorom dochádza k prvému spojeniu plôch závitov skrutky a matice, pričom platí jedno alebo dvojbodový kontakt,
- Vlastné zaskrutkovanie, ktoré realizujeme kombinovaným pohybom (kombinácia translačného a rotačného pohybu) na požadovanú vzdialenosť,
- Dotáhovanie, pri ktorom sa zabezpečuje požadované predpätie skrutkového spoja.

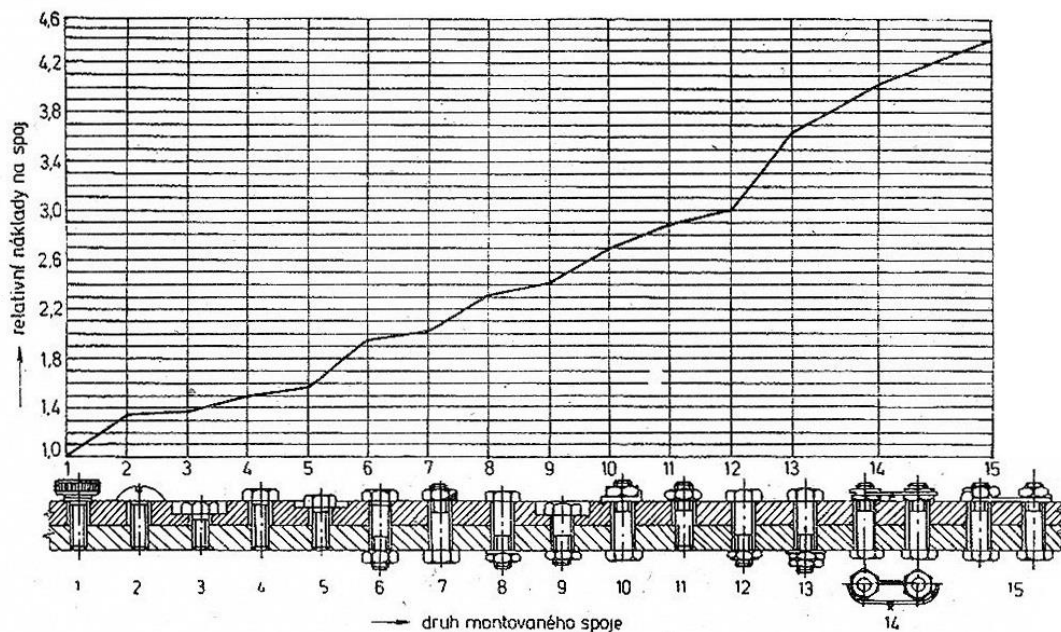
Vzájomná orientácia skrutky a matice sa zabezpečuje v zmysle charakterizovaných zákonitostí. Pri realizácii skrutkových spojov je kritickou etapou, etapa zaskrutkovania prvého závit. K tomu, aby sa mohla realizovať táto etapa je potrebné zabezpečiť takú orientáciu skrutky a matice, pri ktorej k polohovanie počiatkových bodov stúpania ich závitov. Vzájomná poloha sa pritom realizuje tak, že počiatkový bod stúpania závit skrutky sa dostáva pod počiatkový bod stúpania závit matice, teda do zodpovedajúcej závitovej medzery (Kováč 2000).

Na obr. 23 je závislosť pránosti (v minútach) skrutkovania na priestore pre otáčanie ručného kľúča.



Obr. 23 Pránosť montáže v závislosti na priestore (Valentovič 1999).

Ako vieme jedným z najdôležitejších faktorov, ktoré ovplyvňujú výber typu skrutkového spoja sú jeho relatívne náklady na realizáciu. Na obr. 24 je znázornená závislosť relatívnych nákladov od druhu spoja.



Obr. 24 Vplyv prevedenia spoja na veľkosť nákladov Vlach 1990).

Podložky

Každá podložka predstavuje montážnu operáciu. Konštruktér výrobku musí hľadať riešenia, ktoré sa obídu bez podložky. Na príklade perových podložiek sme ukázali, že ich istiaci účinok je sporný, preto ich potrebu overíme experimentálne – napr. vibračnými skúškami. Ak už podložka musí byť, usilujeme sa podložku nestratiteľne spojiť ešte pred montážou so skrutkou – napr. tak, že už po navlečení podložky na driel skrutky sa valcuje závit čím sa vonkajší priemer drieku zväčší a podložka už nevypadne. Štvorcové podložky pre uchytenie elektrických vodičov sa poistujú proti vypadnutiu miestnym rozmačknutím drieku.

Ak je to možné vytvárame pre podložky lôžka na výrobku, aby podložky ostali na svojom mieste i počas presúvania výrobku k ďalšej operácii (montáž skrutiek). Elektrické vodiče sa dajú uchytiť pod hlavu skrutky i bez podložky ak sa použijú skrutky "s veľkou hlavou". Elektrikárske normy predpisujú zložitú kombináciu plochých a vejárových podložiek, aby sa aj po uvoľnení závitu udržal elektrický spoj pre ochranu zemnením.

Príslušné normy sa však neopierajú o preukázateľné experimentálne dôkazy a preto treba usilovať o ich revíziu opierajúcu sa o experimentálny výskum (Valentovič 1999).

Výkresy výrobkov so skrutkovými spojmi.

Dnes konštruktéri na výkresoch výrobkov spravidla neuvádzajú požiadavky na potrebný ťahovací moment a jeho tolerancie, prípadne na inú metódu ťahovania. Tam, kde sa domnievajú, že na týchto údajoch záleží udávajú hodnotu ťahovacieho momentu s veľmi úzkymi toleranciami, ktoré je ťažko dosiahnuť v sériovej výrobe vybavenej štandardným motorickým náradím. Kontrolóri nemôžu merať kvalitu utiahnutia po jeho vykonaní, ale len počas jeho vykonávania napr. tak, že požadujú použiť momentomerné kľúče, alebo motorickú techniku s elektronickou kontrolou momentu, alebo uhlu ťahovania na ťahovacom nástroji

U spojov zvlášť náročných na ťahovanie (napr. skrutky hláv spaľovacích motorov) sa používa postupná kombinácia rôznych metód ťahovania (momentová, uhlová, gradientová, pulzačná) a celá procedúra sa stanoví na základe experimentov. Až potom sa postup zaznamená do dokumentácie. Skrutkový spoj je najvýznamnejší spoj v strojárskych výrobkoch. Spoľahlivosť a životnosť strojov veľmi závisí na kvalite konštrukcie skrutkových spojov, metódach ich utiahnutia a poistenia (Valentovič 1999).

3.3.2 Pružné (elastické) spoje

U pružných spojov sa využíva pružnosti spojovaných častí. Pružné spoje môžeme rozdeliť do dvoch funkčne odlišných skupín:

A – Pružné trecie spoje

Spojenie sa dosahuje trecou silou vyvolanou normálovými silami pruženia a koeficientom trenia. K týmto spojom patria kolíkové spoje, lisované spoje, zverné spoje, spoje pomocou hmoždínok, klinové spoje atď.

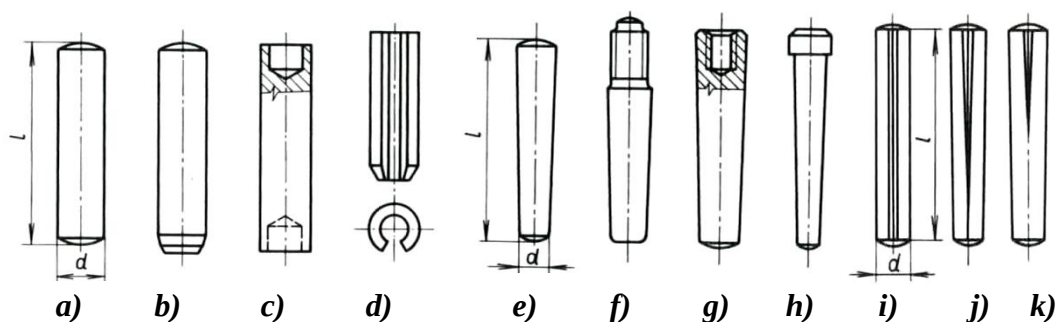
B – Pružné tvarové spoje

Spojenie sa dosahuje tvarom súčiastky. Súčiastka pri montáži prepruží, potom nadobudne pôvodný tvar. K týmto spojom patria pružné poistné krúžky, súčiastky z pružných plastických látok, spony, atď.

3.3.2.1 Pružné (elastické) spoje

Kolíkové spoje

Patria ku klasickým strojárskym spojom, slúžia na zhotovenie pevného rozoberateľného spojenia, dvoch alebo viacerých častí. Existujú rôzne vyhotovenia kolíkov, tie základne sú zobrazené na obr. 25.

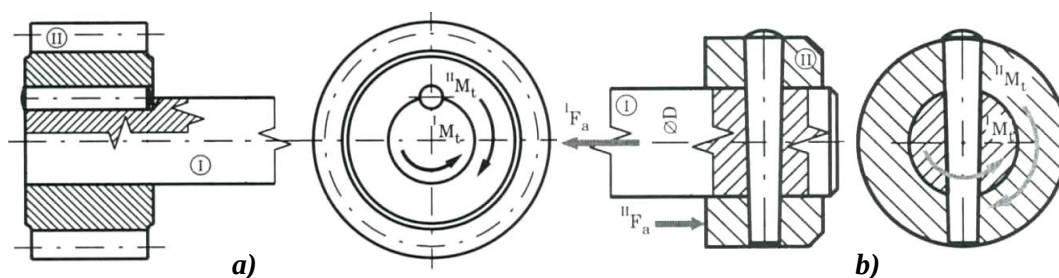


Obr.25 Základné druhy kolíkov (Bolek 1989).

- a) valcový kolík, b) valcový kolík kalený, c) valcový kolík s koncami na roznitovanie, d) valcový pružný kolík, e) kužeľový kolík, f) kužeľový kolík s vonkajším zavitom, g) kužeľový kolík s vnútorným zavitom, h) kužeľový kolík s hlavou, i) ryhovaný kolík, j) ryhovaný kužeľový kolík, k) ryhovaný kužeľový kolík do polovice dĺžky.

Pre pevné kolíky (a), b), c), e), f), g), h)) je potrebné dieru zhotoviť vŕtaním s následným vystružovaním. Pre pružné a ryhované kolíky (d), i), j), k)) stačí dieru vyvŕtať.

Kolíky sa používajú na prenášanie nie veľkých momentov a posuvových síl. Kolíky sú namáhané na strih, buď priečne na os, alebo pozdĺž osi (obr. 25).



Obr. 25 Namáhanie kolíkov (Hosnedl 1999).

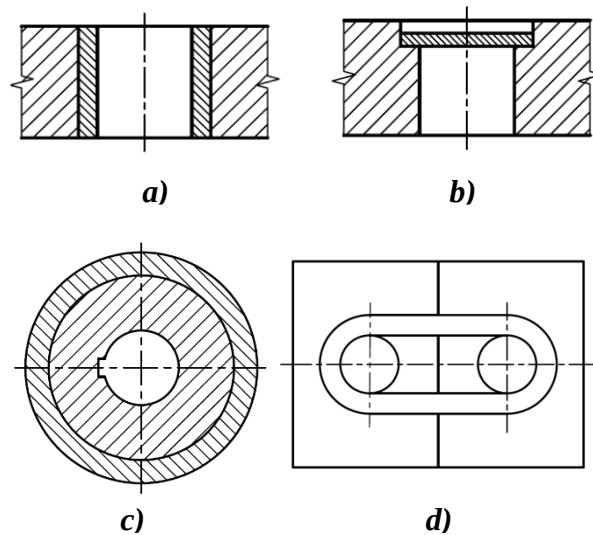
- a) pozdĺž osi, b) priečne na os.

Kolíky sa vyrábajú podľa STN z bežných konštrukčných ocelí (11 106, 11 423, 11 600, 11 700), kalené kolíky sú vyrobené z 19 421. Kolíky sa tiež vyrábajú hliníku a iných farebných kovov.

Lisované spoje

Všeobecne tvarové spojenie je tuhšie ako spojenie trením. Z rôznych konštrukčných dôvodov sa však používajú i spoje trecie. Napr. lisované spoje s veľkým presahom odolávajú i veľkým silám, hlavne ak týmto silám odoláva vhodný tvar spojovacej súčiastky.

Technológia vytvorenia väčšiny pružných spojov je jednoduchá. Výnimkou sú práve lisované silové spoje s veľkým presahom uloženia. Príklady vyhotovení lisových spojov sú na obr. 26.



Obr. 26 *Priklady lisovaných spojov (Valentovič 1999).*
a) puzdro zalisované za tepla, b) zátku zalisovaná po podchladení,
c) obruč kola lisovaná za tepla, d) strmeň montovaný za tepla.

Pred zalisovaním sa doporučuje:

- patriť obidve časti zrazeniami (nábehmi) so sklonom cca 5°,
- obidve časti dôkladne očistiť,
- povrch opatriť mazivom alebo povrchovou úpravou napr.:
 1. mastenie olejom,
 2. mastenie molykou,
 3. difúzne sírovanie a mastenie molykou,
 4. fosfátovanie,
 5. zinkovanie,
 6. nanášanie polystyrénu,
 7. kadmínovanie,
 8. pomedenie,
 9. difúzne sírovanie.

pričom:

- Z hľadiska najnižšej lisovacej sily je poradie:
4, 3, 2, 1, 5
- Z hľadiska najväčšej osovej pevnosti je poradie:
8, 9, 5, 6, 7, 4, 1, 2

- Z hľadiska najväčšej pevnosti v krútení je poradie:

9, 5, 4, 7, 6, 1, 2.

Pre podchladzovanie sa používajú chladničky, kde sa dá dosiahnuť až -100°C . Ide o nákladný proces. Iný spôsob podchladzovania je uloženie súčiastok do nádob obklopených tekutým plynom (indirektné chladenie). Teploty a odparné teploty týchto plynov sú v tab. 3.

Tab. 3 Teplota a odparené teploty chladiacich plynov (Valentovič 1999).

Tekutý plyn	Teplota	Odparené teplo kcal/kg
CO ₂	-78,5	83
O ₂	-183	51
vzduch	-194,5	49
N ₂	-195,8	48

Používa sa i direktné chladenie – máčanie v tekutom vzduchu, obalenie spoja penou kyseliny uhličitej a pod.

Doba chladenia závisí na hrúbke stien výrobku a je okolo 1 min. na 1 cm hrúbky. Zásadne je zmršťovanie chladom nákladnejšie ako rozťahovanie teplom.

Výhody zmršťovania sú:

- vnútorné časti sú menšie – ľahko manipulovateľné,
- chladom zmršťované plochy neoxidujú,
- zmršťovanie chladením prebieha rýchlejšie ako ohrievanie.

V ďalšej tabuľke (tabl. 4), sú metódy ohrievania vonkajších častí.

Tab. 4 Metódy ohrevu (Valentovič 1999).

Metóda	Vhodná pre	Poznámka
kováčska vyhňa	malé časti	nepresný ohrev nečistá práca
zvárací horák	malé časti	jednoduchosť nepresný ohrev
kruhový horák	vnútorný i vonk. ohrev stredné i veľké časti	rovnomerný ohrev
teplý vzduch	stredné i veľké súčiastky	rovnomerný ohrev na stred. teploty

olejový a voľný kúpeľ (elektrický resp. plynový ohrev)	malé a stredné súčiastky	intenzívny rovnomerný ohrev stredné teploty
pece (elektr., plynové)	stredné a veľké súčiastky	rovnomerný ohrev, vysoká teplota
indukčný ohrev	malé a stredné súčiastky	veľmi rýchly ohrev bez veľkého teplotného ovplyvnenia celej súčiastky. Veľmi drahé.

Výhodami tepelného roztákovania sú:

- veľký tepelný spád,
- možnosť roztákovania v želanom smere.

Nevýhodami sú:

- plastická deformácia,
- obtiažna kontrola teploty,
- veľký čas na vychladnutie.

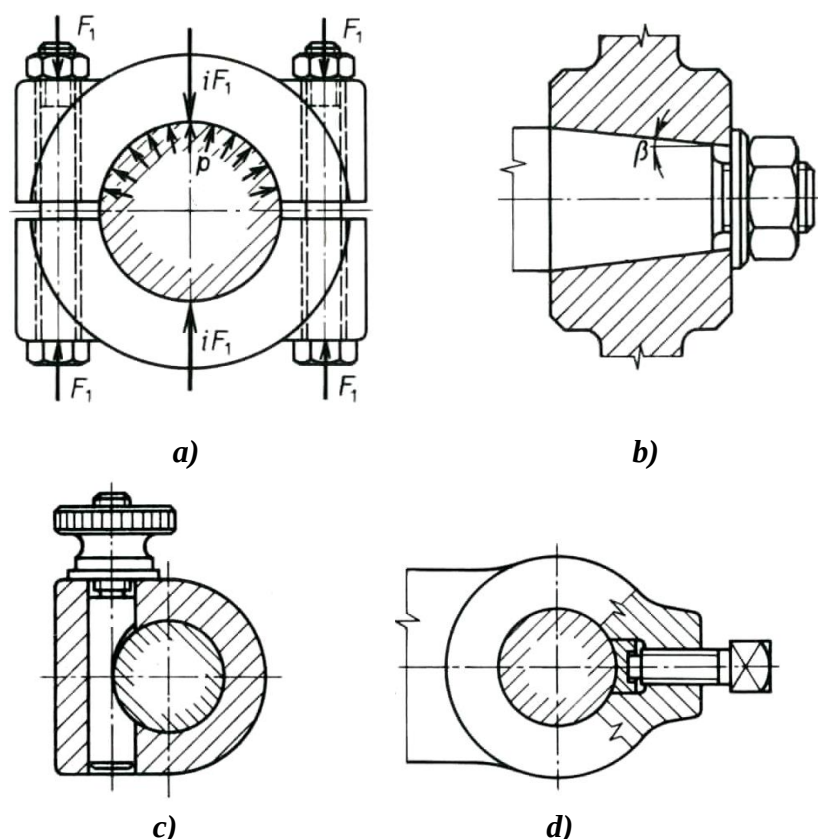
Výhody teplotného spájania oproti lisovaniu:

- súčiastky sa spájajú s vôľou, preto sa nepoškodia,
- súčiastky sú suché (bez maziva) a preto sa dosiahne 2 až 3- násobná sila spoja.

Zverné spoje

Zverný spoj slúži k pevnému a ľahko rozoberateľnému spojeniu strojových častí. Pri tomto druhu spoja dochádza k zovretiu jednej súčiastky druhou, alebo k vzopreniu jednej súčiastky v druhej, pričom dochádza k pružnej deformácii jednej súčiastky. Aby sa dosiahol náležité pevný spoj, je potrebné, aby zovretím alebo vzoprením vzniklo v stykových plochách súčiastok dostatočné trenie, ktoré musí byť väčšie ako prenášajúci krútiaci moment alebo posuvová sila.

Zverné spoje sa používajú najmä vtedy, keď sa vzájomná poloha spojovaných častí často mení. Toto spojenie môže byť nehybné alebo pohyblivé. Na nižšie uvedenom obrázku 27, sú uvedené príklady tohto druhu spoja.



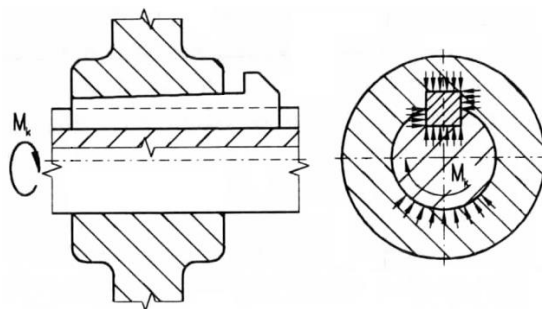
Obr. 27 Príklady zverných spojov (Bolek 1989).

a) Spojenie delením nábojom, b) Spoj kužeľovým čapom, c) Spoj pomocou vybraného čapu (ťahani do druhej časti pomocou matice) d) Spoj perom (pritláčané skrutkou).

Klinové spoje

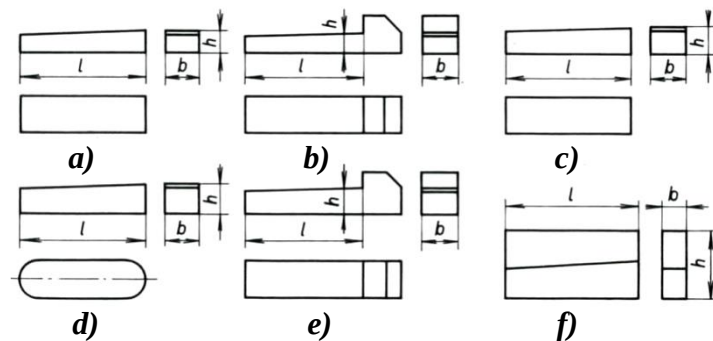
Kliny sa používajú najmä na k pevnému a rozoberateľnému spojeniu náboja s hriadeľom. Ten spoj je vhodný na prenášanie krútiacich momentov.

Spojenie ale nie je prsné a to kvôli tomu, že dochádza k vyoseniu náboja voči hriadeľu, pre túto skutočnosť tento typ spojenia je vhodný pre hriadele uložené v valivých ložiskách. Tiež nie sú v hodne na prenášanie striedavého krútiaceho momentu a to kvôli tomu, že šírka drážky nie je lícovaná s klinom. Princíp klinového spojenia na obr. 28.



Obr. 28 Princíp spojenia za pomoci klina (Bolek 1989).

Kliny sú majú rozmanitú konštrukciu, základné typu sú zobrazené na obr. 4.29.

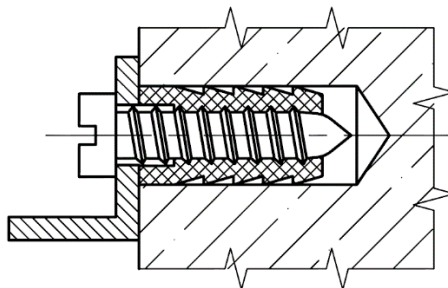


Obr. 29 Druhy klinov (Bolek 1989).

a) plochý klin, b) plochý klin z nosom, c) drážkový klin, d) drážkový vsadený klin, e) drážkový s nosom, f) tangenciálny klin.

Spoje hmoždinkami

Toto spojenie je založené sa rozťahnutí plastovej vložky (hmoždinky) pomocou skrutky. Spojenie hmoždinkou sa používa na montovanie (prichytávanie), rôznych konštrukcií na steny. Podľa druhu steny sa mení tvar a princíp rozťahnutia (zakliesnenia) v stene. Na obr. 30 je zobrazená základná konštrukcia spoju pomocou hmoždinky.

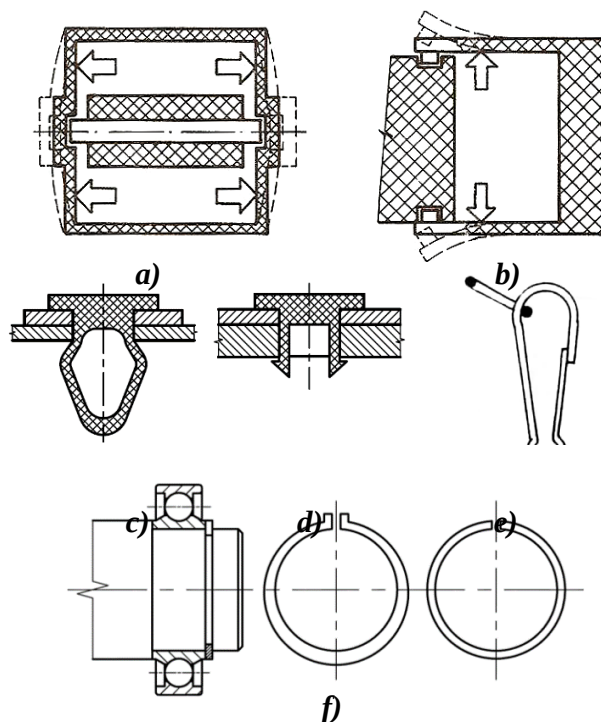


Obr. 30 Spoj pomocou hmoždinky (Valentovič 1999).

Druh steny ovplyvňuje aj druh použitého materiálu. Používajú sa materiály od plastov cez farebné kovy až po ocele.

3.3.2.2 Pružné tvarové spoje

Spojenie sa dosahuje tvarom súčiastky. Súčiastka pri montáži prepruží, potom nadobudne pôvodný tvar. K týmto spojom patria pružné poistné krúžky, súčiastky z pružných plastických látok, spony, atď. Príklady týchto spojov sú zobrazené na nižšie uvedenom obrázku 31.



Obr. 31 Príklady pružných tvarových spojov (Valentovič 1999).
a), b), c), d) súčiastky z pružných plastických látok montované rukou,
e) Spona, f) pružné poistné krúžky.

Spoje podľa obr. 31 a) až d) využívajúce pružnosť plastov patria medzi moderné spoje, ktorými sa podarilo často nahradiť zložitejšie spoje skrutkové a nitové. Rovnako moderné sú kovové pružné prvky napr. podľa obr. 31 e), f), ale i iných dômyselných konštrukcií. Oceňuje sa u nich nenáročnosť na montážnu techniku, rýchlosť montáže a trvalá pevnosť spoja (neuvoľní sa) (Valentovič 1999).

3.3.3 Nerozoberateľné spoje

K rozoberateľným spojom patria: nitové spoje, tvarované plastické spoje, zvárané spoje, spájkované spoje, lepené spoje, tmelené spoje.

3.3.3.1 Nitové spoje

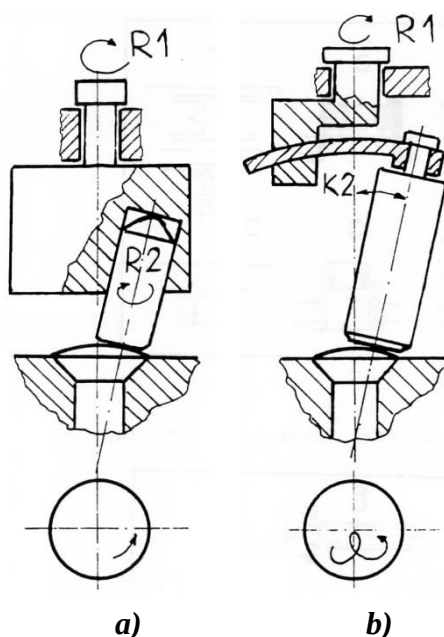
Za klasické možno považovať dvojstranné nitovanie za tepla, ktoré sa používalo hlavne v externej montáži mostových konštrukcií, kde bolo nahradené zváraním. V interných montážach sa používa hlavne nitovanie za studena.

Vytvorenie hlavy nitu za studena sa vykonávalo alebo osovým lisovaním, alebo kovaním za studena. Obidva spôsoby majú nevýhodu v tom, že takto vytvorené hlavy nie sú homogénne,

ich pevnosť nie je zaručená a ich vzhľad často nevyhovuje. Kovanie je prácne a hlučné, hlavne ak je vykonávané elektromagnetickými vibrátormi.

Boli preto vyvinuté viaceré spôsoby tzv. bezhlučného nitovania. Podstata týchto metód spočíva v tom, že nástroj postupne rozvalcováva materiál hlavy nitu. Takto vytvorená hlava nemá trhliny, má vysokú pevnosť a tesnosť a má výborný vzhľad, čo sa oceňuje hlavne v konštrukcii prístrojov.

Sú známe hlavne dva spôsoby vytvárania hláv zobrazené na obr. 32.



Obr. 32 Bezhlukové nitovacie metódy (Valentovič 1999).
a) systém TAUMEL, b) systém BRÄCKER.

U systému TAUMEL hlava nástroja vykonáva unášavý rotačný pohyb R1. Nástroj R2 šikmo rotačne uložený v hlave sa svojim čelom odvalčuje po hlave nitu a preto vykonáva druhotný rotačný pohyb R2. Nástroj zanecháva na hlave stopy v podobe sústredných kružníc. Tvárniace sily pôsobia na materiál tangenciálne k týmto kružniciam, metóda sa preto tiež nazýva TAUMEL-TANGENCIÁL.

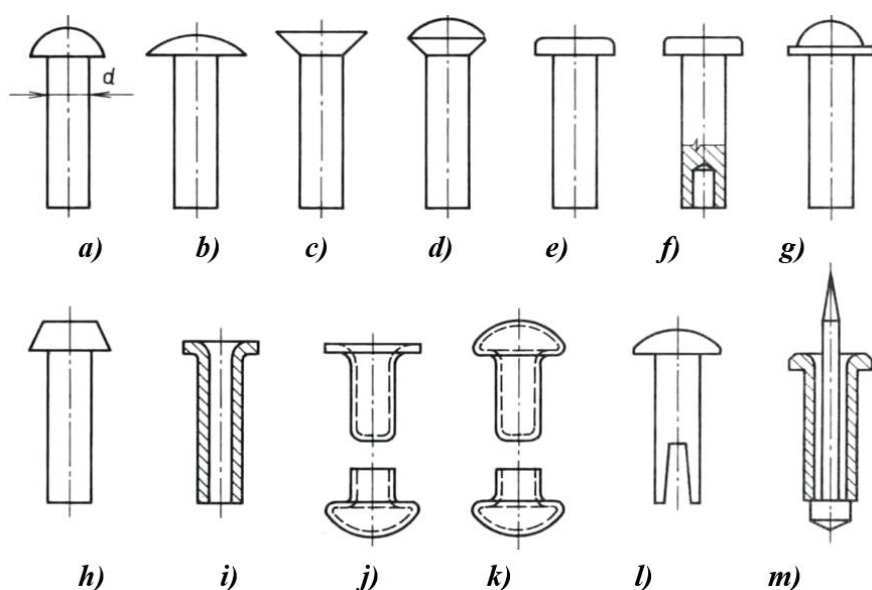
Výhodou metódy je jednoduchá nástrojová hlava, ktorú možno uchytiť i do vretena vŕtačky. Nevýhodou metódy TAUMEL je, že veľmi štíhle a tenké hlavy nitu nie je možné vytvarovať, lebo tvárnený driek sa ohýba, lebo nástroj pôsobí stále zo strany drieku.

Túto nevýhodu nemá metóda BRÄCKER, u ktorej nástroj striedavo pôsobí zo strany hlavy, alebo v jej osi (BRÄCKER-RADIÁL). Hlava nástroja má unášavý rotačný pohyb R1, nástroj v

hlave vykonáva druhotný kývavý pohyb K2. Stopy nástroja na hlave sú centrické cykloidy. Nevýhodou metódy BRÄCKER je väčšia zložitosť i cena.

Nitovanie je veľmi starý spôsob spojovania. V priebehu storočí sa vyvinuli rôzne druhy nitov, tie najzákladnejšie sú na obr. 33.

V leteckom priemysle sú už dávno známe jednostranné nity. Boli vyvinuté preto, lebo pri nitovaní krídiel nebolo možné zvnútra vkladať operu pre nedostatok priestoru v krídle. Takýto výbušný nit sa zvonku vloží do otvoru. Po jeho ohriatí vybuchne malá nálož v nite, ktorá vytvorí spodnú hlavu nitu (obr. 34a).



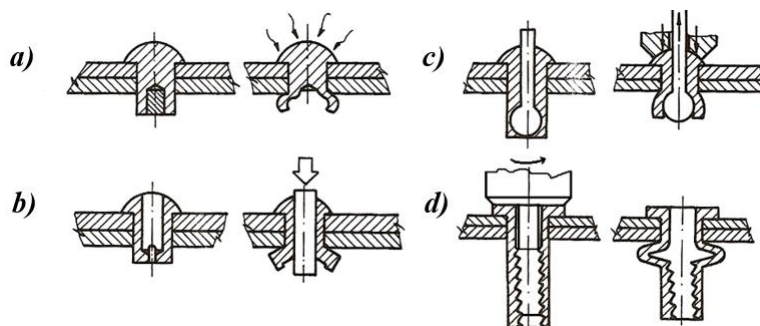
Obr. 33 Základné druhy nitov (Bolek 1989).

- a) nit polguľovou hlavou, b) nit s plochou polguľovou hlavou, c) zápusťný nit,
 d) zápusťný nit so šošovkovitou hlavou, e) nit s plochou hlavou, f) navíťaný nit s plochou hlavou,
 g) kotlový nit s polguľovou hlavou, h) lodný nit, i) trubkový nit, j) dvojdielny otvorený nit,
 k) dvojdielny uzavretý, l) rozštiepnutý nit, m) dutý nit s trňom.

Neskoršie boli vytvorené i ďalšie prevedenia už nevýbušných jednostranných nitov. Dnes sú veľmi obľúbené a široko využívané v stavbe rôznych konštrukcií z plechu a plastov, opravárstve karosérií i pre práce v domácnosti.

Na obr. 34b je princíp nitu s kolíkom. Spodná hlava sa vytvorí narazením kolíka kladivom. Najviac sú používané nity s trhacím trňom (obr. 34c). Spodná hlava sa vytvorí ťahom za trň, ktorý je súčasťou nitu a nakoniec sa trň roztrhne.

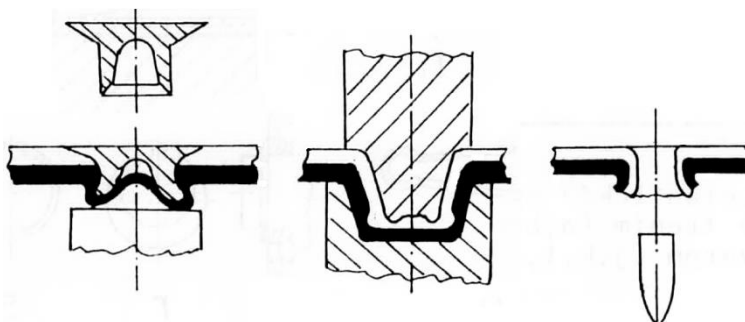
Často je potrebné dva plechy nielen znitovať, ale v mieste spojenia vytvoriť i závit. Pre takéto prípady sú vhodné tzv. nitové matice (obr. 34d). Uťahovaním závitového trňu sa vytvorí spodná hlava nitu a potom sa trň vyskrutkuje.



Obr. 34 Bezhlukové nitovacie metódy (Valentovič 2001).
a) jednostranné výbušné nity, b) jednostranné kolíkové nity,
c) jednostranné nity s trhacím trňom, d) ľahká jednostranná nitová hlavica.

Na obr. 35 sú niektoré novinky v oblasti nitovania plechov. Na obr. 35a je nový spôsob nitovania plechov chránený označením RIV-SET. Oceľové nity sú balené v "gul'ometnom" páse z plastu, ktorým sa nabije špeciálny nástroj. Nit je prudko vrazený do spojovaných plechov zo spodku podopretých opierkou. Nit si sám prerazí otvor a vytvorí hermetické spojenie.

Na obr. 35b je spôsob nitového spojenia dvoch plechov bez potreby nitu. Zistilo sa, že po prestrelení dvoch plechov opierajúcich sa o seba niekedy dôjde k ich znitovaniu (obr. 35c). Hľadajú sa možnosti praktického využitia tohto javu.

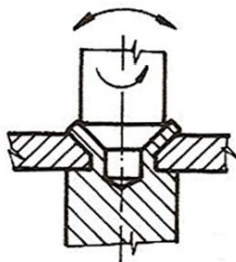


Obr. 35 Novinky v nitovaní (Valentovič 1999).
a) nitovanie RIV-SET, b) nitovanie bez potreby nitu, c) nitovanie prestrelením.

Zváranie nahradilo nitovanie za tepla. Nitovanie za studena, hlavne bezhlučné nitovanie a jednostranné nitovanie otvárajú nové možnosti pre nitový spoj. Jeho výhodami oproti zváraniu

sú: lepší vzhľad, nepoškodenie povrchovej úpravy spojovaných plechov, často veľmi jednoduchá spojovacia technika, spájajúce sa ľubovoľné materiály. Nevýhodou sú vyššie celkové náklady a väčšia montážna prácnosť.

Popri opísaných novodobých nitoch sa v interných montážach v širokej miere používajú klasické plné a duté nity oceľové, hliníkové, medené, mosadzné, plastové. Záverná hlava týchto nitov sa vytvára pomocou úderov, lisovania, tlačenia, valcovania, rozopnutia. Najviac, hlavne pre väčšie a plné nity sa ešte stále používajú pneumatické a elektromagnetické nitovacie kladivá pracujúce s frekvenciou 1000 až 3200 úderov za minútu. Vysoká hlučnosť týchto zariadení je príčinou toho, že sa prechádza na iné spôsoby vytvárania hlavy. U dutých nitov sa používa tiež tvarovanie súosím rotujúcim kužeľovým alebo inak tvarovaným trňom (nitovací systém MERIDIAN). O systém je zobrazený na obr. 36.



Obr. 36 Bezhluché nitovanie dutých nitov (systém MERIDIAN) (Hosnedl 1999).

Vzniká pritom často roztrhávajúce lemu dutého nitu čo znižuje pevnosť spoja a jeho vzhľad. Pre primazávanie rotujúcich trňov sa osvedčil včelí vosk. Primazávaním sa podstatne redukuje výskyt trhlín na vytvárannej závernej hlave. Plastové nity sú lacné, majú dobré elektroizolačné vlastnosti, malú mechanickú pevnosť. Záverná hlava sa vytvára u termoplastov miestnym nahriatím a plastickým tvarovaním.

Lepší spôsob je plastifikovanie pomocou ultrazvukom budeného nástroja, ktorého čelo kmitá s vysokou frekvenciou a s malou amplitúdou. Energia kmitania plastifikuje hlavu nitu tak, že nenastáva teplotná degradácia plastu.

Nakoniec uvedieme porovnanie rôznych technológií nitovania podľa Bodmera (tab. 5).

Tab. 5 Porovnanie rôznych technológií nitovania podľa Bodmera (Valentovič 1999).

Vlastnosti	Technológia nitovania			Taumel
	Úderová	Lisovanie	Valcovania	
1. Homogenita pretvorenia	zlá	zlá	dobrá	dobrá
2. Prístupnosť montážneho miesta	dobrá	dobrá	uspokojivá	malá
3. Pracovná rýchlosť	malá	Vysoká	stredná	malá
4. Hlučnosť	cca veľká 130dB	malá	malá	malá
5. Možnosť mechanizácie prívodu nitu	zlá	dobrá	dobrá	dobrá
6. Reprodukovateľnosť procesu	uspokojivá	dobrá	uspokojivá	dobrá
7. Opatrenie nástroja	veľké	malé	veľké	malé
8. Porušenie galvanických povlakov	veľké	veľké	veľké	malé
9. Kvalita závernej hlavy	dobrá	veľmi dobrá	veľmi dobrá	veľmi dobrá

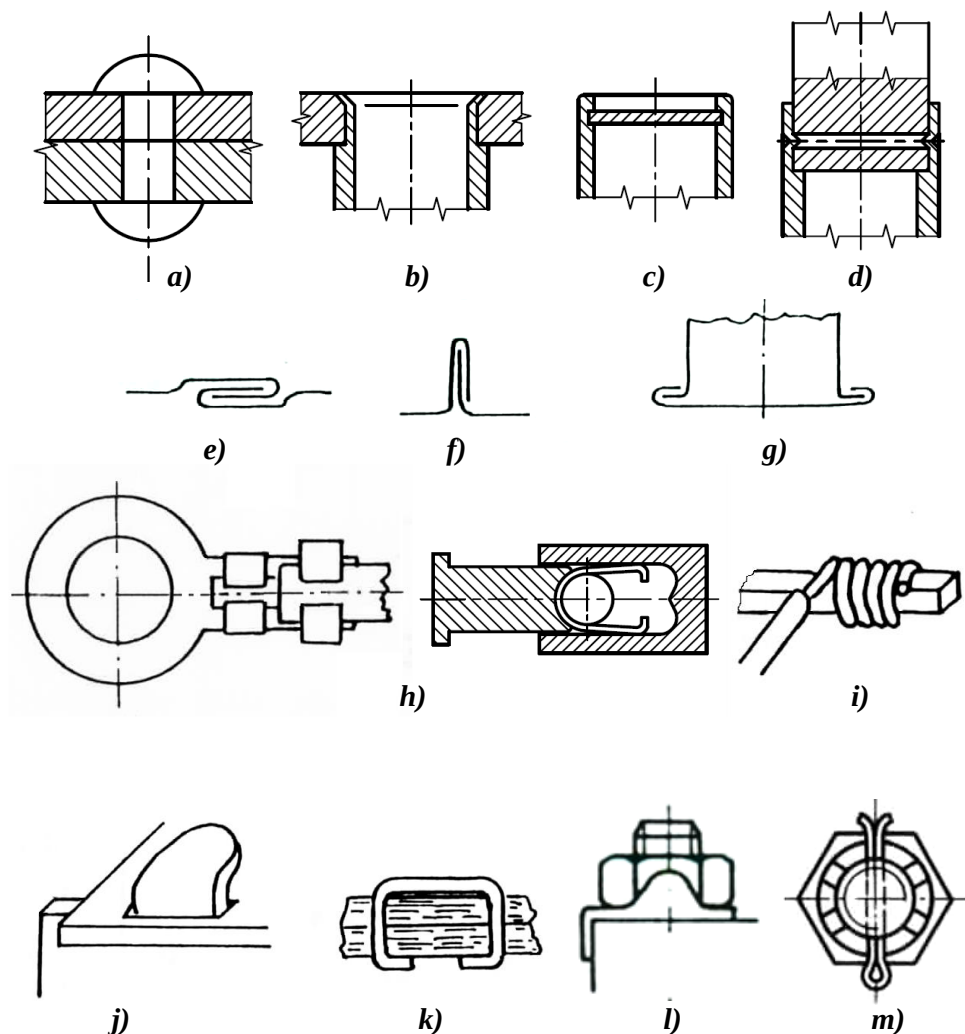
3.3.3.2 Tvarované (plastické) spoje

Príklady tvarovaných spojov sú na obr. 37. Spoj sa dosiahne plastickou deformáciou jednej časti spoja alebo oboch častí.

Vzhľadom na veľký výskyt nitových spojov (obr. 37a) sme im venovali zvláštnu kapitolu. Spoje (obr. 37 b a, c) sa zhotovujú obvykle valcovaním kladkou. Spoj d sa zhotovuje jamkárom alebo na lise. Spoje (obr. 37e, f, g) sú lemové (slangovo: falcové) spoje používané pre výrobky z plechu. Spoje h a j sú používané v elektrotechnike. Obrázok h zhotovuje spôsob pripojenia konektorov a očiek ku koncom izolovaných vodičov. Spojenie sa dosiahne zamačknutím špeciálnymi kliešťami (pravá časť obrázku obr. 37h).

V rozvádzačoch telefónnych ústrední a iných zariadeniach v elektronike je potrebné vzájomne poprepájať veľké počty kolíkov izolovanými vodičmi. Pre tento účel sa používajú tzv. ovíjané spoje (anglicky: WIRE WRAP). Odizolovaný koniec vodiča sa tesne niekoľkokrát ovinie okolo mosadzného štvorhranného kolíka (obr. 37i). Pre tento účel sa používa špeciálne náradie (ovíjačka) poháňané ručne alebo motoricky. V hračkárstve a v prístrojovej technike si našiel obľubu jednoduchý jazýčkový spoj (obr. 37j). Tvarové spoje sa používajú i pre poistenie skrutkových spojov (obr. 37 l, m).

Medzi tvarové spoje patria i rôzne spony (obr. 37k) ohnuté klince, ukotvenia koncov drôtov skrútením. V širšom slova zmysle i výroba výrobkov z drôtu alebo textilných vlákien je vytváranie tvarovaných spojov.



Obr. 37 Základné druhy nitov (Valentovič 1999).

a) nitový spoj, b), c) Spoje zhotovené valcovaním kladkou,
 d) Spoj zhotovený jamkárom alebo lisom, e), f), g) lemové spoje, h) Spoj zamačknutý špeciálnymi
 kliešťami, i) ovíjaný spoj, j) jazýčkový spoj, k) spoj sponou,
 l), m) Poistenie skrutkových spojov (deformácia poistného prvku).

Lemovanie a valcovanie je používané hlavne u rotačných výrobkov. Vykonáva sa na sústruhoch, strojoch nazývaných lemovačka (falcovačka) alebo na špeciálnych automatizovaných lemovacích staniciach montážnych liniek. Zahýbané spoje sa vytvárajú buď postupne napr. valcovaním, alebo sa celý ohyb vykoná naraz na strojoch nazývaných *ohýbačka* alebo *hranový lis*. Polomer ohybu sa dá nastaviť. Minimálny polomer ohybu je závislý na hrúbke plechu a jeho materiály. $R_{\min} = c \times s$, kde c je materiálový koeficient a s je hrúbka plechu.

Tab. 6 Materiálový koeficient „c“ závislosti od materiálu (Valentovič 1999).

materiál	materiálový koeficient c
mäkká oceľ	0,5
stredne tvrdá oceľ	0,55
mäkká mosadz	0,3
tvrdá mosadz	0,4
meď	0,25

Niekedy sa do lemového spoja vkladá tesnenie (konzervy). Technologické parametre (tvárniace sily, tvárniace rýchlosti a pod.) pomáha určiť teória tvárnenia kovov (Valentovič 1999).

3.3.3.3 Zvárané spoje

Zváranie sa na montážnych linkách vyskytuje len ojedinele. Väčšinou sa vykonáva v oddelených priestoroch – zvarovniach, ktoré sú organizačne začlenené do pod systému výroby súčiastok. Na vlastnej montáži sa zváranie vyskytuje len v prípadoch, kde v procese skladania výrobku zo súčiastok je potrebné vytvoriť nerozoberateľné spojenie a zváranie je optimálnym spôsobom jeho vytvorenia. Príkladmi takéhoto "montážneho zvárania" sú: privarenie bočnej elektródy automobilovej sviečky, mikrozwáranie lemu kovového puzdra mikroelektronickej súčiastky po jej montáži, ultrazvukové prevarenie – uzavretie PVC obalu výrobku a iné. Aj v týchto prípadoch tvorcovia montážnej techniky nevyvíjajú potrebnú zvariaciu techniku, ale si objednávajú jej vývoj u výrobcov zvaracej techniky.

Ďalej uvedieme len najzákladnejšie poznatky potrebné pre kontakt so špecialistom v oblasti zvárania.

Prehľad zvaracích metód

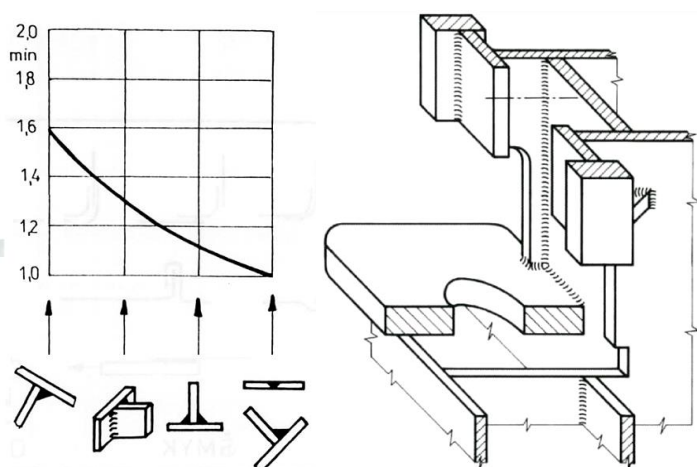
- **Tavné zvárame (h = hrúbka plechu v mm)**
 - Volfrámový drôt v inertnej atmosfére (h = 1 až 10),
 - Plazmatické zváranie (h = 0,01 až 0,8),
 - Zváranie v CO₂ atmosfére (h = 2 až 12),
 - Zváranie v inertnom plyne (h = 3 až 20),
 - Zváranie pod ochranným práškom (h = 6 až 30),
 - Elektro-plynové zváranie (h = 6 až 30),
 - Elektro-struskové zváranie (h = 12 až 100 mm).

- **Tlakové zváranie (h = hrúbka v mm, D = priemer v mm, A = prierez mm²)**
 - Bodové zváranie $h = 0,4$ až 4 .
Zvariteľné ocele, hliník, meď, niklové zliatiny.
 - Bradavkové zváranie $h = 0,5$ až 5 .
Zvariteľné ocele, hliník, meď, niklové zliatiny.
 - Tepelno-impulzné zváranie.
PVC, Polyamid, Polyetylén, Celulózoacetát.
 - Švové zváranie, $h = 0,5$ až 3 .
Zvariteľné ocele, hliník, meď, niklové zliatiny.
 - Zváranie na ohriatom kline (noži) h ž $0,2$.
Ľahký PVC, Polyetylén.
 - Zváranie teplým vzduchom $h = 2$ až 8 .
Polyetylén. Polypropylén. Tvrdený PVC.
 - Ultrazvukové zváranie $h = 0,005$ až 3 .
Železné a neželezné kovy, sklo, keramika a kov, tvrdený PVC, polykarbonát a i.
 - Induktívne zváranie kovov.
 $k = 1$ až 15 , $D = 350$, Železné a neželezné kovy.
 - Induktívne zváranie plastov.
 $h = 0,05$ až 1 . PVC, Polyamid, Celulózoacetát.
 - Zváranie plynovým ohrevom a tlakom.
 $A = 75-1200$ mm² – zvariteľné ocele, sklo.
 - Zvárame na tupo – Plasty.
 $A = 200$, $h = 3$ až 5 . Polyetylén, Polypropylén, Tvrdený PVC.
 - Zváranie na tupo s predohriatím $A = 10$ až $80\,000$ mm².
Ocele, zliatiny Al, Cu.
 - Zváranie trením $D = 3,5$ až 220 .
Ocele, neželezné kovy, plasty, sklo.
 - Zváranie svetelným oblúkom $D = 14$ mm.
Zvariteľné ocele, meď, mosadz, hliník.

- Perkúzne zváranie (zatlačením) $D = 0,2$ až $0,8$, $h = 0,2$ až 1 .
- Zváranie za studena tlakové $A = 1$ až 1000 mm^2 .

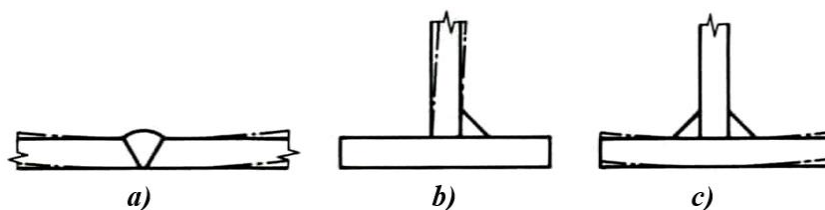
Kovy s dobrou tvárnosťou, Al, Cu, Au, Ni a iné.

Pri ručnom zváraní výkonnosť zvarača veľmi závisí na polohe zvaru vzhľadom k zvaračovi. Túto závislosť znázorňuje obr. 38. Podľa neho zváranie nad hlavou je 1,6-krát prácnejšie ako zváranie na stole. Pre odstránenie týchto problémov sa používajú polohovadlá zváraného výrobku.



Obr. 38 Závislosť výkonnosti zvarača na polohe zvaru vzhľadom k zvaračovi (Valentovič 1999).

Jedným z najväčších nedostatkov zvarových spojov je, že pri zaváraní sa do materiálu privádza teplo (tlak), čo má za následok deformácie zvarenca ako je vidieť na obr. 39.



Obr. 39 Deformácia zvarov (Bolek 1989).

- a) deformácia pri jednostrannom V zvare, b) deformácia pri jednostrannom kútovom zvare, c) deformácia pri obojstrannom kútovom zvare.

3.3.3.4 Spájkované spoje

Spájkovanie je metóda metalurgického spájania kovových predmetov iným kovom (spájkou), ktorého teplota tavenia je nižšia, ako teplota tavenia spájaného materiálu. Spoj

vzniká roztavením spájky do kvapalného stavu, pomocou adhézie – príľnavosti kovu a spájky a čiastočne aj vplyvom difúzie – prelínania častíc spájaného kovu a spájky.

Spojenie spájkovaním je nerozoberateľné spojenie alebo podmiennečne rozoberateľné spojenie kovových súčastí alebo tiež nekovových súčastí vytvorené tenkou vrstvou spojovacieho prostriedku – spájky.

Vzájomná poloha spojovaných súčiastok sa zaisťuje *materiálovým stykom*. Spoj sa vytvára tým, že spájka vložená do dotykovej medzery sa roztaví, pričom sa zleje s materiálom na dotykových plochách. Aby sa podporilo vytvorenie zliatiny, pridáva sa do dotykovej medzery *tavidlo*, ktoré zároveň zbavuje dotykové plochy nečistôt a kyslíčnikov.

3.3.3.4.1 Spájky

Spájky sú kovy alebo zliatiny kovov, ktoré sa pri svojej pracovnej teplote zlejú s materiálom spájkovaných súčiastok v *dotykovej medzere*. Pracovná teplota spájky má byť najmenej 50°C pod bodom tavenia spájkovaných súčiastok, aby sa spájkovaním súčiastky neroztavili.

Rozdelenie spájok

- Normované cínové spojky sú opísané v ČSN (STN) č. 423738, 423737, 423637, 423636, 423635, 422634, 423657, 423655, 4236.....23652.
- Normované strieborné spájky sú opísané v ČSN (STN) 423805, 423808, 423811, 423822, 423815, 423819, 423806, 423825, 423.....423813.
- Normované mosadzné spájky sú opísané v ČSN (STN) 423374, 423372, 423227, 423228, 423371.
- Normované *spájky na hliník* sú opísané v ČSN (STN) 424232, 424230.

Cínové spájky sú zliatiny činu a olova, pričom obsah cínu je 4 až 99%. Pracovná teplota je od 240 do 370°C.

Strieborné spájky sú zliatinami hlavne striebra, medi, zinku. Obsah striebra je od 10 do 50%, Pracovná teplota je v rozsahu 700 až 900°C.

Mosadzné spájky sú rôzne normované mosadze (zliatiny medi a zinku) s prímiesami striebra, kremíku, cínu a i. Pracovná teplota je 800 až 950°C.

Spájky na hliník sú zliatiny hliníku s kremíkom. Pracovné teploty sú okolo 600°C. V mikroelektronike a elektronike sa používajú tiež *zlaté spájky*.

Spájky sa dodávajú na trh vo forme drôtov, pášikov, zrníek, fólií tyčí, pást (prachová spájka zmiešaná s tavidlom).

Spájkovanie s teplotou **do 450°C** sa nazýva *spájkovanie na mätko* s teplotou **nad 450°C** sa nazýva *spájkovanie na tvrdo*.

3.3.3.4.2 Spájkovacie techniky

Spájkovanie spájkovačkou

Je to najbežnejší spôsob spájkovania na mätko napr. v opravárskej elektronike alebo v malosériovej elektronickej výrobe. Spájkované plochy je vhodné predom pocínovať, postriebriť alebo ponoriť v kolofónii. Vhodná je tiež trubičková spájka naplnená kolofóniou.

Spájkovanie plameňom

Spájkovanie plameňom sa používa pri spájkovaní na tvrdo. V sériovej výrobe tiež pri spájkovaní na mätko.

Ponorovacie spájkovanie

Ponorovacie spájkovanie spočíva v ponorení spájaných súčiastok do roztavenej spájky. Naraz možno vytvárať veľké množstvo spojov, preto je časté v sériovej výrobe.

Spájkovanie cínovou vlnou

Spájkovanie cínovou vlnou tiež využíva trvalé roztavený kúpeľ spájky. Špeciálne čerpadlo vytvára na hladine kúpeľa vlnu. Vrcholu vlny sa dotýkajú pohybujúce sa dosky plošných spojov pripravené k spájkovaniu. Spájka sa uchytáva len v miestach, ktoré nie sú chránené ochranným lakom (maskou).

Elektronické spájkovanie

Na elektronické spájkovanie sa využíva elektrický prúd prechádzajúci spojom na odporový ohrev spoja. Používa sa tiež indukčný ohrev.

Spájkovanie v priebežnej peci s ochrannou atmosférou

Spájkovanie v priebežnej peci sa používa napr. pri tvrdom spájkovaní v hromadnej výrobe. Ochranná atmosféra tu nahradzuje tavidlo. Výrobok nie je tavidlom znečistený, odpadá pridávanie tavidla. V mikroelektronike sa používa ochranná atmosféra dusíková. Výhodnejšia by bola atmosféra vodíková. Vodík nielenže bráni vzniku oxidov, ale i existujúce oxidy na povrchu súčiastok rozrušuje. Vodík je horľavý a výbušný, preto sa používajú nevýbušné zmesi dusíka a vodíka (formovacie plyny).

Spájkovanie pomocou spájkových pást

Zatiaľ sa využíva hlavne v elektronike na pripojovanie elektronických a mikroelektronických súčiastok k podložke.

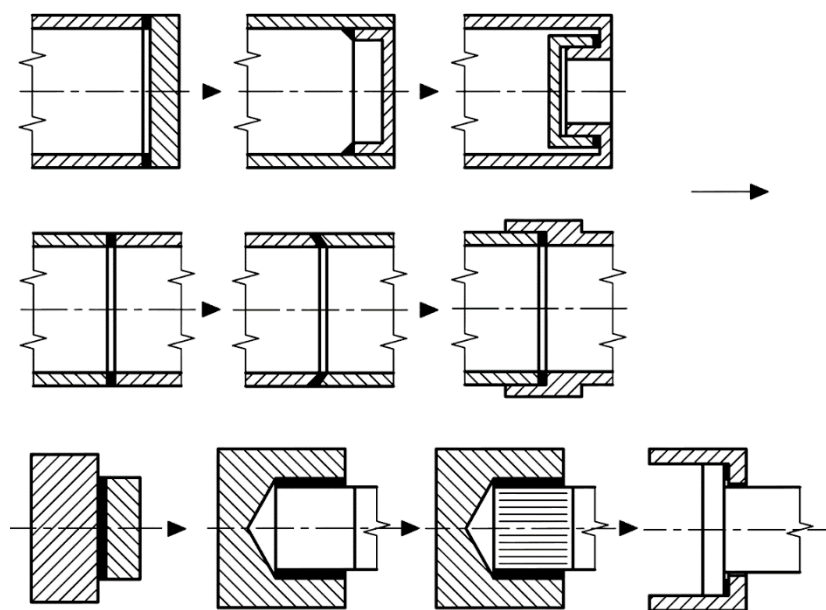
Najbežnejší postup je nasledovný. Podložka (doska plošného spoja, keramická doštička) sa vloží do stroja, ktorý technikou sieťotlače nanesie na príslušné miesta tenké vrstvy pasty spájky. Podstatou sieťotlače je pretláčanie pasty cez nezalepené okienka drôtovej alebo textilnej sieťky na príslušnú súčiastku (podložku).

Po takto vytvorených ostrovčekov pastovej spájky sa potom automaticky vkladajú súčiastky, ktoré sa dočasne na ostrovčeky prilepia. Nasleduje intenzívny ohrev podložky a hromadné pripojenie všetkých súčiastok.

3.3.3.4.3 Konštrukcia spájkových spojov

Obecne možno spájkový spoj považovať za miesto najmenejšej pevnosti, v ktorom sa výrobok pri silovom namáhaní spravidla poruší. Platí to hlavne o mäkkých spájkových spojoch. Preto ak je to možné, spájané súčiastky sa najprv podmienene spoja tvarovým spojením odolným proti mechanickému namáhaniu a až potom sa tento spoj prespájkuje.

Príklady nevhodných a vhodnejších konštrukcií spojov sú na obr. 40. Spájka v spoji plní úlohu tesnenia (pri nádobách, potrubia a pod.) alebo úlohu dokonalého elektrického spoja, pričom ešte zvyšuje pevnosť pôvodného tvarového spoja.



Obr. 40 Hodnotenie spájkovaných konštrukcií (Valentovič 1999).

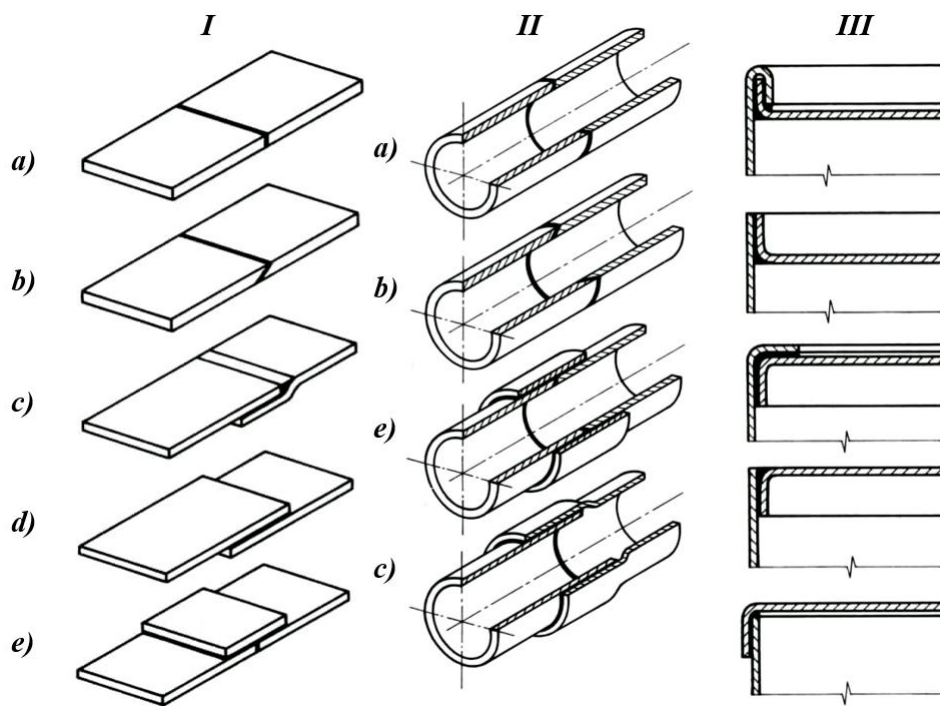
Je vhodné ak pri spájkovaní je zabezpečená vzájomná poloha spájkovaných súčiastok ich vzájomným zapadnutím alebo pomocou vhodného prípravku. Ručné vzájomné polohovanie súčiastok je akceptovateľné len v opravárstve. V sériovej výrobe sa často používa spájkovanie pri ktorom spájka zatečie do spájkovacej medzery. Spájkovacia medzera nesmie byť ani príliš malá ani príliš veľká. Do malej medzery spájka neprenikne, pri veľkej medzere adhézne sily musia pohybovať veľkou hmotou spájky, preto spájka tiež neprenikne do celej medzery a jej spotreba je veľká. Hrúbka medzery býva v rozsahu 0,2 až 0,5 mm pri zospájkovaní čapov do dier. Kvalitné spájkovanie vyžaduje najprv predhriať aspoň jednu (hmotnejšiu) spájkovanú súčiastku na spájkovaciú teplotu. Tým sa roztaví i priložená dávka spájky.

V mikroelektronike sa spájkovanie používa napr. na vodivé pripájanie kremíkových čipov ku kovovej podložke. Ide o dva materiály rôznej tepelnej rozťažnosti. Aby sa eliminovali vnútorné pnutia v spoji, spájkovanie sa vykonáva v priebežnej peci s postupným pomalým ohrevom a postupným pomalým klesaním teploty po spájkovaní. Spájkovanie prebieha v ochrannnej plynovej atmosfére. Spájkovanie hlavne s búrlivým rozvojom elektroniky nadobúda stále viac na význame. Pri automatizácii spájkovania vznikajú problémy s dávkovaním spájky z drôtu, pásiku a pod.

Presné dávkovanie je také, že sa na miesto spájkovania privedie ústrižok spájky. Jednoduchší než postupný prívod ústrižkov na mnoho spájkovacích miest je opísaný spôsob sieťotlačového naniesenia spájkovacej pasty súčasne na všetky spájkované miesta.

Miesto strihania drôtu či pásiky sa najnovšie používa dávkovanie odtavením konca drôtu spájky, ktorý je na určitú dobu v styku s predhriatou súčiastkou.

Najväčším problémom spájkovania v elektronike je nebezpečie výskytu tzv. studených spojov. Studený spoj po spájkovaní vedie elektrický prúd, po krátkej dobe však prestane plniť túto funkciu. Príčinou studených spojov je obvykle nedostatočná čistota spájkovaných plôch, nevhodná spájka alebo tavidlo, hlavne však nedostatočný predohrev spájkovaných častí a nedostatočná teplota tekutej spájky. Pri dobrom spájkovaní nesmie spájka na spájkovanej ploche tvoriť polguľové kvapky, ale sa musí rozlúť do tvaru kužeľa, ktorého povrchy majú s plochou zvierat' malý uhol cca do 15° až 20°. Je potrebné, aby osoby vykonávajúce spájkovanie absolvovali špeciálny kurz (Valentovič 1999). Príklady spájkovaných spojov sú uvedené na obr. 41.



Obr. 41 Príklady spájkovaných spojov (Bolek 1989).
 I – spoje plechov, II – spoje rúrok, III – nádrže na nízky tlak kvapalín
 a) tupý spoj, b) spoj so šikmou škárou, c) Spoj s vyhnutým,
 d) preplátovaný spoj, e) spoj s jednou stykovou doskou.

3.3.3.4.4 Zásady konštruovania spájkových spojov

Požiadavky na konštrukciu spájkovanej súčiastky

Odlišujú sa od požiadaviek na zváranú súčasť. V danom prípade je potrebné zabrániť vysokej koncentrácii napätí v spájkovanom spoji, ktoré môžu spôsobiť predčasnú poruchu spoja. Pri výbere vhodného typu spájkovaného spoja má rozhodujúcu úlohu druh, smer a veľkosť prevádzkového namáhania a typ kombinácie spájky – základný materiál.

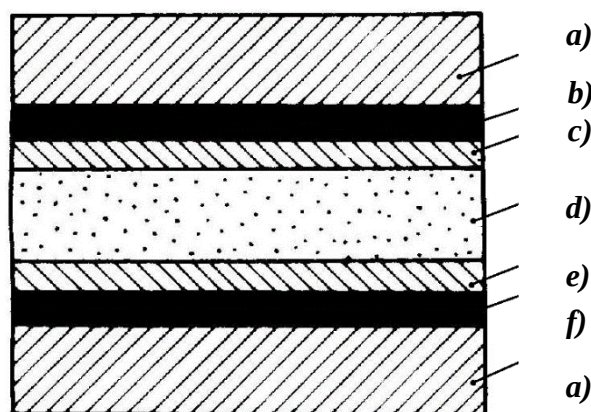
Hlavné zásady

- podľa možnosti použiť preplátovaný spoj vhodných rozmerov, resp. voliť taký tvar spoja, ktorý umožní premiestniť existujúce koncentrácie napätia z okrajov spoja do základného materiálu,
- v mieste spoja je potrebné navrhovať rovnaké prierezy spájkovaných súčiastok,
- stanoviť vhodnú šírku medzery v spoji, konštantnú po celej dĺžke,
- určiť optimálne množstvo a tvar spájky,
- umiestniť spájku na vhodnom mieste,
- zabrániť zatekaniu spájky mimo spoja,
- odvzdušniť spájkovaný spoj,

- predpísať vhodnú úpravu spájkovaného povrchu,
- vhodne zabezpečiť polohu spájkovaných dielov (Valentovič 1999).

3.3.3.5 Lepené spoje

Pod pojmom lepenie rozumieme spojovanie dvoch alebo viacerých súčiastok povrchovou príľnavosťou a vnútornou súdržnosťou (adhéziou a kohéziou) lepidla bez toho, aby sa zmenila štruktúra ich materiálu. Štruktúra lepeného spoja je zobrazená na obr. 42.



Obr. 42 Štruktúra lepeného spoja (Valentovič 1999).

a) základný materiál, b) adhézna zóna, c) prechodová kohézna zóna, d) kohézna zóna, e) prechodová kohézna zóna, f) adhézna zóna.

V porovnaní s klasickými technológiami spojovania kovových súčiastok napr. nitovanie, skrutkovanie, zváranie a pod.) má lepenie tieto **výhody**:

- možnosť vzájomného spojovania a takmer všetkých materiálov,
- nedochádza k zmene štruktúry spojovaných materiálov,
- lepené spoje sú vodotesné i plynosťné,
- hladký a čistý povrch spojov a ich okolia,
- jednoduchosť konštrukcie,
- možnosť vytvorenia elektricky vodivých spojov (vodivé lepidlá),
- pružnosť lepeného spoja,
- úspora pracovného času.

Za **nevýhody** lepených spojov sa považujú:

- pomerne nízka pevnosť spoja,
- potreba úpravy povrchov pred lepením,
- dlhé vytvrdzovanie časy pri normálnej teplote u niektorých lepidiel,
- nerozoberateľnosť spoja,
- obtiažny a pomerne nespoľahlivý pevnostný výpočet (Valentovič 1999).

3.3.3.5.1 Rozdelenie lepidiel

Lepidlá môžeme deliť podľa rôznych hľadísk, z ktorých najdôležitejšie sú:

a) konzistencia:

- lepidlá tuhé (fólie, tyčky a pod.)
- lepidlá polotuhé (pásky, pasty),
- lepidlá tekuté (v roztoku, lepidlá disperzné),

b) spôsob tuhnutia:

- *lepidlá reaktívne*: Tieto lepidlá sú buď jedno, dvoj alebo viaczložkové. Jednozložkové tuhnú účinkom zvýšenej teploty alebo vzdušnej vlhkosti. Lepidlá viaczložkové tuhnú ako dôsledok reakcie základnej zložky a katalyzátora za normálnej alebo zvýšenej teploty.
- *lepidlá nereaktívne*: Tieto môžu byť roztokové (tuhnú vyprchávaním vody alebo rozpúšťadla), disperzné (tuhnú vsiaknutím vody do podkladu) alebo taveninové (tuhnú ochladením na normálnu teplotu),

c) tepelné vlastnosti filmu lepidla:

- lepidlá termosetické (epoxidové, polyesterové, polyuretánové, fenolické a pod.),
- lepidlá termoplastické (polystyrénové, polyamidové a pod.),
- lepidlá elastomerné (kaučuky),
- lepidlá modifikované (Valentovič 1999).

3.3.3.5.2 Technologický postup lepenia

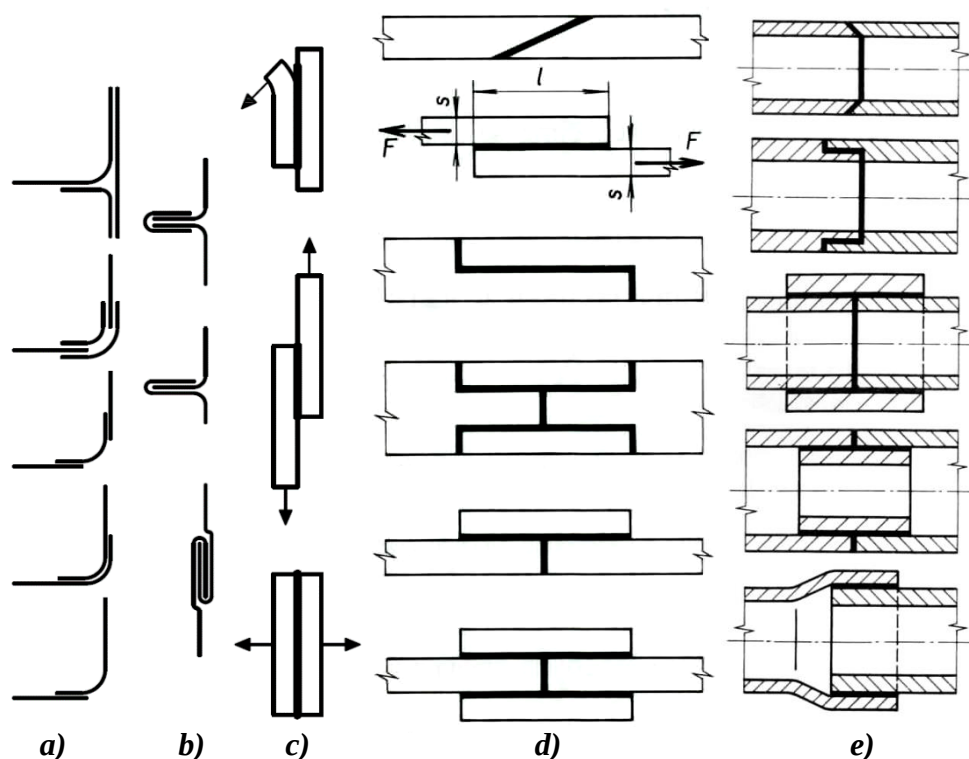
Obvyklý postup je nasledovný:

- **mechanická úprava** (zdrsnenie povrchu): Je vhodná takmer pre všetky kovové materiály. Vykonáva sa otryskávaním pieskom, šmirgľovaním a pod.
- **polohovanie spojovaných súčiastok,**
- **príprava lepidla:** U dvojzložkových lepidiel je to odmeranie dávok zložiek a ich dokonalé zmiešanie. U niektorých dvojzložkových lepidiel v prípade miešania veľkých objemov zložiek môže byť teplo vzniknuté z reakcie medzi zložkami tak veľké, že celá miešaná dávka stvrdne. Preto treba miešať len malé dávky. Výpary vznikajúce pri miešaní i leptaní treba odsávať. Niektoré výpary sú karcinogénne!
Jednozložkové lepidlo obsahuje len jeden komponent a možno ho nanášať priamo z obalu, v ktorom sa dodáva.
- **nanášanie lepidla:** Vykonáva sa buď ručne (štetcom, injekčnou striekačkou a pod.) alebo pomocou nanášaných pištolí pohybovaných človekom, mechanizmom alebo robotom,
- **vytvrdzovanie lepidla:** Môže prebiehať za tepla alebo za studena. Tento proces je závislý od druhu a zloženia lepidla. Zvyšovaním teploty sa vytvrdzovací čas skracuje. Nové tzv. „sekundové“ lepidlá vytvrdzujú do doby 1 sekundy. Pozor na zleptanie prstov!
- **kontrolu lepeného spoja:** Možno previesť deštruktívnymi skúškami (ohyb, šmyk, odlupovanie) alebo nedeštruktívne – napr. röntgenom, ultrazvukom (rovnosť nánosu lepidla) (Valentovič 1999).

3.3.3.5.3 Zásady konštruovania lepených spojov

- vzhľadom na nízku pevnosť lepených spojov, podobne ako u spájkovaných spojov (obr. 41, 42), treba konštruovať spoj tak, aby lepený spoj pridržoval súčiastky len v jednom smere, v ktorom pôsobia malé sily. V ostatných smeroch má vzájomnému pohybu brániť vhodný tvar súčiastok.
- lepené plochy majú byť dostatočne veľké.
- lepený spoj môže byť namáhaný ťahom (obr. 43), menej šmykom, najmenej silami vyvolávajúcimi odlupovanie. Lepené spoje sú málo odolné proti odlupovaniu.
- najlepšie je ak pôsobiace sily zachytia tvarový spoj (napr. lemový spoj obr. 43b) a lepidlo slúži hlavne ako tesnenie.

- pevnosť spoja sa zvýši použitím prídavných lišt a príložiek (obr. 43a) (Valentovič 1999).



Obr. 43 Príklady lepených spojov (Bolek 1989).

a) lepený spoj s prídavnými lištami, b) spevnenie spoja lemovaním,
c) Možnosti zaťaženia lepeného spoja, d) lepené spoje plechov, e) lepené spoje rúrok.

3.3.3.6 Tmelené spoje

Tmelený spoj je spojenie dvoch súčiastok, pri ktorom je prvá zo súčiastok opatrená dutinou do ktorej je s veľkou vôľou vložená druhá súčiastka, pričom túto vôľu vyplňuje plastická vytvrdzovateľná látka-tmel.

U lepeného spoja má spojovací materiál čo najmenšiu hrúbku a prakticky neovplyvňuje rozmery výrobku. U tmeleného spoja sú korešpondujúce plochy spájaných súčiastok spravidla rôzneho tvaru, pričom existujúcu dutinu vyplňuje tmel. Tmely sa tiež využívajú na vyrovnanie nerovností odliatkov a zvarencov pred ich lakovaním.

Tuhnutie tmelu prebieha buď následkom *fyzikálnej zmeny* skupenstva po ohriatí sa tmel roztaví, naleje sa do dutiny a po vychladnutí stuhne alebo následkom *chemických zmien* prebiehajúcich v tmelom zaplnenej dutine (napr. reakcie medzi riediacou vodou a sadrou, cementom a pod.).

Do prvej skupiny patria z „klasických“ tmelov: pečatný vosk, kolofónia, sírové a voskové tmely, silikónová pasta a i.

Do druhej skupiny patria z „klasických“ tmelov: sadra, mramorový cement, magnéziový tmel, olovený glej.

Na trhu sa objavujú nové druhy tmelov, ktoré sú zmenou dvoch chemických substancií: plnivo (obvykle v práškovej forme) a spojivo (obvykle v tekutej forme). Tieto tmely sú vyvíjané pre určité druhy využitia – napr. tmely vhodné pre spájanie kovových častí a keramickej izolácie v elektrotechnike, tmely na spájanie skla a kovu (napr. banky, žiarovky a objímky), lakovacie tmely a iné.

Príklady tmelených spojov

1. Pritmelenie koncových čapíčiek na konci sklenenej trubičky nízko ampérových tavných poistiek,
2. Zatmelenie banky teplomeru, vodováhy resp. iného skleneného prístroja do kovového puzdra,
3. Pritmelenie kovového závitového nákrutku ku koncu sklenenej trubky,
4. Zatmelenie zařírového ložiska do kovovej frézy prístroja,
5. Zatmelenie kovových závitových vložiek, uchytávacích skrutiek a iných kovových častí do keramickej alebo kameninovej dosky,
6. Pritmelenie kovových matíc na konci izolátorov vysokého napätia,
7. Zatmelenie okenných tabúl do rámov,
8. Pritmelenie banky žiarovky v závitovej objímke.

Výhody tmelených spojov:

- spojované súčiastky môžu byť vyrobené nepresne,
- nízka cena spoja,
- možnosť spojenia rôznorodých látok.

Nevýhody tmelových spojov:

- nízka pevnosť spoja,

- starnutie tmelu spojené s poklesom pevnosti spoja (vysušanie alebo bobtnanie tmelu).

Pevnosť tmelového spoja zvyšujeme tým, že vzájomne tmelené plochy nie sú hladké, ale úmyselne tvarované v tvare zubov, aby spojenie nebolo len adhézne ale i tvarové.

Ďalej dbáme na to, aby pokiaľ možno tmel bol namáhaný nie na ťah, ale na tlak, lebo pevnosť v tlaku tmelu je podstatne vyššia ako v ťahu. Niektoré tradične tmelené spoje boli úspešne nahradené spojmi *zalisovanými*. Zalisovacou látkou je napr. epoxidové dvojzložkové lepidlo, ktoré po vytvrdnutí stuhne na tuhý útvar, ktorý má dobré dlhodobé mechanické vlastnosti (na rozdiel od tmelov). Niekedy sa zalievaním elektronických prvkov priamo vyrobí ich ochranné puzdro.

Vo výrobe transformátorov, cievok, rotorov a statorov elektromotorov používame druhotné izolovanie *máčaním* alebo *striekaním* hotového vinutia izolačným lakom resp. iným izolačným prostriedkom. Zlepovaním alebo zalievaním skleneného textilu alebo textilu z uhlíkových vlákien umelými živicami vznikajú výrobky vyznačujúce sa vysokou pevnosťou pri malej hmotnosti, ktoré sú stavebným materiálom budúcnosti všade tam, kde je potrebné znižovať hmotnosť (vozidlá, lietadlá). Miesto orientovaného textilu sa používa niekedy neorientovaná „vláknová sečka“. Takáto hmota sa nazýva obchodne **PREPREG**. Sú z nej zhotovené napr. nárazníky automobilov a pod. (Valentovič 1999).

Kombinované spojenie (hybridné spoje) napr. lepený spoj, ktorý je poistený ešte nitom, alebo iným mechanickým spôsobom. Tieto spoje nachádzajú čoraz širšie uplatnenie. Lepidlá majú veľa užitočných atribútov (napr. nízka hmotnosť, zabezpečuje tesnosť, lepšie rozloženie napätia atď.), ale sú zraniteľné v režime odlupovania. Lepidlá sa zvyčajne nestretávajú s odlupovacími silami, stretávajú sa so šmykovými silami a nárazovými silami, ale stále existuje obava z možnosti odlupovania lepidla. Preto pridanie nitu alebo iného mechanického upevňovacieho prvku do spoja zabraňuje zlyhaniu lepidla. Hybridný spoj kombinuje výhody lepenia a použitia spojovacieho prvku, aby doplnil ich silné stránky a prekonal všetky slabiny. Príspevky lepidla k spoju zahŕňajú; úplne utesnenie spoja lepidlom, aby sa zabránilo korózii, aby sa znížil hluk, vibrácie a ruch (NVH – Noise, Vibration & Harshness) a vytvorilo sa súvislé spojenie pozdĺž celej plochy, čo zväčšuje oblasť spojenia pre lepšie rozloženie napätia. Príspevok mechanického spojovacieho prvku, ktorý poskytuje spoju, sú: zvýšená pevnosť v odlupovaní, okamžité upevnenie (bez oneskorenia vytvrdnutia) a skutočnosť, že upevňovacie prvky sú známe a dôveryhodné (tab 6).

Tab. 6 Dôvody pre vytváranie hybridných spojov kombináciou mechanických spojov s lepením (Mareš 2024)

Bodový spoj	Hybridný spoj	Lepený spoj
Klady: - odolné proti odlepeniu - okamžitý účinok - overené, spoľahlivé Zápory: - oslabené na strih - pridaná hmotnosť - koncentrácia napätia	Klady: - pevný spoj - strihová pevnosť - odolnosť voči odlepeniu - zvýšená tuhosť - zvýšená životnosť - celistvý tesniaci spoj Zápory: - zložitá oprava	Klady: - pevnejší v strihu - zabezpečuje tesnosť - nízka hmotnosť - rozloženie napätia - zvýšená tuhosť Zápory: - oslabený na odlepenie - potrebná fixácia

3.4 Progresívne metódy spájania súčiastok

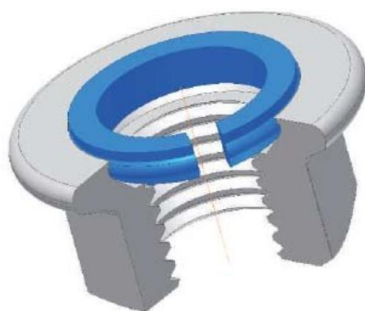
Nové spájacie metódy sú stále vyvíjané. Často sú založené na znalostiach, ktoré umožňujú spájanie špeciálnych materiálov. Technológie mechanického spájania materiálov, ako napríklad skrutkovanie, samonosné nitovanie, zaist'ovanie a kombinácie týchto spôsobov boli zavedené aby nahradili klasické spájanie pomocou zvarovania (Kaščák a kol. 2013).

3.4.1 Systémy poist'ovania skrutkových spojov

V nasledujúcej podkapitole sa pojednáva o systémoch, ktoré patria medzi najlepšie v 21. storočí. Ide o dva progresívne systémy, ktoré sa vynímajú svojou prepracovanosťou.

3.4.1.1 Systém IstLock

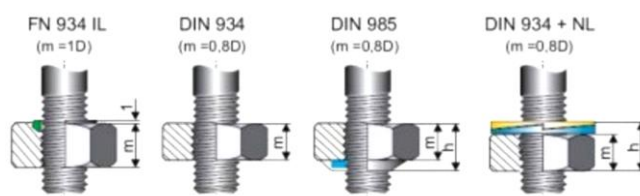
Princíp je založený na aplikácii variabilného deleného poistného krúžku, ktorý je z plastu alebo kovu aby zvládal vyššie teploty. Je namontovaný na montážnej strane matice. V momente dotyku tento krúžok znižuje svoj priemer, čím vytvorí pevné spojenie potrebné k poisteniu. IstLock je jediným skrutkovým spojom s dvomi rôznymi koeficientmi trenia: počas montáže malé trenie, po utiahnutí vysoké trenie (obr. 44). Práve táto skutočnosť vytvára ideálne podmienky pre funkciu SS (Dominik 2008).



Obr. 44 Príklad aplikácie poistného systému IstLock (Dominik 2008).

Odolnosť voči samovoľnému uvoľňovaniu účinkom vibrácií:

- Vibračný prístroj Junker – pracuje na princípe priečneho dynamického zaťažovania.
- Skúšobné zariadenie EDYZ – pracuje na princípe axiálneho dynamického zaťažovania (Dominik 2008).



Obr. 45 Testované matice JUNKER test (Dominik 2008).

Koleso, ktoré sa kotúľa samovoľne na ceste, dokáže spôsobiť veľké škody, ale dokonca aj zabíť. Najväčší risk vzniká pri prvých 50 až 100 [km], po tom čo je koleso zaistené. Práve z toho dôvodu bol zavedený systém IstLock pre kamióny. ILS má široké využitie najmä v automobilovom priemysle. Tento systém dokáže efektívne potlačiť axiálne a radiálne vibrácie. Je využívaný u mnohých značiek, napr. Renault, MAN, DAF, Scania, Iveco alebo Volvo.

Medzi výhody systému IstLock patrí:

- Bezpečnosť počas jazdy.
- Takmer neobmedzená životnosť vďaka plastovému krúžku, ktorý môže byť ručne kedykoľvek vymenený (IstLock matice majú veľmi dobrú opakovateľnosť).
- Nízka závislosť od koeficientu trenia.
- Nezávislosť od typu materiálu a závitu.
- Nepoškodenie dosadzacej plochy.
- Voľné otáčanie počas montáže/demontáže
- Žiadne teplo generované z trenia (Ferodom 2015).

ILS môže byť využitý pre akékoľvek štandardizované alebo neštandardizované matice. Medzi materiály patria ocele triedy 5, 6, 8.8, a 10.9 antikoročná oceľ, farebné kovy (meď, hliník, mosadz) a plast. Ako povrchová úprava môže slúžiť zinok. Teplota plastového krúžku je 140 [°C], pričom teplota krúžku z medi je viac než 1000 [°C] (Ferodom 2009).



Obr. 46 Druhy IstLock matic: a – šesťhranná matica, b – šesťhranná klobúčková matica, c – šesťhranná matica s prírubou, d – Torx matica (Dominik, Žmind'ák 2011).

3.4.1.2 Systém TaTrim

Výhodou systému TaTrim je jeho jednoduchá montáž a schopnosť poistiť zaskrutkované komponenty nezávisle od trenia a veľkosti krútiaceho momentu. Je vhodné ich použiť manuálne na maticu a oprieť dlhšou časťou na najbližší suport. Rameno sa zachytí o suport a zabráni odpadnutiu matice počas jazdy (Dominik 2014).



Obr. 47 Test vibrácií EDYZ (Ferodom 2015).



Obr. 48 Použitie systému TaTrim (Ferodom 2015).

3.4.2 Systémy poist'ovania skrutkových spojov

Automobilové závody čelia mnohým nátlakom medzi ktoré patria zníženie hmotnosti vozidla, vylepšenie palivovej ekonomiky, zníženie emisií a obohatenie bezpečnosti a výkonu vozidla. V súčasnosti patria mechanické spojenia medzi progresívne metódy, ktoré sa začínajú používať najmä v automobilovom priemysle.

3.4.2.1 Základné metódy, ich výhody a nevýhody

Výhodou systému TaTrim je jeho jednoduchá montáž a schopnosť poistiť zaskrutkované komponenty nezávisle od trenia a veľkosti krútiaceho momentu. Je vhodné ich použiť manuálne na maticu a oprieť dlhšou časťou na najbližší suport. Rameno sa zachytí o suport a zabráni odpadnutiu matice počas jazdy (Dominik 2014).

Moderné ľahké kostry vozidla začínajú byť viac a viac komplexné než ich predchodcovia. V dnešnej dobe majú materiály viac špecifické využitie a taktiež sa omnoho viac využívajú vysokopevné ocele, hliníkové zliatiny, antikoročné ocele a zosilnené polyméry. Spájanie týchto materiálov často vyžaduje novú alebo vylepšenú metódu spájania (Kaščák a kol. 2013). Všetky mechanické spojovania patria medzi procesy spájania materiálov za studena. Jednou zo základných výhod mechanického spojovania je mobilita materiálov po ich spojení. Iné výhody mechanického spojovania:

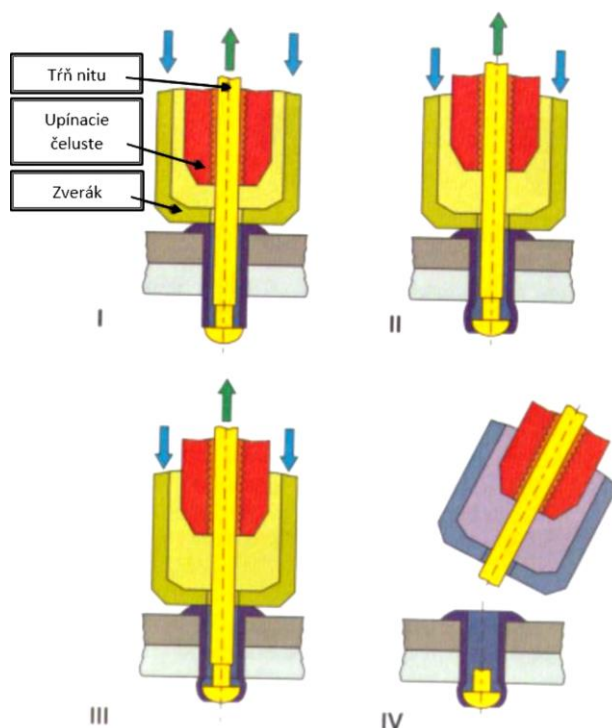
- žiadna tepelne ovplyvnená oblasť,
- bohatý výber materiálov,
- vysoká pevnosť,
- ľahká kontrola kvality,
- žiadne emisie alebo znečistenia.

Medzi nevýhody patrí:

- občas je ťažká alebo až nemožná ich oprava,
- mnoho nitov je patentovaných a ich využitie znamená vyššie ceny (Swantec 2020).

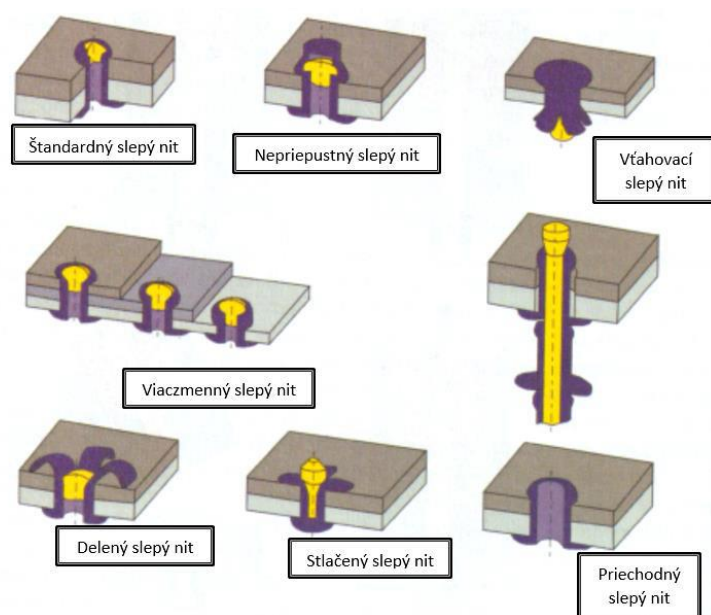
3.4.2.2 Slepé nitovanie

Takzvané „slepé nity“ sa používajú v situáciách kde nie je prístup k zadnej (slepej) časti nitu. Nity pozostávajú z dvoch častí; jedna sa nazýva telo a ďalšia driek. Na použitie slepeho nitu je potrebné vyvrtáť diery a následne vložiť nit do predvrtanej diery (obr. 49).



Obr. 49 Princíp slepého nitovania (Kaščák a kol.2013).

Nitovací nástroj vytiahne driek proti telu, pričom zadná časť drieku má buď malé vydutie na konci alebo je spojená s telom, vďaka čomu sa okraje tela rozširujú smerom dole k materiálu. Akonáhle toto rozťahnutie bude mať na dosah materiál, vytvorí tlak v drieku, ktorý po dosiahnutí maxima praskne. Za sebou zanechá dokonale nainštalovaný nit (Albany County Fasteners 2020).

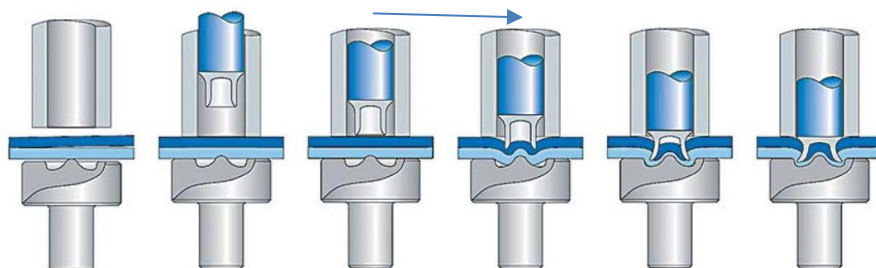


Obr. 50 Typy slepých nitov (Kaščák a kol.2013).

Slepé nity (obr. 50), patria medzi nerozoberateľné spoje, ale občas je treba ich odstrániť. Na ich odstránenie je potreba vrták rovnakého, prípadne o niečo väčšieho priemeru a prevrtať dieru skrz nit. Pred samotným vrtaním je treba sa uistiť, či je vrták z vhodného materiálu na vrtanie do materiálu nitu (Albany County Fasteners 2020). Niektoré typy poistení zahŕňujú uzamykacie a hnacie nity. Uzamykacie sú odolné voči vibráciám a majú menšiu šancu zlyhať pri vysokom strihovom zaťažení. Hnacie sa používajú pri priechodných dierach na zaistenie plechov, alebo pri nepriechodných dierach na zaistenie dreva a iných materiálov s nízkou hustotou (Kaščák a kol. 2013).

3.4.2.3 Samonapichovacie nitovanie

Ide o proces spájania materiálov za studena. Počas montáže je nit tlačенý riadenou silou do materiálu kde prepichne vrchnú vrstvu alebo vrstvy materiálu. Nit je radiálne rozpínaný do spodnej vrstvy pod vplyvom formy, čím vytvára silný mechanický blok. Nit sa nedostane skrz poslednú vrstvu materiálu. Celý proces samonapichovacieho nitovania (obr. 51), trvá približne 1,3 až 3 sekundy (Assembly 2018).



Obr. 51 Princíp samonapichovacieho nitovania (Assembly 2018).

Výhody samonapichovacieho nitovania:

- Využitelný pri materiáloch, ktoré sa nedajú zväť.
- Využitelný pri odlišných materiáloch naraz.
- Najmenšie poškodenie ochranných vrstiev materiálu.

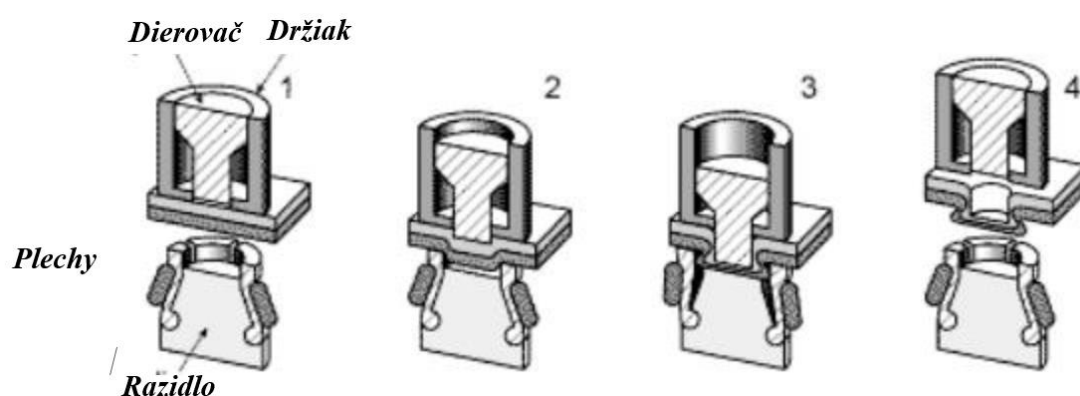
Nevýhody samonapichovacieho nitovania:

- Výsledok nezanechá za sebou dokonale zarovnaný povrch.
- Možnosť vzniku korózie v dôsledku hromadenia vlhkosti v medzerách medzi nitom a plechmi (Swantec 2020).

3.4.2.4 Zalisovanie

Jedná sa o spojovaciu techniku bez použitia spojovacích prvkov. Táto metóda bola vyvinutá na základe lisovania aby sa dosiahli ešte prepracovanejšie spojenia (Kaščák a kol. 2013).

Princípom zalisovania je vysokorýchlostné, mechanické spájanie kovových komponentov. Technológia sa ideálne používa na kovové pláty od hrúbky 0,5 mm do 6 mm vrátane. Zalisovanie nevyžaduje žiadne spotrebné materiály alebo vopred vyvrtané diery (obr. 52). Celá metóda je veľmi lacná a jednoduchá na použitie (TWI 2020).



Obr. 52 Operácie zalisovacieho procesu (TWI 2020)

Postup zalisovania by sa dal zhrnúť do 4 krokov:

1. Dierovač a držiak sa začnú hýbať smerom dole kde sú obrobky upevnené pružinovou silou držiaka.
2. Pôsobením dierovača sa materiál presunie do spodnej dutiny razidla kde vyformuje tvar pohára. Spájané plechy sa nachádzajú medzi razidlom a dierovačom, kde sa do nich dierovač jemne zalisuje. Tento čin zaistí že žiadny nežiadúci materiál z okolia nie je vtiahnutý do procesu zalisovania.
3. Hrúbka dna pohárika sa zníži rozrušením a materiál, ktorý je tlačný do drážky razidla v priečnom smere vyformuje potrebné podrezanie.
4. Po dosiahnutí maximálnej sily sa vytiahne dierovač a zvieracia sila prestane pôsobiť. Spojenie ďalej nevyžaduje žiadne dokončovacie práce (Kaščák a kol. 2013).

3.4.3 Prvky polyfunkčných spojov

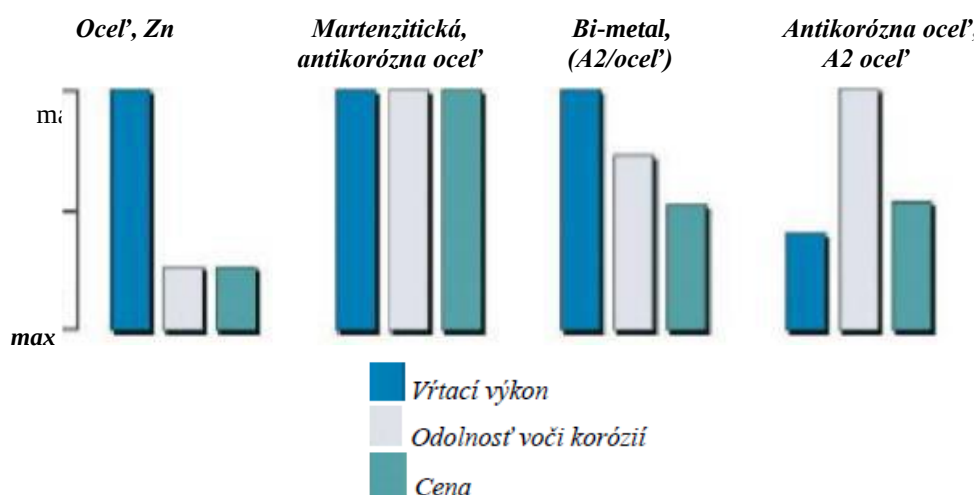
Automobilové závody čelia mnohým nátlakom medzi ktoré patria zníženie hmotnosti vozidla, vylepšenie palivovej ekonomiky, zníženie emisií a obohatenie bezpečnosti a výkonu vozidla. V súčasnosti patria mechanické spojenia medzi progresívne metódy, ktoré sa začínajú používať najmä v automobilovom priemysle.

PFS sú také spoje, ktoré okrem klasickej funkcie spájania dokážu splniť aj sekundárne funkcie, ktorými sú vyvrtanie otvoru pod závit, vyrezať závit, ochrana, tesnenie, funkcia podložky a pod. Každá z týchto pomocných funkcií prispieva k racionalizácii montáže. Polyfunkčné spoje znižujú výrobný čas montáže, čo pre výrobcov znamená zníženie nákladov. Preto patria medzi jednu z možností ako dosiahnuť nižší čas montáže a menšie náklady na výrobu (Dominik 2012).

3.4.3.1 TEK skrutky

Medzi TEK skrutky sa zaraďuje široká škála produktov pre rôzne aplikácie. Preto je dôležité si vybrať vhodnú skrutku pre konkrétnu aplikáciu. TEK skrutky, tiež nazývané aj samorezné skrutky, sú zakončené vrtákom, ktorý im umožňuje sa zavítať do materiálov ako kov alebo drevo bez predvrtania (TC FIXINGS 2019).

Sú vyrobené predovšetkým z ocelí, antikorózných ocelí, kombináciou rôznych ocelí, kde hlava a telo skrutky sú vyrobené z austenitických ocelí A2, pričom majú na sebe naspájkovaný malý oceľový vrták (Dominik 2012).



Obr. 53 Varianty TEK skrutiek a ich porovnanie (Dominik 2012)

Je možné ich rozdeliť do štyroch hlavných kategórií:

- šesťhranné TEK skrutky,

- zápusťné TEK Skrutky,
- TEK skrutky s valcovou hlavou,
- nízkoprofilové TEK skrutky (TC FIXINGS 2019).



Obr. 54 Druhy TEK skrutiek: 1 – Šesťhranná TEK skrutka, 2 – Zápusťná TEK skrutka, 3 – TEK skrutka s valcovou hlavou, 4 – Nízkoprofilová TEK skrutka (TC FIXINGS 2019)

TEK skrutky sú vhodné najmä pre spájanie hrúbky plechov uvedených v tabuľke číslo 7 (Dominik 2012).

Tab. 7 Odporúčané hrúbky ocelových plechov pre TEK skrutky (Dominik 2012)

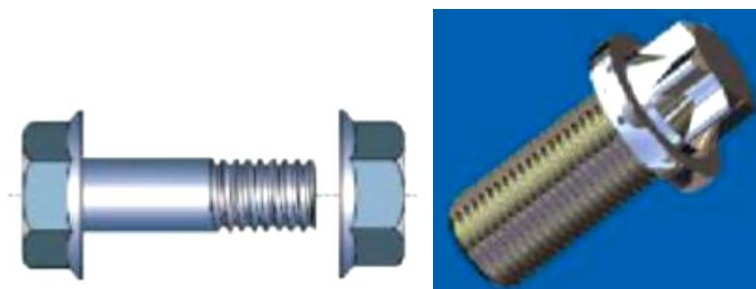
d ₁	2,9	3,5	(3,9)	4,2	4,8	5,5	6,3
h [mm]	0,7-1,9	0,7-2,25	0,7-2,4	1,75-3,0	1,75-4,4	1,75-5,25	2,0-6,0

Výhody TEK skrutiek:

- ušetrenie nákladov spôsobených vŕtaním a rezaním závitov,
- v spoji nie je potrebná matica,
- vhodné pre nepresné diery,
- jednoduchá logistika,
- po navŕtaní vznikne čistý spoj,
- rozumná montáž (Dominik 2012).

3.4.3.2 Skrutky, matice s prírubou alebo s integrovanou podložkou

Ide o typické PFS. Zlepšenie stupňa polyfunkcie je možné dosiahnuť dvoma spôsobmi, zvýšením koeficientu trenia na kontaktnej ploche alebo rebrovaním. Vďaka tomu, môžu slúžiť ako spoľahlivé spojovacie prvky (Dominik 2012).



Obr. 55 Skrutky a matice s prírubou (Dominik 2012)

Tieto PFS majú mnoho výhod, medzi ktoré patrí:

- znížený tlak na povrchu spájaných častí,
- menší počet montážnych dielov,
- menšie riziko vzniku korózie v spojoch,
- jednoduchá montáž,
- spoľahlivé voči samovoľnému uvoľneniu,
- možnosť spojenia príruby s akoukoľvek skrutkou alebo maticou,
- veľké zastúpenie vo svete = ľahká dostupnosť (Dominik 2012).

3.4.3.3 TEK Skrutky s trojuholníkovým prierezom

Skrutky formovaním vytvárajú protizávit, čím vznikne pevný spoj. Sú vybavené 3 alebo 4 chodovým závitom za účelom zjednodušenia montáže (obr. 56). Najväčšie využitie STP je v elektrotechnickom priemysle (Dominik 2012).

Výhody STP:

- eliminácia tvorby triesok,
- krútiaci moment je tvorený malým závitom,
- výborná odolnosť voči vibráciám,

- zníženie nákladov na montáž (Dominik 2012).



Obr. 56 TEK skrutka s trojuholníkovým prierezom (Dominik 2012)

Tab. 8 Zhodnotenie PFS vzhľadom na SPF (Dominik 2012)

PFS	Charakteristika	Funkcie	SPF
	Jednoduchá skrutka a matica	Spájanie	1
	Netvarované prírubové prvky, poistné matice, samorezné skrutky	Spájanie, poist'ovanie, rezanie závitů	2
	Tvarované prírubové prvky, TEK skrutky s trojuholníkovou hlavou	Spájanie, poist'ovanie, rezanie závitů	3
	TEK skrutky	Spájanie, poist'ovanie, vŕtanie, rezanie závitů	4-5
	Kridlové TEK skrutky s frézovacím pod hlavou	Spájanie, poist'ovanie, vŕtanie, rezanie závitů	5-6

PFS – polyfunkčné spoje, SPF – stupeň polyfunkcie

3.4.3.3 Skrutka AMTEC®

Názov AMTEC je skratka pre After Moulding TEChnology, čo znamená že SS sa vyhotoví až po vytiahnutí plastového dielu z formy. Skrutka patrí medzi ekonomicky výhodné a bezpečné priame skrutkovanie polymérových materiálov. Vďaka svojim vlastnostiam sú plasty elementárnou súčasťou súčasného priemyslu. Zaisťuje bezpečné a odolné spoje plastových komponentov (BOLLHOFF 2020).



Obr. 57 AMTEC® Skrutky: *a – skrutka so šošovkovou hlavou, b – skrutka so šošovkovou hlavou a nalisovanou podložkou (BOLLHOFF 2020).*

Princíp spočíva vo vyrezaní upínacieho závitu do skrutkovaného materiálu. Geometria závitú je zvolená tak, aby bola montáž jednoduchá a súčasne bola zaručená vysoká odolnosť proti vytrhnutiu. Využitie nájdú v mnohých odvetviach, napr. v automobilovom, elektrotechnickom a elektronickom priemysle alebo pri výrobe strojov či zariadení. Medzi výhody patria:

- bezpečné skrutkovanie,
- vhodné pre termoplasty a duroplasty,
- vysoké trhacie sily,
- optimalizovaný pomer medzi vonkajším priemerom a priemerom jadra,
- opakované skrutkovanie,
- vysoká samozvernosť v závite.

Prierez skrutky je tvarovaný trilobulárne, čo zabezpečuje zníženie momentu pri zaskrutkovaní, čím sa vytvoria priestory pre prenikajúci materiál. Plast dokáže odtekať bez poškodenia a vo vyrezanom závite nevznikajú žiadne pnutia (BOLLHOFF 2020).

3.4.4 Povrchové úpravy skrutiek

Väčšina povrchových vrstiev je tvorená tenkou vrstvou kovu nanesenou na povrch skrutky. U klasických povrchových úprav je pre skrutky preto nutné brať do úvahy hrúbku týchto vrstiev. Nutnosťou je brať ohľad na povrchovú vrstvu, pretože ak prekročí dovolenú medzu tolerančnej vrstvy, môže dôjsť k porušeniu funkčnosti závitu (FABORY 2020).

3.4.4.1 Mechanické poist'ovanie

Nylok® je samozverný prvok pozostávajúci z nylonu, ktorý je trvalo upevnený na závite spojovacieho prvku. Vytvára klin medzi spojovacím prvkom a časťou, ktorú postupne stláča nylon a vytvára spoj kov na kov oproti škvŕne. Výsledkom tohto spoja je dobrá odolnosť voči vibráciám a uvoľňovaniu. Nylon má výbornú pamäťovú charakteristiku, čo znamená že môže byť využitý opakovane (NYLOK 2020) (obr. 58).



Obr. 58 Nylok produkty: a) modrá nylonová škvŕna, b) červená nylonová škvŕna, c) vysokovýkonný samozverný nylonový nepriepustný prvok, d) modrá nylonová peleta, e) modrý nylonový pruh, f) Nylok poistná matica (NYLOK 2020).

Materiál Nyloku® je polyamid, jeho farba môže byť modrá alebo červená. Používa sa na závitky skrutiek od M1 až po M68. Medzi výhody Nyloku® patrí jeho opakovateľnosť, prispôbitelnosť, dobrá odolnosť voči vibráciám, odolnosť voči mazivám, palivám,

hydraulickým kvapalinám a väčšine rozpúšťadiel, možnosť aplikácie na rôzne veľkosti spojov a závitov, ekologická nezávažnosť a mnoho ďalších (NYLOK 2020).

Ďalšou podobnou časťou je Nytemp®, samozverná náplast'. Ide o spoľahlivý a nákladovo efektívny prvok, skladajúci sa z vysokoteplotného polyméru, ktorý je permanentne pripevnený na závit spojovacej súčiastky. Nylonová náplast' je vysoko elastická, odolná voči opotrebeniu. Ukladá sa na špecifickú časť závitú (BOSSARD 2020).



Obr. 59 Nytemp® náplasti (NYLOK 2020)

Využite nájde najmä v automobilovom, vojenskom a vesmírnom priemysle. Niektoré výhody náplastí Nytemp® sú:

- vhodné pre skoro všetky druhy kovov,
- vysoká teplotná odolnosť ($-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $232\text{ }^{\circ}\text{C}$),
- ekologická nezávažnosť,
- nákladová efektivita,
- opakovaná použiteľnosť,
- 180 ° alebo 360 ° radiálne pokrytie,
- dodáva odolnosť voči vibráciám a uvoľneniu (BOSSARD 2020).

Materiál Nytemp® je modifikovaný polyamid s oranžovou farbou. Využíva sa pre závitovú skrutku od M1 až po M34 a pre závit matice od M5 po M12. Tesniaci účinok je menej ako 15 [bar] (NYLOK 2020).

3.4.4.2 Chemické lepidlá

Precote® sú lakové, bezrozpúšťadlové systémy úpravy povrchu. Založené sú na zapuzdrených kapsulách, ktoré pôsobia ako tesnenie a zaistenie závitových častí. Vysušený lak

je nelepivý a môže byť použitý v rôznych druhoch montážnej produkcie. Jeho účinnosť nastane iba vtedy, keď sa kapsuly pretrhnú strihom a tlakom, a lepidlo sa nechá vytvrdnúť (NYLOK 2020).



a **b** **c**
Obr. 60 Povrchová úprava Precote®: a) Precote® 80, b) Precote® 30, c) Precote® 85 (NYLOK 2020)

Výhody závitových častí s úpravou povrchu Precote® :

- jednotný povlak,
- bezpečná obsluha,
- výhodná cena,
- antikorózne,
- nie je potreba mechanických spojení, ani poistovacích zariadení,
- povlakované časti môžu byť uskladnené niekoľko rokov pred použitím.

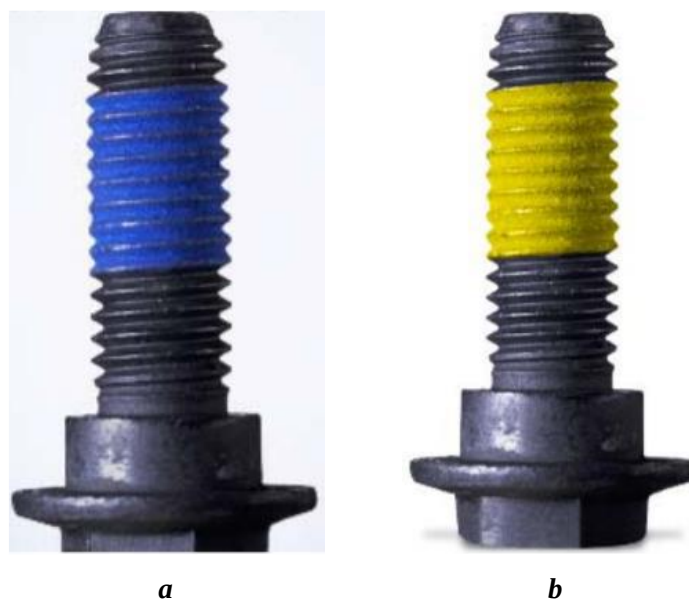
Tolerancia povrchu musí byť 6g/6H aj po galvanickej úprave. Ak je tolerancia menšia, povlak sa nedostane do medzier a zoškrabe sa. Závit by mal byť vytvorený podľa normy DIN 76 a jeho zapustenie minimálne 1,05x nominálny priemer. Povrch súčiastky by mal byť vhodný pre povlakovanie.

Povlaky Precote® sú homogénne obvodové povlaky. Ak sú polymerizované, povlaky dokážu odolať veľkým tlakom. Polymerizácia lepidla spôsobuje uzatváranie vlákna, čo vedie k spoľahlivému utesneniu. Táto uťahovacia vlastnosť zabráňuje vzniku korózií v závitových spojeniach (PRECOTE 2020).

Ďalším chemickým lepidlom je Scotch-Grip™. Tvorí ho zapuzdrené kapsule, ktoré pri izbovej teplote vytvrdzujú lepidlo a tým zlepšujú ukotvenie závitových prvkov.

Sú navrhnuté tak, aby boli potiahnuté po spojovacom prvku a následne uschli. Ostávajú nečinné až pokiaľ sa súčiastka nenamontuje na maticu alebo iný prvok so závitovou dutinou, čím sa porušia a umožnia lepidlu vytvrdnúť.

Typické využitie nájdú v motoroch alebo v častiach súvisiacich s bezpečnosťou (BOSSARD 2020) (obr. 61).



Obr. 61 Lepidlá Scotch-Grip™ a) Scotch-Grip™ 2353, b) Scotch-Grip™ 2353Y (BOSSARD 2020)

Výhody lepidla Scotch-Grip™ (tab. 9):

- rýchle schnutie,
- vysoké hodnoty krútiaceho momentu na povlakovaných súčiastkach,
- odolnosť proti teplu, automobilovým kvapalinám, vibráciám, tepelným a mechanickým nárazom,
- predĺžená doba použiteľnosti,
- opätovné použitie,
- penetruje olejové povlaky (NYLOK 2020).

Tab. 9 Celkový prehľad niektorých chemických lepidiel (BOSSARD 2020)

Povlak	Precote® 30	Precote® 80	Precote® 85	Scotch-Grip™ 2353
Farba	žltá	červená	tyrkysová	modrá
Chemický základ	akrylát	akrylát	akrylát	epoxidová živica

Interval teplôt	-60 do 150°C	-60 do 170°C	-60 do 170°C	-30 do 110°C
Sila	stredná	vysoká	vysoká	vysoká
Začiatok pôsobenia	15 min	15 min	15 min	-
Funkčná sila po	6h	6h	6h	6h
Konečná sila po	24h	24h	24h	24h
Koeficient trenia závitů μ_{thrd}	0,10 do 0,15	>0,25	0,10 do 0,15	0,13 do 0,19
Tesniaci účinok	po 250 bar	po 400 bar	po 400 bar	-
Životnosť	4 roky pri izbovej teplote, skladované za sucha			

Prehľad je robený pre skrutky väčšie ako M3 a matice od M4 po M22

3.4.4.3 Tesnenia pod hlavou spojovacích prvkov

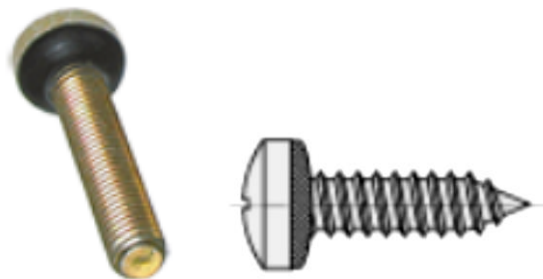
Nyplas® je plastický povlak (upravený plastisol), ktorý je nanášaný na skrutky alebo iné závitové časti priamo pod hlavu, prírubu alebo na koniec závitů. Táto povrchová úprava kompletne zamedzuje použitie podložiek, tesnení a O-krúžkov. Nanášajú sa podstatne väčšie hrúbky ako pri Nyseal®. Pomocou praktického testu sa pred štandardnou výrobou stanovia potrebné hrúbky povlaku. Pôsobí vynikajúco pri tesnení voči kvapalinám a plynom a zároveň chráni citlivé plochy obrobku. Používa sa len pri horizontálnych plochách (napr. na skrutky so zápusťou hlavou sa použiť nedá!) (BOSSARD 2020).

Medzi výhody Nyplas® patrí:

- tesní ihneď po montáži,
- nie je potrebný žiadny ďalší materiál,
- eliminuje použitie poistných krúžkov, podložiek a iných tesnení,
- opakovateľne použiteľné,
- netoxické, vhodné pri zostavách,
- nezmršťuje sa ani nevysušuje postupom času (NYLOK 2020).

Podobným tesnením ako Nyplas® je Nyseal® (obr. 62). Je to plastový povlak (Polyolefín), ktorý je rovnako nanášaný pod hlavu závitových dielov (BOSSARD 2020). Je vynikajúcou alternatívou tesnení a je typom tesnenia, ktoré zabraňuje úniku tekutín, plynov, ktoré sú pod tlakom. Povlak je permanentne natavený na nosnú plochu súčiastky. Keď sa skrutka dostane do

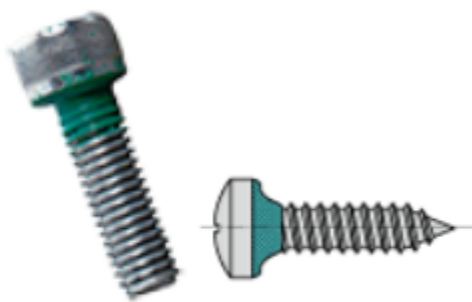
svojej finálnej pozície, Nyseal® sa stlačí a vyplní medzeru medzi nosnou plochou a zapustením alebo zahĺbením (NYLOK 2020).



Obr. 62 Nyplas® tesnenie pod hlavou závitovej časti (BOSSARD 2020)

Výhody Nyseal®:

- zabraňuje úniku kvapalín,
- neobmedzuje silu skrutky,
- vhodné pre montáž,
- vhodné na skoro všetky druhy kovových materiálov,
- opakované použitie (v závislosti k zaťaženiu),
- menšia hmotnosť zostáv, vďaka eliminácii ostatných tesniacich prvkov (NYLOK 2020).



Obr. 63 Nyseal® tesnenie pod hlavou závitovej časti (BOSSARD 2020).

Tab. 10 Charakteristika Nyplas a Nyseal (NYLOK 2020, BOSSARD 2020)

Povlak	Nyplas®	Nyseal®
Materiál	upravený plastisol	polyolefín
Farba	čierna	zelená
Prevádzková teplota	-40 až 150 °C	-40 až 66 °C
Závit	M3 až M10	

3.4.4.4 Tesnenie závitov

Na tesnenie závitov je možné využiť Precote® 5 (obr. 64). Ide o nereaktívny povlak, ktorý sa využíva na utesnenie závitov s valcovým alebo kužeľovým tvarom. Povlak je suchý, nelepivý a má dobrú príľnavosť. Poskytuje utesnenie montážnych komponentov proti plynom, vode, motorovým olejom, benzínu, naftu, brzdovým kvapalinám, olejom z prevodoviek. Povlak je vhodný popri všetkých druhov montáže, najmä pri sériovej výrobe. Oblasť použitia sú elektronika, automobilový priemysel, domáce spotrebiče, kancelárske stroje, počítačový priemysel, elektrické motory atď. (PRECOTE 2020).



Obr. 64 Precote® 5 (NYLOK 2020).

Výhodami daného tesnenia sú: ekologická nezávažnosť, pripravenosť na použitie pri zostavách, precízne krytie závitov, nie je ovplyvnené vlhkosťou, dobrá tepelná a chemická odolnosť, môžu byť použité aj na vnútorné aj vonkajšie závitov (NYLOK 2020).

Ďalšou možnosťou tesnenia závitov je 3M Scotch-Grip™ 4291, čo je vopred nanášané, na dotyk suché lepiace tesnenie (obr. 65).



Obr. 65 3M Scotch-Grip™ 4291 (NYLOK 2020)

Počas spájania závitových častí vznikne medzi nimi tesnenie. Povlak aplikovaný na závit urýchľuje postup montovania komponentov, pretože nahrádza všetky typy ručne nanášaných tesnení. Po zostavení je kompletne vode odolné, odolné voči olejom a vzduchotesné. Princíp spočíva v nanosení tesniacej fólie na špecifickú oblasť skrutky. Môže byť nanesený na rôzne druhy železných aj neželezných materiálov (antikorózna oceľ, mosadz, hliník a jeho zliatiny, plastové výrobky), závit (skrutky, kolíky, zátky, svorníky, puzdrá, poistné ventily atď.) (A.T.S. 2020).

Tab. 11 Charakteristika Precote 5 a 3M Scotch-Grip™ 4291 (NYLOK 2020, A.T.S. 2020)

Povlak	Precote® 5	3M Scotch-Grip™ 4291
Materiál	akrylát	latex
Farba	biela	biela/modrá/ žltá-oranžová
Prevádzková teplota	-50 až 180°C	-25 až 150°C
Závit	≥ M1,6	M4 až M50

3.4.5 Nevýhody skrutkových spojov

Všeobecne možno povedať, že k nevýhodám SS patrí zoslabenie spoja otvorom, vyššia hmotnosť či zdĺhavejšia montáž. Všetky druhy SS obsahujúcich spojovacie prvky z kovu čelia spoločnému problému, ktorým je korózia.

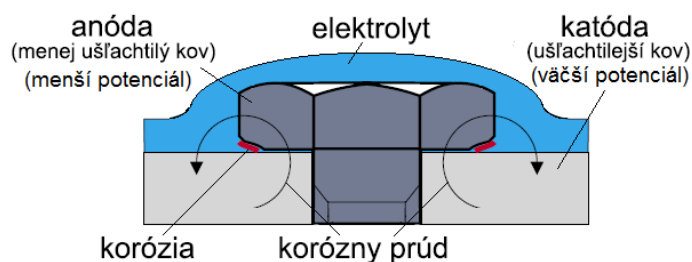
3.4.5.1 Korózia

Korózia je merateľné porušenie povrchu kovu chemickými (elektrochemickými) reakciami s obklopujúcim prostredím, ktorým je najmä atmosférická vlhkosť, pot a voda, lúhy a rôzne oxidačné či redukčné kyseliny a ich zmesi, kovy s odlišným napäťovým potenciálom ako má vzťažný materiál. Celkovo sa za pomerne vynikajúco rezistentné proti korózii považujú farebné kovy, nerezové ocele (Cr-Ni) a plasty. Málo rezistentné sú hlavne nízko a stredne legované ocele (Dominik 2007).

Druhy korózie v oblasti mechanického spájania súčiastok:

1. bez mechanického zaťaženia – patrí tu korózia:

- **medzerová** – štrbina nasáva vlhkosť, ochudobňuje sa o kyslík a uvoľňuje korózne reakcie. Naberá nečistoty urýchľujúce korózne procesy. Výsledkom je červenohnedá korózia na rozhraní SS (Dominik 2013),
- **plošná (atmosferická)** – postihuje zvonajšok súčiastky. Má červenohnedé sfarbenie, je dobre viditeľná, dá sa jej včas predísť,
- **kontaktná (bimetalická, resp. galvanická)** – vzniká pri vzájomnom styku dvoch kovov s odlišným potenciálom vo vodivom elektrolyte. Korózne prúdy rozpúšťajú ióny z povrchu anódy a transportujú ich ku katóde (obr. 66). Závisí od hustoty korózneho prúdu (Dominik 2007),
- **jamková** – vzniká u Cr-Ni ocelí a AL zliatin, keď sa lokálne poškodí ochranná pasivačná vrstva na povrchu mechanickým poškodením či lokálne dlhotrvajúcim účinkom chlórových iónov bez kyslíka, ktorý by automaticky obnovil samoliečiacim účinkom narušenú ochrannú vrstvu (obr. 66),

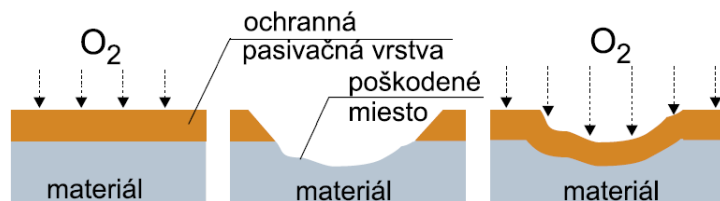


Obr. 66 Princíp vzniku kontaktnej korózie (upravené podľa Dominik 2013a)

- **interkryštalická** – vzniká ochudobnením matrice o Cr v oblasti hraníc zŕn pod kritickú hodnotu vylučovaním Cr-karbidov pri pomalom ochladzovaní z kovacej teploty či vysokému obsahu C v oceli (Dominik 2013),

2. so súčasným mechanickým namáhaním – je veľmi nebezpečná. Typy:

- **napät'ová (korózne praskanie)** – je následkom súčasného účinku ťahového napätia a korózneho napadnutia,
- **vodíková krehkosť** – prichádza náhle. Možno je zamedziť vylúčením styku exponovaných predmetov so zdrojom vodíka v atomárnej podobe difundujúceho do štruktúry ocele a oslabuje kohéziu kovovej mriežky (napr. morenie v kyselinách, galvanické povlakovanie) (Dominik 2007).



Obr. 67 Regenerácia pasivačnej vrstvy na povrchu ocelej súčiastky (Dominik 2007)

Opatrenia proti korózii:

- **plošnej** – ochranné povlaky (Zn, Cr, a i.), nerezové ocele, vetranie, pravidelná vizuálna kontrola, kartáčovanie alebo výmena za novú skrutku,
- **medzerovej** – minimalizácia počtu deliacich plôch použitím PFS prvkov, hladké deliace plochy, vylúčiť podložky, medzery utesniť chemicky,
- **kontaktnej** – základný materiál (ochranný povlak) spojovacieho prvku by mal byť rovnaký alebo ušľachtilejší ako materiál spájaných dielov (Príloha C), povrch neušľachtileho konštrukčného prvku by mal byť oproti povrchu ušľachtileho spojovacieho prvku najväčší, použitie izolovaných podložiek z umelých hmôt,
- **interkryštalickej** – zvýšiť rýchlosť ochladzovania z kovacej (zváracej) teploty ponorom do vhodnej tekutiny, stabilizácia ocelí Ta, Nb alebo Ti, pri oceliach kovaných za tepla by nemal obsah C prekročiť 0,05%,
- **napät'ovej** – odstránenie zvyškových ťahových napätí po zvaraní, periodická optická kontrola SS a včasná výmena, správna voľba materiálu,
- **vodíkovej** – kritické spojovacie prvky zinkovať žiarovo, ak sa požaduje galvanické Zn, potom používať čistý povrch, aby bol proces morenia najkratší, podrobiť diely žihaniu na odstránenie vodíkovej krehkosti (Dominik, 2013).

3.4.5.2 Nevýhoda progresívnych spojovacích prvkov skrutkových spojov

Korózia je merateľné porušenie povrchu kovu chemickými (elektrochemickými) reakciami s obklopujúcim prostredím, ktorým je najmä atmosférická vlhkosť, pot a voda, lúhy a rôzne oxidačné či redukčné kyseliny a ich zmesi, kovy s odlišným napät'ovým potenciálom ako má vzťahový materiál. Celkovo sa za pomerne vynikajúco rezistentné proti korózii považujú farebné kovy, nerezové ocele (Cr-Ni) a plasty. Málo rezistentné sú hlavne nízko a stredne legované ocele (Dominik 2007).

Na poist'ovanie SS proti ich nepriaznivému samovoľnému uvoľňovaniu pôsobením dynamického zaťaženia a účinkom vibrácií sa v súčasnej dobe využívajú samoistiace matice podľa DIN 985, matice s rebrovanou prírubou, kontramatice, pružné a rebrované podložky, závlačky (Úrad priemyselného vlastníctva Slovenskej republiky 2006).

Tieto metódy obsahujú niektoré slabiny. Napr. u samoistiacich matíc podľa DIN 985 majúcih na výbebovej strane polyamidovú poistnú vložku je to pomerne malá poist'ovacia účinnosť, preto sa používajú na predchádzanie kompletného rozpadu SS. Obdobnou slabinou disponujú kontramatice, pružné podložky a závlačky, ktoré predídu rozpadu spoja, ale nevedia odstrániť úbytok predpätia.

Pomerne najlepšie so zreteľom na poist'ovaciu účinnosť sú matice s profilovanou prírubou či rebrované podložky. Tie požadujú o 20 až 30% väčší uťahovací moment pri montáži z dôvodu veľkého trenia na kontaktných povrchoch (Úrad priemyselného vlastníctva Slovenskej republiky 2006).

3.5 Zhodnotenie metód spájania

Spájanie predstavuje proces zabezpečujúci vzájomnú polohu spájaných dielov do jednotného technologického celku. Z hľadiska stupňov voľnosti výsledného spoja môže byť spojenie pevné, kedy spojené komponenty nemôžu meniť ich vzájomnú polohu a pohyblivé, ktoré v obmedzenej miere môžu meniť vzájomnú polohu. Táto skutočnosť podmieňuje delenie spojenia podľa opakovateľnosti, na základe ktorej sme rozdelili spoje na rozoberateľné a nerozoberateľné.

Z rozoberateľných spojov, ktoré vznikajú montážou/demontážou bez porušenia komponentov, sme charakterizovali kolíkové, čapové, klinové, perové, žliabkové, hranolové, polygónové, zverné, nalisované a predovšetkým skrutkové spoje, ktoré predstavujú nosnú časť práce.

V rámci popisu nerozoberateľných spojení sme sa v stručnosti venovali zvarovým, nitovaným, spájkovaným a lepeným spojením.

Základom pri koncipovaní štruktúry tejto kapitoly o spájaní súčiastok v montáži pomocou skrutkových spojov bola charakteristika základných spojovacích prvkov skrutkových spojov (ako sú závit, skrutka, matica a podložka), poist'ovacích prvkov SS, metód uvoľňovania a uťahovania SS. Pri písaní sme vychádzali z platných technických noriem ISO STN, ilustrovali sme normalizované spojovacie súčiastky SS.

Načrtli sme výhody používania SS v praxi strojárskoho a automobilového priemyslu, ale aj nevýhody. Z nich sme sa zamerali na uvoľňovanie SS, ktoré je častou príčinou zlyhania v prevádzke. Ako opatrenie sme sa sústredili na normalizované poisťovacie elementy SS (poisťovacie podložky, poistné matice a závlačky) a štyri metódy skrutkovania sprevádzané grafmi závislostí krútiacich momentov, časov, uhlov.

Svetoznámi výrobcovia skrutiek dnes venujú pozornosť ťažovaniu skrutiek, vydávajú tabuľky odporúčaných hodnôt momentov a zverných síl k priemeru závitu a materiálu skrutky, k použitému mazivu a k druhu povrchovej úpravy závitu ovplyvňujúce koeficient trenia.

Z progresívnych metód spájania súčiastok v montáži pomocou skrutkových spojov sme prezentovali polyfunkčné spoje, konkrétnejšie sú to rôzne TEK skrutky, poistné matice IstLock, podložky SmartMont. Každý prvok polyfunkčného spoja sme doplnili o ilustrácie základného prevedenia a použitia v praxi a v neposlednom rade o ich výhody.

Stručne sme načrtli problém zabezpečovania automobilových kolies nákladných vozidiel prostredníctvom systému TaTrim. Správny moment ťažovania skrutkových spojov zabezpečuje systém SM.

V oblasti mechanického poisťovania prvkov skrutkového spoja a utesňovania závitov sme charakterizovali princíp fungovania rôznych povrchových úprav spojovacích prvkov od popredných svetových spoločností.

Na záver sme zhrnuli najdôležitejšie poznatky zo spomínaných progresívnych metód spájania súčiastok pomocou SS upozornením na niektoré z ich nevýhod, ale súčasne aj na korešpondujúce opatrenia na ich predchádzanie, ak to podmienky montáže dovoľujú.

Porovnaním charakteristických znakov štandardných normalizovaných prvkov SS a ich novších, modernejších PFS prvkov, sme dospeli k záveru, že i napriek nevýhodám, ktoré sme v práci popísali, neustále meniacim sa podmienkam praxe a vysokým nárokom kladených na poisťovanie SS, tieto progresívne spojovacie prvky vyvolávajú záujem nielen o ich existenciu a použitie v praxi, ale najmä o rozvoj nových druhov v záujme zlepšenia a automatizácie procesu ich montáže, ktorá predstavuje finančne náročnú operáciu výroby.

Tu platí všeobecne známe pravidlo 20/80, podľa ktorého 20% z celkových nákladov výroby tvoria náklady na realizáciu montáže SS a zvyšok sú technológie a logistika. PFS prvky predstavujú značný potenciál racionalizácie, pretože nie sú použité v plnom rozsahu. Vysoko sofistikované SPF spojovacích prvkov 4-6 nie sú dnes žiadnou raritou. Na trhu sú ľahko dostupné. Čo však ešte stále chýba, je ich systematická kategorizácia, ktorá by poskytovala

praktické informácie o jednotlivých typoch a hlavne ich prínos pre teóriu a prax mechanického spájania súčiastok (Dominik 2012).

*Tab. 12 Zhodnotenie progresívnych spojovacích prvkov pre skrutkové spoje
so stupňami poly-funkcie v praxi*

Zobrazenie	Popis	Funkcie	SPF
	skrutka matica	spájanie	1
	netvarové prírubové prvky	spájanie podložka poistenie	2
	poistná matica	spájanie poistenie	2
	skrutky s tesnením závitov	spájanie tesnenie	2
	skrutky s polyamidom	spájanie poistenie tesnenie	2 - 3
	tvarové prírubové prvky	spájanie podložka poistenie	3
	skrutky s mikrokapsulami	spájanie poistenie tesnenie	3
	skrutky s tesnením pod hlavou	spájanie tesnenie podložka	3
	TEK skrutky s trojuholníkovým prierezom	spájanie podložka poistenie tvarovanie závitu	3 - 4
	TEK skrutky	spájanie poistenie vrtanie rezanie závitu podložka tesnenie	4 - 5
	křídlové TEK skrutky s frézovacími nástrojmi pod hlavou	spájanie poistenie 2x vrtanie rezanie závitu zapustenie hlavy	5 - 6

Zhodnotenie vhodnosti použitia jednotlivých druhov progresívnych spojovacích prvkov pre SS používané v praxi automobilového a strojárkeho priemyslu vzhľadom na jednoduchosť, spoľahlivosť a hospodárnosť sú názorne zhrnuté v tab. 12.

4 TECHNICKÉ ZARIADENIA V MONTÁŽI

V montáži sa používa celý rad zariadení, technických prvkov, náradia, nástrojov a prípravkov. Rozdelenie základných typov technických zariadení používaných v montáži je nasledovné:

- zariadenia pre manipuláciu,
- zariadenia pre technologické operácie,
- zariadenia pre orientáciu a prívod súčiastok,
- zariadenia pre dopravu a skladovanie,
- zariadenia pre riadenie a kontrolu,
- zariadenia pre ručnú montáž,
- ostatné zariadenia.

Pre každú vyššie uvedenú skupinu zariadení existuje veľké množstvo technických riešení a zariadení. Výber konkrétnych typov zariadení závisí od celého radu faktorov ako sú napr. náklady, spoľahlivosť, kvalita, hmotnosť a tvar súčiastok, materiál súčiastok, sériovosť výroby, atď. Niektoré zo spomenutých zariadení sú popísané v iných kapitolách tejto publikácie. V tejto kapitole bude venovaná pozornosť technickým zariadeniam pre ručné montážne pracoviská.

4.1 Technické prvky a riešenia ručného montážneho pracoviska

Moderné ručné montážne pracoviská a systémy sú detailne rozpracované s cieľom dodržať ergonomické zásady, minimalizovať čas montáže a zvýšiť účinnosť montážneho procesu. Tieto ciele sa dosahujú radom drobných detailných riešení jednotlivých prvkov pracoviska (paliet, nástrojov, zásobníkov, atď.), ktoré eliminujú neproduktívny čas montáže a zvyšujú tak koeficient účinnosti montážneho procesu.

Každé technické zariadenia aplikované na pracovisku, ktoré je individuálne nastaviteľné pre konkrétne podmienky ovplyvňuje čas montáže.

V súčasnosti všetky známe firmy, ktoré sa zaoberajú projektovaním, výrobou a implementáciou ručných montážnych pracovísk (pozri tab.1) využívajú princíp modulovosti.

Tab.1 Vybrané firmy ponúkajúce komplexné riešenia pre ručnú montáž

Firma	www stránka	Komplexnosť riešenia ručnej montáže	Iné zariadenia a komponenty pre montáž
Bosch	www.boschrexroth.com	komplexná	- montážne roboty - dopravníky
Bott	www.bott.de	komplexná	- vnútorné vybavenie automobilov - skrine a úložné kontajnery
All Metal Designs	allmetal.com	komplexná	- ručné vozíky - stojany pre PC
Poll Store	polstore.co.uk	komplexná	- úložné skrinky - skrinky pre počítače a riadiacu techniku - mezaninové poschodia
ELABO	www.elabo.de	Komplexná, hlavne v oblasti elektrotechniky	- elektronické prístroje - laboratórne pracoviská - testovacie pracoviská
Minitec	http://www.minitec.de	Komplexná	- ochranné steny - dopravné systémy - požiarna technika
Item	www.item24.com	komplexná	- kryty a zábrany - dopravné systémy - integrované testovacie stanice - robotika
LP Montagetechnik	www.lp-montagetechnik.de	komplexná	- LEAN výroba - Strojárske komponenty
FMS Montagetechnik	www.fms-montagetechnik.de	komplexná	- transportné systémy - manipulačné systémy - automatizovaná montáž - robotika
Trilogiq	http://www.trilogiq.com/	komplexná	- regály - AGV vozidlá

Výhody modulového prístupu:

- **projektové** – výsledné pracovisko je možné vyskladať z predkonfigurovaných modulov, čím sa zjednodušuje a zrýchľuje projektová činnosť. V niektorých prípadoch

sa využíva počítačová optimalizácia konfigurácie montážnych systémov, ako základných stavebnicových prvkov výrobných systémov,

- **výrobno-technologické** – vedúce k minimalizácii nákladov na realizáciu montážnych pracovísk a systémov, čo umožňuje optimalizovať ekonomickú efektívnosť,
- **prevádzkovo-servisné** – vedúce k minimalizácii nákladov na prevádzku, údržbu a servis montážnych pracovísk a systémov,
- **spoľahlivosť** – vedúce k zvýšenej spoľahlivosti počas celej životnosti systému.

Prednosti modulového princípu sa prejavujú v nasledujúcich aspektoch:

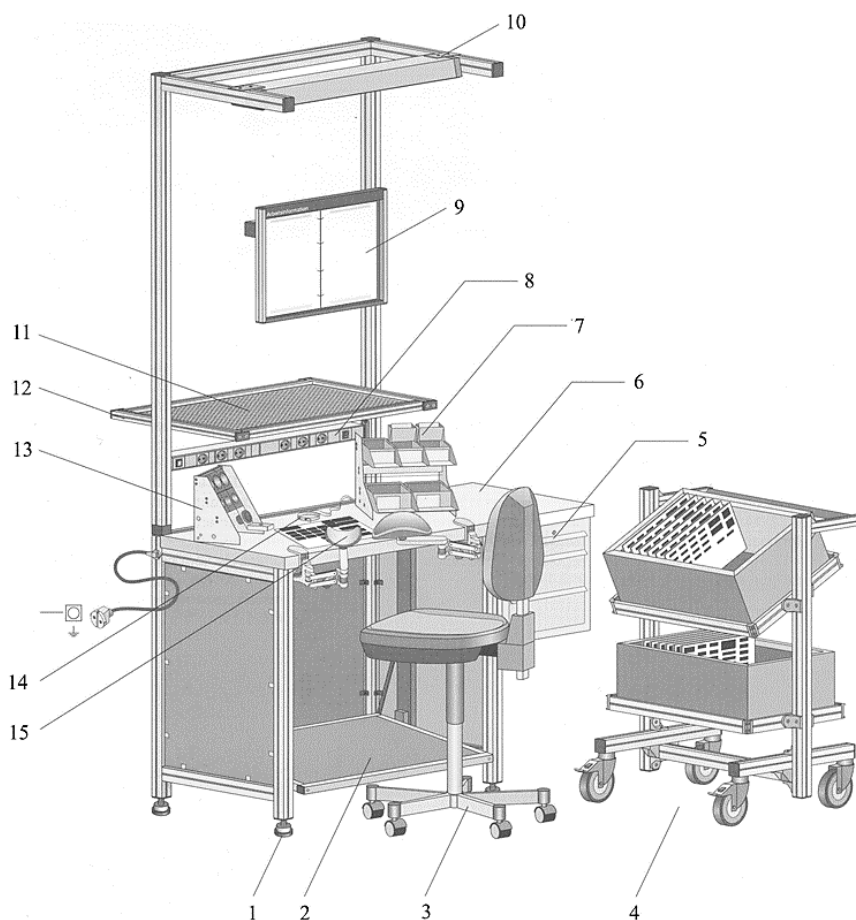
- vo vytváraní účelovo-orientovaných montážnych pracovísk s optimálnymi technicko-ekonomickými parametrami vzhľadom na konkrétne podmienky aplikácie,
- v získavaní nových konfigurácií montážnych pracovísk a systémov integráciou vhodných jednotiek a modulov,
- v jednoduchšom a pružnejšom prechode na nové manipulačné a montážne úlohy,
- vo vyššej ekonomickej efektívnosti,
- vo využití vyvinutých a overených modulov montážnych systémov a v znižovaní, požiadaviek na vývojové a projektové práce,
- vo zvyšovaní spoľahlivosti za predpokladu, že moduly sú dostatočne spoľahlivo overené,
- v znižovaní nákladov na výrobu, údržbu a servis v dôsledku zníženia celkovej nomenklatúry prvkov a komponentov a zvýšenia sériovosti výroby.

Pri projektovaní funkčných modulov montážnych pracovísk a systémov sa uplatňujú nasledujúce princípy:

- jednotnosť technických a konštrukčných princípov a charakteristík funkčných modulov určených na realizáciu rovnakého druhu manipulačnej a montážnej operácie,
- realizácia funkčných modulov v rade typo-rozmerov,
- maximálna nezávislosť funkčných modulov od druhu energie a spôsobu riadenia pohybu,
- vzájomná kompatibilita a prepojenosť funkčných modulov s možnosťou pružnej modifikácie konfigurácie montážnych pracovísk resp. systémov,
- vysoká vnútorná unifikačia prvkov funkčného modulu.

4.2 Montážne stoly a ich komponenty pre ručnú montáž

Typická konfigurácia ručného montážneho pracoviska je znázornená na obrázku 1. Konkrétna skladba montážneho pracoviska závisí od montovaného výrobku a montážnych operácií vykonávaných na pracovisku.



Legenda:

- | | |
|-------------------------|--------------------------|
| 1. stabilizačné nožičky | 9. informačná tabuľa |
| 2. opierky nôh | 10. osvetlenie |
| 3. montážne stoličky | 11. nadstavec |
| 4. prepravný zásobník | 12. rám nadstavca |
| 5. zásuvková skrinka | 13. zásobník náradia |
| 6. montážne stoly | 14. bezpečnostný náramok |
| 7. zásobník materiálu | 15. opierky rúk |
| 8. energetické prípojky | |

Obr. 1 Pracovná stanica pre ručnú montáž (Boschrexroth 2024)

Ďalšie príklady ručných montážnych pracovísk sú znázornené na obrázkoch 2, 3, 4, 5, 6.



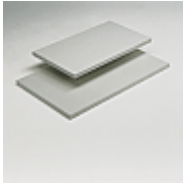
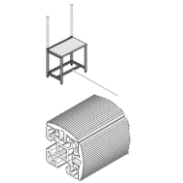
Obr. 2 Pracovné stanice pre ručnú montáž prepojené paletovým dopravníkom (Boschrexroth 2024a)



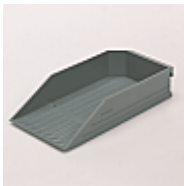
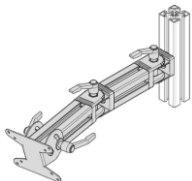
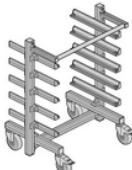
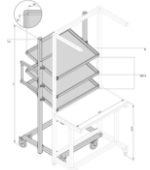
Obr. 3 Pracovná stanica pre ručnú montáž vybavená asistenčným systémom (Boschrexroth 2024b)



Obr. 4 Pracovné stanice pre ručnú montáž usporiadané do linky (Boschrexroth 2024c)

Varianty montážnych stolov a príslušenstvo k nim				
				
Montážny stôl s opierkou nôh	Odnímateľné bočné panely stola	Výškovo nastaviteľný stôl	Šuflíkové skrinky k stolom	Úložná skrinka k stolu
				
Pracovná doska stola	Pracovná doska stola	Opierka nôh	Opierka nôh	Gumenný profil jako opierka nôh
Varianty nadstavieb a príslušenstva montovaného na nadstavby				
				
Nadstavbový rám stola	Nadstavbový rám stola so svetlami	Informačná tabuľa	Informačná tabuľa (2xA4)	Závesná kladka na náradie
				
Police	Elektrická zásuvka	Lampa	Lampa	Rozdeľovač stlačeného vzduchu
Varianty ergonomických pracovných stoličiek				
				
Základná pracovná stolička	Pracovná stolička s opierkami rúk	Pracovná stolička s kruhovou opierkou nôh	Pracovná stolička bez operadla	Pracovná stolička s opierkou nôh

Obr. 5 Komponenty montážnej pracovnej stanice (Rexroth 2021, Boschrexroth 2024d)

Variety zásobníkov vrátane plošín pre ich polohovanie na montážnom stole				
				
Otvorený plochý zásobník	Zásobník s krytom	Základňa pre zásobníky	Zásobník zavesený na lište	Zásobník s priehradkami
				
Zásobník s násypkou	Uzatvorený zásobník	Popisovací štítok pre zásobník	Profil na uchytenie zásobníkov súčiastok	Stohovanie zásobníkov
Držiaky a opierky rúk				
				
Držiak na šálku	Držiak na nápoje (fľaša, tetrapack)	Držiak na handru	Opierky rúk	Opierka na ruky
				
Opierka na ruky	Antistatický remienok	Držiak monitora	Držiak náradia	Držiak boxov na súčiastky
Variety posuvných regálov a kontajnerov				
				
Policový regál s kolieskami	Posuvný policový regál s informačným panelom	Šuflíkové skrinky s kolieskami	Posuvný regál na	Posuvný regál k pracovnému stolu
Ostatné vybavenie				
				
Informačná tabuľa	Zdvihák boxov	Nožný spínač	Elektrický kábel	Hadica pre stlačený vzduch

Obr. 6 Komponenty montážnej pracovnej stanice (Rexroth 2021, Boschrexroth 2024d)

Obrázky znázorňujú rôzne konfigurácie pracovísk, pričom je možné si všimnúť, že aj keď sa pracoviská navzájom odlišujú, základné prvky sa na pracoviskách opakujú (pracovný stôl, nastavbový rám, police, boxy so súčiastkami).

4.3 Konfigurátory montážnych pracovísk

Vzhľadom na stavebnicovosť a modulárnu architektúru montážnych pracovísk je možné ich vyskladať z jednotlivých komponentov ako skladačku. Pre jednoduchšiu prácu pri zostavovaní pracovísk ponúkajú firmy softvérové konfigurátory v ktorých si môže užívateľ nakonfigurovať pracovisko podľa svojich požiadaviek a okrem grafického výstupu v podobe obrázka pracoviska je vygenerovaný aj kusovník s identifikačnými číslami jednotlivých komponentov, ktoré potom slúžia pre zadanie objednávky výrobcovi pracoviska. Tieto konfigurátory sú riešené buď ako online, alebo ako samostatné softvéry resp. ako doplnkové moduly do CAD systémov (napr. Autodesk Inventor, SolidWorks, a pod.).

Nižšie sú uvedené príklady niektorých konfigurátorov:

- **konfigurátor firmy Bosch Rexroth**

Firma ponúka online konfigurátor. Na obr. 7 je znázornený konfiguračný dialógový panel a vzhľad pracoviska na základe zadanej konfigurácie.



Profile model (P)	45x45L	
Version (A)	0 (individual parts)	
Conductivity (ESD)	0 (no)	
Table construction (PK)	K (box type construction)	
Foot type (FU)	GF (leveling foot)	
Workstation width (BA) / mm	1350	mm (min/max = 410/2000)
Workstation height (H1A) / mm	1000	mm (min/max = 410/1500)
Reinforced rear strut H2 (SV)	1 (yes)	
Rear strut height (H2) / mm	2200	mm (min/max = 1000/2500)
Workstation depth (T1A)/mm	600	mm (min/max = 405/1000)
Bracket T2	1 (yes)	
Bracket depth (T2) / mm	800	mm (min/max = 100/800)
Table top (TP)	1 (Economic)	
Side panel model (SBTyp)	0 (without)	
Accessory upright T3	1 (yes)	
Accessory upright depth (T3) / mm	500	mm (min/max = 200/800)
Number of material shelves (NM)	2	(min/max = 0/4)
Material shelf material (M)	1 (aluminum)	
Interior material shelf depth (TE) / mm	700	mm (min/max = 694/1220)
Country version (L)	2 (F)	
Suspension (ATyp)	3 (C rail with shuttle + spring pull load)	
System lamp (SLTyp)	16 (SL24 LED basic) incl. junction cable	
Socket strip (STyp)	3 (3 sockets, switchable output, fuse, ir	
Suspension profile (E)	1 (yes)	
Compressed air (DL)	1 (yes)	
Information board (ITyp)	2 (DIN A4 two sides)	
Footrest (FTyp)	1 (10N profile)	
Cloth and bottle holder (HLF)	1 (yes)	
Degree of detail	Detail	

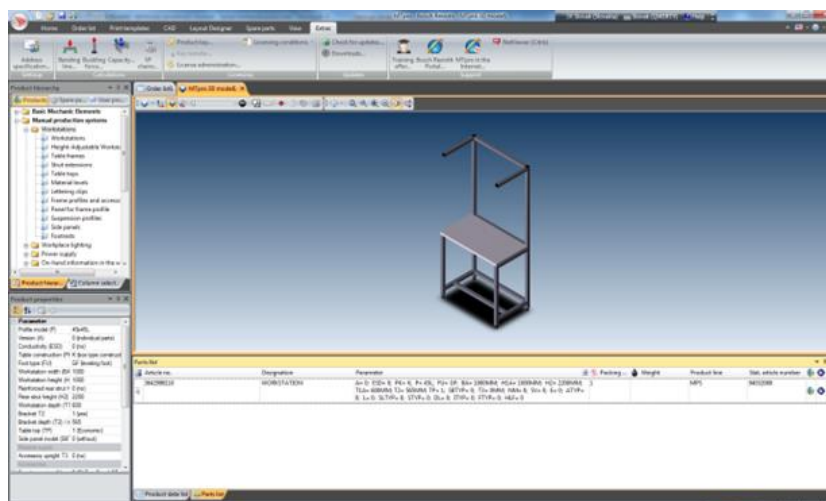
Order list		
Article number	Designation	Parameter
3842998110	Workstation	A=0; ESD=0; PK=K; P=45L; FU=GF; BA=1350mm; H1A=1000mm; H2=2200mm; T1A=600mm; T2=800mm; TP=1; SBTyp=0; T3=500mm; NM=2; L

Obr. 7 On-line konfigurátor firmy Bosch Rexroth (Boschrexroth 2024e)

Vytvorený model je možné exportovať buď ako 2D alebo 3D model. Model môže byť exportovaný buď vo formáte 3D súboru, ktorý je možné importovať do CAD systému ako napr. STEP, IGES, alebo ako obrázok (JPG, TIFF, PNG). Podporované formáty exportu sú znázornené na obr. 8.

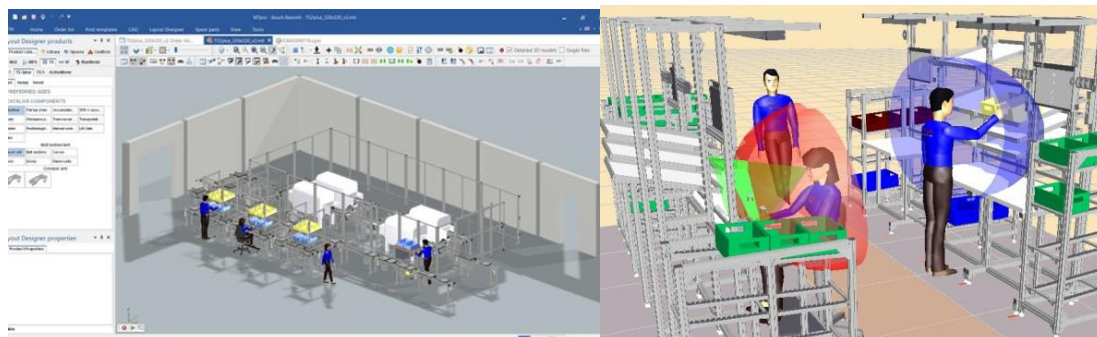
Obr. 8 Formáty pre export 3D modelu nakonfigurovaného pracoviska (Boschrexroth 2024e)

Okrem on-line konfigurátora ponúka firma Bosch Rexroth aj samostatnú aplikáciu pre konfiguráciu pracovísk s názvom MTPro. Tá umožňuje v podstate to isté ako on-line konfigurátor (obr. 9) bez nutnosti pripojenia na internet a navyše umožňuje vytvorenie dispozičného riešenia nie celého pracoviska s viacerými pracovnými stanicami (Layout Designer) a pre riešenie ergonomie ručných montážnych pracovísk obsahuje model človeka (ManModel), ktorý znázorňuje zónu dosahu pracovníka a zorné pole.



Obr. 9 Konfigurácia pracoviska v programe MTPro (Boschrexroth 2024f)

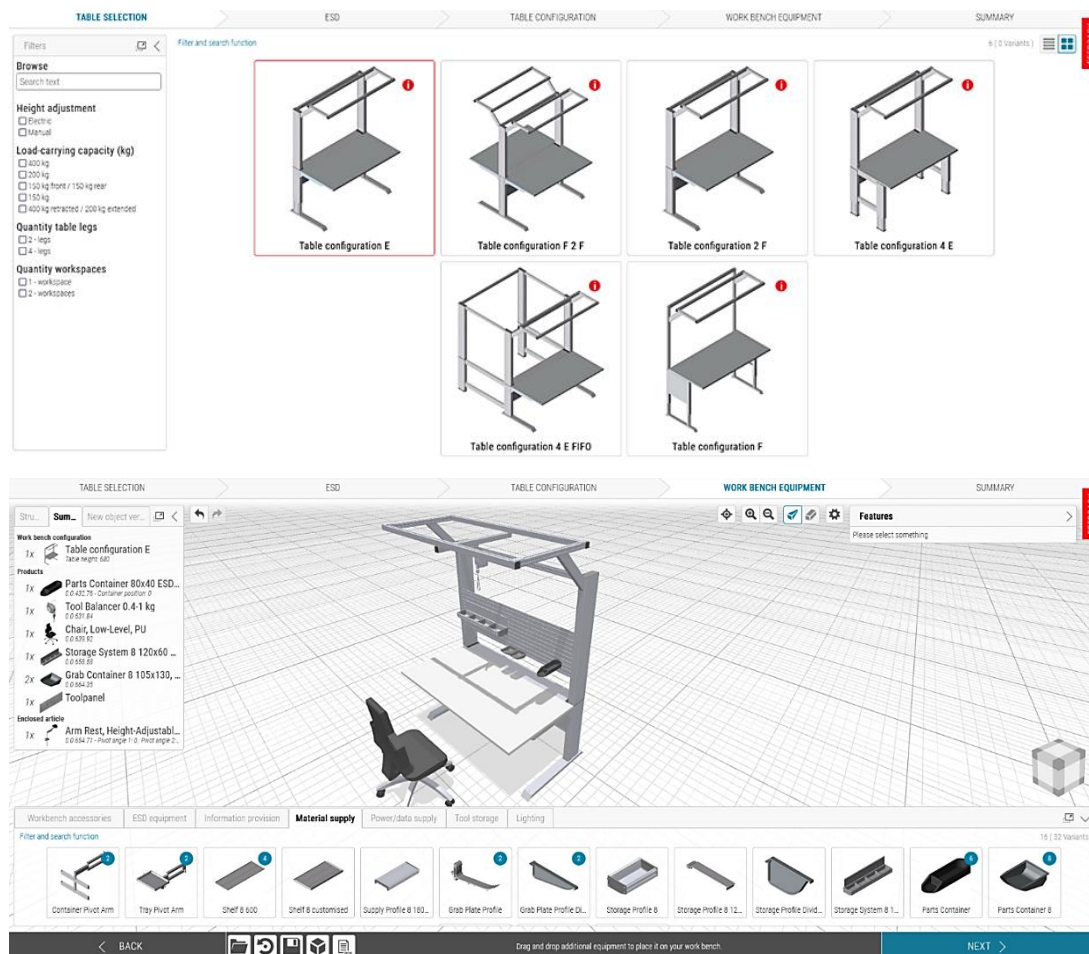
Vytvorené modely je možné exportovať v rôznych formátoch ako napr. STEP, SAT, IGES atď'. Ukážka pracovného prostredia Layout Designera a ManModel je na obr. 10.



Obr. 10 Prostredie programu MTPro – Layout Designer (Bosch 2024) a model človeka (Boschrexroth 2024e)

- **konfiguratér firmy Item**

On-line konfiguratér firmy Item (obr. 11) ponúka možnosti konfigurácie montážnych stolov vrátane ich vybavenia. Vytvorený model je možné ako CAD model v rôznych formátoch.

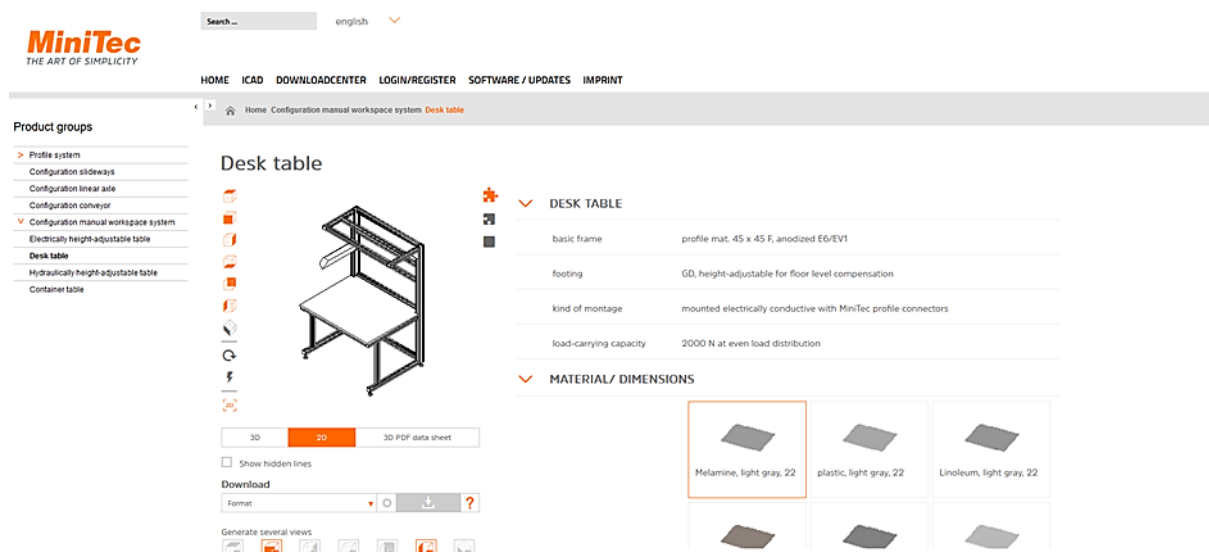


Obr. 11 Prostredie konfigurátora firmy Item (Item 2024 a Item 2024a)

- **konfigurátor firmy Minitec**

Aj firma Minitec ponúka on-line konfigurátor montážnych stolov. Export je možný v 2D alebo 3D formáte, pričom podporované je široké spektrum formátov ako sú napr. STEP, SAT, DWG, DXF, IGES, VRML atď. Pracovné prostredie konfigurátora je znázornené na obr. 12.

Takto dostupné konfigurátory značne zrýchľujú proces návrhu montážnych pracovísk, pretože vytvorenie CAD modelu pracovného stola trvá pár minút.



Obr. 12 Prostredie konfigurátora firmy Minitec (Minitec 2024)

Bez týchto konfigurátorov môžeme odhadnúť čas tvorby CAD modelov takýchto stolov rádovo v hodinách a v niektorých prípadoch aj dňoch.

4.4 „PICK BY“ systémy a ich aplikácia

Ako pri všetkých výrobných procesoch, tak aj pri montáži je snaha dosiahnuť tzv. 100%-tnú kvalitu t.j. všetky výrobky vystupujúce z montáže budú bez chýb. Jedným zo spôsobov ako to dosiahnuť je aplikácia technológií ako sú tzv. „Pick by“ resp. „Pick to“ systémy ako napr.: **Pick by Light** (Pick to Light), **Pick by Voice** a **Pick by Vision**. Aj keď je hlavnou oblasťou ich aplikácie logistika, môže mať táto technológia zaujímavé aplikácie aj v montáži. Princíp fungovania ilustruje príklad „Pick to light“ systému (obr. 13).



Obr. 13 Príklad „Pick by light“ systému (Inthergroup 2024, KBS 2024)

Základným princípom fungovania tohto systému sú displeje s kontrolkami a tlačidlami umiestnené pri každej palete. Po identifikácii objednávky napr. zosnímáním čiarového kódu objednávky sa rozsvietia kontrolky pri paletách z ktorých je potrebné odobrať tovar a zároveň sa na displeji zobrazí počet kusov, ktoré je potrebné z príslušnej palety zobrať. Pracovník kompletizujúci objednávku odoberie príslušný počet kusov a stlačením tlačidla pri displeji potvrdí splnenie úlohy. Po tomto stlačení tlačidla kontrolka zhasne. Keď už nesvieti žiadna kontrolka, pracovník vie, že splnil objednávku a môže pristúpiť k realizácii nasledujúcej. V niektorých prípadoch je tento systém riešený tak, že namiesto stlačenia potvrdzujúceho tlačidla je snímaná poloha ruky a zisťuje sa, či pracovník vložil ruku do palety s vysvietenou kontrolkou alebo nie. Ak áno je to signalizované rozsvietením zeleného svetla. Ak by pracovník vložil ruku do inej palety tak sa rozsvieti červená kontrolka upozorňujúca na nesprávnu polohu ruky (obr. 14).



Obr. 14 „Pick to light“ s kontrolou správneho siahnutia (Matthewsautomation 2024, Luca 2024)

Využívaním tohto systému je možné zabrániť chybám použitia nesprávnych súčiastok. Nevýhodou tohto systému je to, že ku každej palety je potrebné nainštalovať panel a samozrejme je potrebné všetky panely prepojiť s riadiacou jednotkou, čo môže byť v prípade veľkého počtu palet značne finančne aj technicky náročné. V prípade montáže aplikácia tohto

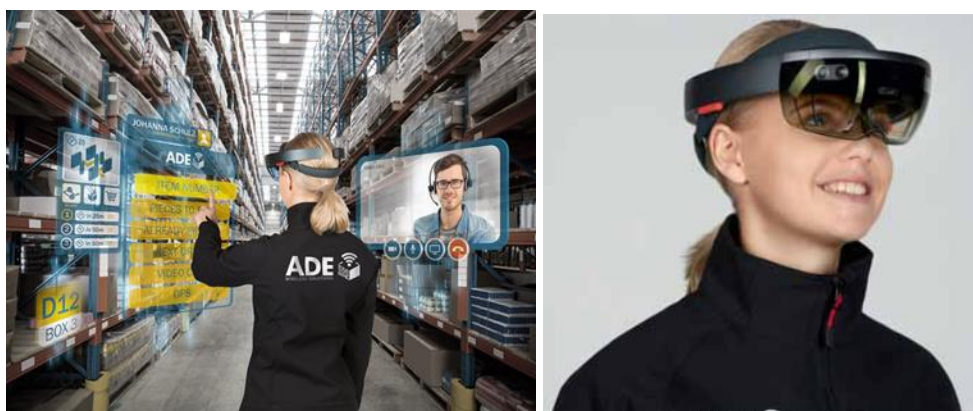
systému spočíva v tom istom prípade ako v sklade t.j. pracovníkovi sa rozsvietia kontrolky pri tých boxoch z ktorých má odobrať súčiastky a použiť ich pri montáži.

Systém Pick by Voice funguje obdobne, ale namiesto svietiacich kontroliek sa používajú hlasové inštrukcie, ktoré navádzajú obsluhu k paletám a informujú ju o počte kusov, ktoré je potrebné odobrať z palety. Obsluha potvrdí splnenie úlohy vyslovením kľúčového slova alebo frázy do mikrofónu a tak postupuje, kým nesplní všetky úlohy súvisiace s príslušnou objednávkou (obr. 15). Niekedy je táto technológia kombinovaná aj čítačkami čiarových kódov, aby pracovníci dali systému informáciu o tom z ktorej palety odobrali súčiastky. Výhodou tohto systému je, že nie je potrebné inštalovať panely s displejmi a tlačidlami ku paletám (Senderská 2015).



Obr. 15 Príklad „Pick by Voice“ systému (Stamh 2024)

Systém Pick by Vision je založený na aplikácii prvkov rozšírenej reality (Augmented Reality) (obr. 16).



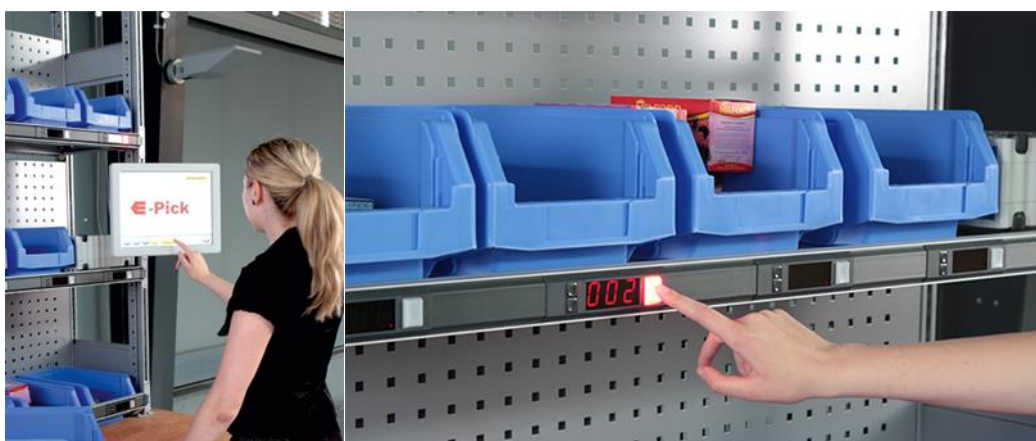
Obr. 16 Aplikácia technológie Pick by vision a hlavový display (Ade Vertrieb 2024)

Obsluha má hlavový displej vo forme okuliarov, ktoré umožňujú vidieť realitu, ale zároveň do tejto reality premietajú informácie o tom z ktorej palety sa má koľko kusov tovaru odobrať. Vzhľadom na to, že okuliare sú schopné snímať realitu, vedia kontrolovať či pracovník siaha ku správnej palete alebo nie (Matthewsautomation 2024). Táto technológia sa neustále rozvíja a k dispozícii sú už aj veľmi ľahké a malé okuliare, ktoré nezaťažujú krk pracovníka ako je to v prípade väčších hlavových displejov (obr. 17).



Obr. 17 Okuliare pre Pick by vision technológiu (Ecfeda 2024)

Systém **ePick** je priamo určený pre vykonávanie montážnych operácií. Ide o riešenie firmy Schäfer (obr. 18) a je to vlastne aplikácia technológie Pick by Light na montážnom pracovisku.



Obr. 18 ePick systém firmy (Schaefer shelving 2023)

Pracovník vykonávajúci montáž vyberá úlohy prostredníctvom dotykového displeja a má pred sebou umiestnené palety na ktorých sa rozsvetujú kontrolky v poradí postupnosti vykonávania montážnych operácií, čiže pracovník v danom okamihu vie z ktorej palety koľko súčiastok má odobrať t.j. najprv sa rozsvieti kontrolka pri palete so súčiastkou, ktorá sa má namontovať ako prvá. Pracovník siahne do palety, odoberie súčiastku, potvrdí jej odobratie stlačením tlačidla a až potom sa rozsvieti kontrolka pri ďalšej palete, takže nedôjde k omylu so zamenením poradia montovaných súčiastok (Senderská 2015).

4.5 Asistenčné systémy

Asistenčné systémy, ako už napovedá ich názov sú riešenia pre podporu ručného montážneho procesu. Ich význam a ďalší vývoj súvisí so zvyšujúcou sa komplexnosťou montážnych procesov, požiadavkou na pružnosť so súčasným znižovaním času montáže, požiadavkami na kvalitu výrobkov a znižovanie výrobných nákladov. Zmeny na trhu spôsobujú znižovanie sériovosti a plne automatizované riešenia často nie je možné zmysluplne realizovať a to hlavne z hľadiska nákladov. Ručná montáž naproti tomu ponúka využitie kognitívnych schopností človeka a schopnosť rýchle reagovať na zmeny. Ak ide o väčší počet variantov výrobkov, vyžaduje sa vyššia kvalifikácia pracovníkov, opakovanie montážnych operácií vyžaduje vyššiu koncentráciu pracovníkov.

Asistenčné systémy podporujú ručnú montáž a eliminujú chyby montáže. Môžu realizovať aj ďalšie funkcie resp. môžu byť prepojené s inými technickými riešeniami. Na obr. 19 je uvedený príklad asistenčného systému.



Obr. 19 Príklad asistenčného systému (Vogler 2024, Discover Germany 2011)

Na obrazovke systému sa nachádzajú všetky relevantné informácie k príslušnému kroku postupu montáže. Ide hlavne o vizuálne informácie pre pracovníka. Všetky informácie sú aktuálne, zobrazujú sa postupne a pracovník po zvolení typu montovaného výrobku môže pracovať bez nutnosti špeciálneho zaškolenia. Typy montovaných výrobkov sa môžu často meniť. Vizualizácia je základnou funkciou asistenčného systému (Senderská 2015).

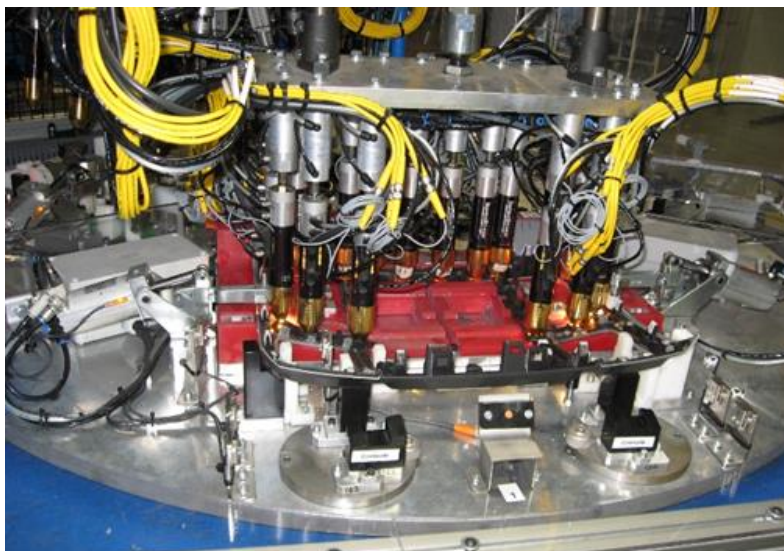
Asistenčný systém montážneho pracoviska môže byť prepojený napríklad s Pick to light systémom. Riešenie uvedené na obr. 20 umožňuje nielen viesť pracovníka procesom montáže, ale zároveň mu priamo ukazuje, kde sa príslušná súčiastka nachádza a zároveň môže kontrolovať odobratie súčiastky zo zásobníka, môže zablokovat' ďalší postup montáže pokiaľ súčiastka nebola odobratá, zobrazovať rozličné hlásenia pri objavení sa chyby.



Obr. 20 Príklad asistenčného systému prepojeného s Pick to light systémom (Armbruster 2024)

Systém je samozrejme programovateľný a nastaviteľný podľa montážnej úlohy. Spája výhody Pick to light systému s asistenčným systémom.

Ďalšou možnosťou je prepojenie asistenčného systému so snímačmi, ktoré sa priamo nachádzajú na montážnom pracovisku. Snímače udávajúce informácie a realizujúce kontrolu priamo cez obrazovku informujú pracovníka. Ide o informácie ako napríklad prítomnosť súčiastky, kontrola správnosti použitého prípravku pre aktuálny typ výrobku a pod. na základe ktorých sa môže celý proces zastaviť, vyslať alarm atď. (obr. 21).



Obr. 21 Montážny prípravok vybavený snímačmi (Nuspark 2024)

Zaujímavou možnosťou je inštalácia kamery a projektorov pre snímanie skutočného stavu a premietanie informácií priamo na pracovnú dosku stola resp. na montovanú súčiastku. Môže

ísť napríklad o zobrazenie chýbajúcich súčiastok, nesprávne osadených súčiastok a pod. (obr. 22, 23). Takéto riešenie ponúka napr. firma Smartvision (Smartvision 2024).



Obr. 22 Pracovisko vizuálneho navádzania a kontroly (Smartvision 2024)



Obr. 23 Pracovisko vizuálneho navádzania a kontroly (Smartvision 2024)

Ďalšou možnosťou môže byť prepojenie asistenčného systému so snímaním skutočného času montáže. Aj do tejto oblasti sa dostávajú prvky rozšírenej reality. Pre aplikáciu rozšírenej reality sa používajú buď okuliare (obr. 24), alebo tablety resp. mobily (obr. 25).



Obr. 24 Aplikácia rozšírenej reality v montáži (BMW group 2024, BMW group 2024a)



Obr. 25 Aplikácia rozšírenej reality v montáži (Rockwell Automation 2024)

Princíp spočíva v tom, že na reálny objekt sú premietané inštrukcie o postupe montáže, použitom náradí, prípravkov a podobne (Senderská 2015).

4.6 Systémy identifikácie

Na význam značenia dielcov v automobilovom priemysle poukazuje aj veľké množstvo spoločností zaoberajúcich sa touto otázkou. Väčšina z nich na svojich webových stránkach zdôrazňuje dôležitosť a potrebu označovania častí, napr.: „Moderné vozidlá obsahujú tisíce jednotlivých komponentov. Mnoho z nich musí mať konkrétne číslo dielu, preto je nevyhnutné používať presné a efektívne zariadenia na kódovanie a označovanie. Dodávatelia najmenších automobilových súčiastok, ako aj výrobcovia vozidiel sa spoliehajú na správne kódovanie pre sledovateľnosť komponentov počas celého procesu montáže automobilov aj mimo nich.“ (TLM LASER 2019).

4.6.1 Prehľad používaných kódov

Existujú rôzne typy kódov. Niektoré kódy môžu mať veľa rôznych typov, napr. čiarové kódy. Nižšie sú uvedené najčastejšie používané kódy:

- **Numerické kódy** – kód pozostáva iba z číslíc. Význam čísel môže byť rôzny.
- **Alfanumerické kódy** – kód pozostáva z kombinácie číslíc, písmen a taktiež môžu byť použité rôzne symboly (obr. 26).



Obr. 26 Alfanumerický kód (AssemblyMag 2019)

- **Čiarové kódy** – Čiarový kód je strojovo čitateľné označovanie tovarov pomocou hrubých a tenkých čiar oddelených medzerami. Všeobecne je možné ich rozdeliť na 1D a 2D (dvojrozmerné) kódy. Podľa Pontiusa: „Existuje nespočetné množstvo symbológií čiarových kódov, z ktorých niektoré sú vhodnejšie pre rôzne typy aplikácií ako iné. Niektoré odvetvia navyše majú normy, ktorých cieľom je regulovať označovanie majetku a fyzickej inventúry s cieľom zaviesť univerzálne postupy pre konzistentnosť v celom odvetví, čo uľahčuje prenos majetku a údajov iným organizáciám“ (Pontius 2019). Medzi čiarové kódy 1D patria:

- **Číselný čiarový kód** (obr. 27)



Obr. 27 Číselný čiarový kód (Pontius 2019)

- **Alfanumerický čiarový kód** (obr. 28)



Obr. 28 Alfanumerický čiarový kód (Idlabelinc. 2019)

Európske tovarové číslo alebo skratkou označované ako EAN je jednotný označovací systém, ktorý sa používa v rámci hraníc Európskej únie. Vyhotovený je ako číselný a čiarový. Obsahuje trinásť čísel, z čoho prvé tri označujú štát (858 – Slovensko), ďalšie štyri sú čísla výrobcu, ďalších päť čísel patrí výrobku a posledné si určuje samotná predajňa – ide o tzv. kontrolné číslo.

Úspešná spolupráca dodávateľa a odberateľa sa zakladá aj na kvalitnom čiarovom kóde. Pridelovaním kódov fyzickým osobám živnostníkom sa zaoberá spoločnosť EAN Slovakia, s.r.o.

Podmienkou používania EAN kódu je však získanie tzv. identifikačného čísla GS1. Sú to čísla, ktoré sú do samotného čiarového kódu zakódované. Po získaní GS1 prefixu firmy môžete prideliť čísla už samotným výrobkom, službám či majetku. Pri vytváraní EAN-u netreba zabúdať ani na spôsob tlače etikiet, ani na možnosti skenovania čiarového kódu. Treba zvážiť aj jeho typ a veľkosť. Optimálna farebná kombinácia je čierno-biela, nie je to však pravidlo.

Existuje veľké množstvo rôznych druhov čiarových kódov, najpoužívanejší je kód EAN. Väčšina čiarových kódov kóduje iba číslice, ale moderné čiarové kódy môžu kódovať všetky znaky ASCII.

Typy čiarových kódov

	Ukážka kódu	Stručný popis
EAN 13		Medzinárodný štandardný numerický kód, zastrešený organizáciou GS1, používaný v maloobchode a veľkoobchode na označovanie výrobkov.
EAN 8		Špeciálny variant kódu združenia EAN používaná v maloobchode na označovanie malých výrobkov, na ktorých sa nedá uplatniť kód EAN 13.
ISBN		Medzinárodný kód, používaný na označovanie neperiodických publikácií (kníh, brožúr, ...). Zoner Barcode Studio rešpektuje nové pravidlá platné od 1. 1. 2007.
ISSN		Medzinárodný kód ISSN je používaný na označovanie periodických tlačovín. Zoner Barcode Studio podporuje tiež rozšírený variant kódu ISBN (tzv. add on kód), používaný predovšetkým na označovanie jednotlivých čísel periodickej publikácie.

UPC A/E



Numerické kódy, používané v USA a Kanade obdobne ako kód EAN, na označovanie výrobkov v maloobchode.

ITF



Numerický kód, používaný na označovanie distribučných jednotiek podľa pravidiel združenia EAN. Podporované sú varianty: ITF6, ITF14 (EAN/ITF 14) a ITF16.

Code 2/5



Univerzálny numerický kód s premennou dĺžkou, používaný prevažne v technických aplikáciách. Zoner Callisto 4 podporuje všetky jeho modifikácie: Datalogic, IATA, Industrial, Interleaved, Inverted a Matrix.

Code 128



Univerzálny alfanumerický kód s vysokou hustotou informácie.

UCC/EAN 128



Špeciálny variant kódu Code 128, používaný na označovanie distribučných jednotiek podľa pravidiel združenia EAN. Zoner Callisto 4 podporuje zadávanie tzv. aplikačných identifikátorov.

Codabar



Numerický kód s premennou dĺžkou, používaný v rôznych technických aplikáciách.

Code 39



Numerický alebo alfanumerický kód so špeciálnymi znakmi a premennou dĺžkou na všeobecné použitie.

Planet (Postnet)



Numerický kód, používaný poštovou službou U.S. Postal Service v USA na kódovanie informácie ZIP (obdoba našich PSČ).

Najdôležitejšími praktickými parametrami čiarového kódu je hustota a kontrast kódu. Množstvo zakódovanej informácie na jednotku dĺžky určuje hustota a druh kódu. Pre kódovanie menšieho počtu znakov sa používajú lineárne kódy, väčší objem informácií sa úspešne kóduje do dvojrozmerných kódov „2D čiarové kódy sú grafické obrázky, ktoré ukladajú informácie v horizontálnej aj vertikálnej rovine. Tento dizajn umožňuje pomocou 2D čiarových kódov kódovať až 7089 znakov“ (Pontius 2019). Medzi najčastejšie používané 2D kódy patria:

- o **Data matrix kódy**



Obr. 29 Data matrix kód (Wikipedia 2019)

- o **QR (quick response) kódy**



Obr. 30 QR kód (CDN 2019)

4.6.2 Zariadenia pre čítanie čiarových kódov

Na snímanie čiarových kódov sa používajú snímače čiarových kódov, ktoré sú založené buď na technológii CCD alebo snímajú pomocou lasera.

CCD (Charge-Coupled Device – zariadenie s viazanými nábojmi) je elektronická súčiastka používaná pre snímanie obrazovej informácie. Uplatňuje sa napríklad vo videokamerách, digitálnych fotoaparátach, faxoch, skeneroch, čítačkách čiarových kódov, ale aj v prístrojoch, ako napríklad v astronomických ďalekohľadoch.

Snímače čiarových kódov zabezpečujú korektné prečítanie čiarového kódu a prenos dát. Podľa princípu čítania sa rozoznávajú čítacie perá, snímače s Linear Imager, 2D Imager a laserové snímače. Snímače môžu byť s dekodérom alebo bez dekodéra. Prevedenie s dekodérom čiarového kódu sa dodáva buď so sériovým rozhraním RS232, s USB rozhraním alebo v prevedení emulátora klávesnice PS2, kedy sa dekodér zaradi medzi klávesnicu a PC a zariadenie sa chová ako by bola snímaná dáta vložená z klávesnice. Pred výberom snímačov čiarových kódov je vhodné si stanoviť, pre aké aplikácie, aké typy čiarových kódov, v akom prostredí a s akou dennou záťažou budete snímače používať.

Jedno dimenzionálne (1D) snímače čiarových kódov sú určené pre čítanie bežných lineárnych čiarových kódov (EAN, Code 128, Code 39, 2 z 5...). Niektoré modely je možné tiež využiť na čítanie kódov PDF-417 alebo Micro PDF. K dispozícii sú v prevedení s linear imagery alebo s laserovým lúčom. Výkonné modely laserových snímačov dokážu prečítať čiarový kód aj na vzdialenosť niekoľkých metrov. 2D imager tieto snímače sú schopné čítať

2D kód (PDF-417, Mikro PDF, Datamatrix, QR Code, Aztec Code, MaxiCode, ...), ktorý umožňuje uloženie veľkého množstva informácií do podstatne menšej plochy, ako u lineárneho čiarového kódu.

Priemyselné snímače čiarových kódov sú vhodné do náročných podmienok a priemyselného prostredia (obr. 31, 32). Štandardne majú konštrukciu odolnú proti pádu, krytie IP65, odolnosť proti prachu, vode a dokážu spoľahlivo pracovať v rozmedzí teplôt od -30 do +50°C.



Obr. 31 Priemyselná aplikácia čiarových kódov – skladové hospodárstvo



Obr. 32 Priemyselná aplikácia čiar. kódov – proces montáže

Tieto parametre sa určujú pre prácu v náročných podmienkach kováční, zlievarní, prašných podmienkach ako je napríklad spracovanie dreva aj radu vonkajších nasadení. Majú veľmi

dobré čítacie vlastnosti od 1cm až niekoľko metrov. Sú prispôsobené k tomu, aby aj v náročných podmienkach dokázali spoľahlivo čítať 1D aj 2D čiarové kódy. Niektoré rady snímačov sú vybavené špeciálnou technológiou pre snímanie poškodených alebo zle vytlačených čiarových kódov na bežné vzdialenosti.

Bezdrôtové priemyselné snímače čiarových kódov majú rádiový dosah až niekoľko desiatok metrov. Dlhá výdrž batérie a možnosť pripojenia viacerých snímačov na jednu základňovú stanicu dáva možnosť pohybovať sa pri práci po celej výrobnéj hale a nebyť obmedzovaný káblovým pripojením. Niektoré rady snímačov sú vybavené špeciálnou technológiou pre snímanie poškodených alebo zle vytlačených čiarových kódov na bežné vzdialenosti.

Priemyslové stacionárne snímače predstavujú robustné zariadenia, ktoré sú určené predovšetkým pre riešenie aplikácií v náročnom priemyselnom prostredí, priame inštalácia do výrobných liniek v systémoch riadenia výroby. Vyznačujú sa odolnou konštrukciou, vysokou citlivosťou, rýchlosťou čítania čiarového kódu.



Obr. 33 Stacionárny snímač namontovaný na výrobnéj linke

- **Rádiofrekvenčný kód (RFID – Radio Frequency Identification)** – je technológia identifikácie pomocou rádio frekvenčných vln (obr. 34). Pre rýchle a presné spracovanie informácií a okamžitý prenos načítaných dát k ďalšiemu spracovaniu, je možné tento systém úspešne nasadiť v mnohých oblastiach obchodných, skladových, logistických a výrobných procesov. Základný princíp je pomerne jednoduchý.



Obr. 34 RFID značka (Dynamici. 2019)

Objekt (predmet alebo osobu), ktorú chceme automaticky identifikovať je potrebné najprv vybaviť miniatúrnym zariadením, tagom (identifikačným čipom), ktoré v blízkosti snímacieho zariadenia na povel odošle identifikačné údaje. Snímacie zariadenie tvorí hlavný aktívny prvok v tomto procese, ktorý elektromagneticky ožiari priestor, kde sa predpokladá prítomnosť identifikovaného objektu. Identifikačný čip objektu sa touto energiou aktivuje a následne odošle svoje identifikačné údaje. Najväčšou a nesporne najlepšou výhodou tohto systému je, že objekt je možné identifikovať bez potreby priamej viditeľnosti, bez nasmerovania, zo vzdialenosti až niekoľko metrov, pričom sa objekt môže aj pohybovať.

Tagy, alebo tiež nazývané značky, tvoria základný stavebný prvok RFID technológie. Každý tag sa skladá z troch častí: z antény, transceivera a transpondéra. Anténa tvorí najväčšiu časť tagu, bez ohľadu na frekvenčné pásmo v ktorom tag pracuje, a plní dve základné úlohy: zachytávanie signálu a vysielanie údajov do čítačky. Podľa typu značky (môže byť pasívna alebo aktívna - napríklad napájaná batériou), slúži zachytený signál aj na jej napájanie. To zo signálu vytvára transceiver, ktorý nabije kondenzátor a zároveň slúži ako prijímač a vysielateľ. Transpondér je najzložitejšia časť značky a jeho úloha môže byť nastaviteľná. Najčastejšie však okamžite odvysiela dáta uložené v pamäti, a tie bývajú najčastejšie vo forme sériového čísla EPC.

Aj keď na trhu existuje viacero spôsobov prenosu informácií v RFID systémoch medzi najrozšírenejšie patrí systém pracujúci na princípe indukčnej väzby.

Ak chceme aby značka dokázala obsiahnuť viacej informácií, je nutné ju vybaviť mikročipom. V závislosti od použitého čipu môže obsahovať aj niekoľko MB informácií.

4.6.3 Prehľad metód označovania

Na označovanie súčiastok je možné použiť nálepky (papierové, plastové), oceľové štítky nitované alebo nalepené na súčiastkach, alebo je možné použiť priame označenie dielcov (DPM – Direct Part Marking) – kód sa umiestni priamo na súčiastku. V poslednej dobe sa metóda DPM stáva čoraz obľúbenejšou vďaka vývoju technológií, ktoré sa pre ňu používajú, a tiež

kvôli požiadavkám na značky. Podľa (Agicom. 2019): „Existuje veľa obmedzení pri označovaní súčiastok automobilov“:

- Veľké série súčiastok, označovanie musí byť schopné vysokej frekvencie.
- Označenie musí byť trvalé.
- Spôsoby označovania sú veľmi rôznorodé (datamatrix, čiarový kód, ID, atď.).
- Výrobné prostredie je veľmi kontrolované, The production environment is very controlled, with many marking defects.”

A existuje taktiež ďalšia požiadavka: „Automobilový priemysel vyžaduje, aby sa informácie tlačili na komponenty v rôznych fázach výroby, takže kódovacie a označovacie zariadenie musí byť schopné vyhovieť mnohým požiadavkám výrobcov automobilov” (TLM LASER. 2019).

Nižšie sú uvedené najrozšírenejšie metódy DPM používané na označovanie súčiastok v automobilovom priemysle:

- **Gravírovanie** – „Je možné ho vytvoriť rôznymi spôsobmi. Ručné razidlo je jedným z najjednoduchších prvkov značkovacieho zariadenia. Tento nástroj je iba obdĺžnikový kus kovu so znakom vyrytým na jednom konci. Na odsadenie znaku v objekte je koniec so znakom priložený k objektu, zatiaľ čo protiahlý koniec sa udrie kladivom. Na automatizáciu procesu je možné razidlo namontovať do lisu. Komplexné matrice vytvorené z razidiel môžu automaticky posúvať číslice a vytvárať po sebe idúce sériové čísla” (Sprovieri. 2019).

Jedným z často používaných spôsobov gravírovania v automobilovom priemysle je:

- Bodové značenie – „je založené na dierovej deformácii materiálu spôsobenej úderom razidla (v tvare ihly). Razidlo je posúvané riadiacou jednotkou s dvoma krokovými motormi v smere X a Y, ktorá umožňuje nakresliť znaky, rámce, logá alebo Datamatrix kódy (obr. 35). Úder razidla sa generuje elektricky alebo pneumatically “ (Agicom 2019). Táto metóda je vhodná pre: kovy, plasty a drevo.



Obr. 35 Alfanumerický kód vytvorený bodovým značením

- **Nanášanie farby tryskami (tryskové tlačiarne)** – „realizuje sa pomocou kvapôčkovej projekcie atramentu na diaľku. Tieto sa používajú na kreslenie znakov, vzorov, log alebo rôznych kódov pomocou posunu (horizontálneho) obrobku v smere písania“ (Agicom 2019). Je vhodný pre: kovy, plasty, drevo, betón, keramiku, sklo, kartón, papier, gumu (obr. 36).



Obr. 36 Brzdová doštička s vytlačenými informáciami (biela farba)

- **Odlievanie reliéfnych a gravírovaných značiek** – pri výrobe dielov technológiou odlievania sa často používa značenie, keď je značka (kód) integrovaná do formy, takže vyrobená časť má priamo zahrnutú značku (obr. 37, 38).



Obr. 37 Kovová súčiastka označená reliéfnymi a gravírovanými kódmi



Obr. 38 Plastová súčiastka označená reliéfnymi značkami

- **Označovanie laserom**

Táto metóda sa vďaka svojim vlastnostiam stáva čoraz obľúbenejšou. „Laserový lúč je vedený systémom odrazových zrkadiel ovládaných počítačom, ktorý umožňuje skenovanie označovanej oblasti (obr. 39, 40, 41). Lúč je zaostrený na povrch, ktorý má byť označený optickou šošovkou, aby sa energia sústredila na veľmi malú plochu. To spôsobuje rôzne fyzikálne a/alebo chemické reakcie (oxidácia, gravírovanie, pálenie ...) podľa nastavenia lasera. Softvér na ovládanie osi XY môže vytvárať ľubovoľnú kombináciu znakov, grafiky, čiarových kódov alebo 2D kódu Datamatrix. Typy fotografických značiek je možné získať pomocou rozumného rastra vytvárajúceho „sivú škálu“ (Agicom 2019).



Obr. 39 Rúrka označená laserom (Fotobalaser 2019)



Obr. 40 Kovový štítok – hlboké gravírovanie (Pannier 2019a)



Obr. 41 Keramická súčiastka označená laserom (Pannier 2019)

Podľa (Troteclaser 2019) „Funkcie a výhody laserovej technológie:

- Flexibilita, je možné označovať variabilnými značkami.
- Bezkontaktné a spoľahlivé možnosti spracovania materiálu.
- Integrácia do výrobných liniek.
- Značenie trvá niekoľko sekúnd a vytvára rýchle časy cyklov.

- Nákladovo efektívna výroba.
- Značenie trvá niekoľko sekúnd a umožňuje väčší výkon.
- Permanentné označenie.
- Perfektné výsledky značenia – jemné značenie.
- Neuveriteľné možnosti dizajnu.“

Metódy laserového značenia (Pannier 2019):

- Laserové gravírovanie/odparovanie.
- Laserové leptanie/tavenie.
- Laserové lepenie.
- Nanášanie povlakov a značiek.
- Farbenie laserom/žíhanie laserom.
- Laserová ablácia (odstraňovanie materiálu z plôch ožarovaním laserovým lúčom).
- 3D gravírovanie.

Materiály vhodné pre označovanie laserom (Troteclaser 2019), (Fotobalaser 2019):

- Kovy – oceľ, nehrdzavejúca oceľ, ušľachtilé ocele, zliatiny ocele, meď, železo, železné kovy, horčík, hliník, hliníkové zliatiny, mosadz, zlato, striebro, platina, paládium, titán, povlakované kovy,
- Plasty – polyamidy, PP, ABS, atď.,
- Keramika,
- (viacvrstvé) laky,
- Kompozity,
- Filmy & Fólie,
- Sklo,
- Organické materiály – preglejka, drevo,
- Prírodné vlákna.

Každá spomínaná metóda použitá na označovanie má svoje výhody a nevýhody. Výber vhodnej metódy závisí od aktuálnych požiadaviek a podmienok. Z dôvodu pokroku laserového značenia sa táto metóda pravdepodobne rozšíri a to nielen v automobilovom priemysle.

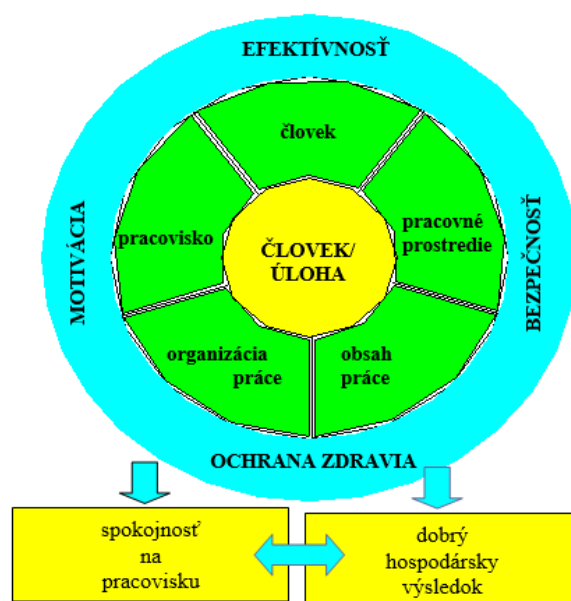
5 ERGONOMIA

Pojem ergonómia má grécky základ. Slovo ergon = práca a nomos = zákon. Ergonómiu je možné charakterizovať ako **náuku o vzťahoch medzi človekom, pracovným prostredím a pracovnými prostriedkami**. Ide o interdisciplinárnu, systémovú náuku, ktorá súvisí s aplikáciou poznatkov viacerých vedných disciplín ako napr. fyziológie, hygieny práce, pracovného lekárstva, antropológie a antropometrie, psychológie a sociológie, teórie riadenia, ekonómie a pod..

Z ergonomického hľadiska sa pri vývoji výrobkov a/alebo navrhovaní pracovísk uplatňujú tieto základné prístupy:

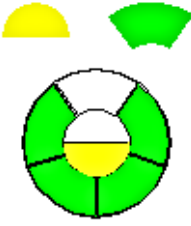
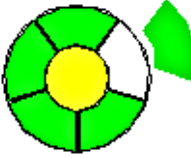
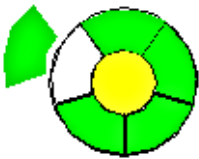
- **korektívny prístup** založený na zlepšovaní a skvalitňovaní dielčích prvkov a činiteľov, odstraňovaní nedostatkov, ktoré nepriaznivo vplyvajú na človeka, alebo ovplyvňujú jeho prácu. Postupne sa odstraňujú nedostatky z ergonomického hľadiska na zvyčajne už existujúcom a používanom pracovisku.
- **konceptný prístup**, ktorý je založený na organickom začlenení ergonomických kritérií a parametrov od začiatku projektových prác, t.j. už v prvej etape konštrukčného návrhu výrobku resp. pri projektovaní pracovísk.

Pri riešení ergonómie na pracoviskách, vrátane montážnych je možné vychádzať z kruhového modelu ergonomických funkcií (Obr. 1). V tabuľke 1 sú detailnejšie popísané jednotlivé zložky kruhového modelu (Suvapro 2010).



Obr. 1 Kruhový model ergonomických funkcií pri projektovaní ručnej montáže podľa (Suvapro 2010)

Tabuľka 1 Zložky kruhového modelu ergonomických funkcií (Suvapro 2010).

Človek 	Centrum modelu tvorí človek a montážna úloha. V tomto modeli sa na jednej strane musí montážna úloha prispôbiť schopnostiam človeka, na druhej strane má aj človek určitú schopnosť prispôbiť sa pracovnej úlohe. Z tohto dôvodu sa „človek,“ nachádza v modeli dva krát. V centre modelu sú preddefinované charakteristiky, ktoré sa nedajú zmeniť, alebo sa dajú zmeniť len ťažko, v <i>akčnej oblasti</i> ide o viac alebo menej premenlivé vlastnosti. <i>Preddefinované charakteristiky človeka:</i> • Pohlavie • Vek • Telesné rozmery • Telesná konštitúcia • Fyziologické vlastnosti a funkcie organizmu <i>Premennivé charakteristiky, ktoré je možné rozvíjať a meniť:</i> • Stupeň vzdelania • Šikovnosť • Skúsenosť • Kondícia
Pracovné prostredie 	<i>Pracovné prostredie</i> tvorí podstatnú časť pracovných podmienok a podmieňuje spokojnosť, pocit pohodlia, bezpečnosť, spokojnosť s prácou, zdravie a v neposlednom rade výkon pracovníka. <i>Faktory pracovného prostredia:</i> • Klima (teplota, prúdenie vzduchu, vlhkosť vzduchu) • Osvetlenie • Hluk • Vibrácie • Žiarenie • Prach • Farebné riešenie • Čistota a poriadok • Firemná kultúra ako súčasť psychologických faktorov
Obsah práce 	<i>Obsah práce</i> patrí k organizácii práce. Z hľadiska zaťaženia pracovníka môže byť obsah práce príliš malý alebo, príliš veľký. To môže viesť k nedostatočnému zaťaženiu alebo k preťaženiu. Obidva javy sa následne týkajú kvality a produktivity práce. Nedostatočné zaťaženie negatívne ovplyvňuje motiváciu a spokojnosť s prácou a v spojení s monotónnou činnosťou napr. v prípade liniek v ktorých sú jednotlivé úlohy rozdelené na malé úseky (<i>Taylorizmus</i>) vedie k strate pozornosti, čo negatívne ovplyvňuje bezpečnosť. Príliš veľký obsah práce je potrebné zredukovať na primerané množstvo práce. <i>Nedostatočné zaťaženie a monotónnosť je možné ovplyvniť:</i> • Rotáciou tzv. <i>job rotation</i> • Rozšírením obsahu práce tzv. <i>job enlargement</i>
Organizácia práce 	<i>Organizácia práce</i> má podstatný vplyv na pracovnú klímu, výkonnosť zamestnancov a hospodárnosť pracovného procesu. <i>K organizácii práce patria:</i> • Pracovné metódy a pracovné pomôcky • Pracovný plán a inštrukcie • Pracovný čas a stanovené prestávky • Hodnotenie práce a odmeňovanie • Vymedzený priestor pre konanie a rozhodovanie
Pracovisko 	<i>Pracovisko</i> a jeho usporiadanie má podstatný vplyv na celý rad faktorov. Zásadnou otázkou je voľba typu pracoviska. Z hľadiska únavy a zaťaženia je najvhodnejšia kombinácia sed-stoj. <i>Základné problémové okruhy týkajúce sa pracoviska:</i> • Sed, stoj, kombinácia sed-stoj • Rozmery • Priestor pre pohyb • Bezpečné vzdialenosti • Vynútené polohy • Uhol pohľadu • Údržba, atď.

Podstatou je vytvoriť také pracovné podmienky, ktoré budú viesť k spokojnosti pracovníkov a tým aj k dobrým hospodárskym výsledkom skrz produktivitu, kvalitu a bezpečnosť na pracovisku.

5.1 Ergonómia v ručnej montáži

Pri vykonávaní ručnej montáže sa obzvlášť treba zamerať na ergonómiu výrobných prostriedkov (nástadie, prípravky, pomôcky a pod.) t.j. na prvky pomocou ktorých pracovník vykonáva prácu a potom samozrejme aj na samotné pracovisko na ktorom prebieha montáž. Existuje celý rad literárnych zdrojov zaoberajúcich sa problematikou a odporúčaniami pre tieto druhy ergonomických problémov, preto sa zameriame iba na stručnú charakteristiku jednotlivých oblastí.

Ergonómia v navrhovaní výrobných prostriedkov

Aby z dôvodu dlhodobého používania nástrojov pri práci počas pracovnej zmeny nedochádzalo u zamestnancov k poškodeniu zdravia je dôležité venovať adekvátnu pozornosť návrhu nástroja. Veľká sila, ktorú je nutné používať pri pracovnom výkone, môže spôsobiť rôzne poškodenia zdravia ako otláčeniny, pl'uzgiere, mozole. Poškodenia zdravia vznikajú nadmerným tlakom držanej časti nástroja na plochu ruky, tlakom na mäkké časti dlane, alebo tlakom, ktorý je spôsobený kĺzaním ruky po rukoväti. Správny tvar nástroja hrá veľmi významnú rolu v súvislosti so znižovaním ochorení z preťaženia. Dizajn nástroja môže ovplyvniť veľkosť vynaloženej sily, pracovnú polohu ruky, vplyv vibrácií a nárazov.

Výkonným orgánom pri práci je ruka. Ruka s nástrojom tvoria jeden celok. Každý nástroj je len prostriedkom, ktorý slúži na uľahčenie ručného výkonu. Nástroj pomáha človeku pri práci, teda uľahčuje jeho výkon. Skúsenosti pri práci viedli človeka k tomu, aby nástroj prispôboval tvaru ruky. Z hľadiska ergonómie je potrebné všímať si hlavne tvar nástroja, jeho rukoväť, veľkosť, hmotnosť a sledovať ako tieto faktory zodpovedajú funkcii nástroja.

Ručné nástroje sa používajú vo väčšine prípadov tam, kde sa požaduje precíznejšia a silovo namáhavejšia ručná práca. Nástroje môžu byť ovládané ručne (skrútkovače, kliešte, kľúč na skrútky, zverák), alebo poháňané motorom (ručná motorová píla, striekacia pištoľ, brúsky).

Nástroje sa používajú iba občas a niektoré nástroje sa používajú počas celej pracovnej zmeny, napr. brúsky na brúsenie kovových častí. Ručné nástroje bývajú zriedka navrhnuté tak, aby vyhovovali rôznym charakteristikám ľudskej ruky. Neberú do úvahy, že daný nástroj môžu používať viacerí ľudia najmä praváci aj ľaváci. V poslednej dobe je síce možné pozorovať

pokrok v tejto oblasti, ale stále je prevažná väčšina náradia z ergonomického hľadiska tzv. „univerzálna“, čo môže znamenať, že je vhodná pre určitú časť populácie, ale určite nezohľadňuje celú populáciu.

Správne navrhnutý nástroj musí zodpovedať anatomickej stavbe ruky, praktickej a fyziologickej účelnosti. Tlak rukoväte má byť rozložený rovnomerne na čo najväčšiu dotykovú plochu s rukou. Dotyková plocha má byť svojou veľkosťou úmerná sile potrebnej na manipuláciu s nástrojom.

Nástroj:

- má byť prispôsobený technologickému postupu, polohe nástroja a charakteristike obrábaného materiálu,
- má vyvolávať esteticky kladné reakcie pri držaní v ruke a musí uľahčovať pracovnú operáciu,
- má mať starostlivo vytvorený povrch, esteticky a štýlovo vyriešený tvar zodpovedajúci pracovnej úlohe,
- musí byť svojím materiálom príjemný na dotyk,
- musí vyhovovať požiadavke hygienickej nezávadnosti, musí byť z kvalitného a trvanlivého materiálu, ktorý má svoje špecifické vlastnosti, ľahký, pevný s vyšším koeficientom trenia, tepelne málo vodivý,
- musí obmedziť silové funkcie ruky na minimum, námaha ruky pri práci s nástrojom musí byť čo najmenšia,
- nesmie byť tvarovaný tak, aby umožňoval len jediný spôsob držania.

Pri navrhovaní nástrojov je potrebné počítať s tým, že 6 až 7% populácie ľudí je ľavákov. Tak isto treba zvláštnu pozornosť venovať osobám, ktoré majú špecifické potreby dané antropometrickými zvláštnosťami či obmedzenou možnosťou pohybu končatín. Ak je nástroj navrhnutý nesprávne, spôsobuje to znižovanie produktivity a kvality práce, tak isto sa zvyšuje zaťaženie človeka, tak fyzické ako aj psychické a dochádza k poškodeniu ruky (otlaky, pľuzgiere, deformácie).

5.2 Ergonómia v navrhovaní pracovísk

Pri projektovaní pracovísk ručnej montáže zohráva ergonómia významnú úlohu a v moderných výrobných už nie je možné predstaviť si ich projektovanie bez aplikácie ergonómie. Je to jednak z dôvodu, že správne resp. nesprávne navrhnuté pracovisko má vplyv na:

- produktivitu montážnych operácií,
- kvalitu montovaných súčastí,
- bezpečnosť pracovísk,
- náklady spojené so zraneniami a chorobami pracovníkov,
- fyzickú a psychickú únavu pracovníkov,
- morálku pracovníkov,
- počet sťažností.

A jednak z dôvodov, že sa pri projektovaní ručnej montáže dostávame aj do oblasti legislatívy týkajúcej sa ochrany zdravia a bezpečnosti práce. Národné záväzné právne predpisy platné v tejto oblasti sa postupne prispôsobujú medzinárodným štandardom ISO a štandardom platným v rámci Európskej únie.

Základné ciele systému ergonomického projektovania v oblasti ručnej montáže je možné špecifikovať nasledovne:

- integrácia ergonomického projektovania do všetkých fáz projektovej činnosti,
- zosúladenie s platnými normami a predpismi vrátane ich kontinuálnej aktualizácie,
- posúdenie vzájomnej interakcie s požiadavkami bezpečnosti,
- analýza nadväzujúcich časových charakteristík.

Pre projektovanie montážnych pracovísk je možné použiť celý rad metód (somatografická metóda, metóda rezu, výpočet na základe antropometrických údajov, rozmerové doporučenia pre štandardné pracoviská, videosomatografia (somatoprojekcia), schématické znázornenie funkčných častí človeka, modelovú metódu a počítačom podporované ergonomické projektovanie). Niektoré z metód sú už historicky prekonané a možno sa s nimi stretnúť už iba veľmi zriedka, pretože boli nahradené počítačovými aplikáciami, ktoré sú v súčasnosti dominujú a plne nahradili ostatné metódy. Aj v tomto prípade je k dispozícii celý rad informácií, manuálov a výukových videí, ktoré sa zaoberajú problematikou aplikácie softvérov pre riešenie ergonómie pracovísk, preto sa zmeriame iba základ z ktorého sa pri navrhovaní montážnych pracovísk vychádza a to je pracovný priestor človeka.

Pracovný priestor človeka

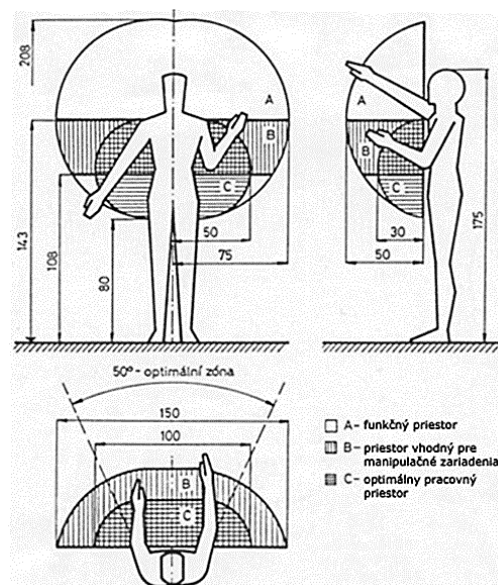
Analýzy pracovného priestoru vychádzajú z antropológie a antropometrie. Analýzy pracovného priestoru zohľadňujú nasledujúce aspekty:

- Antropometrické údaje o stavbe a rozmeroch ľudského tela a možnostiach pohybu jednotlivých častí tela.
- Počet pracovníkov pre ktorých sa vytvára pracovný priestor, ich vek, pohlavie a fyzická zdatnosť.
- Bezpečnostné a hygienické predpisy.
- Psychologicko-fyziologické informácie.
- Informácie o nutnej dĺžke pobytu človeka v danom priestore a častoti jeho používania.
- Údaje o charaktere vykonávanej činnosti.
- Údaje o vybavení pracoviska.
- Údaje o optimálnej pracovnej polohe.
- Údaje o organizácii práce na pracovisku.
- Iné špeciálne údaje.

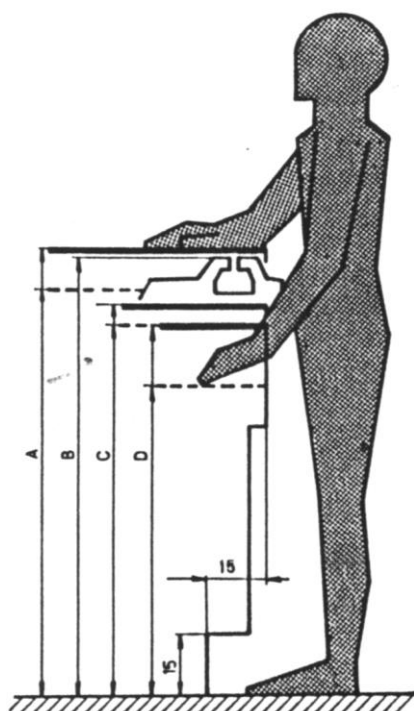
Na základe antropometrických údajov boli vypracované modely pracovných zón. Tieto modely vychádzajú zo základného rozčlenenia ručných prác na:

- práce vykonávané v sede,
- práce vykonávané v stoji,
- práce vykonávané v kombinácii sed-stoj, prípadne v kombinácii s inými polohami.

Na tomto základe bola vypracovaná tzv. somatografická metóda, ktorá znázorňuje ľudskú postavu v technickej alebo projektovej dokumentácii na základe antropometrických údajov (obr. 2, 3, 4, 5).



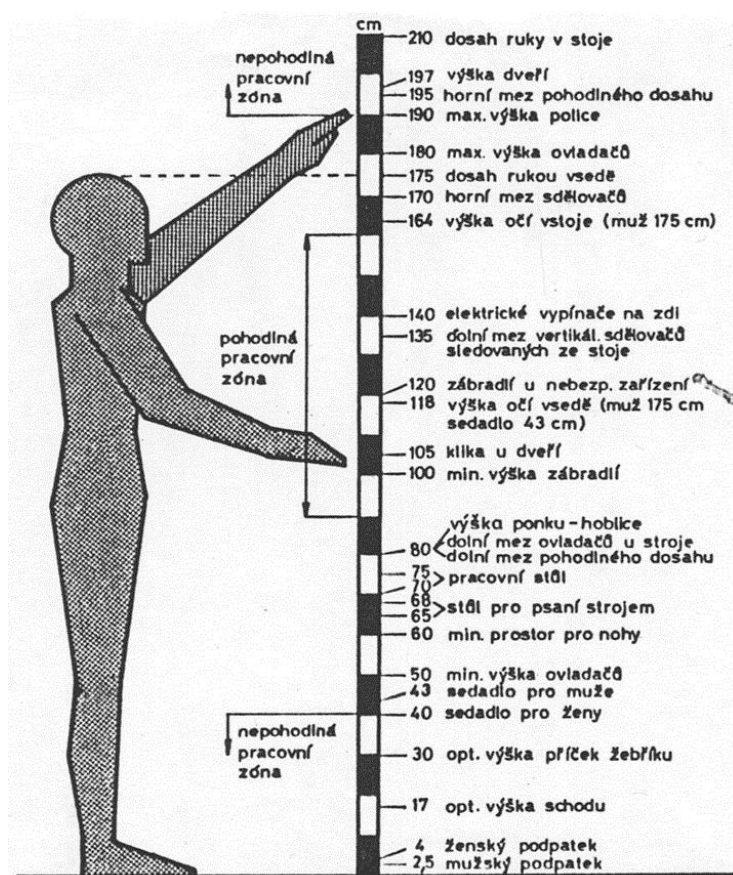
Obr. 2. Pracovná zóna pre prácu v stoji (rozmery v cm) (Mareš 2024)



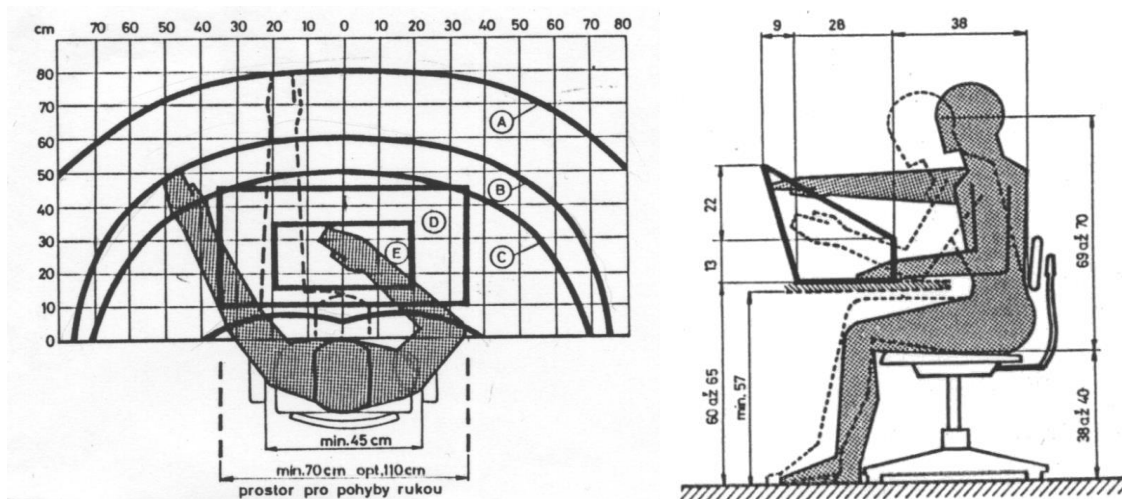
- A- 105 až 115 cm (100 až 110) pre jemné a presné práce, písanie a práce s podopretými lakťami
- B- 113 cm, horná čeľusť zveráku pri zámočnickej práci
- C- 95 až 100 cm (90 až 95) pre práce vyžadujúce zručnosť, svalovo ľahké ručné práce, montáž, balenie.
- D- 80 až 95 cm (75 až 90) pre práce vyžadujúce väčšiu svalovú silu, ťažšie zámočnicke práce

Údaje platia pre muža výšky 175 cm, v zátvorke sú uvedené údaje pre ženu výšky 165 cm.

Obr. 3 Pracovná zóna pre prácu v stoji – odporúčania pre výšku pracovného stola (Mareš 2024)



Obr. 4 Výškové umiestnenie prvkov a zariadení (Mareš 2024)



Obr. 5 Pracovná zóna pre prácu v sede (Mareš 2024)

Práca v stojí

Pri pracovnej polohe v stojí sa doporučuje určitá mäkkosť a pružnosť podlahy. Pri práci v stojí nesmie byť telo dlho v jednej polohe, ale je potrebná občasná zmena postoja a občasný odpočinok v sede.

Výhody práce v stojí:

- práca v stojí umožňuje vo zvýšenej miere striedať zaťaženie jednotlivých svalových skupín
- človek má k dispozícii väčší aktívny priestor
- je možné zapojenie väčšej skupiny svalov
- je možné použiť väčšiu svalovú silu
- prispieva k bdlosti pri práci

Nevýhody práce v stojí:

- spôsobuje väčšie zaťaženie dolných končatín
- prispôbenie pracoviska z hľadiska antropometrických mier je náročnejšie ako v sede
- ťažšie sa tlmia otrasy a vibrácie

Práca v sede

Práca v sede má nasledujúce výhody:

- je vhodnejšia pre jemné práce
- človek je schopnejší viac sa sústrediť
- použitím vhodného sedadla je fyzická únava minimálna

- lepšie tlmenie chvenia a otrasov
- lepšia možnosť používania nožných ovládačov

Nevýhody práce v sede:

- obmedzenie rozsahu možných pracovných pohybov
- nesprávny tvar sedadla môže spôsobovať deformáciu niektorých častí tela
- pri monotónnej práci sa znižuje bdelosť
- zníženie využitia svalovej sily (Mareš 2024).

5.3 Nové prístupy k riešeniu ergonómie

V posledných rokoch sa objavujú nové prístupy k riešeniu ergonómie najmä vo výrobách s veľkým množstvom produkcie a vysokým podielom ručnej práce v montáži. Typickým predstaviteľom takejto výroby je finálna montáž v automobilkách. Finálna montáž automobilov zahŕňa veľké množstvo ručnej práce. Ak je táto práca namáhavá, vedie k rýchlej únave pracovníkov. Únava spôsobuje chyby vo výrobe, znižuje produktivitu a dokonca vedie k nehodám. Aby sa predišlo týmto nežiaducim javom, boli vyvinuté rôzne zariadenia na uľahčenie vykonávania týchto náročných úloh. Ich špecifikom je, že ich nosia pracovníci. Medzi tieto zariadenia patria exoskelety, špeciálne vystužené rukavice a tzv. stoličky bez stoličiek (chairless chairs).

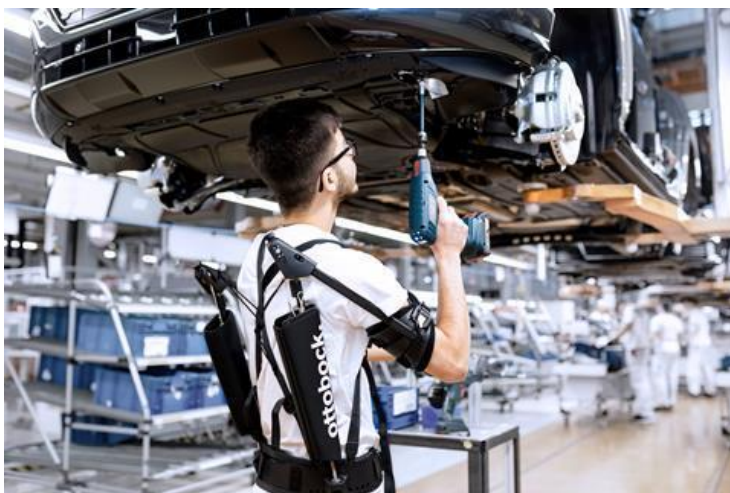
Exoskelety

Exoskelety sú zariadenia, ktoré má zamestnanec na pleciah a sú zaistené pásom okolo bokov, podobne ako batoh. Opierky poskytujú pažiam oporu pri vykonávaní práce nad hlavou, absorbujú časť hmotnosti paží, mechanicky ju presmerujú na boky, čím znižujú záťaž na ramenné svaly (Price 2020).

Tieto zariadenia by mali znížiť únavu pracovníkov pri vykonávaní úloh, keď sú ruky pracovníkov nad úrovňou srdca.

Sú testované mnohými výrobcami automobilov a v niektorých prípadoch boli schválené ako povinné na vykonávanie niektorých montážnych úloh (napr. Toyota).

Audi testovalo ergonomické výhody systémov exoskeletu pre pracovníkov v montáži, lakovníach a výrobe nástrojov. Používajú dve zariadenia – Paexo od spoločnosti Ottobock (obr. 6) a Skelex 360 od spoločnosti Skelex (obr. 7) na posúdenie výkonu pri náročných prácach nad hlavou.



Obr. 6 Exoskelet Paexo od firmy Ottobock - AUDI (Price 2020)

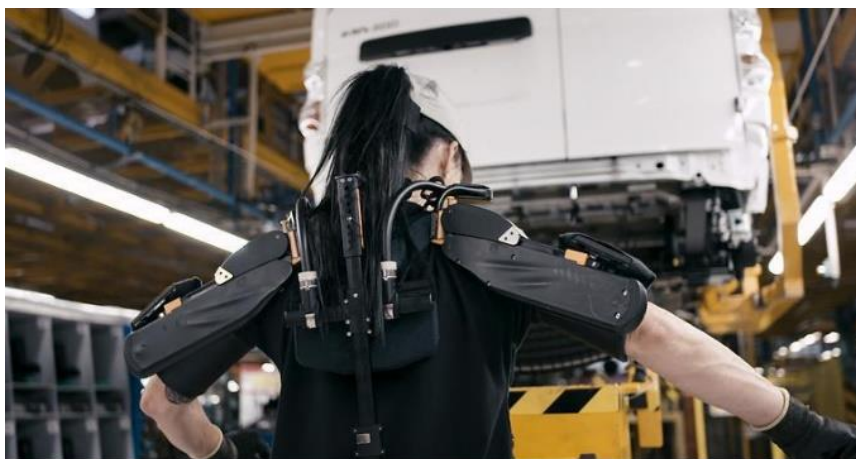


Obr. 7 Exoskelet Skelex 360 od firmy Skelex - AUDI (Price 2020)

Testujú využitie exoskeletu pri statických aj dynamických činnostiach, napríklad pri montáži brzdového vedenia, pripevňovaní obloženia spodku karosérie a nanášaní protikorózneho a tesniaceho ochrany (Price 2020).

Podľa AUDI niektoré testy, t. j. zdvíhanie alebo presúvanie predmetov v lisovni, montážnom a logistickom prostredí, prinášajú dobré výsledky.

Nissan tiež testuje exoskelet, ktorý majú nosiť montážni pracovníci vykonávajúci úlohy nad hlavou (obr. 8). Podľa vyjadrenia firmy Nissan, exoskelety môžu pomôcť znížiť fyzickú námahu svalov až o 60 % a zlepšiť celkovú pohodu pre pracovníkov linky, ktorí sa stretávajú s ťažkosťami pri montáži (Price 2020a).



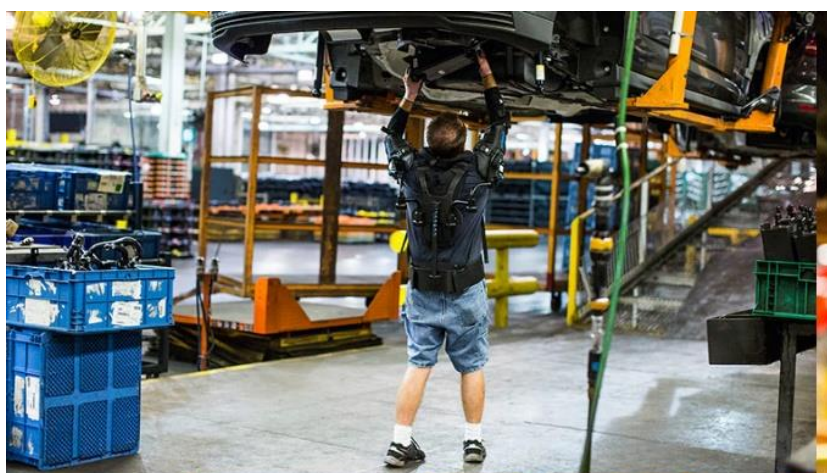
Obr. 8 Exoskelet Levitate používaný v Nissane (Price 2020a)

Toyota podrobne študovala používanie exoskeletu a v roku 2019 oznámila, že po rozsiahлом testovaní v danom roku, požaduje použitie exoskeletu ako povinné v jednom z jej závodov v Indiane. Pri vykonávaní práce nad hlavou prieskumy ukázali, že tí, ktorí nosili exoskelety, hlásili nižšie hodnotenie vnímaného nepohodlia. Elektromyografická štúdia (EMG) zaznamenala štatisticky významné zníženie maximálnej spontánnej kontrakcie ramenných a chrbtových svalov, čo sa premieta do menšej svalovej únavy. Toyota taktiež konštatovala, že výhodami tejto technológie pre konkrétne pracovné miesta v spoločnosti je menej úrazov a nižšie náklady. Aj keď sa náklady na vybavenie môžu pohybovať od 3000 do 70000 USD, je to oveľa menej v porovnaní s nákladom na zranenie ramena pracovníka (Selko 2019).



Obr. 9 Exoskelet Levitate Airframe používaný Toyotou (Hitch 2020)

Ford – spustil pilotný program na preukázanie účinnosti exoskeletov. Exoskelety hornej časti tela boli použité na zníženie zranení ramien pri úlohách vykonávaných nad hlavou, ako je montáž podvozku Mustangu. Na skúšku boli použité exoskelety Ekso Bionics 10-lb EksoVest. (Obr. 10) Podľa Fordu exo-nositeľné zariadenia znižujú hmotnosť používaného elektrického náradia ako aj vlastných končatín – o 5 až 15 libier v každom ramene. Ford hovorí, že títo pracovníci možno budú musieť opakovať režijné úlohy 4 600-krát denne alebo miliónkrát ročne, čo môže viesť k nákladným chirurgickým operáciám a niekoľkým mesiacom absencie. Prostredníctvom systému pántov a neelektrických ovládačov vesta znižuje únavu deltových svalov a rotačných svalov (Hitch 2020a).



Obr. 10 Používanie exoskeletu vo FORDe (Hitch 2020a)

Automobilka Hyundai vyvíja vlastnú verziu exoskeletu – Wearable Vest EXoskeleton (VEX) (obr. 11).



Obr. 11 Hyundai exoskelet – VEX (Hyundai 2023)

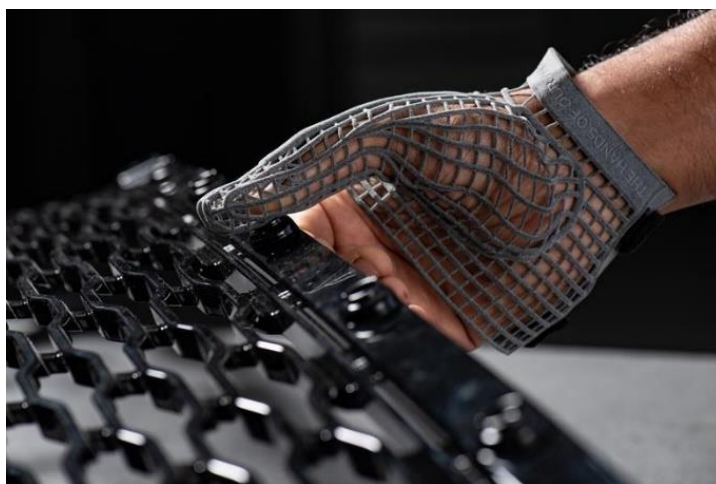
Taktiež automobilka Porsche testuje exoskeleton (obr. 12). Ide o tú istú verziu exoskeletu, ktorú používa aj firma AUDI t.j. Paexo od firmy Ottobock.



Obr. 12 Porsche – testovanie exoskeletu Paexo (Hitch 2020)

Ortotické zariadenia tlačené 3D tlačiarňach

Ďalším typom zariadení sú ortotické zariadenia. Zaujímavosťou nižšie uvedených zariadení je, že si ich automobilky navrhli a aj vyrobili samé na 3D tlačiarňach. Automobilka Jaguar Land Rover (Veľká Británia) testovala 3D vytlačenú rukavicu (obr. 13), aby zabránila zraneniam pracovníkov výrobnéj linky. Rukavica sa používa ako časť ochranného odevu s cieľom chrániť pracovníkov výrobnéj linky pred hrozbou ochorenia pohybového ústrojenstva, napríklad pracovníkmi, ktorí pri montáži pripevňujú na podvozok spony a upevňovacie prvky (AMS 2020).



Obr. 13 Jaguar Land Rover – rukavica vytlačená na 3D tlačiarňi (AMS 2020)

Podobné zariadenie vyvinula aj spoločnosť BMW (obr. 14) pre pracovníkov, ktorí pred lakovaním vkladajú do odtokových otvorov gumené zátky.



Obr. 14 Ortotické zariadenie firmy BMW (Cable 2020)

Montážnici zatláčajú zástrčky palcami. Ak sa musí táto úloha vykonávať stokrát alebo tisíckrát denne, utrpenie únavového zranenia je len otázkou času. Preto bola vyvinutá flexibilná plastová výstuž na prst, ktorá chráni pracovníkov pred nadmerným zaťažením kĺbov palca pri zatláčaní zástrčiek. Každá výstuž na prst je vyrobená presne na mieru pre konkrétneho pracovníka v montážnom závode BMW pomocou selektívneho laserového spekania t.j. technológie aditívnej výroby. Palec pracovníka sa meria mobilným 3D skenerom (Sprovieri 2020).

Výstuž palca je otvorená na kĺboch, aby umožnila pracovníkom pohybovať palcom bez obmedzenia. Plastový materiál je zosilnený na zadnej strane palcov a pri natiahnutí palcov tvorí stabilnú dlahu. Ergonomický dizajn prenáša námahu cez celý palec až po karpus. Podľa vyjadrenia firmy BMW, bola v prvých praktických testoch spätná väzba pracovníkov veľmi pozitívna (Cable 2020).

Spravidla je výstuž elastická, ale vytvára pevné a tuhé kombinácie pri vyššej pevnosti materiálu. Mechanická pevnosť v ťahu je vysoká, čo zaisťuje, že materiál môže odolať aj silnému nepretržitému namáhaniu bez trhania (Cable 2020).

Stolička bez stoličky (Chairless chair)

Podľa Marca Sapettiho, dizajnéra „stoličky bez stoličky“, stolička bez stoličky (obr. 15) je: „nositeľný pasívny exoskelet pripevnený k zadnej časti nôh, ktorý používateľom umožňuje voľne sa prechádzať a potom rýchlo prejsť na polohu podoprenú v podpore, prikrčení alebo v

sede podľa potreby. Bola vyvinutá v spolupráci s výrobcou Noonee na použitie pracovníkmi v automobilových firmách, ktorí musia vykonávať opakujúce sa úlohy, ako je montáž malých dielov do podvozku auta“ (Cousins 2020).



Fig. 15 Stolička bez stoličky (Cousins 2020)

Používajú ho automobilky ako Audi, BMW, Daimler, Ford, Renault, Toyota a Volkswagen. Používanie tohto zariadenia si vyžaduje školenie. Pri používaní tohto zariadenia existujú určité obmedzenia, napr. nie je možné chodiť po schodoch alebo zostupovať alebo behať na stoličke bez stoličky (Cousins 2020).

Podľa Audi (obr. 16): „Pri mnohých montážnych operáciách umožňuje zamestnancom sedieť v ergonomicky priaznivej polohe namiesto stáť aj pri krátkych pracovných intervaloch. Nosná konštrukcia zároveň zlepšuje držanie tela a znižuje námahu nôh. Stoličky a podpery, ktoré sa v súčasnosti používajú pri niektorých montážnych operáciách, sú už zbytočné“ (Kara 2020).



Fig. 16 Stolička bez stoličky používaná vo firme AUDI (Sprovieri 2020)

Hyundai Motor Group vyvinula a testovala Hyundai Chairless Exoskeleton (H-CEX), zariadenie na podopretie kolenného kĺbu, ktoré udržiava pracovníkov v sede (obr.17).



Obr. 17 Bez stoličkový exoskelet firmy Hyundai (H-CEX) (Kara 2020)

Podľa firmy Hyundai je systém H-CEX navrhnutý tak, aby znižoval úrazy a zvyšoval efektivitu pracovníkov (Kara 2020).

ZÁVER

Cieľom predloženej učebnice je uviesť čitateľa do problematiky montáže, ktorá má významné postavenie v strojárskych výrobe. Vzhľadom na rozsiahlosť problematiky je učebnica zameraná iba na niektoré vybrané aspekty montáže.

Učebnica je rozdelená do piatich kapitol. V prvej kapitole je stručne popísaná história montáže, montážny proces a popísané sú základné pojmy používané v oblasti montáže. Druhá kapitola popisuje klasifikáciu výrobných procesov podľa normy DIN 8580 s osobitným prihliadnutím na skupinu 4 t.j. spájanie, pričom je uvedené podrobné rozdelenie procesov spájania podľa normy DIN 8593 ako aj rozdelenie operácií montážneho procesu podľa normy VDI 2860. K tomuto členeniu treba poznamenať, že nemusí byť v súlade s členením podľa iných noriem resp. zaužívaných zvyklostí. Tretia kapitola je venovaná spojom používaným pri montáži s prihliadnutím na najnovšie trendy v tejto oblasti zastúpené novými druhmi skrutiek ako aj spôsobov ich poistovania. Štvrtá kapitola sa venuje technickým zariadeniam používaným v montáži so zameraním na ručné montážne pracoviská a ich vybavenie ako aj technickým prostriedkom, ktorých cieľom je eliminovať chyby v montáži pomocou navádzania pracovníkov a označovania súčiastok. V poslednej, piatej kapitole sú popísané základy ergonómie a nové trendy v oblasti ergonómie zamerané na uľahčenie práce pomocou exoskeletov a iných technických pomôcok.

Veríme, že učebnica bude slúžiť nielen ako zdroj znalostí pre študentov strojárskych odborov I., II. A III. stupňa vysokoškolského štúdia, ale aj ako užitočná príručka pre inžinierov, ktorí sa chcú neustále vzdelávať a zlepšovať svoje schopnosti.

Želáme príjemné štúdium.

Autori

VIDEO – PODPORA PRE UČEBNICU

Videá ku kapitole: 1 MONTÁŽ A JEJ POSTAVENIE VO VÝROBNOM PROCESÉ

História montáže, Henry Ford: <https://www.youtube.com/watch?v=KJeN6RSqbOc>

<https://www.youtube.com/watch?v=0d8ZbmBcfL8>

<https://www.youtube.com/watch?v=2hVEmBKdm1s>

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

Videá ku kapitole: 2 ROZDELENIE MONTÁŽNYCH PROCESOV

Elektrotechnický priemysel: <https://www.youtube.com/watch?v=k-ANiLQGRoU>

https://www.youtube.com/watch?v=pN8dJ6VV5_k

<https://www.youtube.com/watch?v=ro76UTpt6dI>

Výrobné a montážne operácie: <https://www.youtube.com/watch?v=T30WGLCRevo>

DIN 8580:2003: https://www.youtube.com/watch?v=CdHx_IPrk_g

Videá ku kapitole: 3 MONTÁŽNE TECHNOLOGIE

Výroba skrutiek: <https://www.youtube.com/watch?v=rIoMjnzBwkQ>

Aplikácie skrutkových spojov: <https://www.youtube.com/watch?v=f7qkHxG1v1E>

<https://www.youtube.com/watch?v=Pb8wQSprYMw>

Poist'ovanie skrutiek systémom Nord-Lock:

<https://www.youtube.com/watch?v=id973dHbATc>

<https://www.youtube.com/watch?v=WPCfd4Zr6rE>

<https://www.youtube.com/watch?v=5MNUUMcNjUE>

Poist'ovanie skrutiek systémom Precote: <https://www.youtube.com/watch?v=ZsOjSfcV3Ac>

Poist'ovanie skrutiek systémom IstLock: <https://www.youtube.com/watch?v=ei6PF9R0pb4>

Poist'ovanie skrutiek systémom TaTrim: <https://www.youtube.com/watch?v=L3BqNwn-GZA>

Poist'ovanie skrutiek systémom RIVKLE: <https://www.boellhoff.com/sk-sk/spojovacie-riesenia-pre-vsetky-odvetvia/automobilovy-priemysel/>

Videá ku kapitole: 4 TECHNICKÉ ZARIADENIA V MONTÁŽI

Konfigurovateľná pracovná stanica: https://www.youtube.com/watch?v=G__9lvge420

MTPPro: <https://www.youtube.com/watch?v=00sJ1kGJB->

E&list=PLRO3LeFQeLyNiJMqc5TxP5ccUe8JlYKM-&index=2

Pick by light: <https://www.youtube.com/watch?v=e5gQ4YSzYyg>

Pick by voice: <https://www.youtube.com/watch?v=pdjJNyIdyBs>

Pick by vision: <https://www.youtube.com/watch?v=PaXFFxP66Gk>

Augmented reality: <https://www.youtube.com/watch?v=gYkApnv8QIO>

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

Videá ku kapitole: 5 ERGONOMIA

Ergonómia a konštruovanie: <https://www.youtube.com/watch?v=LAKlmdMHpdE>

Návrh pracovnej stanice: <https://www.youtube.com/watch?v=dVFtAEDlnRA>

<https://www.youtube.com/watch?v=Xt-GNFi79Ps>

<https://www.youtube.com/watch?v=8m3Q5zZFP9Y>

https://www.youtube.com/watch?v=YR2nM6R_TOk

LITERATÚRA

Použitá literatúra: Kapitola 1

Boothroyd, G. Assembly automation and product design. New York: Basel, Marcel Dekker, Inc. 1991, s. 2-6. ISBN 0-8247-8547-9

BUDA, Ján a Kováč Milan. (1985). Metodika projektovania výrobných procesov v strojárstve. 2. vydanie. Bratislava: Alfa. 509 s. ISBN 80-05-00234-3 (viaz.)

Cambridge.(n.d.) (2022). <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/assembly-line>

Crowson, Richard (2006). Assembly Processes – Finishing, Packaging, and Automation. The Handbook of Manufacturing engineering. Second Edition. New York: Taylor & Francis. ISBN-13: 978-0-8493-5565-3

Glézl, Štefan, Kamarád Josef a Slimák Ivan. (1992). Presná mechanika. Bratislava: Alfa. 720 s. ISBN 80-05-00972-0 (viaz.)

Halaj, M., Mikulecký, I. (2014). Metrológia v skratke. Doplnené vydanie. Slovenská legálna metrológia. 86 s. ISBN 978-80-85342-35-2.

LOTTER, B., WIENDAHL, H.P.: Montage in der industriellen Produktion, Springer, Berlin Heidelberg, New York, 2006, s.531, ISBN 13978-3-540-21413-7

Lotter, Bruno. (2013). Manufacturing Assembly Handbook. Butterworth-Heinemann, p. 414. ISBN 1483163385, 9781483163383

Mareš, A. (2023). Základy montáže 1. Technická univerzita v Košiciach, 72 s. ISBN 978-80-553-4447-8

Nof, S.Y., Wilhelm, W.E., Warnecke, HJ. (1997). Introduction and fundamental concepts of assembly. In: Industrial Assembly. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6393-8_1

Petrů, J.; Čep, R. (2012) Základy montáže. Ostrava: Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 123 s. ISBN 978-80-248-2773-5

Re Velle, J. B.; Moran, J.W.; Cox, C.A. The QFD Handbook. John Wiley and Sons, Inc. New York, 2000, str. 410.

SixLeanSigma (2023). Line Balancing Cycle Time Takt Time Workload Balance Man Machine Setup Time Assembly Line Balancing. <https://www.sixleansigma.com/index.php/wiki/lean/line-balancing-cycle-time-takt-time-assembly-workload-balance-man-machine-setup-time/>

Swift, K. G. Booker, J. D.. (2003). Process Selection – From Design to Manufacture (2nd Edition) – 3.3.1.2 Component Fitting Analysis. Elsevier. Retrieved from <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt009XPD72/process-selection-from/component-fitting-analysis>

Schwartz, W.H. An Assembly Hall of Fame. Assembly Engineering, Jan. 1988, p. 30.

Václav, Š. Objektívna metóda pre montáž. Objective Method for Assembly – OMA. STU v Bratislave MTF, Trnava 2005. – 164 s.

Václav, Štefan, Senderská Katarína, Benovič Martin. (2011). Technológia montáže a CAA systémy. Trnava: AlumniPress, 249 s. ISBN 978-80-8096-141-1

VÁCLAV, Š.: Objective Method for Assembly. – 1st Edition. – Köthen: Hochschule Anhalt, 2011. 102 s. ISBN 978-3-86011-044-7

Václav, Š.: Učebné texty. 2023

Valentovič, E.: Technológia montáže. Bratislava: STU, 1999.

Valentovič, Ernest. (2001). Základy montáže. Bratislava: Slovenská technická univerzita (Bratislava), 136 s. ISBN 802271464X (brož.)

Vasilko, Karol, Hrubý Jindřich a Lipták Ján. (1991). Technológia obrábania a montáže. Bratislava: Alfa, 494 s. ISBN 80-05-00807-4 (viaz.)

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. <https://doi.org/10.3390/app13169202>

WARNECKE, H. J., LÖHR, H. G., KEINER, W. Montagetechnik – Schwerpunkt der Rationalisierung. Otto Krauskopf. Verlag GmbH. Mainz 1975

Použitá literatúra: Kapitola 2

Kuznetsov, A.P., Koriath, H.-J. (2018). Development of a classification and generation approach for innovative technologies. Procedia Manufacturing, Volume 21, pages 798-805. ISSN 2351-9789.6 <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.186>.

Traidia, A., Roger, F.: A Transient Unified Model of Arc-Weld Pool Couplings during Pulsed Spot Gas Tungsten Arc Welding. https://www.comsol.com/paper/download/101183/traidia_paper.pdf

Senderská, Katarína; Mareš, Albert. (2013). Spájanie ako súčasť výrobných metód - spájanie skladaním. Spôsob prístupu: <http://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/26-2013/pdf/090-093.pdf>. In: Transfer inovácií. č. 26 (2013), s. 90-93. - ISSN 1337-7094

Black, J. T.; Kohser, Ronald A. (2017). DeGarmo's Materials and Processes in Manufacturing – Softcover. 12th Edition. John Wiley & Sons, p. 864. ISBN-13: 978-1118987674

Feldmann, K., Schöppner, V., Spur, G. (2014): Handbuch Fügen, Handhaben, Montieren. München : Hanser, ISBN: 978-3-446-42827-0

CIRP, (2020). Dictionary of Production Engineering IV – Assembly; Wörterbuch der Fertigungstechnik IV – Montage; Dizionario di Ingegneria della Produzione IV – Assemblaggio. Tolio, Tullio. Heidelberg: Springer Vieweg Berlin. p. 382. ISBN 978-3-662-53341-3

Uhlmann, Eckart. Fügen. Fertigungstechnik Vorlesung 11. Technische Universität Berlin.

Wittel, H., Muhs, D., Jannasch, D., Voßiek, J. (2015). Nietverbindungen. In: Roloff/Matek Maschinenelemente. Springer Vieweg, Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-09082-1_7

Kusch, Mario; Matthes, Klaus-Jürgen; Schneider, Werner. (2021). Schweißtechnik - Schweißen von metallischen Konstruktionswerkstoffen. Hanser (Verlag). ISBN 978-3-446-46745-3

Použitá literatúra: Kapitola 3

Albany county fasteners. 2020. Blind (POP) Rivets 101. FASTENERS 101TM. [cit. 2020-05-05]. Dostupné na internete: <https://www.albanycountyfasteners.com/Rivet-Guide-s/1158.htm>

A.T.S. 2020. 3M SCOTCH-GRIP™4291 SCREW TREATMENTS. [cit. 2020-05-21]. Dostupné na internete: <https://www.atlamberti.com/en/3m-scotch-grip-4291>

ASSEMBLY. 2018. Advances in self-piercing riveting. [cit. 2020-05-05]. Dostupné na internete: <https://www.assemblymag.com/articles/94431-advances-in-self-piercing-riveting>

Bolek, A., Kochman, J.: *Časti strojů*. Praha: SNTL, 1989.

BOLLHOFF. 2020. Samorezné vytváranie spojov. AMTEC® Skrutka. [cit. 2020-05-14]. Dostupné na internete: <https://www.boellhoff.com/sk-sk/vyroby-a-sluzby/specialni-spojovaci-prvky/priame-skrutkovanie-amtec.php>

BOSSARD. 2020. Nytemp® – Self-locking patch. [cit. 2020-05-20]. Dostupné na internete: <https://www.bossard.com/en/product-solutions/brands/coatings-sealants-for-fasteners/nytemp/>

Bošanský, M. 2009. Konštruovanie I. Konštrukčné prvky. Bratislava: STU. ISBN 978-80-2273-161-4

Danišová, N. a kol. 2012. Základy konštruovania a technická dokumentácia. Návod na cvičenia. Trnava: AlumniPress. ISBN 978-80-8096-158-9

Dominik, J. 2007. Dosť bolo korózie. Technika, 5 (4), 44 - 45. ISSN 1337-0022

Dominik, J. 2008. Tribologické aspekty istenia skrutkových spojov systémom IstLock. Tribotechnika. [cit. 2020-03-28]. Dostupné na internete: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-32010/tribologicke-aspekty-istenia-skrutkovych-spojov-systemom-istlock.html>

Dominik, J. 2010. Prečo je dôležité istiť a kontrolovať skrutkové spoje. Technika, 8(3), 16-18. ISSN 1337-0022

Dominik, J. 2012. Categorization of Poly-functional Fasteners. China Fastener World, [cit. 2020-05-09]. Dostupné na internete: <https://www.ferodom.sk/Slovenskaverzia/Publikacie/Clanky/?PHPSESSID=ls14b1vtlonv449rsm9c5tuno3>

Dominik, J. 2013. Panacea na koróziu neexistuje. TriboTechnika, 6(6), 44-47. ISSN 1338 0524

Dominik, J. 2014. When the Wheel is Faster than the Vehicle. Fastener World, (144), 264-269. [online, citované 16. 2. 2015] Dostupné z: http://www.fastenerworld.com.tw/0_magazine/ebook/web/page.php?sect=FW_144_E&p=264

- Dominik, J., Žmindák, M. 2011. Niektoré nové aspekty istenia skrutiek. TechPark. [cit. 2020-04-11]. Dostupné na internete: <http://www.techpark.sk/technika-562011/niektore-nove-aspekty-istenia-skrutiek.html>
- FABORY. 2020. Povrchové úpravy skrutiek. [cit. 2020-05-20]. Dostupné na internete: https://www.fabory.com/sk/knowledge_center/technical/surface_treatments
- FERODOM. 2015. TaTrim, nový systém istenia skrutkových spojov, patentovaný Ferodom. [cit. 2020-05-05]. Dostupné na internete: <https://www.ferodom.sk/Slovenskaverzia/Novinky/TaTrim/?PHPSESSID=sfs53qmrmsf3ncv23b3d063943>
- Gergel, Z. 2015. Progresívne metódy spájania súčiastok v montáži pomocou skrutkových spojov. Bakalárska práca.
- Hosnedl, S., Krátký, J.: *Příručka strojního inženýra*. Brno: Computer press, 1999.
- Kaščák, Ľ. a kol. 2013. Application of modern joining methods in car production. Rzeszów: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. ISBN 978-83-7199-903-8
- Kováč, J., Svoboda, M., Líška, O.: Automatizovaná a pružná montáž. Košice: Viena, 2000.
- Kuric, I. 1995-99. Technológia automatizovanej výroby. Učebné texty – prednášky. [online] Aktualizované 1.11.2000. [citované 3. 3. 2015] Dostupné z: <http://fstroj.utc.sk/web/kma/student/tav/kap5/tav%20texty%20kap10b.htm>
- Lacko, F. a kol. 2010. Základy konštruovania a technická dokumentácia. Trnava: AlumniPress. ISBN 978-80-8096-134-3
- Lišaník, S. 2020. Progresívne metódy spájania súčiastok v montáži pomocou skrutkových spojov. Bakalárska práca.
- Medvecký, Š. a kol. 2007. Konštruovanie 1. Žilina: Žilinská univerzita. ISBN 978-80-8070-640-9
- NYLOK, 2020. All products. [cit. 2020-05-20]. Dostupné na internete: <https://nylok.com/products>
- Peterka, J., Pokorný, P.: Počítačová podpora výrobných technológií I. Návod na cvičenia. Trnava: AlumniPress, 2009.
- PRECOTE, 2020. Thread coatings. About Precote®. [cit. 2020-05-20]. Dostupné na internete: https://www.precote.com/ueber-precote_en.html
- Singh, A. 2008. Machine Drawing: Includes AutoCAD. New Delhi: Tata McGraw-Hill Education. ISBN 978-0-07-065992-6
- Swantec. 2020. Mechanical joining. [cit. 2020-05-06]. Dostupné na internete: <https://www.swantec.com/technology/mechanical-joining/>
- TC FIXINGS. 2019. Tek screws – what are they? [cit. 2020-05-09]. Dostupné na internete: <https://www.tcfixings.co.uk/articles/tek-screws-what-are-they>
- TWI GLOBAL. 2020. What is clinching and how does it work?. [cit 2020-05-09]. Dostupné na internete: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-what-is-clinching-and-how-does-it-work>
- Úrad priemyselného vlastníctva Slovenskej republiky: Poistná podložka na skrutkové spoje. Majiteľ a pôvodca patentu: Jozef Dominik. Slovenská republika. Patentový spis, SK 4574 U. 2006-07-18.

Václav, Štefan, Senderská Katarína, Benovič Martin. (2011). *Technológia montáže a CAA systémy*. Trnava: AlumniPress, 249 s. ISBN 978-80-8096-141-1

Valentovič, E.: *Technológia montáže*. Bratislava: STU, 1999.

Valentovič, E.: *Technológia montáže*. Bratislava: STU, 1999.

Valentovič, E. *Základy montáže*. Skriptá. STU Bratislava 2001, str. 13-14.

Velíšek, K., Pecháček, F.: *Montážne troje a zariadenia*. Bratislava: STU, 2003

Žiačik, A. a kol. 2008. *Časti strojov I. Vybrané kapitoly*. Trenčín: TnUAD. ISBN 978-80-8075-340-5

Použitá literatúra: Kapitola 4

Ade Vertrieb 2024. Pick by vision. [cit. 2024-03-10]. Dostupné na internete: <https://www.ade-vertrieb.de/en/e-kanban/pick-by-vision/>

Agicom. 2019. Laser marking. [viewed 20 September 2019]. Dostupné na internete: <https://www.agicom.com/en/car-parts-marking.htm/>

Armbruster 2024. Pick to Light. [cit. 2024-02-09]. Dostupné na internete: <https://www.armbruster.de/en/elam-enterprise>

AssemblyMag. 2019. Laser marking. [viewed 20 September 2019]. Dostupné na internete: <https://www.assemblymag.com/ext/resources/Issues/2014/August/Marking/asb0814mark7.jpg>

Boschrexroth 2024. Pracovná stanica pre ručnú montáž. [cit. 2024-05-21]. Dostupné na internete: <https://www.boschrexroth.com/en/dc/>

Boschrexroth 2024a. Pracovné stanice s paletovým dopravníkom. [cit. 2024-05-25]. Dostupné na internete: <https://www.boschrexroth.com/en/dc/>

Boschrexroth 2024b. Pracovná stanica s asistenčným systémom. [cit. 2024-06-12]. Dostupné na internete: <https://www.boschrexroth.com/en/dc/>

Boschrexroth 2024c. Pracovná stanica pre ručnú montáž. [cit. 2024-06-13]. Dostupné na internete: <https://www.boschrexroth.com/en/dc/>

Boschrexroth 2024d. Komponenty montážnej pracovnej stanice. [cit. 2024-06-13]. Dostupné na internete: <https://www.boschrexroth.com/en/dc/>

Boschrexroth 2024e. Komponenty montážnej pracovnej stanice. [cit. 2024-06-13]. Dostupné na internete: https://www.boschrexroth.com/MTeShop/Configuration/?Scenario=portal&pi=2200475E-A03D-C72B-2D4E8CD0F818D6C9_ICS_8840&cat=MT&p=p833169&Configurator=MTeShop&Modelcode=MPS_2_14

Boschrexroth 2024f. Komponenty montážnej pracovnej stanice. [cit. 2024-06-13]. Dostupné na internete: <https://www.boschrexroth.com/en/cz/products/product-groups/assembly-technology/topics/engineering-software-mtpro/>

Bosch 2024. Komponenty montážnej pracovnej stanice. [cit. 2024-06-15]. Dostupné na internete: <https://www.boschrexroth.com/en/cz/products/product-groups/assembly-technology/topics/engineering-software-mtpro/>

Bosch 2024a. Komponenty montážnej pracovnej stanice. [cit. 2024-06-15]. Dostupné na internete: https://dc-mkt-prod.cloud.bosch.tech/xrm/media/global/product_group_1/assembly_technology/topics_1/engineering_software_mtpro/boschrexroth-mtpro-layout-designer_640x360.jpg

BMW group 2024. Augmented Reality. [cit. 2024-02-11]. Dostupné na internete: <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0294345EN/absolutely-real:-virtual-and-augmented-reality-open-new-avenues-in-the-bmw-group-production-system?language=en>

BMW group 2024a. Augmented Reality. [cit. 2024-02-11]. Dostupné na internete: <https://mediapool.bmwgroup.com/cache/P9/201904/P90343106/P90343106-training-new-staff-is-supported-by-augmented-reality-glasses-and-virtual-assistance-at-the-assembly--600px.jpg>

CDN. 2019. Laser marking. [viewed 20 September 2019]. Dostupné na internete: https://cdn.ttgtmedia.com/rms/misc/qr_code_bar code.jpg

Discover Germany 2011. [cit. 2024-03-11]. Dostupné na internete: <https://www.discovergermany.com/assistance-systems-in-manufacturing-environments-a-guidepost-for-industry-4-0/>

Dynamici. 2019. Laser marking. [viewed 20 September 2019]. Dostupné na internete: <http://www.dynamicimaging solutions.com/images/items/rfid-square.jpg>

Ecfeda 2024. Pick by vision. [cit. 2024-03-09]. Dostupné na internete: <https://ecfeda1c.rocketcdn.me/wp-content/uploads/2016/03/pick-by-vision-datenbrille.png>

Fotobalaser. 2019. Laser marking. [viewed 20 September 2019]. Dostupné na internete: <https://www.fobalaser.com/applications/materials/>

Henning Vogler. Sicher und flexibel montieren. Manuelle Montage im Blick. 11. Apr. 2011. [cit. 2024-03-09]. Dostupné na internete: <https://www.all-electronics.de/elektronik-fertigung/manuelle-montage-im-blick.html>

Idlabelinc. 2019. Laser marking. [viewed 20 September 2019]. Dostupné na internete: <https://idlabelinc.com/understanding-common-barcode-symbologies/>

Inthergroup 2024. Pick by Light. [cit. 2024-03-20]. Dostupné na internete: <https://inthergroup.com/integrated-system-solutions/technologies/order-picking/pick-to-light-zone-picking>

Item 2024. Komponenty montážnej pracovnej stanice. [cit. 2024-06-15]. Dostupné na internete: <https://item.engineering/FRen/tools/workbench-configurator/>

Item 2024a. Komponenty montážnej pracovnej stanice. [cit. 2024-06-15]. Dostupné na internete: https://item.engineering/FRen/tools/workbench-configurator/_unsaved_/equipment

KBS 2024. Pick by Light. [cit. 2024-03-06]. Dostupné na internete: <https://www.kbs-gmbh.de/en/classiv-pick-by-light-module-for-shelving-systems/>

Luca 2024. Pick to Light. [cit. 2024-03-05]. Dostupné na internete: <https://www.luca.eu/en/pick-to-light/>

Matthewsautomation 2024. Pick to Light. [cit. 2024-03-07]. Dostupné na internete: <https://matthewsautomation.com/pick-to-light-controlled-by-plcs/>

Minitec 2024. Komponenty montážnej pracovnej stanice. [cit. 2024-06-15]. Dostupné na internete: <http://minitec.kimweb.de/Default.aspx?laid=100>

Nuspark 2024. Automatic Assembly. [cit. 2024-02-11]. Dostupné na internete: <https://nuspark.com/automatic-assembly-fixture-rotary-indexer-infra-red-staking>

Pannier 2019. Laser marking. [viewed 20 September 2019]. Dostupné na internete: <https://www.pannier.com/laser/laser-marking-methods/>

Pannier 2019a. Laser marking. [viewed 20 September 2019]. Dostupné na internete: <https://www.pannier.com/laser/about-laser-marking/>

Pontius Nicole. 2019. Guide to Barcode Types and Standards: 1D, 2D Barcode Symbolologies, Requirements, and Standards-Issuing Entities [online] [viewed 20 September 2019]. Dostupné na internete: <https://www.camcode.com/asset-tags/guide-to-barcode-types-standards/>

Rexroth (a Bosch company) (2021). Manual Production Systems 8.0 (MPS 8.0). 3 842 538 281 (2021-08). Stuttgart - Bosch Rexroth AG.

Rockwell Automation 2024. Augmented Reality. [cit. 2024-02-13]. Dostupné na internete: <https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/software/factorytalk/innovationsuite/augmented-reality.html>

Schaefer shelving 2023. ePick. [cit. 2024-03-09]. Dostupné na internete: <https://www.schaefer shelving.com/t-warehouse-picking-epick.aspx>

Smartvision 2024. Automatic Assembly. [cit. 2024-02-11]. Dostupné na internete: <https://smartvision.eu/pracovisko-vizualneho-navadzania-a-kontroly/>

Senderská, K. (2015): Prednášky z predmetu „Metódy pre inteligentné výrobné systémy“. TU v Košiciach. 2015.

Sprovieri John. 2019. Part Marking Options. ASSEMBLY magazine [online]. [viewed 20 September 2019]. Dostupné na internete: <https://www.assemblymag.com/articles/92339-part-marking-options>

Stamh 2024. Pick by Voice. [cit. 2024-03-05]. Dostupné na internete: <https://stamh.com/pick-by-voice>

TLM LASER. 2019. Laser marking. [viewed 10 September 2019]. Dostupné na internete: <https://www.tlm-laser.com/laser-applications/automotive-part-marking>

Troteclaser. 2019. Laser marking. [viewed 20 September 2019]. Dostupné na internete: <https://www.troteclaser.com/hr/applications/automotive-parts/>

Wikipedia. 2019. Laser marking. [viewed 20 September 2019]. Dostupné na internete: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Datamatrix.svg>

Použitá literatúra: Kapitola 5

Suvapro, (2010). Ergonomie. Erfolgsfaktor für jedes Unternehmen. Luzern. 32 s. [cit. 17. 11. 2024] [online]. Dostupné na internete: http://www.sohf.ch/Themes/Ergo/44061_D.pdf

Price Gareth. (2020). Exoskeleton trials underway at Audi. Automotive Manufacturing Solutions (AMS). [cit. 17.09.2020]. [online]. Dostupné na internete: <https://www.automotivemanufacturingsolutions.com/oems/exoskeleton-trials-underway-at-audi/39749.article>

Price Gareth. (2020a). Nissan puts exoskeletons to the test. Automotive Manufacturing Solutions (AMS). [cit. 17.9.2020]. [online]. Dostupné na internete: <https://www.automotivemanufacturingsolutions.com/assembly/nissan-puts-exoskeletons-to-the-test/39525.article>

Selko, Adrienne, M., SLC. (2019). Toyota's Finding Success with Exoskeletons. EHS Today. [cit. 20.9.2019]. [online]. Dostupné na internete: <https://www.ehstoday.com/safety-leadership-conference/article/21920474/slc-2019-toyotas-finding-success-with-exoskeletons>

Hitch John. (2020). Can Exoskeletons Raise Depressing Workforce Stats? EHS Today. [cit. 17.9.2020]. [online]. Dostupné na internete: <https://www.ehstoday.com/safety-technology/article/21920228/can-exoskeletons-raise-depressing-workforce-stats>

Hitch John (2020a). Ford Exoskeleton Trial Strengthens Workers in Body and Spirit. EHS Today. [cit. 17.9.2020]. [online]. Dostupné na internete: <https://www.ehstoday.com/safety/article/21919370/ford-exoskeleton-trial-strengthens-workers-in-body-and-spirit>.

Hyundai. (2023). [cit. 20.9.2021]. [online]. Dostupné na internete: <https://www.hyundai.news/eu/brand/hyundai-develops-wearable-vest-exoskeleton-for-overhead-work/>

AMS. (2020). 3D-printed glove to aid assembly workers. Automotive Manufacturing Solutions (AMS). [cit. 17.9.2020]. [online]. Dostupné na internete: <https://www.automotivemanufacturingsolutions.com/additive/3d-printing/3d-printed-glove-to-aid-assembly-workers/39218.article>

Sprovieri John. (2020). Automakers and Ergonomics Innovation. Assembly. [cit. 17.9.2020]. [online]. Dostupné na internete: <https://www.assemblymag.com/articles/93389-automakers-and-ergonomics-innovation>

Cable Josh. (2020). BMW Uses 3D Printing Methods to Make Customized Ergonomic PPE for Assembly Workers. EHS Today. [online]. [cit. 17.9.2020]. Dostupné na internete: <https://www.ehstoday.com/safety/article/21916416/bmw-uses-3d-printing-methods-to-make-customized-ergonomic-ppe-for-assembly-workers>

Cousins Stephen. (2020). The exoskeleton chair that aids health & safety. [online]. [cit. 17.9.2020]. Dostupné na internete: <https://www.bimplus.co.uk/technology/what-you-need-know-about-chairless-chair/>

Kara Dan. (2020). Industrial exoskeletons: new systems, improved technologies, increasing adoption. [online]. [cit. 17.9.2020]. Dostupné na internete: <https://www.therobotreport.com/industrial-exoskeletons/>

Václav Štefan, Mareš Albert. (2020). Ergonomics devices application in manual assembly in automotive industry. In: Interdisciplinarity in Theory and Practice: The Journal for Presentation of Interdisciplinary Approaches in Various Fields. Arad (Rumunsko): Adoram č. 21, pp. 28-32 [print]. ISSN 2344-240