

# Technológia montáže a CAA systémy

Štefan VÁCLAV, Katarína SENDERSKÁ,  
Martin BENOVIČ



2011

S T U • •  
• • • • •  
• M T F •  
• • • • •

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE  
Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave

© Ing. Štefan Václav, PhD., Ing. Katarína Senderská, PhD., Ing. Martin Benovič,

Recenzenti : Ing. Albert Mareš, PhD.,  
prof. Ing. Zdenko Lipa, CSc.

Jazyková korektúra : Mgr. Valéria Krahulcová

Schválila Vedecká rada Materiálovotechnologickej fakulty STU ako vysokoškolské skriptá dňa 15. decembra 2009 pre študijné programy Počítačová podpora výrobných technológií, Výrobné technológie Materiálovotechnologickej fakulty STU v Trnave

ISBN 978-80-8096-141-1

EAN 9788080961411

## ÚVOD

Montáž v celosvetovej výrobe má rozhodujúcu váhu z hľadiska svojho podielu na celkových výrobných nákladoch montovaných výrobkov i z hľadiska počtu ľudí pracujúcich v tejto oblasti.

V literatúre (15) sa uvádza, že v USA percento produkčných robotníkov zaoberajúcich sa montážou z celkového počtu robotníkov vo výrobe predstavovalo v priemysle USA od 26,3% (bicykle) do 45,6 % (automobily), pričom náklady na montáž výrobku predstavujú spravidla **viac ako 50%** celkových výrobných nákladov.

Slovensko sa stáva „montážnou halou Európy“, hlavne „montážnou halou osobných automobilov“.

Úlohou slovenskej vedecko-technickej inteligencie je rýchlo si osvojiť dovezený know-how na montáž a dosiahnuť v čo najkratšom čase cieľové parametre.

Táto publikácia je príspevkom k úsiliu o zdokonalenie metód rozvoja montáže v oblasti technologickosti konštrukcie výrobku z hľadiska montáže, resp. v oblasti metódik známych pod skratkou DFA (Design for Assembly – konštruovanie na montáž).

Teória systémov je jediný známy všeobecný nástroj na skúmanie takých zložitých a štruktúrovaných javov, ako je výroba. Montáž je posledná fáza výrobného procesu v strojárstve a v iných diskretných výrobných procesoch. Úlohou montáže je kompletizácia výrobku z diskretných súčiastok, jeho odskúšanie a zabalenie.

Všeobecným cieľom zlepšovania montážneho procesu je vo väčšine prípadov zníženie jednotkových nákladov na výrobok.

Využitím systémového prístupu dosiahneme cieľ rovnomerným zdokonalením všetkých prvkov montážneho systému, ktorými sú hlavne:

- montovaný výrobok,
- montážna technológia,
- montážna technika,
- človek,
- materiálový tok,
- informačný tok,
- energetický tok.

Táto publikácia sa zaoberá montovaným výrobkom a možnosťami využitia CA systémov pri montáži.

Ostatné horeuvedené prvky sú spracované v skriptách Základy montáže a Technológia montáže autora doc. Ernesta Valentoviča, CSc.

V celom svete sa bádatelia zameriavajú hlavne na zdokonalenie prvku montovaný výrobok montážneho systému. Napr. zmenšením počtu súčiastok radikálne poklesne zložitosť a prácnosť montáže a v dôsledku toho aj jednotkové montážne náklady. Uvedené úspory sa pritom dosiahnu nepatrným vynaložením investícií a len rozumovými aktivitami.

Publikácia je určená študentom STU MTF Trnava v študijných programoch:

- Počítačová podpora výrobných technológií,
- Výrobné technológie,

- Obrábanie a montáž,
- Počítačová podpora návrhu a výroby,
- A tiež študentom Katedry technológie a materiálov na Strojníckej fakulte TU v Košiciach.

Publikácia umožní študentom a záujemcom o problematiku získať praktické a teoretické poznatky na riešenie montážnych problémov v technickej praxi.

Autori ďakujú doc. Ing. Ernestovi Valentovičovi, CSc. za podnetné myšlienky, ktoré ovplyvnili predložený text skrípt.

Nakoniec vyslovujeme vďaku za cenné pripomienky lektorom, a to menovite: prof. Ing. Zdenkovi Lipovi, CSc. a Ing. Albertovi Marešovi, PhD.

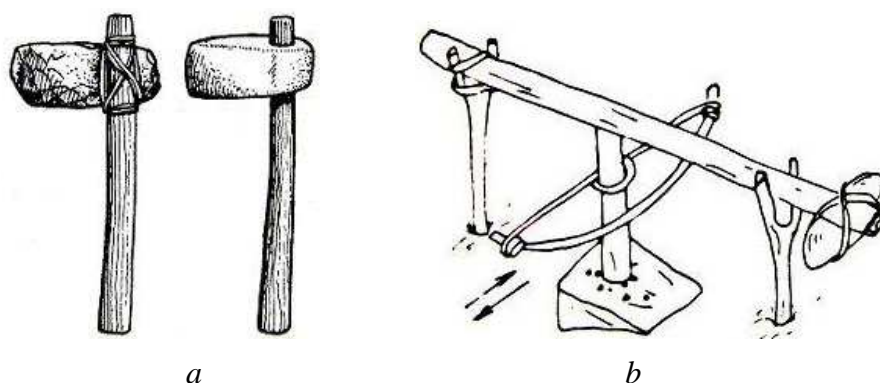
Trnava 2010

Autori

# 1. ZÁKLADNÉ POJMY

## 1.1 HISTORICKÝ VÝVOJ MONTÁŽE

Prvá „montáž“ sa pravdepodobne objavila v dobe železnej, kedy človek vytváral pracovné nástroje spojením dvoch častí, napr. rukoväte a kladiva alebo zariadenia na zakladanie ohňa a vytváranie otvorov (obr. 1.1).



*Obr. 1.1 Pracovné nástroje v dobe železnej*  
*a – praváková sekera,*  
*b – zariadenie slúžiace na zakladanie ohňa.*

Postupne človek vytváral stále zložitejšie viacsúčiastkové stroje a mechanizmy. Príkladom takýchto konštrukcií sú napr. mechanické hodiny ako najzložitejší produkt manufaktúrnej výroby. Typickým rysom manufaktúrnej výroby bolo, že jeden pracovník bol zároveň konštruktérom, výrobcom súčiastok, montážnikom, a často aj predajcom svojich produktov. Každý predmet predstavoval viac-menej neopakovateľný originál. Práca vo všetkých fázach tvorby mala veľký pracovný obsah a bola charakteristická relatívnou pracovnou slobodou výrobcu (tvorcu). Produktivita procesu bola veľmi nízka.

Vedecko-technická revolúcia bola charakteristická hlavne náhradou ľudskej a zvieracej sily motormi, ktoré pomocou zložitých mechanických sústav vykonávali mechanickú prácu (obr.1.2). Sústavný nárast potreby týchto produktov si vyžiadala zmeny zamerané hlavne na zvýšenie produktivity práce, tzn. na spotrebu pracovného času robotníkov potrebného na zhotovenie produktu.



*Obr. 1.2 Lokomotíva poháňaná vodnou parou*

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

Eli Whitney (1798) je považovaný za pioniera masovej produkcie, dokázal vyrobiť 10 000 mušket (strelných zbraní) namiesto za 10,5 roka za 28 mesiacov. Whitney zaviedol výmennosť jednotlivých súčiastok vo výrobku.

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

Historický vývoj montáže súvisí s menom Winslow Taylor (obr.1.3a). Od jeho mena je odvodená výrobná filozofia taylorizmus [101,102,105], ktorej realizátorom bol Henry Ford.



a



b

**Obr. 1.3** Vývoj montáže

a - Winslow Taylor,

b - dopravníkový pás vo firme Ford [115]

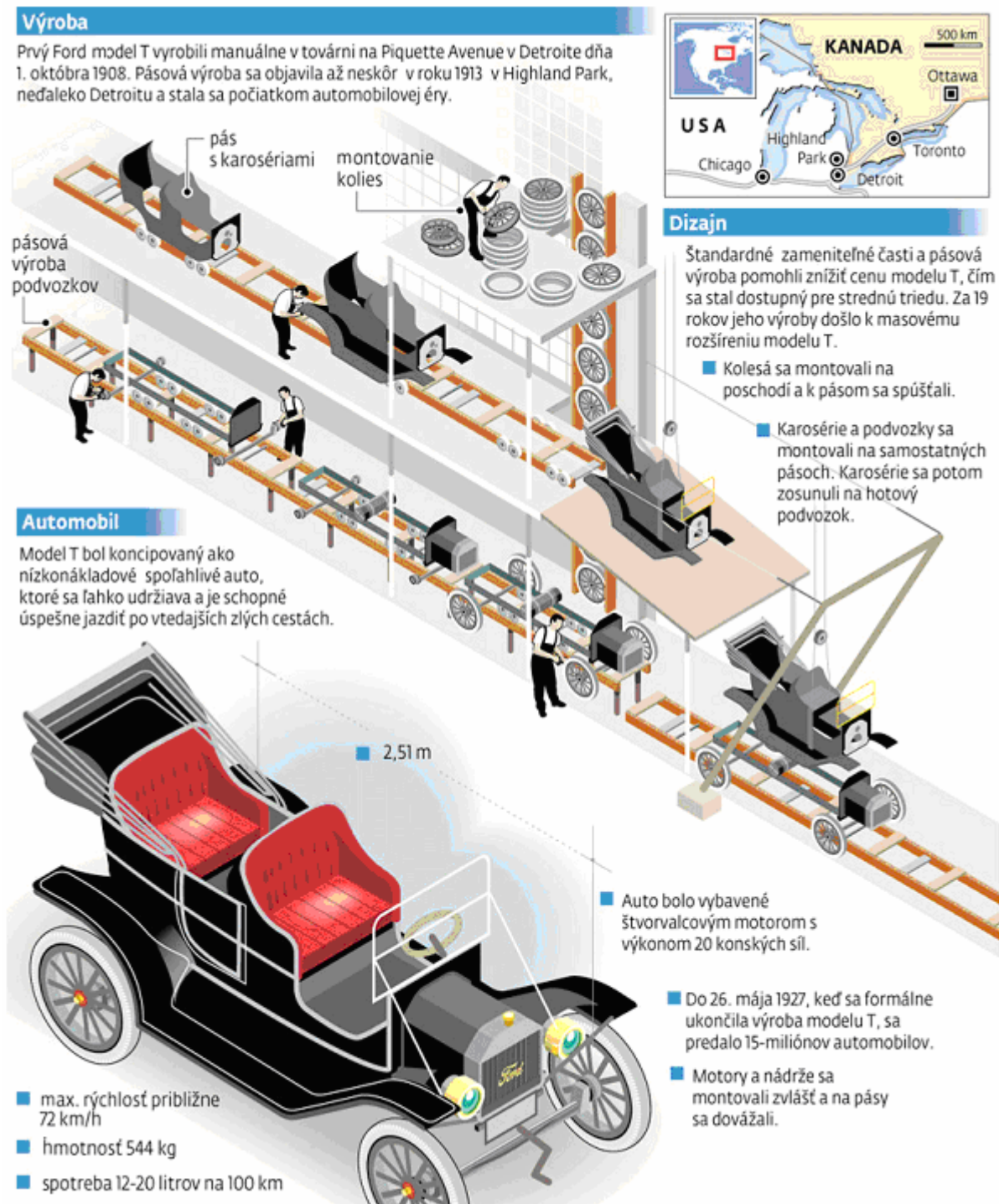
Výraz vedecké riadenie je prevzatý z anglického jazyka. Začal ho používať F. W. Taylor, ktorý zásady vedeckého riadenia a spôsoby jeho používania predniesol už v roku 1903 v práci **Riadenie dielni.**

Obaja prehĺbili metódy už spomenutých autorov a realizovali ich v širokom rozsahu vo výrobe (obr.1.3b). Začiatkom 20-tych rokov 20. storočia pri výrobe automobilov modelu – T u Forda (obr.1.4) počet vyrobených automobilov predstavoval svetový rekord, ktorý bol prekonaný až známym automobilom “Chrobák” firmy Volkswagen. Od tejto doby možno hovoriť o modernej priemyselnej montáži.

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.

Ďalšou prelomovou udalosťou v montáži bolo zavedenie priemyselných robotov v roku 1954 (Schwartz [112] a George Deval). Prvý robot bol patentovaný firmou Unimate v roku 1962 [15].



**Obr. 1.4** Montáž automobilov Ford modelu – T

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 asynchrónny montážny systém s relatívne voľným pracovným rytmom. Na takýto typ výroby prešli vtedy len niektoré automobilky pri finálnej montáži.

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

najmä z Európy, poukazujú na jeho degradačné faktory: na intelekt a oddeľovanie 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, asynchrónnych a rotorových viacstanícových 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 [130].

**Za hlavný zdroj rezerv sa považuje využitie metód DFA (konštruovanie z hľadiska montáže) [127].**

## 1.2 ZÁKLADNÉ POJMY V MONTÁŽI

Ani v slovenskej, českej, ani v 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 [130].

### **Montáž**

Montáž je konečná fáza prerušovanej výroby, v ktorej sa vykonávajú práce: príprava súčiastok na montáž, spájanie, skúšanie, justovanie, zabehávanie a balenie výrobkov.

### **Justovanie, justáž**

Nastavovanie a vymedzovanie rozmerov, mechanických, elektrických a iných parametrov počas súčasného merania a skúšania.

### **Interná montáž**

Je vykonávaná pracovníkmi závodu v priestoroch a pracoviskách tohto závodu.

### **Externá montáž**

Je jednorázovo vykonávaná pracovníkmi montážneho závodu v cudzích priestoroch alebo v teréne. Príkladom externej montáže je montáž turbíny v elektrárni, montáž mostu, žeriavu, vysielača a pod.

### **Spojité výrobné procesy**

Je proces, pri ktorom sa počas relatívne dlhej doby menia materiálové vlastnosti produktu alebo jeden druh energie sa mení na iný druh energie (rafinácia nafty, výroba elektrickej energie, výroba tepla a iné).



### **Prerušovaný výrobný proces**

Je proces, pri ktorom je produkt vytvorený z diskretných, spravidla tuhých častí. Výrobné operácie sú krátke, často sú spojité. Charakteristická pre prerušované procesy je zložitá prerušovaná operačná a medzi operačná manipulácia.

### **Systémový prístup**

Systémový prístup je efektívna metóda skúmania zložitých hmotných i nehmotných (napr. informačných) objektov a javov.

Podľa cieľa skúmania vytvoríme fiktívny model reálneho skúmaného objektu. Obvykle je cieľom montáže minimalizovať náklady na montáž jedného výrobku. Potom prvkami modelu budú tie faktory, ktoré súvisia s nákladmi vo veľkej miere (konštrukcia montovaného výrobku, montážna technika, montážne technológie, informačný systém). Významnými väzbami takéhoto systému s jeho okolím budú jeho vstupy (súčiastky, náradie, energie, informácie) a jeho výstupy (výrobky, nepodarky, odpad, emisie, informácie).

Vo výrobe môže byť viacero cieľov skúmania. Niekedy je užitočné skúmať výrobu alebo jej časť ako celok pozostávajúci z viacerých podsystemov, ktorých vnútorná funkcia nás nezaujíma. Vieme však presne, ako tieto podsystemy reagujú na výstupe, ak sa na ich vstupe objaví určitá kombinácia vstupov. Tieto podsystemy sa správajú v našom modeli ako tzv. čierna skrinka.

Ak teda skúmame výrobu ako celok, ktorého cieľom je produkovať výrobky pri minimálnych nákladoch, bude model výrobného systému obsahovať:

vstupy: informácie, energie, materiál, nástroje,

vnútorné prvky: stroje, ľudia, technika, technológia, informácie,

výstupy: výrobky, nepodarky, odpad a emisie, poškodené nástroje, informácie.

Vnútorné prvky môžu byť v tomto systéme reprezentované ako čierna skrinka. Môžeme takto vytvoriť viac modelov, pričom kritériom ich kvality budú dosiahnuté ekonomické ukazovatele, napr. priemerné náklady na zhotovenie výrobku počas doby života modelovaného systému.

Iný možný cieľ môže byť hlbšie preskúmanie niektorého podsystemu, ktorý už potom nie je "čiernou skrinkou". Jeho funkcia musí byť známa. Produkčný systém i jeho podsystemy sú umelé, človekom vytvorené systémy. Zdanlivo každý montážny systém je originálny a neopakovateľný výtvor. Jeho postupnou dekompozíciou prídeme k záverom, že všetky zdanlivo odlišné systémy sú len kombináciou známych funkčných elementov, podobne, ako sú chemické zlúčeniny len kombináciami známych prvkov Mendelejevovej tabuľky alebo chemické prvky sú len kombináciami protónov, neutrónov a elektrónov Ruthenfordového modelu atómu. Hľadanie týchto "základných kameňov" montážneho systému a hľadanie metód ich kombinovania by malo byť hlavným cieľom systémovej vedy o montáži.

V minulosti sa často pristupovalo k zdokonaľovaniu výroby nesystémovo, často kampaňovite. Do výroby sa napr. v rámci kampane "dobehnúť Japonsko" zavádzali roboty a iné automaty, ktoré však predstavovali len "osamelé ostrovy automatizácie", pričom ich "okolie" nevytváralo podmienky na ich efektívne využitie.

V zmysle systémového prístupu môžeme v prípade výroby hovoriť o produkčnom systéme, ktorého jedným podsystemom je montážny systém, ktorého podsystemom môže byť zasa napr. montážna technika ako celok, jednotlivé pracovisko, stroj a pod. Niekedy sa slovo systém používa v súvislosti s určitým technickým či technologickým princípom. Tak napr. hovoríme

o systéme BRANO (názov firmy), predstavujúcom originálne riešenie samozatváracích dverí, o rotorovom systéme, predstavujúcom originálnu kinematiku stroja a pod.

Zavedenie systémového prístupu na skúmanie zložitých objektov a javov sa pripisuje zakladateľovi kybernetiky Norbertovi Wienerovi. Bez osvojenia systémového prístupu nie je možné úspešné zdokonaľovanie výrobného i montážneho procesu.

### **Organizačno-technické usporiadanie**

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 (jednopozičný, rotorový, synchronný, asynchronný, prúdový, hniezdový, bunkový, atď.).

Ich funkcia bude opísaná v ďalších kapitolách. Podľa typického usporiadania sa potom automaty a linky nazývajú: synchronný automat, asynchronná linka a pod.

### **Tvrдый automat**

Tvrдый automat je stroj, ktorého pracovné orgány vykonávajú pracovné pohyby podľa nemenného programu bez ohľadu na skutočný priebeh procesu. Ako príklad sa uvádza starý vačkový sústružnícky automat. Žiadny novodobý stroj nie je "úplne tvrdý".

Montážne stroje takto neprávom označované majú rôzne znaky pružnosti - ich orgány prepružia pri náraze na neočakávanú prekážku, zapínajú a vypínajú sa podľa signálov zo snímačov a pod., preto je správne, ak slovo "tvrdý" je v úvodzovkách.

### **Flexibilita stavby**

Tento pojem sa kryje s ďalej opísaným pojmom - stavebnicosť.

### **Flexibilita užívania**

Schopnosť techniky jednoduchým prestavením alebo preprogramovaním montovať iný výrobok z príslušnej vopred ohraničenej rodiny výrobkov.

### **Flexibilný automat**

Automat, ktorý má schopnosť po prestavbe, prestavení alebo preprogramovaní montovať iný výrobok z vopred ohraničenej rodiny výrobkov.

### **Adaptívna hlavica**

Montážna hlavica, ktorá po hrubom priblížení súčiastky k montážnemu otvoru vykoná so súčiastkou korekčné pohyby, potrebné na vyhľadanie otvoru a vloženie súčiastky.

Ak sa korekčný pohyb dosiahne pružením alebo náhodným kmitaním, hovoríme o pasívnej adaptívnej hlavici.

Ak sa korekčný pohyb generuje servomotormi na základe meranej odchýlky, hovoríme o aktívnej adaptívnej hlavici, resp. o aktívnom adaptívnom systéme a uzavretej regulačnej slučke.

### **Synchronná montáž**

Montáž s vynúteným a synchronizovaným rytmom práce na všetkých montážnych staniach vzájomne spojených dopravníkom.

### **Asynchrónna montáž**

Medzi stanicami sa nachádzajú medzioperačné zásoby, ktoré umožňujú relatívne nezávislý rytmus práce od jednotlivých staníc.

### **Zámenná a výberová montáž**

Pri výrobkoch konštruovaných na zámennú montáž možno zamieňať ktorúkoľvek súčiastku jedného výrobku za rovnakú súčiastku iného výrobku. Pri výberovej montáži sa súčiastky vhodné na montovanie vyberú na základe merania a výberu tak, aby bolo dosiahnuté požadované uloženie. Typickým príkladom výberovej montáže je montáž guľkových ložísk, pri ktorej po zmeraní montovaného vnútorného a vonkajšieho krúžku sa montujú guľky takej rozmerovej skupiny, ktorá zabezpečí bezvôľový dotyk krúžkov a guľiek. Zámenná montáž kladie vysoké nároky na presnosť výroby. Tieto nároky sa znižujú použitím pružných kompenzátorov.

### **Predmetné a technologické usporiadanie montáže**

Predmetné usporiadanie je také usporiadanie montážnej techniky, pri ktorom je technika radená za sebou v slede montážneho postupu. V jednom priestore sa montuje jeden predmet - výrobok.

Technologické usporiadanie je také usporiadanie montážnej techniky, pri ktorom je všetka montážna technika jedného druhu sústredená do jedného priestoru (napr. zväracie agregáty sú z hygienicko-bezpečnostných dôvodov sústredené vo zvarovni). V sériovej výrobe prevláda predmetné usporiadanie montáže.

### **Stacionárna a pohyblivá montáž**

Ak sa celý výrobok zmontuje na jednom mieste, hovoríme o stacionárnej montáži. Ak sa výrobok presúva pri montáži od jednej stanice k druhej, hovoríme o pohyblivej montáži.

### **Hromadná, sériová, dávková a kusová montáž**

Pri hromadnej montáži sa ten istý typorozmer výrobku montuje súvisle 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 pri lokomotívach než pri sústruhoch, prevodovkách, resp. žiarovkách.

### **Stavebnicosť**

Je to taká vlastnosť určitého súboru stavebných prvkov, ktorá umožňuje vytvárať z tohto súboru veľký počet rôznych užitočných zostáv. Po demontáži sú tieto prvky použiteľné na vytvorenie inej užitočnej zostavy.

### **Typizácia**

Typizácia sa zakladá na výbere už používaných súčiastok, skupín a celých výrobkov, ktoré sa v praktickom živote ukázali spoľahlivé a účelné. Typizácia je vždy spojená s redukciami počtu existujúcich konštrukčných riešení (definícia podľa ISO STACO).

### **Unifikácia**

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

### **Normalizácia**

Normalizácia je vypracovanie predpisov na vykonávanie opakujúcej sa práce do optimálnej a právne záväznej formy - normy. Normy môžu byť napr. podnikové, národné, európske, medzinárodné.

### **Skupinová technológia**

Skupinová technológia je taký výrobný systém, ktorý je vytvorený na alternatívnu výrobu ktoréhokoľvek člena vybranej alebo účelovo vytvorenej skupiny (rodiny) výrobkov. Takáto rodina je vybraná alebo vytvorená tak, aby jej členy mali čo najvyšší stupeň technologickej príbuznosti až totožnosti. Zmena vyrábaného výrobku je spojená so zmenou programu strojov, ich prestavením alebo i s čiastočnou prestavbou.

### **Technologickosť konštrukcie**

Technologickosť konštrukcie je schopnosť konštrukcie byť v daných podmienkach vyrobiteľná s minimálnymi nákladmi pri splnení požiadaviek na funkciu. Táto schopnosť môže byť nízka (veľké náklady) alebo vysoká (malé náklady). Tento názov je bežný len v niektorých slovanských jazykoch. V nemeckej literatúre sa používa názov Produktionsgerechte konstruieren (konštruovanie s ohľadom na výrobu). Dnes sa začína celosvetovo používať anglické označenie DESIGN FOR ... (konštruovanie z hľadiska ...) a značky:

**DFM** - Design for Manufacturing - konštruovanie z hľadiska výroby,

**DFA** - Design for Assembly - konštruovanie z hľadiska montáže,

**DFQ** - Design for Quality a iné.

Konštruovanie výrobku z hľadiska montáže (hlavne automatickej) zjednodušuje a zlacňuje montáž, umožňuje jej automatizáciu a prináša v montáži obrovské úspory. Preto metóda DFA tvorí rozhodujúcu časť teórie montáže. Podrobnejšie sa metódou DFA budeme zaoberať v predmete technológia montáže.

### **Metóda JUST IN TIME - JIT**

Metóda JUST IN TIME (práve na čas) je taký systém riadenia výrobného procesu, pri ktorom sa nevytvárajú poistné medzizásoby (alebo sú minimálne) vo výrobnom procese a príslušná časť výrobku príde na potrebné miesto práve v tom čase, keď ju tam potrebujeme. Pri aplikácii metódy JIT sa výroba súčiastok pri poruche na montáži okamžite zastavuje - nevyrába 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.

### **Výrobné inžinierstvo (Production Engineering)**

Inžinierstvo zamerané na zdokonaľovanie výrobného procesu.

### **Konkurentné inžinierstvo**

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

Starý postup zavádzania nového výrobku na trh sa 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 sú 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.

### **Automatizovaný operačný systém pre riadenie technologického procesu (AOSRTP)**

AOSRTP nahradzuje starý systém zberu, spracovania a distribúcie informácií, založenom na vypisovaní papierových dokladov (dokladový systém), na intuitívnom rozhodovaní riadiacich pracovníkov (dispečerský systém riadenia) a na informačnom oneskorení - čase medzi vznikom poruchy a prijatí informácie na mieste odstraňovania poruchy. Starý prenos informácie prebieha nepriamymi cestami - mimo línie spájajúcej miesto vysielania a prijímania (anglicky OFF-LINE systém). Charakteristickými znakmi AOSRTP sú:

- využitie výpočtovej a digitálnej techniky na zber, prenos a spracovanie dát a informácií (bezdokladový styk),
- algoritmicizácia rozhodovacieho procesu a dialóg operátora s počítačom (expertný systém) alebo úplná automatizácia rozhodovania,
- prenos informácií ON-LINE s temer nulovým časovým oneskorením.

### **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: siahnúť, 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.

### **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, skrátí 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).

### **Technológia. Montážna technológia**

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 výraz postup zhotovenia (das Fertigungsverfahren). V tomto kontexte montážne technológie budú základnými princípmi vytvorenia montážneho spoja (Fugen).

Väčšina známych spojení je vytvorených 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 o spojovacích prvkoch, ale hlavne náuka o konštruovaní výrobkov z hľadiska montáže (DFA), špecializované náuky o zváraní, spájkovaní a iných spojových technológiách [130].

## 2. MONTÁŽ AKO SYSTÉM

### 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.**

Na hlbšie skúmanie takáto definícia nestačí. Kybernetika [52,61,123,124,144] nás poučuje, že na 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 podsystemom 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.

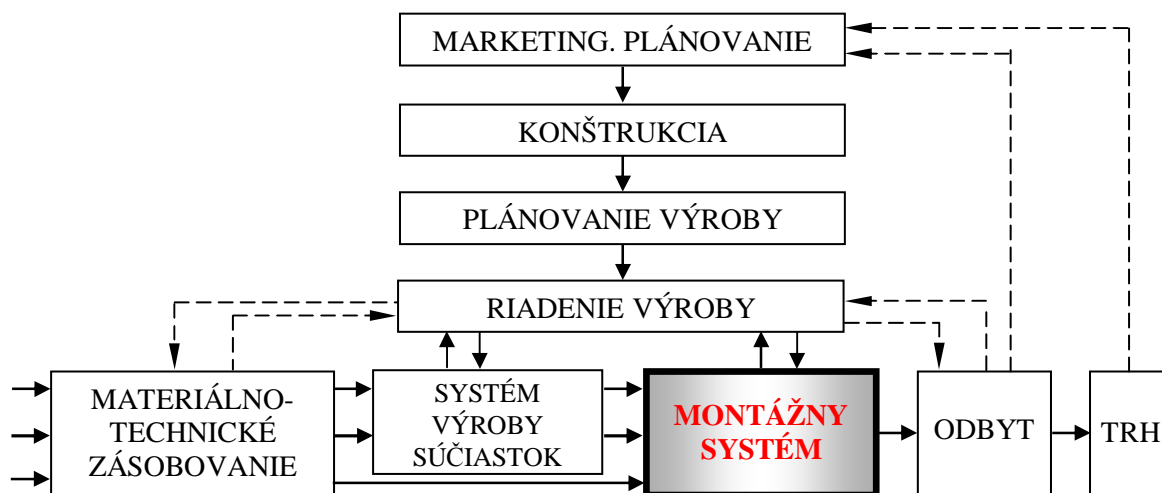
Warnecke [141] uvádza hore uvedený pohľad na montáž na obr.2.1.

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

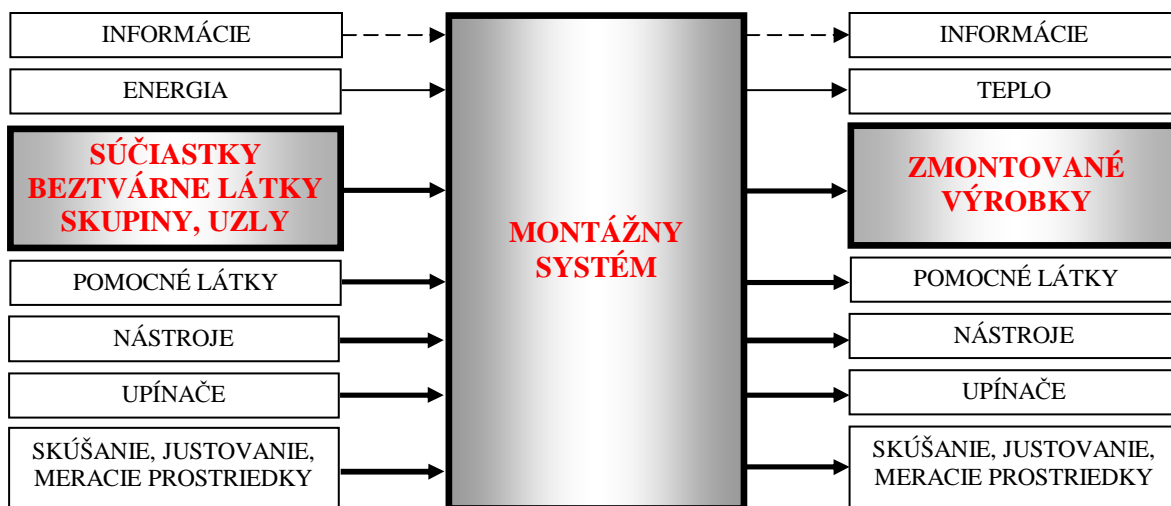
Cieľ nášho výskumu je znížiť montážne náklady v montážnej prevádzke. Preto musíme „otvoriť čiernu skrinku“, definovať montáž na úrovni jedného výrobku, teda na poslednej úrovni hierarchie, aby sme mohli v zmysle systémového prístupu odhaliť zdroje rezerv na znižovanie montážnych nákladov. Montáž ako systém v tomto zmysle je zobrazená na obr.2.2.

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

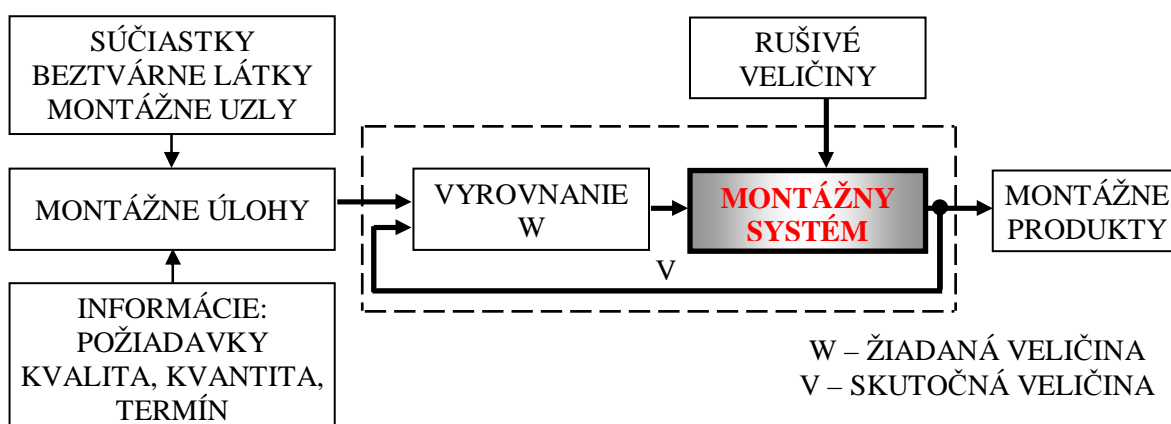
1. **montovaný výrobok (hlavne jeho konštrukcia),**
2. **metódy spojovania (tzv. technológia),**
3. **montážna technika,**
4. **informačný tok,**
5. **materiálový tok,**
6. **energetický tok,**
7. **človek.**



a – montáž ako podsystém výrobného systému



b – funkcia montážneho systému



c – montážny proces ako regulačná slučka

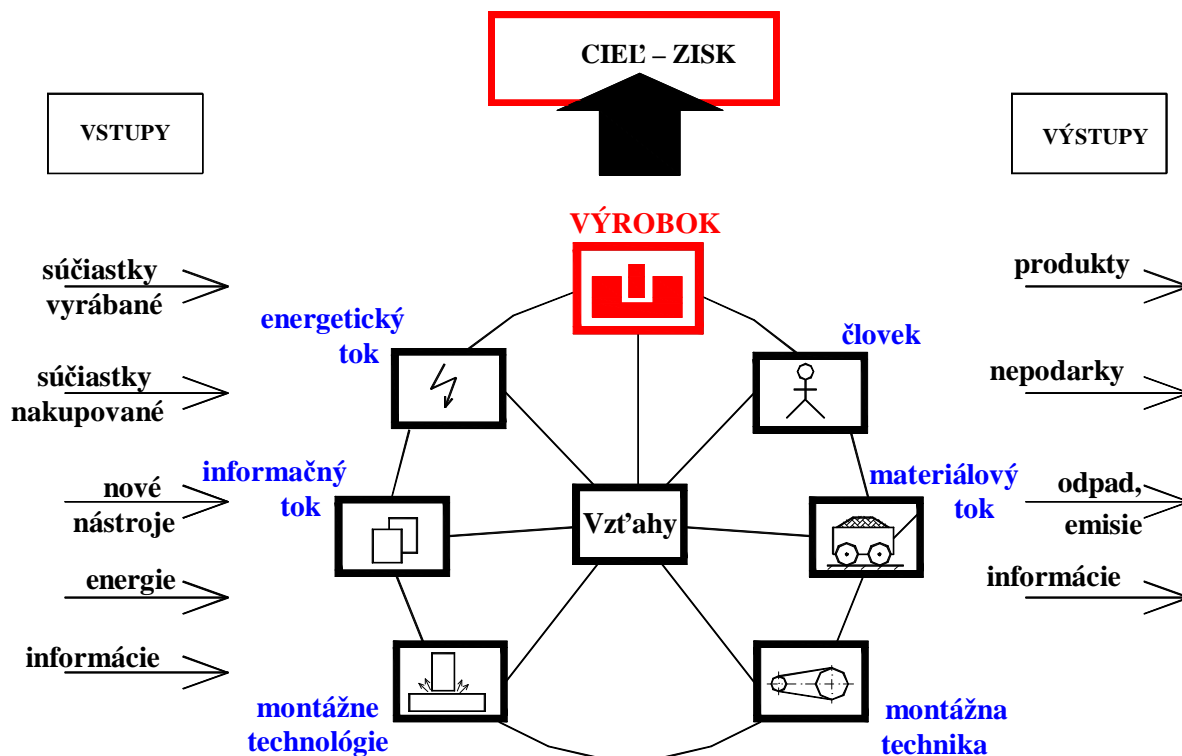
**Obr. 2.1** Montážny systém. Funkčné schémy [141]

a – montáž ako systém výrobného systému,  
 b – funkcia montážneho systému,  
 c – montážny proces ako regulačná slučka.



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.).



Obr. 2.2 Montáž ako podsystém výrobného systému [127]

Montáž z hľadiska systémového prístupu je podsystémom výrobného systému, ktorého cieľom je spojovaním súčiastok dosiahnuť maximálny zisk, ktorý rozhodujúcou mierou ovplyvňujú prvky, vstupy a výstupy zobrazené na (obr. 2.2).

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

## 2.2 MONTÁŽ AKO TECHNOLOGIA

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 termín „výrobný postup (Die Fertigungsverfahren)“.

Podľa nášho 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 skrutkovaní a pod.).

Takto by sme dostali príliš skreslený obraz montáže. Pojem „technológia“ musíme rozšíriť v tom zmysle, že pri uplatnení 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 pri **montáži je operačná montážna manipulácia hlavnou aktivitou montážneho procesu.** Redukcia tejto aktivity v počte pohybov i vo veľkosti dráh je hlavným zdrojom znižovania montážnych nákladov.

Na obr.2.3 je zobrazená montáž ako technológia. Cieľom je napr. vložiť nit do diery a znitovať ho.

Na to sú potrebné tieto úkony:

- 0** – uchopenie,
- 1,2** – premiestnenie,
- 3** – orientácia,
- 4** – umiestnenie,
- 5** – spojenie (fyzikálna premena– napr. nitovanie).

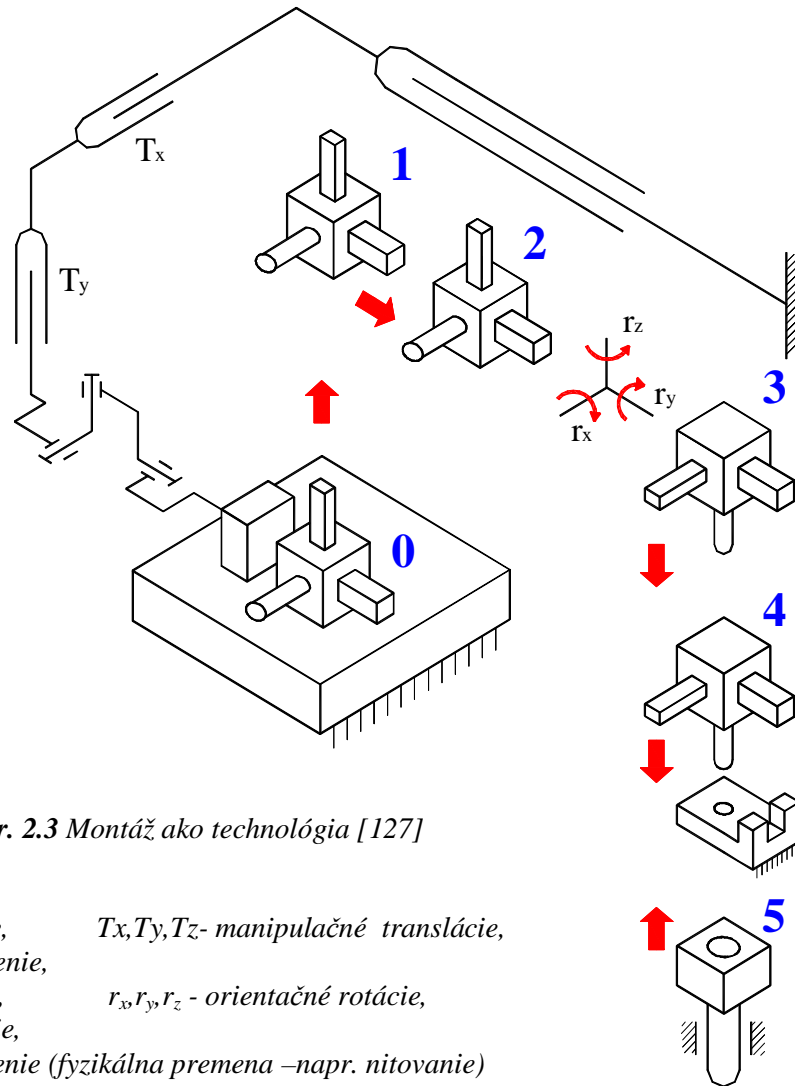
Počet potrebných pohybov na realizáciu montáže je priamoúmerný počtu potrebných aktuátorov (translátorov alebo rotátorov) realizovaných ručne alebo motormi. Súčtová dráha (zložitosť) nejakého dotykového bodu na manipulovanej súčiastke je v priamej súvislosti so spotrebou času (prácnosť) na jej montáž.

**Zložitosť a prácnosť montáže vypočítaná pomocou vhodných objektívnych zákonov geometrie a mechaniky predstavuje 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* (niektoré tvary sú uchopiteľné ľahko a jednoznačne, iné majú aj opačné vlastnosti).
2. *Orientácia* (tvar súčiastky).
3. *Umiestnenie* (dĺžky montážnych dutín).
4. *Premiestňovanie*, t.j. priblíženie súčiastky zo „zásobníka“ k výrobku. Vzdialenosť má byť minimálna a určuje ju konštruktér systému.



**Obr. 2.3** Montáž ako technológia [127]

0 - uchopenie,  $T_x, T_y, T_z$  - manipulačné translácie,  
 1,2 - premiestnenie,  
 3 - orientácia,  $r_x, r_y, r_z$  - orientačné rotácie,  
 4 - umiestnenie,  
 spojenie (fyzikálna premena –napr. nitovanie)

Kapitoly 2.1 a 2.2 dávajú odpoveď na časté otázky:

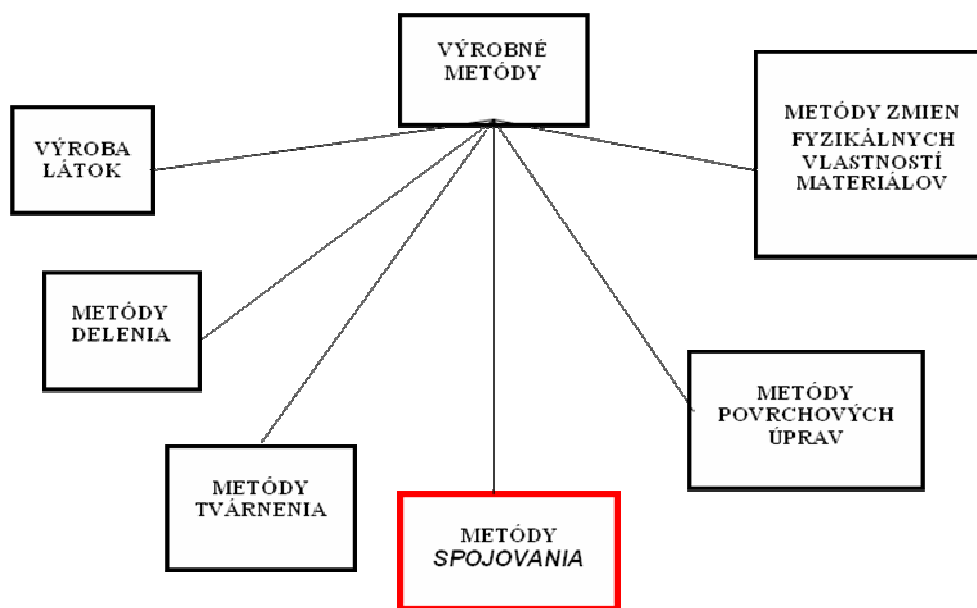
Čo to vlastne je montáž ?

Aká to je technológia ?

Existuje nejaká všeobecná teória montáže ?

## 2.3 MONTÁŽ PODĽA NORMY DIN

Pri definovaní pojmu „montáž“ je účelné vychádzať z normy DIN 8380 Die Fertigungsverfahren (obr. 2.4), ktorá charakterizuje montáž, ako druh technologického procesu, ktorý je vlastný montáži. Táto norma delí výrobné metódy do šiestich skupín, pričom montáž patrí do skupiny „metódy spojovania“.



*Obr.2.4 Rozdelenie výrobných metód podľa normy DIN 8380 Die Fertigungsverfahren*

Podľa normy DIN 8380 platí, že

**montáž patrí do skupiny metód vytvárajúcich veci spojovaním.**

Podľa nemeckej názvoslovnej normy existujú tieto základné postupy zhotovenia - postupy premeny materiálu pri postupnej premene surovín na výrobok:

1. Urformen: Vytvorenie základnej látky.
2. Umformen: Zmena tvaru.
3. Trennen: Rozdelenie na viac častí a vytvorenie nového tvaru oddelením časti materiálu.
4. Fugen: Spojenie dvoch a viac častí.
5. Schichten: Vytváranie relatívne tenkých vrstiev na súčiastke iných vlastností, než aké má základný materiál.
6. Materialeigenschaften ändern: Zmena (celoobjemová) vlastností látky.

V tomto kontexte montážne technológie budú základnými princípmi vytvorenia montážneho spoja (Fugen) [128].

### 3. TECHNOLOGICKOSŤ KONŠTRUKCIE VÝROBKU Z HĽADISKA MONTÁŽE

#### 3.1 TECHNOLOGICKOSŤ KONŠTRUKCIE

Je známe, že 70 až 80 % nákladov na výrobu a montáž súvisí s konštrukciou výrobku [2]. 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, 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 na 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 zopakovať. Pre tvrdý automat musí byť tento otvor v predpísanej polohe, čo zvyšuje nároky na presnosť výrobku i stroja. Existujú i adaptívne automaty, ktoré vedú nájsť montážny otvor, sú však niekoľkonásobne drahšie ako "tvrdé" automaty.

Všeobecne platí, že *konštrukcia výrobku predurčuje potrebný stupeň inteligencie montážneho systému*. Najnižší stupeň inteligencie má tvrdý automat, vyšší stupeň má adaptívny automat, najvyšší stupeň má človek. *Výrobok skonštruovaný pre nízky stupeň inteligencie systému je často efektívne montovateľný i na systéme s vyšším stupňom inteligencie, lebo tým stúpa spoľahlivosť montáže*. Napr. keď sa nahradil tvrdý automat na vkladanie súčiastok do dosiek s plošnými spojmi adaptívnym automatom, zvýšila sa spoľahlivosť montáže. Cena systému sa však zvýšila niekoľkonásobne.

Cieľom náuky o technologickosti konštrukcie z hľadiska montáže je vytvoriť konštrukciu výrobku s čo najvyššou úrovňou montážnej technologickosti.

Podľa rôznych definícií najvyššiu úroveň technologickosti má tá konštrukcia, ktorá pri použití ekonomicky optimálneho montážneho systému vytvára najmenšie priemerné náklady na montáž jedného výrobku počas doby života systému. Podľa týchto definícií sú mierou montážnej kvality konštrukcie peniaze. Na myšlienke merať technologickú kvalitu konštrukcie "penazmi" je založená i definícia technologickosti konštrukcie **podľa STN 016301**.

**„Technologickosť konštrukcie výrobku je súhrn vlastností konštrukcie výrobku, ktoré zabezpečujú možnosť optimálnych nákladov pri výrobe, užívaní a opravách výrobku pri zadaných ukazovateľoch akosti a výrobných a užívateľských podmienkach“.**

Prekvapuje však, prečo sa v definícii nehovorí o minimálnych, ale o "optimálnych" nákladoch. Praktická aplikácia merania technologickej kvality konštrukcie "peniazmi" naráža na mnohé problémy:

1. V dobe konštruovania výrobku konštruktér výrobku ešte nepozná "optimálny" montážny systém, aby mohol kalkulovať montážne náklady na rôzne varianty konštrukcie výrobku. Obsah pojmu "optimálny montážny systém" závisí od toho, či podnik uplatňuje lokálnu alebo globálnu stratégiu podnikania.

Pri lokálnej stratégii vychádza podnik z existujúceho montážneho systému, ktorý len modifikuje zo zavedených technológií, z aktuálnej úrovne miezd a z trhu, na ktorom je úspešný.

Pri globálnej stratégii podnik paralelne s vývojom špičkového výrobku vyvíja špičkový výrobný i montážny systém predpokladajúci svetovú úroveň miezd a úspech na svetovom trhu (to je podstata nového smeru, nazývaného konkurentné inžinierstvo).

Prax ukazuje, že montážna kvalita konštrukcie výrobku je predovšetkým vlastnosťou tejto konštrukcie samej a je málo závislá od budúceho montážneho systému, od úrovne cien techniky, od úrovne miezd a pod.

Pri konštruovaní výrobku už konštruktér rozhoduje o počte aktuátorov (rotátorov, translátorov) potrebných na zmontovanie výrobku i o súčtovej veľkosti montážnych dráh, alebo otáčok potrebných na montáž. Ukážeme si, že tieto hodnoty sa dajú jednoznačne určiť z konštrukcie výrobku. Z konštrukcie výrobku nevieme vyčítať montážne sily a momenty ani energiu potrebnú na rôzne látkové premeny. Čas potrebný na zmontovanie sa už vonkoncom nedá z konštrukcie vyčítať, lebo tento už nie je vlastnosťou konštrukcie, ale je vlastnosťou montážneho systému. Z uvedeného vyplýva, že bude teoreticky i prakticky výhodné opustiť meranie montážnej kvality konštrukcie výrobku "peniazmi" a túto kvalitu merať nasledovnými dvoma ukazovateľmi:

### **1. Ukazovateľ zložitosti montáže**

Je to počet potrebných aktuátorov (rotátorov alebo translátorov) potrebných na zmontovanie výrobku. Čím je tento ukazovateľ väčší, tým zložitejšia a drahšia bude i automatizačná technika, ak by sme montáž automatizovali.

### **2. Ukazovateľ prácnosti montáže**

Je to súčet všetkých dráh, ktoré musia vykonať montážne nástroje (rotátory, translátory).

Musíme zvlášť sčítovať translačné dráhy v dĺžkových jednotkách a zvlášť rotačné dráhy v otáčkach. Dostaneme tak dva ukazovatele prácnosti montáže:

- ukazovateľ *translačnej* prácnosti (napr. v metroch),
- ukazovateľ *rotačnej* prácnosti (napr. v otáčkach).

*Sčítat tieto ukazovatele nevieme.*

Lákavá je myšlienka zmerať montážnu kvalitu konštrukcie jediným ukazovateľom – veľkosťou energie potrebnej na zmontovanie výrobku. Zdá sa, že tento ukazovateľ by mohol byť potom úmerný nákladom na zmontovanie výrobku. Tento prístup je však spojený s viacerými problémami.

1. Konštruktér výrobku nepozná veľkosti spojovacích síl a momentov. Tie by mu mohol spresniť technológ. Nepozná však sily dynamické, potrebné na montážnu manipuláciu. Tie sú totiž závislé od zvolenej rýchlosti montáže (od veľkostí zrýchlení a spomalení i od hmotnosti súčiastok).

2. Montážna práca má dva činitele: dráhu (uhol) a silu (moment). V montáži sa (na rozdiel napr. od tvárnenia) "platí" ďaleko viac za "dráhu" (vykonávanie pohybov) ako za "silu". Spotreba práce je v montáži malá, pre montáž je rozhodujúci dráhový (uhlový) činiteľ práce. Montáž nie je náročná na spotrebu energie, cena energie je pri montáži nevýznamná.

Montážna kvalita konštrukcie súvisí s prácou potrebnou na vykonanie montáže, hlavne s jej dráhovou (uhlovou) zložkou. Na meranie tejto kvality sú vhodné hore uvedené ukazovatele. Znamená prechod od "peňažného" pohľadu na montážnu kvalitu výrobku k "fyzikálnemu" pohľadu na tento problém popretie významu peňazí v montáži ?

Vôbec nie! Nespočítajme pasívne, čo nás bude stáť montáž tej – ktorej konštrukcie. Zmeňujme aktívne objem "fyzikálnej" práce, hlavne jej dráhovej zložky už pri konštruovaní výrobku. To sa musí priaznivo prejaviť v nákladoch.

Priaznivo sa to prejaví, či budú mzdy nízke alebo vysoké, či bude cena techniky vysoká alebo nízka, či bude montáž ručná alebo automatická. Kvalita konštrukcie nebude s výškou týchto cien kolísať, bude merateľná jednoznačne, závisle len od konštrukcie samej [ 128 ].

### 3.2 PREHĽAD VŠEOBECNÝCH METÓD POUŽÍVANÝCH V MONTÁŽI

Cieľom je zlepšiť existujúce konštrukcie výrobkov tak, aby výrazne poklesla zložitosť a prácnosť ich montáže pri zachovaní požadovanej funkcie alebo i jej zlepšení.

Aktivity človeka smerujúce k vytváraniu a zlepšovaniu produktov nehmotnej i hmotnej povahy nazývame **tvorivosť**. Tvorivosť je hybnou silou pokroku.

My sa obmedzíme len na metodiky využiteľné na zvýšenie úrovne technologickosti konštrukcie z hľadiska montáže.

Existujú **minimálne 4 stupne inovácie** dosiahnuteľné rôznymi metodikami:

1. Metodiky, ktorých cieľom je revolučná zmena konštrukcie využitím niektorého **nového objavu**, napr. objavu, že niektoré kryštály majú presnú hodnotu svojej vlastnej frekvencie. Tento objav umožnil napr. zmeniť princíp merania času – namiesto doby kyvu kyvadla využiť na meranie času uvedenú frekvenciu. Mechanické hodiny boli nahradené digitálnymi, čo spôsobilo revolučnú zmenu ich montáže.
2. Metodiky, ktoré využívajú **nový vynález**. Napr. vynález fotogalvanicky vytvorených spojov umožnil použiť miesto osamelých drôtových spojov komplexné tlačené spoje.
3. Metodiky využívajúce niektorý známy **princíp racionalizácie**, napr. normalizácia, unifikácia a pod.
4. Metodiky, ktoré využívajú **zlepšovací návrh**. Napr. miesto skrutky sa na spojenie dvoch plechov využije bodový zvar.

V tab. 3.1 je konštruovanie prezentované ako interdisciplinárna náuka využívajúca poznatky mnohých iných vied, ktoré s využívaním **KONŠTRUKČNÝCH METÓD** transformuje do konštrukčných podkladov [128].

Tabuľka 3.1 Konštruovanie ako interdisciplinárna aktivita [128]

MATEMATIKA	K O N Š T R U O V A N I E
FYZIKA	
TECHNICKÉ VEDY Mechanika časti strojov Technológia Náuka o materiáli Časti strojov	
FILOZOFIA Teória poznania Heuristika	
BIOLÓGIA	
PSYCHOLÓGIA	
SOCIOLÓGIA	
UMENIE	
EKONOMIKA	
ERGONÓMIA	
PRIEMYSELNÝ DIZAJN	
VÝSKUM	
PRAX	

### Všeobecné metódy

Autori všeobecných metodík na zvyšovanie tvorivosti sa zaoberajú len procedúrami ako systémovo pracovať s odbornými vedomosťami v akomkoľvek odbore tak, aby vzniklo v krátkom čase čo najviac možných riešení. Až z nich možno vybrať podľa nejakých praktických kritérií tzv. „optimálne riešenie“.

Spravidla ide o kritérium minimálnych nákladov v daných ekonomických podmienkach.

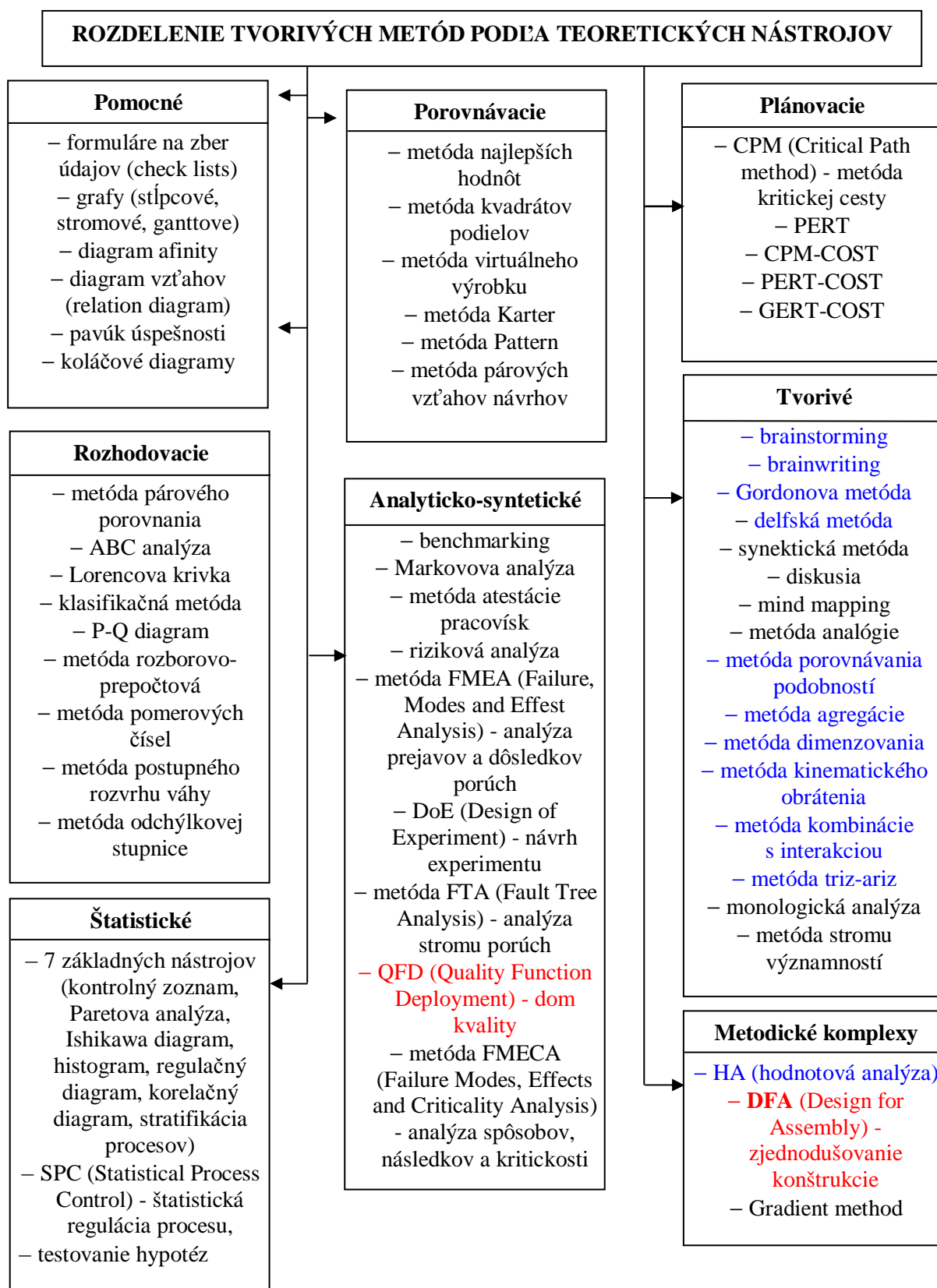
Niektoré metodiky deklarujú, že sú nástrojmi na dosiahnutie všetkých úrovní inovácie, iné len niektorých.

Okrem uvedených **všeobecných metód tvorivosti** (Brainstorming, hodnotová analýza, metóda TRIZ a pod.) existujú aj **úzko špecializované metodiky** zamerané iba na problematiku technologickosti konštrukcie, známe pod názvom **Design for Assembly – DFA**.

O roztriedenie uvedených všeobecných i špecializovaných metodík sa pokúsil Molnár [87] (tab.3.2) z pohľadu manažerstva kvality. Metódy sú roztriedené podľa použitého matematicko-logického aparátu.



Tabuľka 3.2 Rozdelenie tvorivých metód podľa použitých teoretických nástrojov [87]



Poznámka: - **metódy využiteľné pre konštruovanie,**  
- **metódy vhodné na využitie v konštrukcii z hľadiska montáže.**

Za **všeobecné metódy tvorivosti** využiteľné i v konštruovaní z hľadiska montáže možno považovať hlavne **Brainstorming, hodnotovú analýzu, Gordonovu poradu, morfológickú metódu**, ale hlavne dnes najviac populárnu metódu **TRIZ-ARIZ**.

### ***Kombinačné metódy***

Je známe riešenie, ktoré je kombináciou určitých prvkov. Hľadajú sa systematicky všetky možné kombinácie. Niektoré z nich môžu prekonať pôvodné riešenie. Inokedy sa medzi všetkými možnými riešeniami hľadá optimálne.

Kombinačné metódy sú úspešné pri obchádzaní patentov, lebo patentovaná je len jedna kombinácia, ktorá rieši daný problém.

### ***Analytické metódy***

Ich podstatou je analýza nedostatkov známeho riešenia a na základe nej syntéza nového riešenia.

### ***Brainstorming***

Táto metóda patrí medzi najznámejšie a najpoužívanéjšie metódy intuitívneho tvorivého myslenia [132].

Pojem „Brainstorming“ je definovaný v norme STN ISO 9004-4. „Manažerstvo kvality a prvky systému kvality, časť 4: Návod na zlepšovanie kvality ako Brainstorming – „burza nápadov“ [118].

Burza nápadov sa používa na identifikáciu možných riešení problémov a potenciálnych príležitostí na zlepšenie kvality. Ďalej norma opisuje Brainstorming ako „metódu na podporu tvorivého myslenia tímu, ktorý má vytvárať a vyjasňovať súbor myšlienok, problémov alebo výsledkov“ [82,86,87,133].

Vychádza zo striktného oddeľovania intuitívnej – tvorivej časti ľudského myslenia od časti logického – kritického myslenia. Z tohto základného princípu uplatňovania všetkých intuitívnych tvorivých metód vyplývajú aj základné zásady pri jej realizácii:

- Zákaz kritiky – nespájať kritické, úsudkové myslenie s myslením tvorivým, aby nedochádzalo k tlmeniu a spomaľovaniu vytvorených námetov.
- Myšlienkový rozlet – tzv. dočasné potlačanie zdravého úsudku, t. j. podpora bujnej fantázie. Touto požiadavkou sa očakávajú čo najneobvyklejšie námety, niekedy až fantastické a nezmyselné, ktoré však môžu byť zárodkom revolučného, nového riešenia problému.
- Vzájomné obohacovanie námetov – inšpirácia z predložených námetov pre ďalších účastníkov rokovania, zlepšovanie existujúcich námetov.
- Kvantita námetov – využitie poznatku, že kvantita je predpokladom kvality. Skúsenosti z takýchto druhov rokovaní potvrdzujú, že druhá polovica dostatočne veľkého súboru námetov prináša neobvyklé, mimoriadne originálne námety,
- Pohoda – vytvorenie priaznivej, zhovievavej atmosféry. Na podnietenie diskusie sa odporúča i malé občerstvenie.

### ***Hodnotová analýza (Value Analysis)***

Hodnotová analýza je definovaná v ČSN EN 1325-1: Slovník hodnotového manažmentu, hodnotovej analýzy a funkčnej analýzy, časť 1 [35], ako „organizovaný a tvoriaci prístup,

používajúci proces funkčného a ekonomického navrhovania, kde jeho účelom je zvýšiť hodnoty predmetu hodnotovej analýzy“.

Hodnotová analýza (HA) má zvláštne postavenie medzi prostriedkami na zlepšenie schopnosti konkurencie, zlepšenie výroby a výrobkov. Hodnotová analýza a jej uplatnenie je najmä v oblasti inovácií výrobkov a vzhľadom na jej všeobecnosť použiteľná aj navrhovanie a zlepšovanie systémov a procesov.

HA je účelne zostavený súbor metód, ktorého cieľom je hľadanie a navrhovanie zlepšeného alebo zásadne nového riešenia funkcií analyzovaného objektu za účelom zvýšenia jeho efektívnosti [132].

Metóda hodnotovej analýzy vyúsťuje do stanovenia tzv. pomernej efektívnej hodnoty. Pomerne efektívna hodnota = súhrnná funkčnosť / náklady na jej zabezpečenie [194,136].

Hodnotová analýza sa opiera o hodnotenie kvality riešenia stanovením pomeru medzi nákladmi a "funkciou". Napr. pri nákladnom automobile sa sledujú náklady na jeden tonokilometer počas doby života automobilu. Funkciou je prepravná práca v tonokilometroch za dobu života automobilu. Každá alternatíva sa skúma z pohľadu veľkosti nákladov vo vzťahu k "funkcii". Predpokladá sa existencia niekoľkých (cca troch) alternatív.

Takto sa hodnotí nielen celok, ale i jeho najmenšie časti. Hodnotová analýza sa používa na zdokonaľovanie existujúceho riešenia, hodnotové inžinierstvo na tvorbu nového riešenia.

#### Sféry uplatnenia hodnotovej analýzy v praxi

Hodnotová analýza má najdôležitejšie využitie vo sfére výskumu, vývoja a technickej prípravy výroby [139,140].

Táto sféra je jednou z progresívnych sfér aplikácie metodického komplexu HA pre vysokú efektívnosť navrhovaných inovácií najvyšších rádov a ľahkú realizáciu. HA sa v tejto sfére uplatňuje v dvoch podobách:

- a) Ako nástroj racionalizácie (opravy) spracovaných projektov nových výrobkov a ich výroby. Ide teda o dodatočný spôsob uplatnenia. Tento spôsob odhaľuje funkčné a nákladové nedostatky už vo sfére výskumu, vývoja a technickej prípravy výroby a predchádza tým vzniku nehospodárnosti ešte pred začatím výroby. To, či sa HA použije predbežne alebo následne, výrazne ovplyvní celkový efekt jej uplatnenia, pretože realizácie technických zmien v čase vývoja výrobku vyplývajúcich z nového námetu sú výrazne efektívnejšie, (ide o zabránenie dvojitému vynakladaniu práce),
- b) V druhej podobe je HA ako nástroj zhodná so samotným výskumom – vývojovým procesom. Je to vyššia forma HA v podobe hodnotového inžinierstva [132].

Hodnotová analýza je najrozšírenejšia analytická metóda, prinášajúca veľké úspory vlastných nákladov čisto rozumovými aktivitami.

#### ***Gordonova metóda***

Metóda prekonáva stereotyp ľudského myslenia. Autor vychádza zo zásady, že je potrebné zabrániť tomu, aby ešte pred riešením problému vznikla bariéra stereotypu myslenia.

Samotný princíp spočíva v tom, že formulácia problému je veľmi hmlistá, t. j. nevieme, čo sa bude presne riešiť. (napr. ak hľadáme nové zariadenie na rozrezávanie dosiek z plastickej hmoty, formulácia problému bude znieť: „oddeľovanie“. Takáto formulácia problému zabraňuje, aby si odborníci vytvorili stereotypnú predstavu bežne používaného stroja na rezanie dosiek z umelých hmôt.)

Touto metódou sa dosahujú zvlášť originálne a progresívne riešenia [132,133].

### ***Morfologická metóda***

Táto metóda patrí medzi progresívne smery riešenia problémov, lebo umožňuje racionálne dosiahnuť vopred vytýčené ciele.

Základné pravidlo morfologickej analýzy je:

„Najprv vybuduj z prvkov riešenia celý systém, urč počet možností (kombinácií) a až potom uvažuj, premýšľaj o technickej a ekonomickej stránke riešenia“ [133].

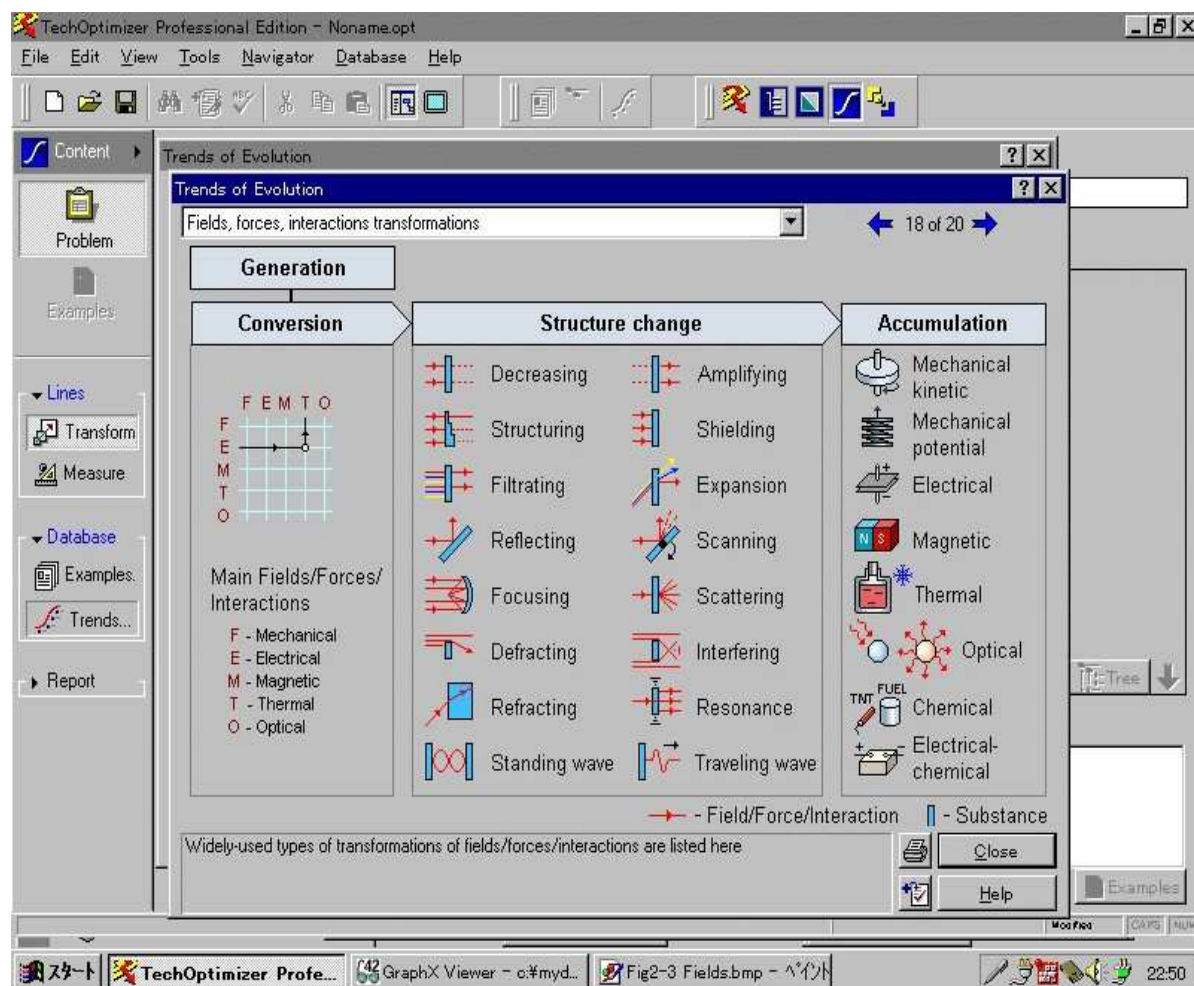
### ***TRIZ***

Metóda pôvodne vyvinutá v Sovietskom zväze deklaruje možnosť svojho využitia na riešenie a zdokonaľovanie akýchkoľvek inžinierskych produktov. Je teda v tomto zmysle všeobecná i špeciálna. Autorom metódy je sovietsky bádateľ Altschuler [2,41,42,78].

Jej podstata spočíva vo využití známych zákonov dialektiky (napr. zmena kvantity na kvalitu, jednota a boj protikladov a pod.) a je rozpracovaná do 40-tich princípov (procedúr), ktoré sa používajú pri zdokonaľovaní.

Dnes je to najpoužívanejšia metóda inžinierskej tvorivosti, zaoberajú sa ňou viaceré univerzity aj profesionálne organizácie, ktoré sa zameriavajú na preškoľovanie konštruktérov.

Stúpenci tejto metódy deklarujú, že všetky známe metodiky sú integrované v metóde TRIZ. Táto metóda má svoje princípy využité aj v softvérovom programe: TechOptimizer Pro V 2.5 (pozri obr.3.1).



Obr. 3.1 Metóda TRIZ aplikovaná v softvérovom programe TechOptimizer Pro V 2.5 [90]

Uvedená ukážka (obr.1.1) nabáda riešiteľa zvážiť všetky možné štrukturálne zmeny a možné akumulácie energie. Riešiteľ subjektívne vybral kombináciu ET (elektricko-termálnu).

Názov TRIZ je odvodený z ruského názvu „Teorija rešenja izobratateľských zadač“ (Teória riešenia vynálezeckých problémov). V angličtine sa používa názov „Theory of Inventive Problem Solving“ [41].

Okrem uvedených **všeobecných metód tvorivosti** (brainstorming, hodnotová analýza, metóda TRIZ a pod.) existujú aj **úzko špecializované metodiky** zamerané iba na problematiku technologickosti konštrukcie, známe pod názvom **Design for Assembly – DFA**.

### 3.3 PREHĽAD ŠPECIALIZOVANÝCH METÓD POUŽÍVANÝCH V MONTÁŽI

V minulosti sa konštruktér výrobku zameriaval hlavne na požadovanú funkciu, prípadne na jej spoľahlivé plnenie počas čo najdlhšej doby životnosti výrobku.

Neskoršie sa ukázalo, že jediným aspektom konštruovania nie je len funkcia výrobku, ale i jeho technologickosť z hľadiska výroby výrobkov i montáže, veľkosť vlastných nákladov, momentálna a výhľadová situácia na trhu, komplexná kvalita výrobku, vzťah konštrukcie k

výrobnému či montážnemu systému a iné aspekty, z ktorých treba ku konštruovaniu pristupovať.

Ukázala sa potreba každý z uvedených aspektov rozpracovať do metodiky, osvojením ktorej konštruktér získa v krátkom čase zovšeobecnené poznatky teórie i praxe, čím sa urýchlí proces výchovy konštruktérov a dosiahnu sa skokom veľmi výrazné ekonomické efekty len rozumovou činnosťou.

Všetky práce o racionalizácii montáže sa zhodujú v tom, že najväčším zdrojom úspor v montáži je využitie poznatkov známych u nás ako technologickosť konštrukcie z hľadiska montáže a v západných krajinách ako **DFA – Design for Assembly** [36,37,43].

Podľa **STN 016301**:

**„Technologickosť konštrukcie výrobku je súhrn vlastností konštrukcie výrobku, ktoré zabezpečujú možnosť optimálnych nákladov pri výrobe, užívaní a opravách výrobku pri zadaných ukazovateľoch akosti a výrobných a užívateľských podmienkach“.**

Všetci autori sa zhodujú v tom, že najväčším zdrojom úspor je redukcia počtu súčiastok pri zachovaní funkcie výrobku. V kapitole 3.2, tab. 3.2 [87] je prehľad racionalizačných metód manažérstva kvality (ale i efektívnosti výroby) vrátane **DFA** [47,48,121,135].

Metódy **DFA**, ktorých sa dotýka i táto práca, sú uvedené ako „metodické komplexy“, pričom **DFA** je chápaná ako komplex úzko orientovaný len na montáž.

Táto metóda patrí do skupiny metód zameraných len na konštruovanie výrobku (paralelne i jeho montážneho systému) z hľadiska montáže. Do skupiny metód **DF...** patria i príbuzné, už spomenuté metódy: **DFM, DFMA, DFC** a iné.

Ambície pomáhať konštruktérovi pri konštruovaní výrobku a montážneho systému z rôznych hľadísk deklarujú i autori a priaznivci všeobecnejších metód tvorivosti, ako sú napr. hodnotová analýza, Brainstorming, Gordonova metóda, a hlavne metóda **TRIZ-ARIZ**. Jej stúpenci deklarujú, že táto metóda implicitne obsahuje v sebe všetky hore uvedené metódy [93, 88-92, 124].

V širších súvislostiach všetky metódy uvedené v tab. 3.2 sú využiteľné i v montáži.

**Nás budú zaujímať podrobnejšie rôzne metódy DFA, ktoré ďalej opíšeme.** Medzi metódy využiteľné v konštruovaní patria i racionalizačné metódy a všetky metódy **DF...** (pozri tab. 3.3). **Cieľom tejto práce je rozšíriť množinu týchto metód o objektívne metódy tvorby a hodnotenia výrobku z hľadiska montáže.**

Tab.3.3 Prehľad metód konštruovania výrobkov z hľadiska montáže [127]

**Všeobecné racionalizačné metódy využiteľné v konštruovaní výrobkov:**

- Typizácia [84] [112],
- Unifikácia [112] [129],
- Normalizácia [112] [129],
- Štandardizácia [46] [128],
- Stavebnicosť [113] [101],
- Skupinová technológia [60,65,67],[69–73],[84,97,117].

**Metódy zamerané na konštruovanie výrobku z hľadiska ...**

**(Design for ... – konštruovanie pre ...):**

- Náuka o technologickosti konštrukcie v strojárstve [54], [112],
- DFQ – Design for Quality – konštruovanie pre kvalitu [33,50,51,8,63,102,103,105,125,126,136],
- DFC – Design for Costs – cenové konštruovanie [34,39,40,44,45,56,62,64,96], [108-110], [120,128],
- DFE – Design for Enviroment – návrh z hľadiska životného prostredia [9],[106],
- DFD – Design for Disassembly – návrh z hľadiska demontáže [2,9,22,142],
- DFR – Design for Recycle – návrh z hľadiska recyklovateľnosti [9,106],
- DFM – Design for Manufacturing – návrh súčiastky z hľadiska výroby [5,58,80,81,98,99],
- DFMA – Design for Manufacturing and Assembly – konštruovanie pre výrobu a montáž [30,53,55,76,106],
- **DFA – Design for Assembly – konštruovanie pre montáž**
  - Metóda Andreasenova [1,128],
  - Metóda Boothroydova [16,12-32],
  - Metóda CISAL [74,79],
  - Konkurentné inžinierstvo [38,68,129],
  - Metóda firmy LUCAS [49,106],
  - Metóda firmy TOSCHIBA [119],
  - Metóda Redfordova [107],
  - Metóda Warneckeho [6,141],
  - Metóda OMA (objektívna metóda pre montáž– Objective Method for Assembly) [127].

### 3.3.1 Racionalizačné metódy

Úlohou racionalizačných metód je využívať to, čo už bolo vytvorené, systematicky to triediť a spracovávať s cieľom opakovaného využitia [129]:

- typizácia,
- unifikácia,
- normalizácia,
- štandardizácia,
- stavebnicosť,
- skupinová technológia.

#### *Typizácia*

Myšlienka typizácie je založená na triedení technologických postupov a môže pri správnom využití nesporne zohrať veľkú úlohu pri zdokonaľovaní metodiky zostavovania technologických postupov. Základom triedenia postupov pri typizácii je triedenie obrábaných súčiastok, t. j. ich rozdelenie na triedy, skupiny a typy.

Trieda je najvšeobecnejšou časťou triedníka. Podľa definície A. P. Sokolovského „triedou sa nazýva súhrn súčiastok charakterizovaný jednotou základných technologických úloh, riešených pri určitom tvare týchto súčiastok“.

Vo vnútri triedy sa súčiastky rozdeľujú na podtriedy predovšetkým podľa rozmerov. Podtriedy sa môžu deliť na skupiny a potom na typy. Podtriedy a skupiny sú medzičlánkom triedenia. Konečným cieľom triedenia súčiastok teda je určiť typy súčiastok.

Zostavením typových technologických postupov sa usilujeme o systemizáciu technologických postupov na súčiastky rovnakého typu [84].

Typizácia sa zakladá na výbere už používaných súčiastok, skupín a celých výrobkov, ktoré sa v praktickom živote ukázali spoľahlivé a účelné. Typizácia je vždy spojená s redukciou počtu existujúcich konštrukčných riešení v porovnaní s počtom postačujúcich v daných podmienkach a danom období.

Správne chápaná typizácia sa vyznačuje zmenšením rôznorodosti konštrukčných riešení, čo prináša výhody v znížení nákladov na výrobu, zvyšuje kvalitu výrobkov (zvládnutý proces tvarovania a voľby materiálov, zvýšená životnosť a bezporuchovosť) [112].

#### *Unifikácia*

Je proces vytvárania technicky a ekonomicky opodstatnených veľkostných radov výrobkov, pričom hlavný parameter výrobku je spravidla členom radu tzv. vyvolených čísiel (napr. odstupňovanie výkonov elektromotorov podľa geometrického radu čísiel). Niektoré súčiastky sú zhodné pre viac blízkych členov radu, iné sú aspoň konštrukčne podobné (typizácia konštrukčného riešenia) [129].

Unifikácia (zjednocovanie) sa zakladá na konštruovaní technicky a ekonomicky opodstatnených, optimálne diferencovaných skupín a častí na široké používanie, pri stavbe zložitých výrobkov, líšiacich sa svojím určením, rozsahom použitia, alebo charakteristickými hodnotami. V mnohých oblastiach sa unifikácia stala jednou z efektívnych metód konštruovania (stavba výrobných strojov, spaľovacích motorov). Do unifikácie sa vyberajú rôzne typizačné časti a skupiny. Pri znižovaní počtu skupín a častí v nových príbuzných



konštrukciách sa unifikáciou dosiahne zníženie nákladov na výrobu, skrátenie výrobného cyklu a zjednoduší sa spôsob opravovania vo väčšej miere ako typizáciou [112].

### ***Štandardizácia***

Je uznanie konštrukcie niektorého špičkového výrobku za východiskový štandard kvality i pre iné výrobky tohto druhu [128].

Európska norma **EN 45020** [54]: Všeobecné pojmy a definície, týkajúce sa štandardizácie a súvisiacich aktivít (ISO/IEC GUID z: 1991) je dokument vytvorený na základe dohody (konsenzu), ktorý je príslušnou inštitúciou prevzatý a stanovuje opakujúce sa pravidlá používania smernice alebo hľadiská pre činnosti, výsledky činností, pričom sa usiluje v rámci daných súvislostí dosiahnuť optimálny stupeň poriadku.

### ***Stavebnicovosť***

Je to taká vlastnosť určitého súboru stavebných prvkov, ktorá umožňuje vytvárať z tohto súboru veľký počet rôznych užitočných zostáv. Po demontáži sú tieto prvky použiteľné na vytvorenie inej užitočnej zostavy [129].

Podľa autora [113] stavebnicovosť je definovaná ako schopnosť vymezenej množiny hmotných prvkov vytvárať väčšie množstvo účelných zostavení. Pomocou týchto metód možno vytvárať alebo dotvárať „montážne rodiny výrobkov“ a tieto rodiny majú rôzny druh vzájomnej príbuznosti. Stavebnicovosť je možné pomenovať aj pojmom **modularita** [59].

### ***Normalizácia***

Je to vypracovanie predpisov na vykonávanie opakujúcej sa práce do optimálnej a právne záväznej formy – normy [129].

Normalizácia sa zakladá na spracovaní rôznorodosti každej opakujúcej sa formy práce do optimálneho stavu, spresnenej do jednoznačne technicko – právnych dokladov, nazývaných normy. Normalizácia je založená na pevných základoch vedy, techniky a práce [112].

Normy využívajú všetci:

- výrobcovia, ktorí vyrábajú svoje produkty racionálnejšie na základe fundovaných technických podkladov obsiahnutých v normách,
- konzumenti, ktorí si môžu byť istí, že produkt vyrobený podľa noriem je dobrý,
- vedúci, ktorí používaním normovaných postupov merania dostávajú vzájomne porovnateľné výsledky,
- skúšobné inštitúcie, ktoré použitím normovaných postupov môžu plniť kontrolné funkcie v spoločnosti [129].

Normy podľa okruhu ich platnosti delíme na :

- podnikové,
- národné (štátne ), napr.:

**STN** - slovenská technická norma,

**ČSN** – česká, resp. československá norma,

**DIN** - Deutsche Industrie Norme, nemecká priemyselná norma,

**ÖNORM** - Österreichische Norme, rakúska norma,

- európske, napr.: **EN** - európska norma,
- medzinárodné, napr.: **ISO** - International Standard Organization,  
kombinované, napr.: ÖNORM EN ISO sú normy platné pre Rakúsko, Európu a štáty rešpektujúce ISO [128].

### **Skupinová technológia**

Miesto názvu "rodina výrobkov" sa používa tiež menej výstižný názov "skupina výrobkov", od ktorého je odvodený známy termín *skupinová technológia*.

Je to výrobný systém, ktorý je vytvorený na alternatívnu výrobu ktoréhokoľvek člena vybranej alebo účelovo vytvorenej skupiny (rodiny) výrobkov. Takáto rodina je vybraná alebo vytvorená tak, aby jej členy mali čo najvyšší stupeň technologickej príbuznosti až totožnosti. Zmena vyrábaného výrobku je spojená so zmenou programu strojov, ich prestavení alebo i s ich čiastočnou prestavbou [117,129].

Mitrofanov [84] uvádza, že úlohou skupinovej metódy je vytvoriť takú metodiku zostavovania technologických postupov, navrhovania náradia a racionálnych nastavení strojov, ktorá by zabezpečila najrentabilnejšiu a čo najkratšiu technologickú prípravu výroby.

Hlavné úlohy, ktoré sa riešia pri skupinovej metóde, vyžadujú na podklade zovšeobecnenia a systematizácie pokrokových skúseností:

- a) odstrániť neodôvodnenú rozmanitosť používaných technologických postupov,
- b) pozdvihnúť zastarané postupy na úroveň pokrokových, aké sa používajú vo veľkosériovej a hromadnej výrobe,
- c) zabezpečiť zavedenie vysokoproduktívneho, ľahko prestaviteľného technologického náradia a vytvoriť predpoklady pre efektívnu modernizáciu a automatizáciu.

V oblasti výroby súčiastok sa výhody skupinovej technológie využívajú intenzívne a efektívne už niekoľko desaťročí.

Aj z hľadiska montáže, hlavne automatickej, je výhodné uplatňovať princípy skupinovej technológie. Vytváranie rodín výrobkov s rôznymi druhmi príbuznosti umožňuje tvoriť flexibilnú montážnu techniku použiteľnú pre celú rodinu výrobkov, a tým podstatne zvýšiť efektívnosť.

### **Zhrnutie**

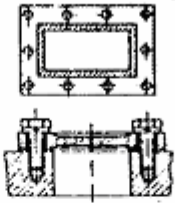
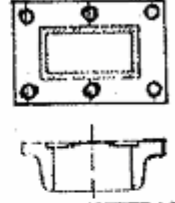


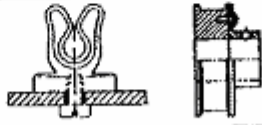

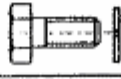
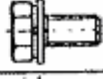
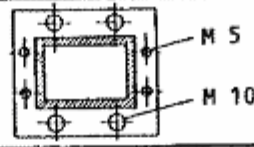
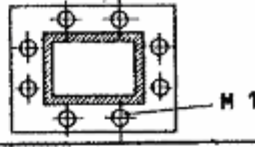
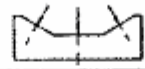
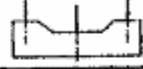

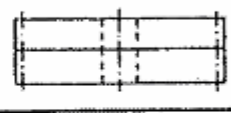

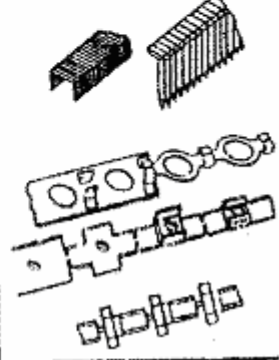
Úlohou racionalizačných metód je využívať to, čo bolo už vytvorené, systematicky to triediť a spracovávať s cieľom opakovaného využitia. Hlavnými racionalizačnými metódami sú:

- |                       |  |
|-----------------------|--|
| <b>typizácia</b>      | - výber a redukcia počtu existujúcich riešení,   |
| <b>unifikácia</b>     | - využívanie rovnakých častí v rôznych výrobkoch;<br>zjednocovanie,  |
| <b>normalizácia</b>   | - tvorba dokladov, ktorých rešpektovanie je povinné a<br>záväzné,  |
| <b>štandardizácia</b> | - uznanie konštrukcie niektorého špičkového výrobku za<br>východiskový štandard kvality i pre iné výrobky tohto druhu, |
| <b>stavebnicosť</b>   | - schopnosť vytvárať z relatívne malého počtu stavebných   |

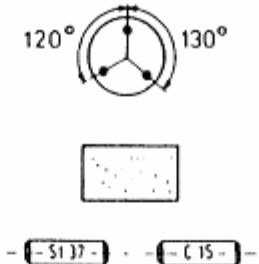
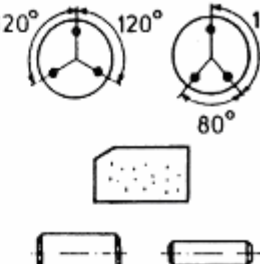
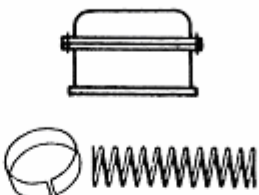

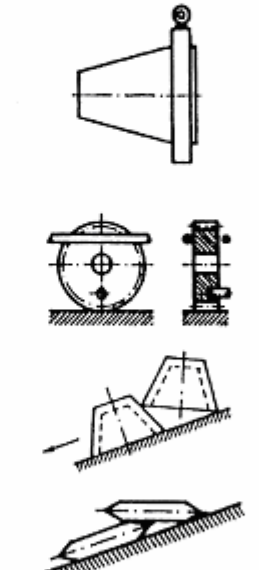
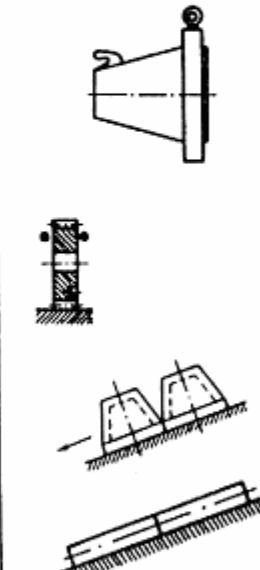


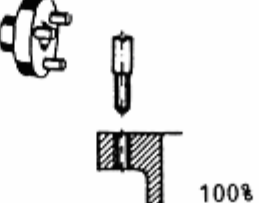
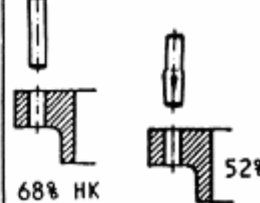
- prvkov veľké množstvo užitočných zostáv,
- príbuznosť** - viacero výrobkov tvorí spoločnú rodinu, ktorá má určitý druh príbuznosti,
- štruktúrálna príbuznosť** – všetky výrobky rodiny sú štruktúrálnymi podmnožinami najzložitejšieho (často fiktívneho) výrobku, napr. relé s maximálne možným počtom kontaktov predstavuje výrobok s najzložitejšou štruktúrou (kmeňový výrobok),
- tvarová príbuznosť** - všetky výrobky rodiny majú rovnaké tvary, ale rôzne veľkosti,
- technologická príbuznosť** – všetky výrobky rodiny používajú len vymedzenú množinu spojovacích technológií a spojovacích prvkov.

### 3.3.2 Iné metódy





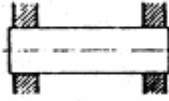
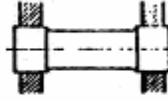
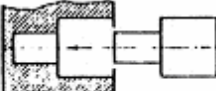
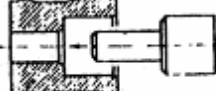





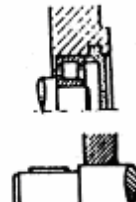
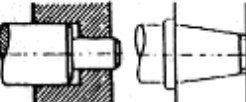
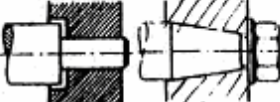
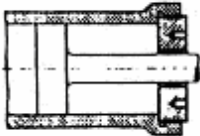

V Nemecku sa pokúsili systematicky spracovať príklady dobrých a zlých riešení a transformovať známe pravidlá do formy smernice VDI Richtlinien 3237 [44,75,95,116] obr. 3.2 - 3.5. Tento prístup je využitý i v knihe bratov Skarbinských [112].

Konštrukčné pravidlo	Horšie	Lepšie
Zmenšenie počtu montážnych operácií		
- odstránením súčiastok (skrutiek)		
- použitím dorazov	fixovanie dvoma skrutkami 	vyseknuté dorazy odliate dorazy angepaserte Fixierung 
- spojením súčiastok (integrálna konštrukcia)		
- použitím predmontovaných častí alebo skupín		
- zjednotením súčiastok		
- zjednotením smeru montáže	smer skrutkovania 	
Uľahčenie plnenia zásobníkov		
- tvary vhodné na stohovanie		
- zorientované stĺpce (napr. kramličky) alebo podržanie pôvodného usporiadania: malé súčiastky nechať až do konca v pásikoch alebo tyčiaciach		

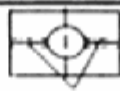

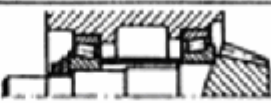
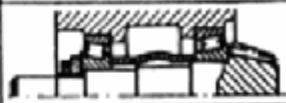
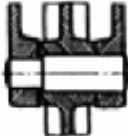



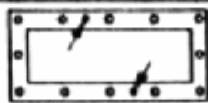
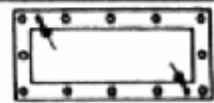


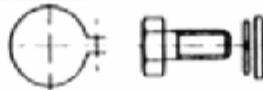

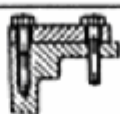


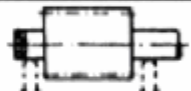





*Obr.3.2 Smernica VDI Richtlinien 3237 - prvá časť jej podstatou je, že pre každé pravidlo sa uvádzajú inšpiratívne príklady dobrých a zlých riešení [116].*

Konštrukčné pravidlo	Horšie	Lepšie
Uľahčenie manipulácie so súčiastkami		
<p>Ľahké rozpoznanie polohy alebo "dokonalá symetria" (zabrániť zámene)</p>		
<p>Ľahké uchopenie</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- použiť odtláčanie skrutky alebo prečnievajúcu prírubu</li> <li>- zabrániť zahákovaniu</li> </ul>		
<p>Uľahčenie manipulácie</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- nezabúdať na závesy pri ťažkých súčiastkach, použiť 2 i 3 závesy, aby pri montáži nevisela súčiastka šikmo (žeriav)</li> <li>- taký tvar, ktorý umožňuje valenie</li> <li>- taký tvar, ktorý nezapríčiňuje klinovanie pri doprave</li> </ul>		
Uľahčenie nastavenia polohy		
<p>samočinné nastavenie (bez prispôsobovania kolíkovania), napr. veko s centrováním.</p>		
Uľahčenie spojovania		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- vhodné spojovacie elementy</li> <li>- vrubované a pružné kolíky často vhodnejšie ako poisťovacie skrutky alebo valcové a kužeľové kolíky vo vystružených dierach</li> </ul>		

Obr.3.3 Smernica VDI Richtlinien 3237 - druhá časť

Konštrukčné pravidlo	Horšie	Lepšie
- špeciálne spojovacie prvky	 <p>skrutky</p>	 <p>zverné opásanie</p>
<b>Uľahčenie nasunutia</b>		
- zraziť hrany na zavedenie (čapy, hriadele, praporky zavádzané do drážok)		
- pri dlhých hriadeľoch nerobiť spojovacie plochy po celej dĺžke (platí to i pre predĺžené náboje a valivé ložiská)		
- nespojovať súčasne viaceré spojovacie plochy		
- počítať s prístupnosťou (pre nástroj)		
- zavalcovanie víčka namiesto skrutkovania		
- pero vložiť tak hlboko, aby cez neho prešli iné časti pri demontáži		
<b>Uľahčenie nastavenia a justovania ("vyhotov nahrubo, potom jemno justuj")</b>		
- vyhýbaj sa dvojitému uloženiu, zadiera sa kužeľové uloženia, nepotrebujú axiálne dorazy		
- závitý nie sú centrické, vyhni sa potrebe dopasovávania.		

Obr.3.4 Smernica VDI Richtlinien 3237 - tretia časť

Konštrukčné pravidlo	Horšie	Lepšie
- použiť odstupňované vložky alebo plynulé nastavovanie (miesto obrábania)	 prídavok	
- namiesto úzkych tolerancií použiť elastické al. plastické deformovateľné alebo nastaviteľné časti.		
- vrúbkový kolík ušetrí osadenie na osi. Nevyžadujú sa úzke tolerancie, môže sa vrtáť skrz.		
- prilepenie pätky pre ložisko namiesto ručného dopracovania (vrtania)		 lepidlo
- jednoznačné, ľahké poistenie		
- poistenie polohy častí frémy pomocou vzdialených kolíkov		
- namiesto zvláštnych poistovacích elementov (poistné plechy) použiť tvarové poistenie proti otáčaniu		
- použiť jednoduché poistné elementy		
<b>Uľahčenie kontroly</b>		
- samokontrola použitím skrutiek rôznej dĺžky		
- použiť normované rozmery a tolerancie (nástroje, meradlá)		
- časti určené pre vyvažovanie, opatří nábojmi na vyvažovanie		
<b>Uľahčené demontáže</b>		
- perá na jednej strane opatří skosením na demontáž úderom kladiva		
- opatří hriadeľ otvorami pre sťahovák (demontáž)		
- pri delených skrinách použiť odtláčacie skrutky alebo prečnievajúce príruby		

Obr.3.5 Smernica VDI Richtlinien 3237 - štvrtá časť

Na obr. 3.6 sú uvedené nové spojovacie prvky spracované formou tabuliek.

<p><b>Jednostranné nity</b></p> <p>1. Všetky princípy uvedené na obr. 2.9 Materiál: oceľ, mosadz, plast</p>		
<p><b>Nitové matice</b></p> <p>2. Matice zalisované a prinitované. Matica uchytaná do otvoru v plechu jednostranným nitovaním al. roznitovaním. Zuhv zabezpečujú maticu proti otočeniu.</p>		
<p>3. <b>Závitové vložky.</b> Vonkajší závit slúži na uchytanie vložky v odliatku, vnútorný závit slúži na pripojovaciu skrutku. Vhodné tam, kde sa pôvodný závit v odliatku poškodil.</p>		
<p>4. <b>Poistné matice.</b> Namiesto vejárových poistných podložiek je poistenie dosiahnuté dodatočným trením medzi závitmi vyvolaným pružnou vložkou, poistnými skrutkami alebo miestnou deformáciou.</p>		
<p>5. <b>Klietkové a plechové matice.</b> Do štvorcového otvoru v plechu sa uchytia vložením a zahnutím Vložiek alebo zasunutím (na okraji plechu).</p>		
<p>6. <b>Uzávery a zámky.</b></p>		
<p>7. <b>Spony.</b> Slúžia ako efektívna náhrada poistných segersových krúžkov. Niektoré nepotrebujú drážku v hriadeli (samosvornosť).</p>		
<p>8. <b>Dištančné kolíky.</b></p>		
<p>9. <b>Stojankové svorníky.</b> Do plechu sú zakotvené kapacitným privarením, zanitovaním a i.</p>		
<p>10. <b>Lepidlá.</b> Pre poistenie skrutiek a lepenie všeobecne.</p>		
<p>11. <b>Vložky do muriva.</b> Hmoždinky</p>		
<p>12. <b>Expandéry.</b> Spevňovacie vložky do otvorov</p>		



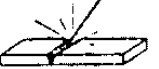

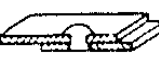


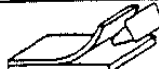

Obr.3.6 Nové spojovacie prvky (KEG Koenig Verbindungs technik).



Podobnou formou sú spracované učebné texty Valentoviča [128], v ktorých je uvedený i prehľad metód známych v r. 1999.

Ako sme už uviedli iný prístup je založený na subjektívnom známkovaní rôznych možností realizácie typických montážnych spojov.

Na obr.3.7 je príklad subjektívneho hodnotenia firmy TOSHIBA [44], a to rôznych spôsobov spojenia dvoch plechov, pričom každé kritérium je ohodnocované známami 1,2,3 (najlepšia známka je 1).

Spojovací postup	Hlavné vlastnosti spojenia	Kritériá hodnotenia									
		pevnosť	cena montáže	vzhľad	spoľahlivosť	vizuálna kontrola	opravy	presnosť polohy	flexibilita prestavenia	malé súčiastky	veľké súčiastky
 skrutkovanie		1	3	3	1	1	1	2	2	3	1
 odpor. zvaranie		1	1	2	3	3	3	3	1	1	1
 oblúk. zvaranie		1	2	2	1	2	2	3	1	3	1
 spájkovanie natvrdo		1	3	1	1	2	3	3	1	1	1
 nitovanie		1	2	2	1	1	3	1	3	3	1
 tamovanie		3	1	3	2	1	3	1	3	2	3
 zahnutie		2	1	1	1	1	3	3	2	1	3
 lepenie		3	2	1	2	3	3	3	1	1	2
 špeciálne spoj.prvky		2	3	3	1	1	2	2	2	3	1

1 - najlepšie  
 2 - lepšie  
 3 - dobre

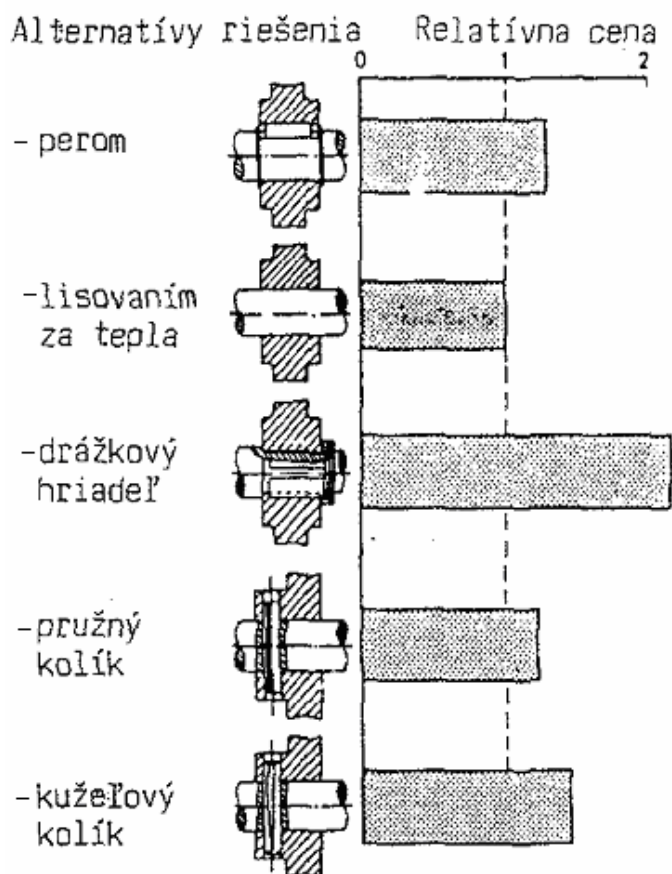
**Obr.3.7** Príklad subjektívneho hodnotenia rôznych spôsobov spojenia dvoch plechov pričom každé kritérium je ohodnocované známami 1,2,3 (najlepšia známka je 1) [44]

Príklad hodnotenia relatívnej ceny spojenia plechov je znázornený na obr. 3.8, kde sú porovnané náklady na ocelové a hliníkové plechy pri jednotlivých spôsoboch ich spojenia.

Konštrukcia		St	Al
Nitovanie (4x)	polguľový nit DIN 660 	2,6	2,6
	zapustený nit DIN 661 	3,5	3,4
Skrutkovanie (4x)	priebežná diera 	3,6	3,6
	rezaný závit 	3,7	3,7
	prerazenie DIN 7952 	4,1	
	zubová matka 	3,9	3,9
	privarená matka DIN 929 	4,4	
	závitová vložka 		7,0
Lepenie	Konštrukcia trichlóróm odmastené 	1,7	1,7
	Tvrdá spájka v ochrannej atmosfére 	3,7	
Zváranie	Tvrdá spájka pomedené plameňom 	6,9	
	bodovo zvarané (4x) 	1,0	2,9
	bradavkovo zvarané (4x) 	1,3	
	zvar svetelným oblúkom (ochr.atm.) 		4,3
	oblúkom 	2,9	
	oblúkom (ochr.atm.) 		7,4
	oblúkom 	4,4	

**Obr.3.8** Relatívne ceny spojení plechov pre ocelové (St) a hliníkové plechy (Al)  
 Ceny sú bez materiálov (100 x 100 mm, 3 mm hrúbka, séria 200 kusov).  
 Za základ je braný bodový zvar. Pozor ! Platné len pre firmu Siemens !

Ako príklad relatívneho hodnotenia rôznych riešení pomocou tzv. relatívnych nákladov je na obr.3.9, kde sú porovnané náklady rôznych spôsobov spojenia hriadeľa s nábojom.



Obr.3.9 Porovnanie relatívnych nákladov na rôzne druhy spojenia náboja s hriadeľom [44]

### 3.3.3 Špecializované metódy DFA

Pre potreby tejto práce je postačujúce opísať podstatu len špecializovaných metód DFA (pri ostatných metódach, uvedených v tab.3.2, podstata vyplýva z názvu – recyklácia, životné prostredie a pod.).

Niektoré známe metódy sú zamerané len na montovaný výrobok (a nie aj na jeho montážny systém).

#### *Metóda Boothroydova*

Boothroyd [18,20] v prvom kroku vyberá podľa ekonomických kritérií jeden z troch možných montážnych systémov: **ručná práca, robotická montáž a automatická montáž.**

K vybranému systému potom prispôbuje konštrukciu výrobku. Kritériom kvality výrobku aj systému sú aktuálne jednotkové náklady v aktuálnej ekonomickej situácii.

#### *Metóda Redfordova*

Redfordova metóda [106,107] je založená na podobných princípoch ako metóda Boothroydova.

#### *Metóda Andreasenova*

Základom metódy je desať pravidiel konštruovania výrobku z hľadiska montáže [1,4,5]:

- 1. Minimalizuj počet súčiastok.**

2. **Štandardizuj funkciu a stavbu.**
3. **Ak je to možné, štandardizuj komponenty.**
4. **Používaj nábehy a zrazenia na uľahčenie vkladania.**
5. **Tvaruj súčiastky na uľahčenie manipulácie.**
6. **Minimalizuj počet smerov montáže.**
7. **Ak je to možné, rozčleň výrobok na menšie montážne skupiny.**
8. **Usiluj sa tvarovať súčiastky z hľadiska rýchlej orientácie.**
9. **Konštruuj súčiastky tak, aby boli počas montáže stabilné.**
10. **Usiluj sa minimalizovať hmotnosť.**

Tieto pravidlá sa často redukujú do troch hlavných:

1. **Minimalizuj počet súčiastok.**
2. **Štandardizuj komponenty.**
3. **Komponenty konštruuj na ľahké vkladanie.**

### *Metóda CISAL*

Metóda vychádza z kritiky metódy Boothroydovej. Autori deklarujú, že prevažná časť systémov nie je čisto manuálna alebo robotická, alebo automatická, ale je kombinovaná.

To vyžaduje tvoriť výrobok i systém paralelne v súlade s princípmi Concurrent Engineering. Aj v metóde CISAL [74,79] prevláda hodnotenie kvality výsledku podľa jednotkových nákladov aktuálnych v príslušnej krajine a čase.

### *Konkurentné inžinierstvo*

V anglickej literatúre sa používajú ekvivalentné názvy: Concurrent Engineering-CE (konkurentné inžinierstvo), Simultaneous Engineering (simultánne inžinierstvo), Lead Engineering (vedené inžinierstvo), Integrated Engineering (integrované inžinierstvo). Starý postup zavádzania nového výrobku na trh sa 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 sú vysoké.

Simultánne inžinierstvo sa usiluje skrátiť túto dobu tak, že výrobok, výrobný a montážny systém vytvára tím špecialistov takmer súčasne (simultánne). Charakteristické pre CE sú veľké jednorázové náklady a s tým spojené veľké podnikateľské riziko. V prípade úspechu však tento postup dáva možnosť obsadiť trhy a získať takmer monopolné postavenie na svetovom trhu [129].

### *Metóda firmy LUCAS*

Ďalší expertný systém vytvorila firma LUCAS [67] [49,85] neskoršie rozšírená i za hranice firmy. V pamäti počítača sú uložené otázky súvisiace s DFA v logickej sekvencii.

Expertný tím odpovedá jednoznačne na otázky. Podľa druhu odpovede kladie počítač ďalšie otázky. Štyria členovia tímu analyzujú takto zložitý výrobok s 4000 súčiastkami za cca 4 hodiny, pričom napr. počet súčiastok sa zníži až o 50 %.

Súčasťou analýzy je formulár Priebeh montáže (Flow Chart) obsahujúci schému postupu montáže. Pri každej súčiastke je jej tvarová zložitosť ocenená tromi technicko-ekonomickými ukazovateľmi [128]:

- relatívne náklady na orientáciu,
- uchytávanie,
- zakladanie a spojovanie.

Výsledky za celý výrobok sú zhrnuté do troch ukazovateľov:

1. efektívnosť konštrukcie =  $n_1 / n_0$  ,
2. orientačný pomer =  $O / n_1$  ,
3. manipulačno – montážny pomer =  $U + Z + S / n_1$  ,

kde:  $n_1$  = počet súčiastok po úprave,  
 $n_2$  = pôvodný počet súčiastok,  
 $O$  = súčet rel. nákladov na orientáciu,  
 $U$  = súčet rel. nákladov na uchytávanie,  
 $Z$  = súčet rel. nákladov na zakladanie,  
 $S$  = súčet rel. nákladov na spojovanie.

Firma LUCAS predáva licencie na softvère za 2 000 libier. Jedného experta vyškolí za 500 libier.

### **Metóda firmy TOSCHIBA**



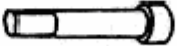
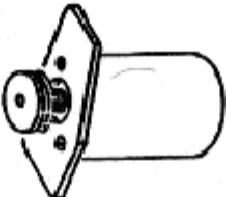


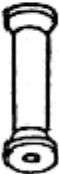

Je podobná metóde LUCAS. Aj ona je zameraná na oblasť typickú pre firmu.

Na zlepšenie konštrukcie sa používa manuál s pravidlami a príkladmi. Konštruktér subjektívne hodnotí montážnu kvalitu každej súčiastky, každého spoja a celého výrobku.

Známkuje dôležité montážne vlastnosti. Napr. pri súčiastke, je to zložitosť orientácie, zložitosť manipulácie a pod. Ak sú vlastnosti ideálne, prideliuje konštruktér tejto vlastnosti 10 bodov. Metóda TOSHIBA spočíva teda v *subjektívnom bodovaní* dôležitých montážnych aspektov konštrukcie.

Z uvedeného vyplýva, že vo všetkých známych metódach je výsledná montážna kvalita vyjadrená ako *presný súčet viac- alebo menej nepresných čísiel*. Väčšina autorov sa prikláňa k názoru, že montážnu kvalitu konštrukcie nemožno hodnotiť len subjektívnymi výrokmami (vysoká, nízka, horšia, lepšia), ale ju treba detailne analyzovať podľa jednotlivých súčiastok, spojov montážnej štruktúry výrobku a vhodne je kvantifikovať a objektivizovať.

Výsledky sa hodnotia priemerným počtom bodov pridelených expertmi [119]. Príklady zlepšení televízneho videorekordéra dosiahnuté metodikou TOSCHIBA sú uvedené na obr. 3.10.

Zabránenie zakusovania (v sklizoch)	zváženie hrúbky	podložka	
Zabránenie zapletenia drôtov	konektor namiesto drôtov	motor zakladača	
Uľahčenie montáže	vytvor zrazenie	skrutka	
Uľahči manipuláciu	opatrí para- lelnými tvarmi na uchytenie	hnací motor	
Stabilizácia polohy súčiastky	pridaj tvarový prvok pre vedenie základne	motor naklada- ča s prísluš.	
Zmenšenie počtu súčias- tok	integruj viac súčias- tok do jednej	vodič pásky	
Cieľ rekonštrukcie	Spôsob riešenia	Názov súčiastky	
		Pred zlepšením	
		Po zlepšení	

Obr. 3.10 Príklady zlepšení televízneho videorekordéra dosiahnuté metodikou TOSCHIBA

### **Metóda Warneckeho**

V NSR bola vytvorená v ústave IPA pod vedením profesora Warneckeho metodika, podľa ktorej sa hodnotenie montážnej kvality konštrukcie vykonáva sčítovaním tzv. "charakteristických hodnôt montážnej operácie" v pomocných tabuľkách [37].

Na hodnotenie výsledkov využíva priemerné známky (body) získané od kolektívu hodnotiteľov [6,141].

Vráťme sa k mottu č. 1, kde sa konštatuje:

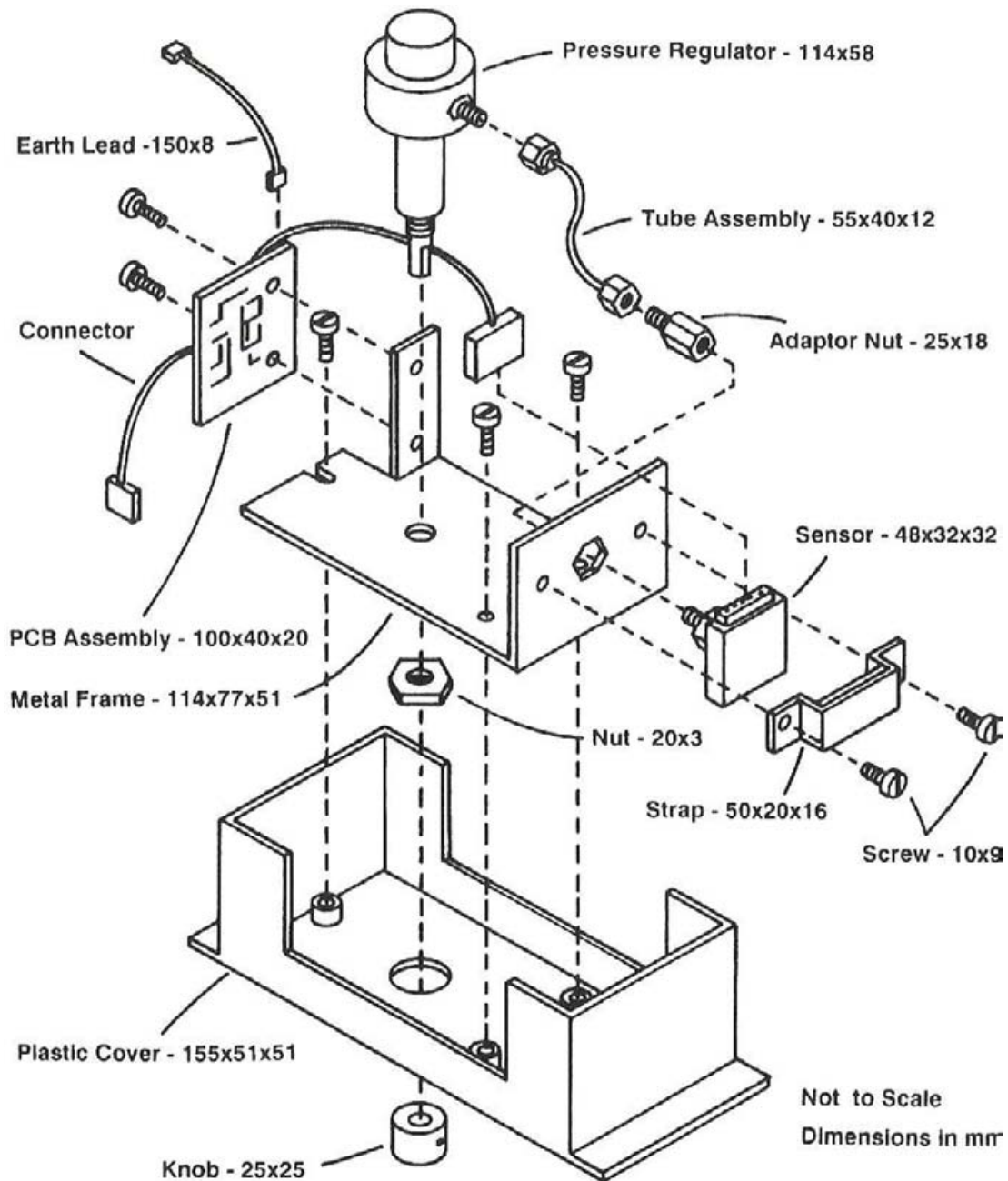
**„DFA- Design for Assembly je technika, ktorá pôvodne bola vytvorená na báze papierových podkladov a dnes je rozvinutá do komerčných softvérových balíkov.**

**Je široko používaná na západe, hlavne vo veľkých firmách. Osvedčila sa v mnohých sektoroch priemyselnej výroby od spotrebných produktov až po ťažké terénne vozidlá.**

**DFA má za cieľ redukovať montážne náklady a zabezpečiť, aby montážny proces bol menej komplikovaný a ľahko vykonateľný. To je dosiahnuteľné najmä redukciami počtu súčiastok výrobku, zľahčením ich manipulácie a spojovania [7]“.**

Ako dôkaz efektívnosti jednej z týchto metód uvádzame príklad konštrukcie „kontroléra“ pred aplikáciou Boothroydovej metódy (obr.3.11) a po aplikácii (rekonštrukcii) podľa Boothroydovej metódy [15] (obr.3.12). Autor uvádza tieto efekty:

1. spojenie plastického krytu, eliminácia troch skrutiek a reorientácia,
2. eliminácia vloženia dvoch skrutiek,
3. eliminácia skrutiek držiacich dosku plošných spojov,
4. eliminácia dvoch preorientácií,
5. eliminácia zemniaceho vodiča,
6. eliminácia konektora (zastrčenie senzora do dosky plošných spojov) pozri obr.3.12.

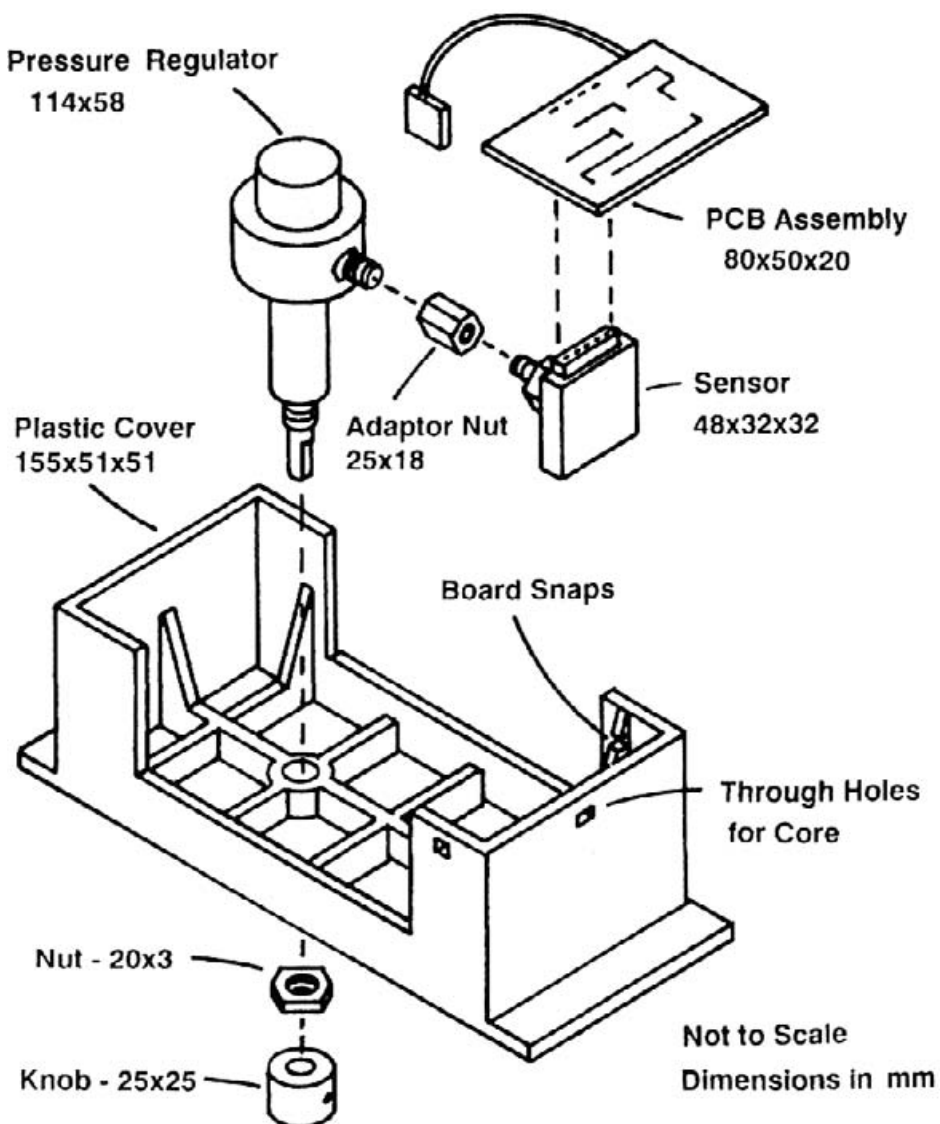


**Obr. 3.11** Montáž „kontroléra“ pred aplikáciou Boothroydovej metódy [15]

Redukcia počtu súčiastok do jednej bola v jednotlivých bodoch nasledovná:

1. tri súčiastky do jednej súčiastky – čas montáže: 54,3 sekundy,
2. dve súčiastky do jednej súčiastky – čas montáže: 27,9 sekundy,
3. jedna súčiastka do jednej súčiastky – čas montáže: 19,6 sekundy,
4. dve súčiastky do jednej súčiastky – čas montáže: 18,0 sekundy,
5. dve súčiastky do jednej súčiastky – čas montáže: 12,0 sekundy,
6. jedna súčiastka do jednej súčiastky – čas montáže: 10,6 sekundy,
7. jedna súčiastka do jednej súčiastky – čas montáže: 7,0 sekundy.



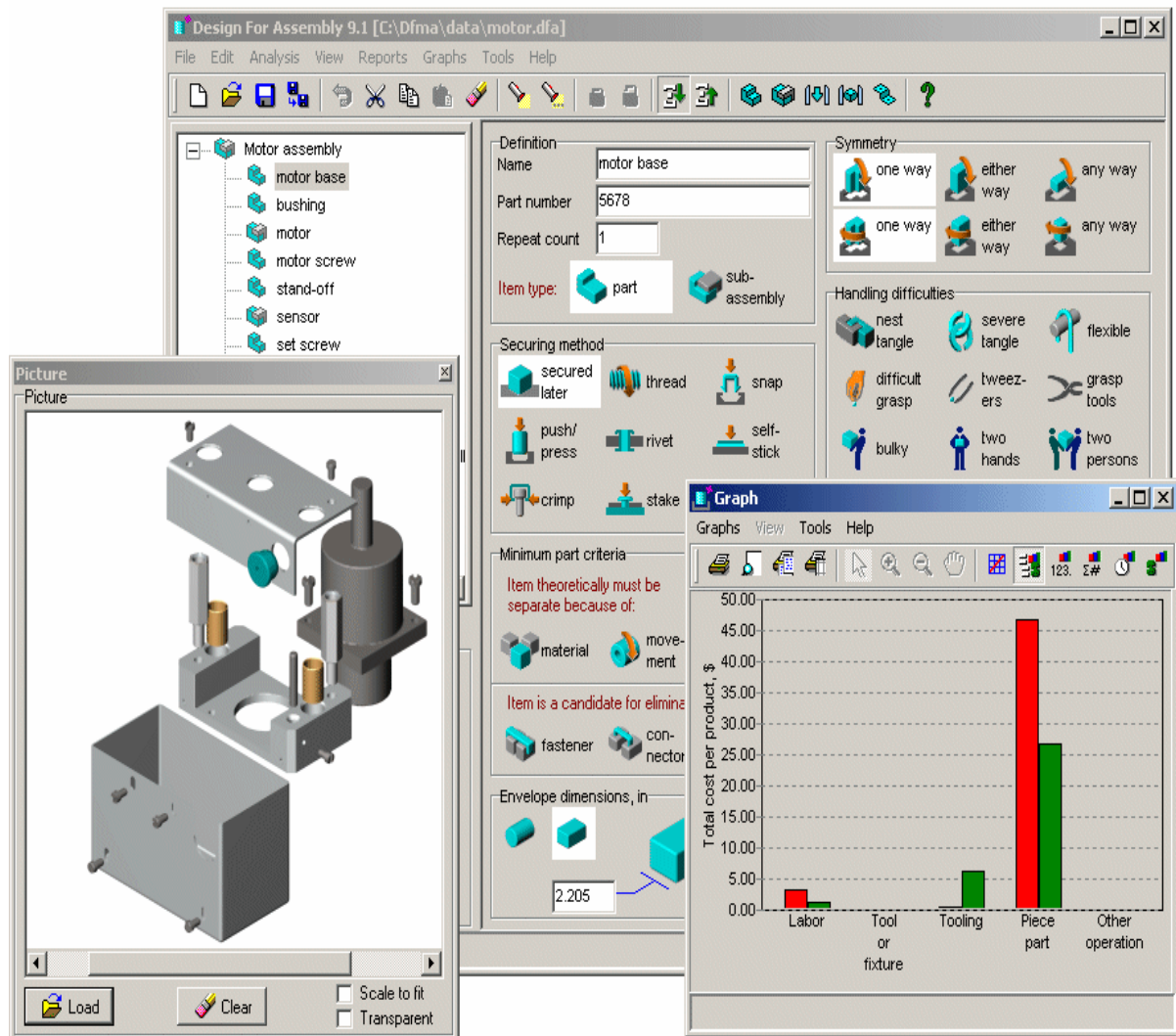


*Obr. 3.12 Koncepcia rekonštruovaného „kontrolera“ z hľadiska montáže po aplikácii Boothroydovej metódy [15]*

Novšie metodiky sú spracované vo forme programových softvérov, ktoré ponúkajú riešiteľom príklady dobrých riešení, ale rozhodovanie ponechávajú na riešiteľoch.

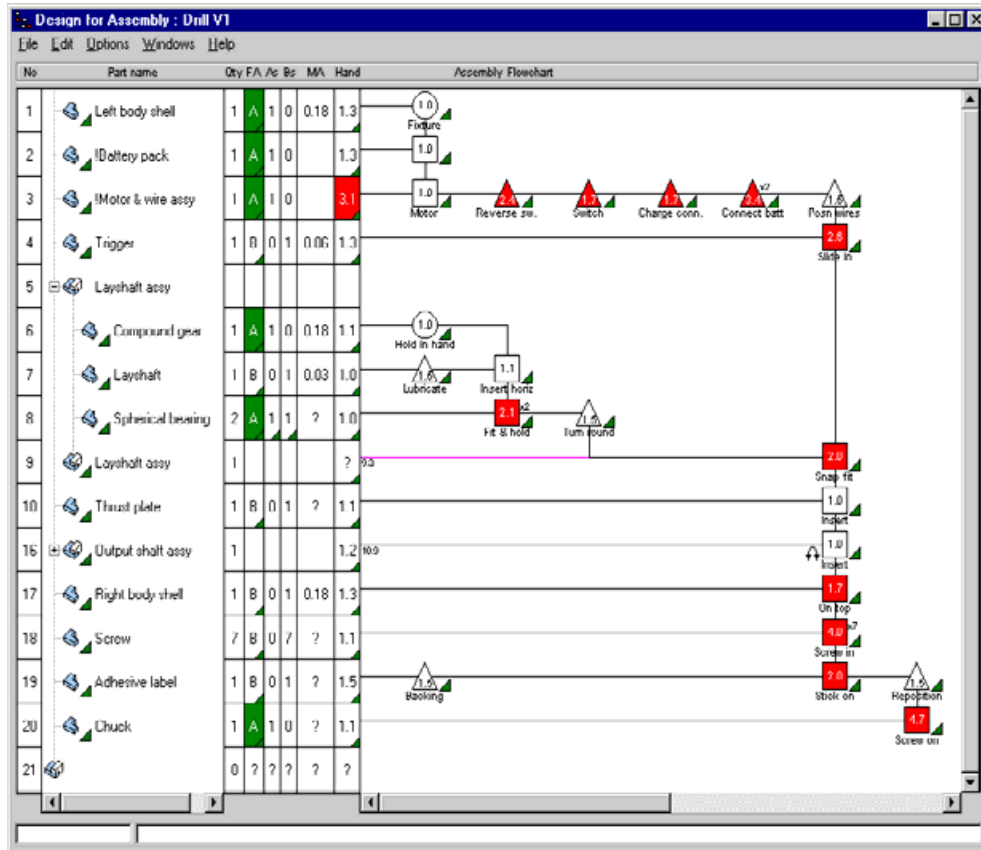
Autori programu CISAL [74] tvrdia, že tieto systémy nie sú expertné systémy, t.z. „nevypočítavajú“ rozhodnutia medzi ponúkanými alternatívami, ale tieto rozhodnutia nechávajú na riešiteľovi. Tvrdia, že ich softvérový program nie je expertný systém, ale systém pomáhajúci rozhodnúť sa (decision aid support).

Isteže, zbierky dobrých príkladov a pravidiel spracované do softvérového programu môžu urýchliť proces zdokonaľovania výrobku, zvlášť ak sú informácie účelne triedené. Príklad takýchto softvérov je zobrazený na obr. 3.13, obr. 3.14 a obr. 3.15.



**Obr. 3.13** Program Design For Assembly 9.1 [28]

Ukážka predstavuje záverečné hodnotenie rekonštrukcie motora, prezentuje optimálny výber z ponúkaných spôsobov spojovania a porovnáva náklady pred rekonštrukciou a po rekonštrukcii v oblastiach práci nástrojov a počte súčiastok.



a.)

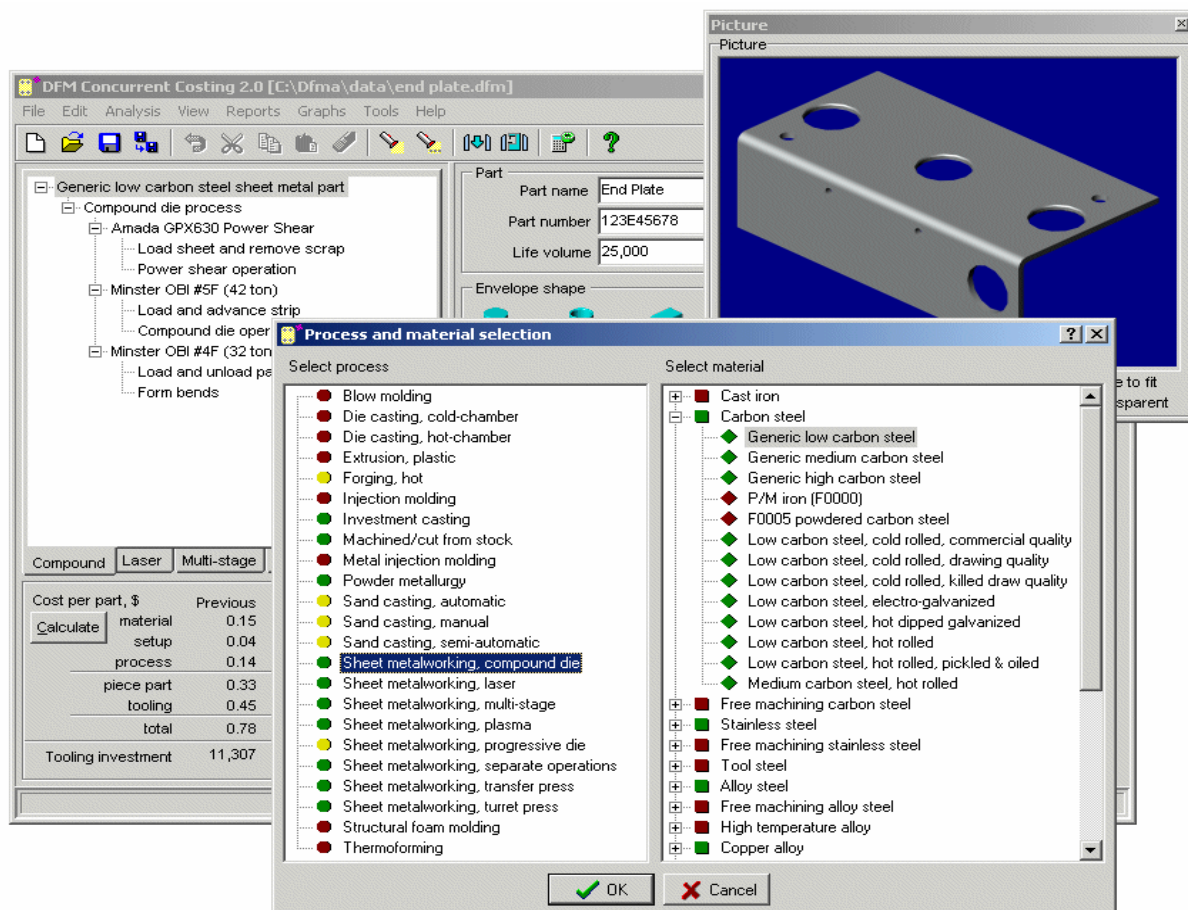
The screenshot shows the 'INSERTION PROCESSES : Compound gear' dialog box. It contains several sections for configuring assembly processes:

- Can Assemble Wrong Way Around:** A checkbox with a 'REDESIGN' button and a diagram showing a part being inserted incorrectly.
- A Part Placing Process:** Radio buttons for 'Self Locates', 'Requires Holding', 'Self Securing', 'Screw', 'Rivet', and 'Plastic Bending'. The 'Self Locates' option is selected.
- B Process Direction:** Radio buttons for 'Straight Line', 'From Above', 'Not From Above', and 'Not Straight Line'. The 'From Above' option is selected.
- C:** Radio buttons for 'Single', 'Multiple Process', and 'Simultaneous Process'. The 'Single' option is selected.
- D Restricted Access And/Or Vision:** A checkbox.
- E Is Component Difficult To Align During Assembly?:** Radio buttons for 'No' and 'Yes'. The 'No' option is selected.
- F Is There Resistance To Insertion?:** Radio buttons for 'No' and '2 Kgf +'. The '2 Kgf +' option is selected.

At the bottom, there are buttons for 'OK', 'Cancel', and 'Help', along with fields for 'User Score', 'Repetitions' (set to 1), and 'People' (set to 1).

b.)

**Obr. 3.14** Program Design For Assembly Drill V1 [13]  
 a–ukážka karty priebehu montáže,  
 b–ukážka rozoberá možnosti spojovania dvoch súčiastok.



**Obr. 3.15** Program: DFM Concurrent Costing 2.0 [29].  
Ukážka je ponukou možných technológií a možných materiálov súčiastky daného tvaru z pohľadu nákladov.

Sama skutočnosť, že príslušná metóda je podoprená programom, neznamená, že z hľadiska obsahu a hĺbky poskytovaných informácií je vždy lepšia, ako keď je spracovaná iným spôsobom (napr. kniha).

V obidvoch prípadoch nie je vhodné spoľahnúť sa iba na tvorcu programu alebo knihy. Riešiteľ musí takýto základný systém neustále dopĺňovať jemu už známymi najnovšími riešeniami.

Osobná vedomostná báza riešiteľa nemôže byť zastúpená vedomostnou bázou zostavovateľa programu, pretože riešiteľ by bol odsúdený na úlohu realizovať len vedomostnú bázu tvorcu programu do svojho riešenia.

Táto pripomienka sa týka všetkých takýchto programov, ale aj niektorých kníh. Riešiteľ teda musí byť sám špecialistom a trvalo sledovať novinky v danej oblasti. Uvedené metodiky sa líšia navzájom tiež hodnotením dosahovaných výsledkov. Väčšinou ide o subjektívne hodnotenia pomocou bodovania a známkovania kolektívom expertov.

Boothroyd je protagonistom myšlienky hodnotenia konštrukcie výrobku a vybraného montážneho systému pomocou predbežného výpočtu jednotkových nákladov na zmontovanie jedného výrobku pri danej sériovosti.

## Závery

Staršie metodiky DFA boli spracované vo forme kníh opisujúcich všeobecný postup zdokonaľovania výrobku z hľadiska montáže v postupnosti súčiastka, spoj, celok. V každej časti sú uvedené osvedčené pravidlá, hlavne však príklady dobrých a zlých riešení.

Kvalita riešení je oceňovaná známkami (subjektívne) alebo výpočtom tzv. relatívnych nákladov na každé možné riešenie v daných podmienkach (úroveň miezd, aktuálnych cien materiálu, použitej techniky a pod.) na formulároch na to určených.

Jediný objektívny ukazovateľ používaný v týchto prácach je relatívna úspora počtu súčiastok.

Nové metodiky deklarujú, že sú spracované vo forme „programových balíkov“. V skutočnosti neobsahujú program, ktorý by „vypočítal“ najlepšie riešenie, neobsahujú ani čiastkové programy na rutinné výpočty, pričom na základe týchto výsledkov rozhoduje expert o ďalšom postupe. Nie sú to teda ani expertné systémy. Sú to opäť knihy, vydávané v softvérových balíkoch.

Ďalej uvedená metóda OMA podáva základy teórie pre jednotlivé kroky rekonštrukcie výrobku. Keď bude táto teória kompletná, vznikne dôvod na jej spracovanie vo forme expertného systému.

## 3.4 ROZHODUJÚCE VLASTNOSTI VÝROBKU Z HĽADISKA DFA

Na základe dlhodobého štúdia a praxe doc. Valentovič považuje za rozhodujúce tieto vlastnosti konštrukcie výrobku z hľadiska DFA:

- a) funkčný princíp,
- b) štruktúra konštrukcie,
- c) montážne spoje,
- d) vlastnosti súčiastok z hľadiska orientácie,
- e) vlastnosti súčiastok z hľadiska montážnej manipulácie,
- f) rozmerové vlastnosti konštrukcie,
- g) materiál súčiastok.

### 3.4.1 Funkčný princíp

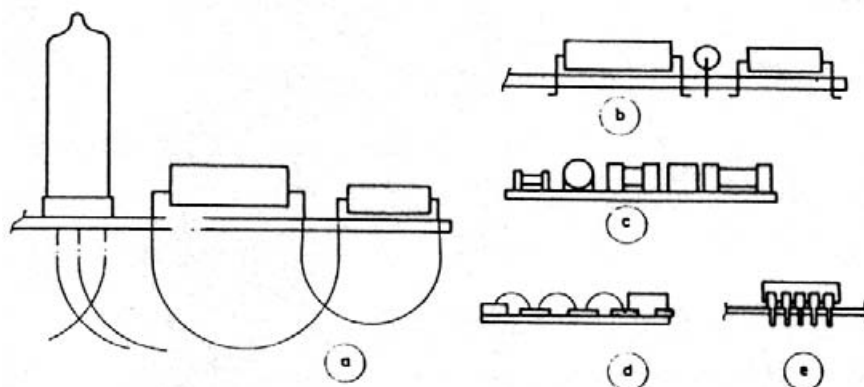
Pod pojmom funkčný princíp budeme rozumieť základný princíp, na ktorom spočíva funkcia výrobku. Tak napr. funkčný princíp pružinových hodín sa zakladá na poznatku (objave), že doba kyvu pružinového kyvadla je stála a môže slúžiť na odmeriavanie času.

Problémom bol však mechanizmus, ktorý by kyvadlu dodával silové impulzy, keď sa jeho kývanie utlmí vplyvom trenia. Takýto mechanizmus bol vytvorený a je známy ako Grahamov hák budený pružinou (vynález). Nás bude zaujímať len hľadisko montáže. Je známe, že zmena funkčného princípu často predstavuje revolúciu v montáži. (Digitálne hodiny sú montážne podstatne jednoduchšie ako hodiny pružinové).

Na obr. 3.16 je znázornený vývoj konštrukcie elektronických obvodov: od obvodov s elektrónkami a drôtovými prípojami (a) cez obvody z diskretných súčiastok jednotlivo vkladných do otvorov v doskách s plošnými spojmi (b) cez obvody, ktorých

miniaturizované diskkrétne súčiastky sú plošne prispájkované k podložke (c – plošná montáž – surface mounting – SM), ďalej cez tzv. hybridné obvody (d) až k súčasným obvodom, pri ktorých celý obvod je realizovaný na jedinom čipe (e – integrované obvody).

Z obrázku je zrejmé, že pri každej zmene funkčného alebo technologického princípu dochádza k radikálnej miniaturizácii a k zníženiu výrobných i montážnych nákladov [2].



**Obr. 3.16** Vývojové kroky v konštrukcii elektronických uzlov

- a – elektrónky a drôtové spoje,
- b – plošné spoje,
- c – plošná montáž,
- d – hybridné obvody,
- e – integrované obvody.

Vývoj v technike prebieha tak, že na základe nejakého objavu (revolučná zmena) sa objavujú postupne patenty a zlepšenia (evolučné zmeny), a tak vznikajú nové funkčno – technologické princípy. Vedci sú iniciátormi revolučných zmien, technici sú iniciátormi evolučných zmien.

V minulosti vznik objavu alebo vynálezu bol celkom náhodnou udalosťou, ktorá sa prihodila len vybraným ľuďom obdareným talentom. Nikto sa ani nepokúsil nájsť metódu, ktorá by priviedla i odborne vzdelaného a talentovaného technika k tvorbe vynálezu. Dnes každý podnik túži po výrobku, ktorý by predstihol konkurenčné výrobky originálnym funkčným princípom chráneným patentom. Cieľom novej vedy – *konštruológie* je hľadať také metódy, ktoré učia konštruktéra "ako tvoriť nové vynálezy a zlepšenia na objednávku". Obsahom náuky o konštruovaní (konštruológii) sme sa už zaoberali.

Je potrebné, aby súčasný inžinier ovládal okrem špeciálnych znalostí svojho odboru i metódy tvorivosti. Je dokázané, že jeho tvorivá aktivita sa tým niekoľkonásobne zvýši. Prehľad známych metód podáva tab. 3.2.

### 3.4.2 Kombinačná metóda hľadania funkčného princípu

Táto nová pôvodná metóda tvorivosti je použiteľná tam, kde konštruktér hľadá optimálny mechanizmus, ktorý by najlepšie splňal dané požiadavky. Metóda umožňuje nájsť všetky existujúce štruktúry vhodné na riešenie problému. Medzi nimi sa nájdu už doteraz vynájdene štruktúry, ale i štruktúry doteraz neznáme. Z nich môže konštruktér vybrať to riešenie, ktoré najlepšie vyhovuje konkrétnym požiadavkám.

*Podľa tejto metódy nájdeme najprv úplnú množinu štruktúr trojčlenných mechanizmov, z ktorých všetky splňajú dané základné požiadavky. Ak medzi nimi nenájdeme vhodné riešenie,*

hľadáme podstatne väčšiu množinu štvorčlenných mechanizmov, atď. Uvedené úplné množiny nájdeme pomocou zákona, ktorému podliehajú všetky členy množiny.

Napr. pre tuhé mechanizmy je to zákon udávajúci vzťah medzi počtom členov mechanizmu, stupňami voľnosti jeho dvojíc a výsledným stupňom voľnosti mechanizmu, ktorý musí byť  $i = 1$  (zákon stereostatiky).

Pre hydraulické mechanizmy takýmto zákonom bude napr. rovnica kontinuity alebo Bernoulliho rovnica, pre elektrické zapojenie napr. Kirchhoffov zákon a pod.

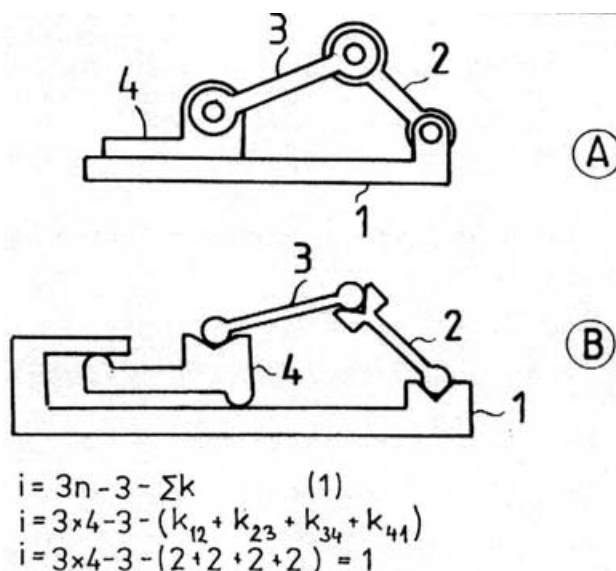
Najprv si ukážeme príklad využitia metódy v oblasti tuhých mechanizmov. Na obr. 3.17a je ako príklad rovinného mechanizmu uvedený rovinný kľukový mechanizmus, na obr. 3.17b je jeho idealizovaný model, v ktorom dvojice sú zobrazené tak, že členy sa dotýkajú v osamelých bodoch. Z modelu je zrejmé, že rotačné i posuvové dvojice sú dvojbodové. Ďalej budeme výhradne používať "bodové" modely dvojíc, a preto známu rovnicu o stupňoch voľnosti rovinného mechanizmu prepíšeme do tvaru [128]:

$$i = 3n - 3 - \Sigma k, \quad (1)$$

kde  $i$  je počet stupňov voľnosti mechanizmu,

$n$  - počet členov,

$\Sigma k$  - súčet všetkých väzbových bodov vo všetkých dvojiciach mechanizmu.



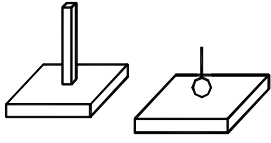
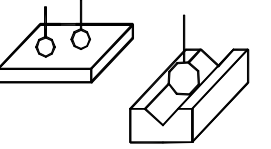
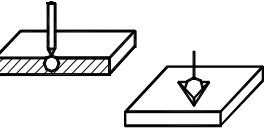
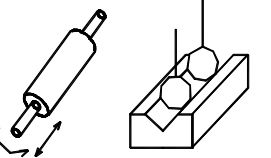
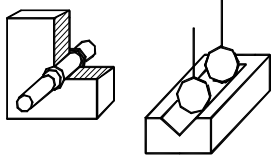
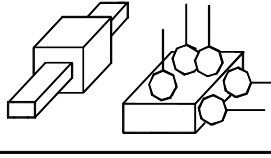
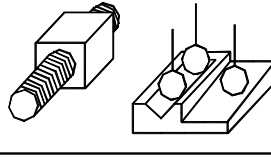
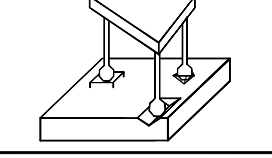
**Obr. 3.17** Stereostatická analýza rovinného kľukového mechanizmu  
 a – schéma rovinného kľukového mechanizmu,  
 b – idealizovaný model kľukového mechanizmu.

Všetky členy mali pred zviazaním a upevnením rámu  $3n$  stupňov voľnosti v rovine. Po upevnení rámu mala sústava menej o 3 stupne voľnosti, každý väzbový bod jej odobral jeden stupeň voľnosti. Pre priestorové modely bude platiť analogicky [128]:

$$i = 6n - 6 - \Sigma k \quad (2)$$

Na obrázkoch 3.17 a 3.18 sú vypočítané hodnoty  $i$  pre zobrazené modely. Najpoužívanejšie modely priestorových dvojíc sú na obr. 3.19.

Je dôležité si všimnúť, že model na obr. 3.17 je len idealizácia zobrazeného skutočného mechanizmu a hodnota  $i = 1$ , ako sme očakávali.

Model	$k_p$	Názov
	1	jednobodová dvojica (bod na rovine)
	2	dvojnožka (gul'a v drážke-na priestorovej krivke)
	3	trojnožka (gul'ový kĺb)
	4	rotačno – posuvná dvojica
	5	rotačná dvojica
	5	posuvná dvojica
	5	skrutková dvojica
	6	Nepohyblivá, staticky určitá dvojica

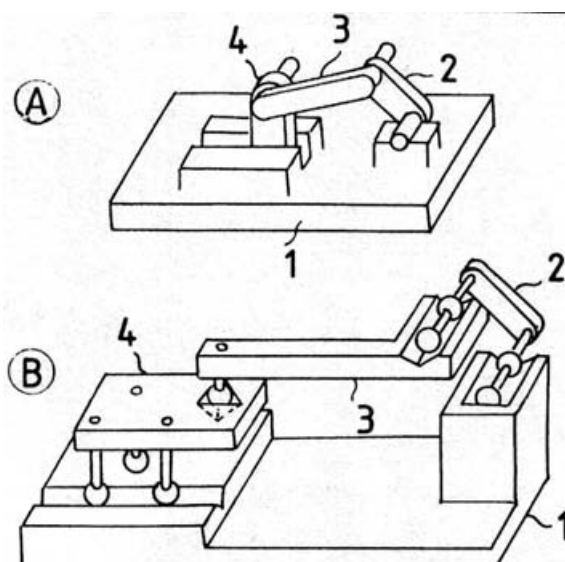
*Obr. 3.19 Modely najpoužívanějších kinematických dvojíc v priestore  
kde  $k_p$  - počet väzobných bodov v priestore.*

Keď však urobíme priestorový model mechanizmu podľa obr. 3.18a, dostaneme priestorový model s tromi rotačnými a jednou posuvnou dvojicou a po dosadení:

$$i = 6n - 6 - (k_{12} + k_{23} + k_{34} + k_{41})$$

$$i = 6 \cdot 4 - 6 - (5 + 5 + 5 + 5) = -2$$





$$\begin{aligned}
 i &= 6n - 6 - \sum k & (2) \\
 i &= 6 \times 4 - 6 - (k_{12} + k_{23} + k_{34} + k_{41}) \\
 i &= 6 \times 4 - 6 - (5 + 4 + 3 + 5) = 1
 \end{aligned}$$

**Obr. 3.18** Stereostatická analýza priestorového kľukového mechanizmu  
 a – schéma priestorového kľukového mechanizmu,  
 b – idealizovaný model kľukového mechanizmu.

Aby model mal požadovaných  $i = 1$ , museli sme zmenšiť súčet bodov v dvojiciach na hodnotu  $k = 17$ . Okrajové podmienky konštruktéra sú, aby "vstupná" dvojica 1 – 2 bola rotačná ( $k_{12} = 5$ ) a "výstupná" posuvná ( $k_{41} = 5$ ).

Podmienku transformácie splnia potom všetky modely s pohyblivými dvojicami, ktorých (1  $k_{ij}$  5) a "výstupná" posuvná ( $k_{41} = 5$ ). Podmienku transformácie splnia potom všetky modely s pohyblivými dvojicami, ktorých 1  $k_{ij}$  5 bude:  $k_{12} = 5$ ;  $k_{41} = 5$  a  $k_{23} + k_{34} = 7$ .

Existujú teda štyri kombinácie štvorčlenných mechanizmov slúžiacich na transformáciu rotačného pohybu hnacieho člena na posuvný pohyb hnaného člena (tab. 3.4).

Tab. 3.4 Počty väzbových bodov.

č.	$k_{12}$	$k_{23}$	$k_{34}$	$k_{41}$	$k$	$i$
1	5	2	5	5	17	1
2	5	5	2	5	17	1
3	5	3	4	5	17	1
4	5	4	3	5	17	1
5	5	3	3	5	16	2

Použiteľná je i kombinácia č. 5. Na tejto kombinácii ojnica 3 má na oboch koncoch guľové kľby. Ojnica sa môže voľne otáčať okolo spojnice stredov guľových kľbov. Tento "vnútorný" stupeň voľnosti sa neprejavuje na správaní mechanizmu, ktorý z praktického hľadiska sa správa, ako keby bolo  $i = 1$ .

Priestorové modelovanie nám umožnilo nájsť všetky existujúce štruktúry, ktoré bez statického preurčenia riešia daný problém transformácie pohybov.

Okrem toho nám priestorové modelovanie umožňuje odhaliť príčiny statickej predurčenosti mechanizmov, ktoré podľa zjednodušenej rovinnej analýzy vychádzajú ako staticky určité ( $i = 1$ ), avšak pri podrobnejšej priestorovej analýze sú staticky preurčené ( $i \ll 1$ ).

Pri nepresnej výrobe takýchto mechanizmov alebo pri nedostatočných vôľach (ktoré ale môžu byť príčinou nepresnosti funkcie) sa často nedajú takéto mechanizmy zmontovať alebo sa po montáži vyžadujú uvoľňovanie, zabehávanie a ďalšie nežiaduce práce.

V jemnej mechanike a optike sú reálne mechanizmy takmer presnou kópiou ich ideálnych guľových modelov. Takéto mechanizmy sú úplne bezvôľové (gule sú k plochám trvalo pritláčané, napr. tiažou, pružinami a pod.), ihneď po montáži pracujú bez zádržiek i v prípade nepresnej výroby členov. Sú označované ako "najpresnejšie mechanizmy".

Jedinou ich nevýhodou je *malá tuhosť*. Ak chceme zvýšiť tuhosť musíme zvýšiť preurčitosť, narastajú však nároky na presnosť výroby alebo je potrebné zväčšovať vôle. Ak konštruktér so zvyšovaním preurčenosti presne neanalyzuje dôsledky tohto preurčenia na presnosť výroby a veľkosti zvolených vôlí, vznikajú pri montáži problémy [128].

Takéto konštrukčné nedostatky sa prejavujú v montáži tak, že robotník skúša meniť spojované súčiastky, upravuje ich rozmery, skúša pohyblivosť dvojíc, upravuje funkčné rozmery dvojíc a pod. Je pozoruhodné, že o tomto významnom probléme stereostatiky, rozmerovej a tolerančnej analýzy sa známa literatúra o montáži nezmieňuje, hoci ide o kľúčový problém montáže. Väčšina autorov sa obmedzuje len na všeobecné konštatovanie o potrebe zvýšenia presnosti súčiastok v súvislosti s automatizáciou montáže.

Rovinné a priestorové modely sú potrebné i pre statické riešenie sústavy. Statika, hoci to nezdôrazňuje, rieši v podstate rovnováhu síl nie v skutočnom mechanizme, ale na jeho dokonale staticky určenom modeli.

Aby model bol staticky riešiteľný, musí mať počet stupňov voľnosti  $i = 0$ . Ak je model mechanizmom, má  $i = 1$ . Pre statické riešenie je model na okamih znehybnený napr. tak, že silu, ktorou hnaný člen pôsobí na rám, považujeme za oporu alebo tyč. Za tohto predpokladu je mechanizmus znehybnený ( $i = 0$ ) a je staticky riešiteľný, lebo poznáme všetky pôsobiská a smery vnútorných reakcií (sú v dotykových bodoch a ich smery sú v normálach na dotykové plochy).

Pri statickom riešení najprv vyšetríme jedinou reakciu v každom guľovom dotyku a potom môžeme rozložiť na toľko reakcií, v koľkých bodoch sa guľa dotýka. Modelovanie reálnych priestorových sústav sa preto nazýva *stereo statika*. Praktické využitie metódy ozrejmime na príklade známeho mechanizmu jednopákovvej zmiešavacej vodovodnej batérie.

Dosiaľ známe riešenie je znázornené na obr. 3.20. V spodnej časti rámu 1 (C – C) sú prívodné otvory studenej vody (cold) a teplej vody (warm) a vývod zmiešanej vody (mix).

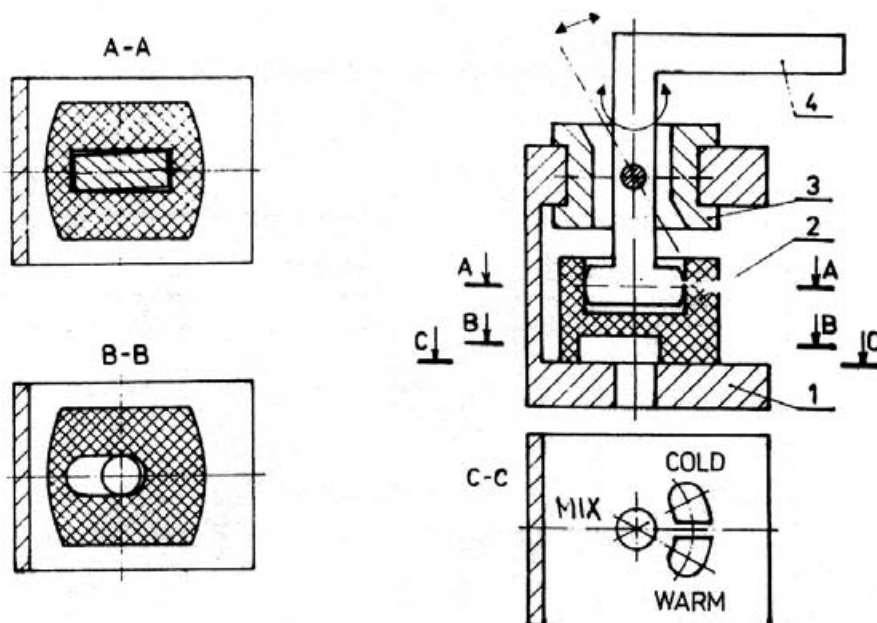
Oválna drážka v keramickom posúvači (B – B) v závislosti od polohy posúvača prepája otvor cold alebo otvor warm, alebo obidva tieto otvory s otvorom mix. Ovládacia páka 4 je rotačne spojená s objímkou 3 (pre rotačnú dvojicu je  $k_{34} = 5$ ). Objímka 3 je rotačne spojená s rámom 1 ( $k_{13} = 5$ ). Páka 4 je s posúvačom spojená trojbodovou dvojicou (pozri rez A – A) ( $k_{24} = 3$ ). Posúvač 2 s rámom 1 predstavuje väzbu dvoch veľkých rovín, teda  $k_{12} = 3$ .

Počet stupňov voľnosti mechanizmu bude:

$$i = 6,4 - 6 - (5 + 5 + 3 + 3) = 2$$

Vykláňaním páky sa nastavuje prietok vody, otáčaním sa nastavuje pomer teplej a studenej vody.

Výrobca požadoval nájsť okrem tejto štruktúry všetky existujúce štruktúry.



**Obr. 3.20** Funkčná schéma jednopákového posúvača na zmiešavanie teplej a studenej vody

Najprv hľadáme štruktúry za predpokladu, že mechanizmus je trojčlenný ( $n = 3$ ). Tieto štruktúry sú znázornené na obr. 3.21 Našli sme ich týmto spôsobom:

Pre všetky existujúce riešenia existujú tieto obmedzenia:

- rovina posúvača 3 sa musí vždy dotýkať roviny rámu, preto  $k_{1,3} \min = 3$ ,
- posúvač musí mať vzhľadom k rámu minimálne dva stupne voľnosti, preto  $k_{13} \max = 6 - 2 = 4$ , teda  $k_{13} = (3,4)$ ,
- rukoväť musí mať vzhľadom na rám minimálne 2 stupne voľnosti, preto môže byť alternatívne:  $k_{12} = (1,2,3,4,5)$ ,
- mechanizmus musí mať 2 stupne voľnosti:

$$i = 6n - 6 - k,$$

$$2 = 6,3 - 6 - k,$$

$$k = 10,$$

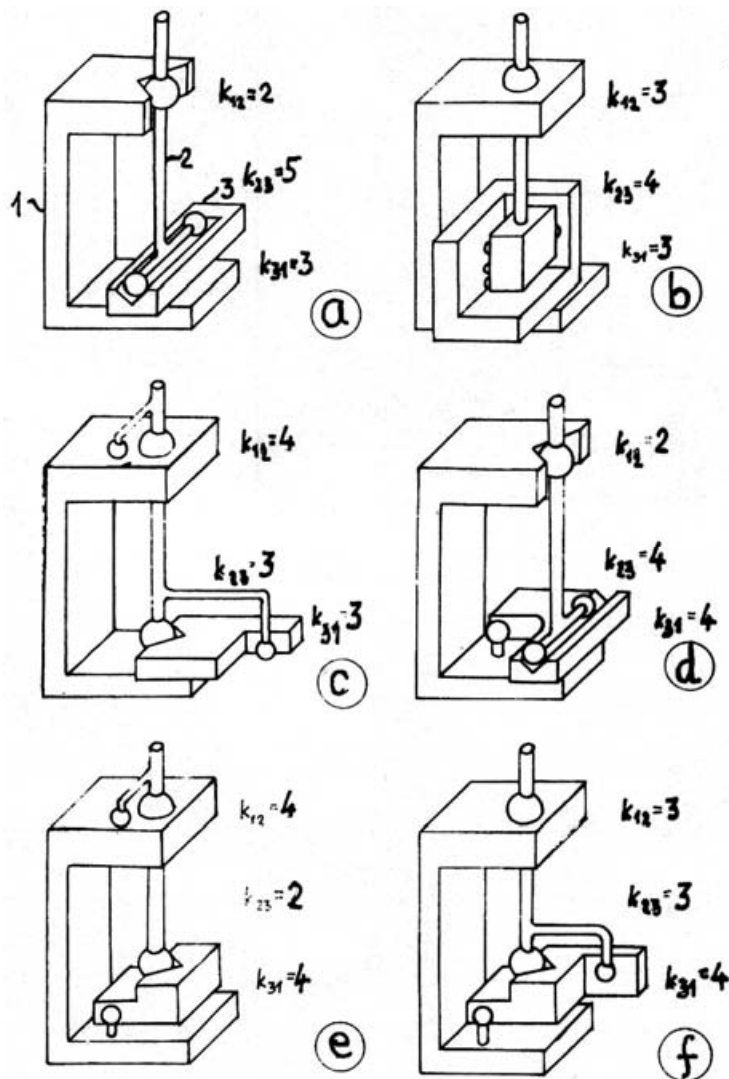
- počet členov mechanizmu je vždy  $n = 3$ .

Pri týchto obmedzeniach existuje len 7 riešení problému uvedených, v tabuľke 3.5 a na obraze 3.21. Podobne by sme našli i riešenia za predpokladu, že mechanizmus je štvorčlenný.

Riešenia sa nájdu vyčerpaním všetkých kombinácií logickým uvažovaním alebo metódou matematicko – logického modelovania. Medzi nájdenými riešeniami bude i doteraz známe riešenie podľa obr. 3.20.

Tab. 3.5 Možné kombinácie mechanizmu zmiešavacej batérie.

Kombinácie	$k_{12}$	$k_{23}$	$k_{31}$	$k$
a	2	5	3	10
b	3	4	3	10
c	4	3	3	10
d	2	4	4	10
e	4	2	4	10
f	3	3	4	10

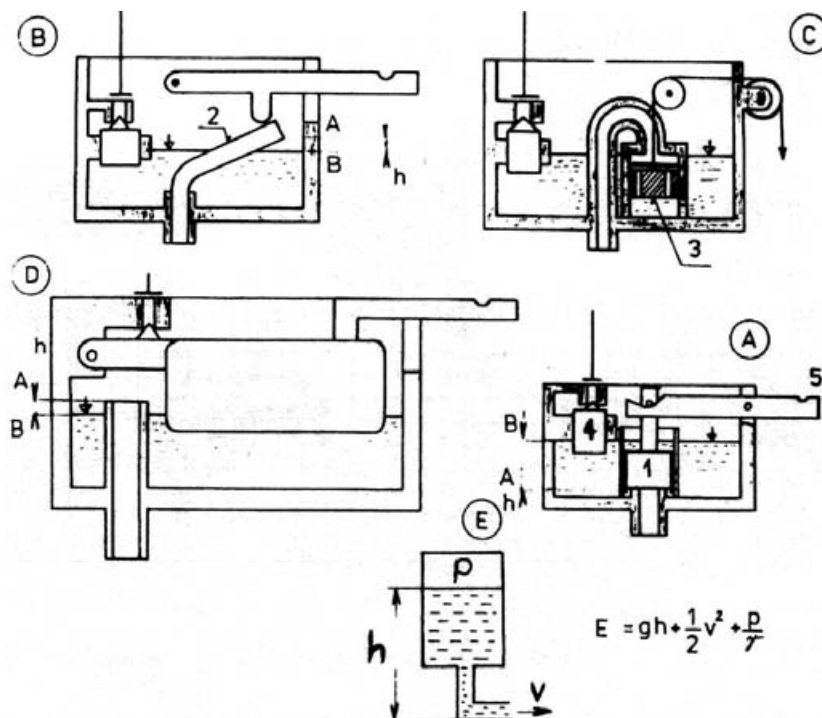


Obr. 3.21 Všetky existujúce štruktúry trojčlenného mechanizmu jednopákového posúvača na zmiešavanie teplej a studenej vody

Podstatou metódy je teda využitie zákona, ktorý musia akceptovať všetky riešenia.

V prípade tuhých mechanizmov je to rovnica (1) alebo (2) a presné a vyčerpávajúce obmedzenia platné pre celú existujúcu množinu riešení.

Tento princíp možno uplatniť i na riešenie iných problémov ako je problém tuhých mechanizmov. Na obrázku 3.22 je príklad aplikácie kombinačnej metódy na hydraulické mechanizmy.



Obr. 3.22 Aplikácia kombinačnej metódy na WC splachovač

Historický vývoj splachovania WC je na obr. 3.22. Po naplnení nádržky plavák 4 na obr. 3.22a uzavrie prívod vody do nádržky. Ťahom páky 5 otvorí ventil 1 výtoku vody.

Pri riešení podľa obr. 3.22b sa výtoku vody začne po ohnutí pružnej rúrky 2.

Pri riešení podľa obr. 3.22c sa výtoku vody odštartuje rýchlym zdvihnutím piestu 3 opatreného klapkou (ventilom).

Nevýhody známych riešení:

- a – ventil 1 nie je tesný,
- b – rúrka 2 má nízku životnosť,
- c – klapka ventilu má nízku životnosť,
- d – vždy sa vyprázdni celý objem, aj keď to nie je potrebné.

Akou zákonitosťou sa riadi tento mechanizmus?

Je to známa rovnica Bernoulliho o ekvivalencii polohovej energie  $h$ , kinetickej energie  $\propto \frac{v^2}{2g}$  a tlakovej energie  $\frac{p}{\rho g}$  pri výtoku kvapaliny z nádoby.

Podľa nej odštartovanie výtoku je možné len:

1. – zlikvidovaním výškového rozdielu  $h$  medzi hladinou a výtokovou hranou (obr. 3.22a,b),
2. – generovaním rýchlosti  $v$ , o ktorej sa predpokladá, že upraví rozdiel výšky hladín,
3. – vyvolaním pretlaku  $p$  nad hladinou (obr. 3.22c).

Prvý spôsob možno realizovať tak, že:

Bod B je nad bodom A (obr. 3.22a) alebo tak, že bod A klesne na úroveň bodu B (obr. 3.22b), alebo bod B stúpne do úrovne bodu A. Posledné riešenie je nové riešenie podľa obr. 3.22d. Ťahom za páku sa veľký plavák ponára do kvapaliny a vytláča ju do výtoku. Zároveň plavák slúži na uzatváranie prívodového ventilu (integrácia funkcií). Nové riešenie nemá nevýhody známych riešení.

Uvedené dva príklady nás oprávňujú k týmto záverom:

Všetky hľadané riešenia jedného druhu (napr.: tuhé mechanizmy) podliehajú nejakému prírodnému zákonu. V prípade mixovacej batérie to bol zákon o počte stupňov voľnosti štruktúr vytvorených z tuhých členov.

$$i = 6n - 6 - \Sigma k \quad (\text{rovnica č.2})$$

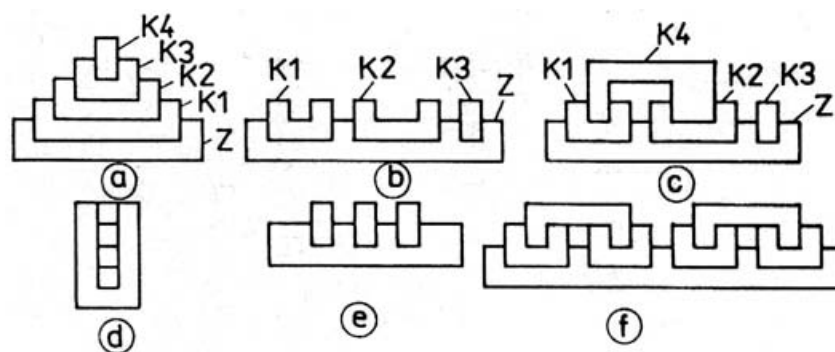
V prípade WC splachovania to bol zákon opisujúci výtok kvapaliny z nádoby, obr.3.22e.

$$E = h + \alpha \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{2g} \quad (\text{Bernoulliho rovnica})$$

Ukázali sme, že ak poznáme tento zákon a stanovíme okrajové podmienky pre hľadanú množinu riešení, vieme nájsť všetky existujúce riešenia v rámci tohto zákona a v rámci okrajových podmienok. Nový vynález nemusí byť dielom šťastnej náhody, ale môže byť výsledkom analýzy vykonanej touto metódou [128].

### 3.4.3 Štruktúra konštrukcie

Výrobok zložený z tuhých členov predstavuje z kinematického hľadiska viac alebo menej zložitý kinematický reťazec členov navzájom pospájaných kinematickými dvojicami (montážnymi spojmi). Túto štruktúru môžeme znázorňovať ako guľový model (obr. 3.17b), kinematickú schému (obr. 3.19) alebo ako model stavebnice (obr. 3.23).



Obr. 3.23 Montážne štruktúry výrobku

Dvojice v guľovom modeli s počtom bodov  $k = 1$  až  $5$  sú pohyblivé, dvojica  $k = 6$  je nehybná, dvojice s  $k \gg 6$  sú nepohyblivé a staticky preurčené.

Od štruktúry výrobku závisí:

- počet montážnych postupov,
- výťažnosť montáže,
- statická určitosť alebo preurčitosť.

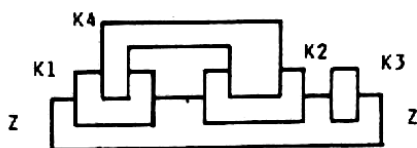
### 3.4.4 Počet možných montážnych postupov

Na obr. 3.24 je stavebnicový model výrobku zloženého zo základnej súčiastky Z a štyroch súčiastok  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ ,  $K_4$ . Jeden z montážnych postupov nech je symbolicky zapísaný takto:

$$Z K_1 (K_2 + K_3) K_4$$

Čo čítame: najprv Z, potom  $K_1$ , potom spolu a súčasne  $K_2$  a  $K_3$ , potom  $K_4$ .

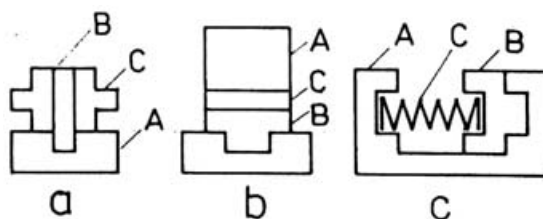
č.	I	II	III	IV	V	POSTUP
1.	Z	K1	K2	K3	K4	Z K1 K2 K3 K4
2.				K4	K3	Z K1 K2 K4 K3
3.				(K3+K4)		Z K1 K2 (K3+K4)
4.			K3	K2	K4	Z K1 K3 K2 K4
5.			(K2+K3)	K4		Z K1 (K2+K3) K4
6.		K2	K1	K3	K4	Z K2 K1 K3 K4
7.				K4	K3	Z K2 K1 K4 K3
8.				(K3+K4)		Z K2 K1 (K3+K4)
9.			K3	K1	K4	Z K2 K3 K1 K4
10.			(K1+K3)	K4		Z K2 (K1+K3) K4
11.		K3	K1	K2	K4	Z K3 K1 K2 K4
12.			K2	K1	K4	Z K3 K2 K1 K4
13.			(K1+K2)	K4		Z K3 (K1+K2) K4
14.		(K1+K2)	K3	K4		Z (K1+K2) K3 K4
15.			K4	K3		Z (K1+K2) K4 K3
16.			(K3+K4)			Z (K1+K2) (K3+K4)
17.		(K1+K3)	K2	K4		Z (K1+K3) K2 K4
18.		(K2+K3)	K1	K4		Z (K2+K3) K1 K4
19.		(K1+K2+K3)	K4			Z (K1+K2+K3) K4



Obr. 3.24 Vyhľadanie možných postupov montáže výrobku metódou matematicko – logického modelovania

Matematicko-logickým modelovaním sme našli 19 montážnych postupov výrobku. Z nich použijeme napr. ten, ktorý poskytuje najlepšie časové využitie linky pri počte staníc linky a je závislý od požadovanej produkcie. Pri malej produkcii sa v jednej stanici vykonáva veľa montážnej práce, pri väčšej produkcii je montáž rozdelená na viac staníc.

Miesto stavebnicového modelu výrobku je výhodné použiť v sporných prípadoch reálny výkres výrobku, lebo niektoré postupy možné z hľadiska stavebnicového modelu nie sú možné z hľadiska výkresu výrobku. Tak napr. podľa obr. 3.25a nie je vhodný postup A, C, B, ale len A, B, C, aby časť C bola pri montáži centrovaná kolíkom B.

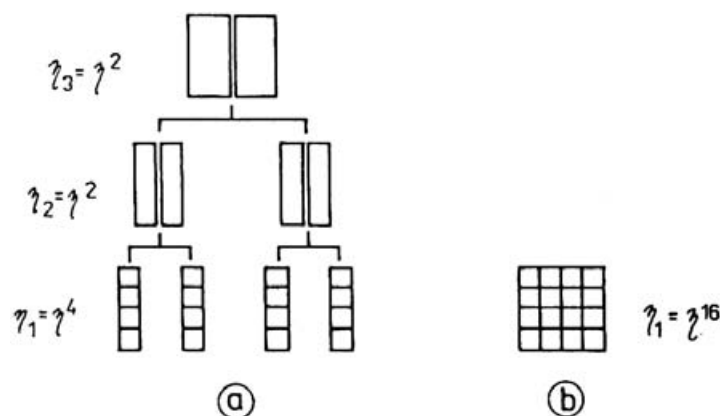


Obr. 3.25 Vplyv konštrukcie na montážny postup

V prípade výrobku podľa obr. 3.25c je nevhodný postup A, C, B, lebo po montáži pružiny C táto nemá definovanú polohu. V špeciálnom prípade môžu pri výrobku podľa obr. 3.25b existovať dôvody, aby sa súčiastka C montovala ako posledná (napr. musí byť hneď po montáži zovretá súčiastkami A, B).

### 3.4.5 Výťažnosť montáže

Všeobecne môže byť štruktúra výrobku monolitná alebo stromová (obr.3.26). Stromová štruktúra je tvorená tak, že zo súčiastok sú vytvorené montážne skupiny 1. rádu, z montážnych skupín 1. rádu a zo súčiastok sú vytvorené montážne skupiny 2.rádu, atď.



Obr. 3.26 Stromová (a) a monolitná (b) štruktúra výrobku; výťažnosť montáže

Monolitná štruktúra je taká, pri ktorej nie je možné zložitý výrobok rozdeliť na skupiny.

Pod pojmom montážna skupina tu rozumieme taký montážny celok, ktorý je po zmontovaní kompaktný a vo výrobku plní nejakú čiastkovú funkciu.

Výťažnosť montáže je pomer počtu výrobkov skutočne zmontovaných v určitom čase k počtu výrobkov, ktoré by sa dali teoreticky zmontovať, keby všetky súčiastky boli správne a montáž prebiehala bez porúch.

Výťažnosť jednej stanice linky je pomer počtu úspešne vykonaných montáží v určitom čase k celkovému počtu vykonaných montáží (operácií).

Zjednodušene predpokladajme, že výťažnosť  $\eta_i$  všetkých voľných staníc je rovnaká.



Najprv predpokladajme, že 16 súčiastkový výrobok je monolitný (obr. 3.26b) a je montovaný na 16 stanicovej linke. Celková výťažnosť  $\eta_x$  takejto linky bude:

$$\eta_x = \eta_{1x} \eta_{2x} \dots \eta_{16}$$

V našom prípade  $\eta_1 = \eta_2 = \dots \eta_{16} = \eta_i$  bude:

$$\eta_x = \eta_i^{16}$$

Teraz predpokladajme, že 16 súčiastkový výrobok má stromovú štruktúru podľa obr. 3.26a.

Štvorstanicové linky montujú skupiny 1. rádu, zložené zo štyroch súčiastok a ich výťažnosť je:

$$\eta_i = \eta^4$$

Dvojstanicové linky montujú skupiny 2. rádu a ich výťažnosť je:

$$\eta_2 = \eta^2$$

Dvojstanicové linky montujú konečný výrobok a ich výťažnosť je:

$$\eta_3 = \eta^2$$

*Výťažnosť liniek zo stromovou štruktúrou pri montáži výrobku je podstatne vyššia ako výťažnosť linky s monolitnou štruktúrou.*

Predpokladajme, že do výroby pripravíme súčiastky na montáž 1000 výrobkov. Pri hodnote  $\eta_i = 0,99$  dostaneme z tejto dávky pri monolitickej štruktúre  $1000 \times 0,99^{16} = \mathbf{851}$  **výrobkov**.

Pri stromovej štruktúre z tejto dávky prvé linky zmontujú :  $4 \times 1000 \times 0,99^4 = 3842$  skupín 1 rádu. Z nich druhé linky zmontujú :

$$(3842 / 2) \times 0,99^2 = 1882 \text{ skupín 2 rádu.}$$

Z nich finálne linky zmontujú :

$$(1882 / 2) \times 0,99^2 = \mathbf{922 \text{ výrobkov.}}$$

Z príkladu je zrejmá výhoda stromovej štruktúry konštrukcie výrobku i stromovej organizácie montáže.

*Kvalita súčiastok a výťažnosť:*

Nízku výťažnosť staníc linky zapríčiňuje hlavne nízka montážna kvalita súčiastok dodávaných na montáž. Napr. niektoré skrutky s valcovou hlavou majú excentrický umiestnenú drážku pre skrutkovač, ktorý pri automatickej montáži nezapadne do drážky. Po frézovaní drážky často ostáva otrep na konci drážky, ktorý zabraňuje padaniu skrutiek v rúrke. Niekedy nie je na skrutke vyvalcovaný závit alebo je nedostatočne vyvalcovaný. Medzi skrutkami je špina a úlomky. Hlava skrutky je excentrická vzhľadom na driek.

Takéto a podobné chyby na súčiastkach sú montážne chyby, ktoré sú hlavnou príčinou nízkej výťažnosti staníc. Ponúka sa možnosť všetky súčiastky pred montážou kontrolovať a chybné odstrániť. Náklady na takúto kontrolu sú však neprimerane vysoké.

Obvykle sa problém rieši zvýšením technologickej disciplíny dodávateľa, hromadným čistením (oplach a osievanie) a sprísnením dodávacích podmienok. Súčiastky s niektorými druhmi chýb sa dajú odstrániť ich vytriedením vibráciou a prepádmi na prírodných dráhach.

Pri ručnej montáži robotník chybnú súčiastku, ktorú sa mu nepodarilo zamontovať, odstráni a nahradí dobrou. Len niektoré stanice montážnych liniek dokážu vykonať založenie, potom kontrolu a potom prípadne odstránenie chybnéj súčiastky a zopakovanie cyklu. Obvykle stroj chybnú súčiastku zamontuje alebo sa mu to nepodarí. V oboch prípadoch už na takomto výrobku automatická montáž nemôže pokračovať, zo stroja vyjde nedomontovaný výrobok.

Montáž strojom vyžaduje teda radikálne zlepšiť montážnu kvalitu súčiastok. Ak sa to dosiahne, výrobky montované strojom majú vyššiu montážnu a funkčnú kvalitu ako výrobky montované človekom [128].

### 3.4.6 Statická určitosť alebo preurčitosť konštrukcie

Tu nadviažeme na kapitolu, v ktorej bol vysvetlený spôsob ako pomocou guľového modelu sústavy a rovnice (1), resp. (2) možno určiť počet stupňov voľnosti rovinatej a priestorovej sústavy, súvisia so statickou určitosťou alebo preurčitosťou sústavy.

Staticky určitá kinematická dvojica je taká dvojica, ktorej dva členy dvojice sa vzájomne dotýkajú maximálne v 6 diskretných bodoch. Prísne vzaté, staticky určitými sú len dvojice guľových modelov (obr. 3.19), ktoré túto podmienku spĺňajú. Statická určitosť znamená, že pri pôsobení vonkajších síl na jeden člen dvojice môžeme metódami statickej rovnováhy síl a momentov určiť pôsobisko smery a veľkosti všetkých reakcií v dotykových bodoch [100]. Keď napr. dva členy dvojice sú spojené vo viac než 6 bodoch, nevieme už zostaviť rovnice na statické riešenie problému.

Z geometrického hľadiska nevieme zabezpečiť pri nepresnej výrobe členov ich silový dotyk vo viac než 6 dotykových bodoch bez toho, aby sme nevyvolali predpätie v sústave.

V praxi však poznáme napr. rotačnú dvojicu, realizovanú ako osadený valcový čap v krátkej valcovej diere. Dotyk čapu s dierou je vo veľkom počte bodov vytvárajúcich súvislú dotykovú plochu. Ak je takáto dvojica presne vyrobená, má primeranú vôľu medzi čapom a dierou, správa sa navonok ako staticky určitá. Po jej montáži nevzniká v dvojici predpätie a zádržky brániace pohybu a vyžadujúce úpravy rozmerov a zabehávanie. Takúto dvojicu môžeme rovnako ako jej guľový model považovať za staticky určitú. Na obr. 3.27 sú niektoré praktické dvojice a ich guľové modely. Porovnajme obr. A a obr. C. Dvojicu "malá plocha na veľkej ploche" môžeme považovať za jednobodovú (obr. A), ale dvojicu "veľká plocha na veľkej ploche" za trojbodovú.

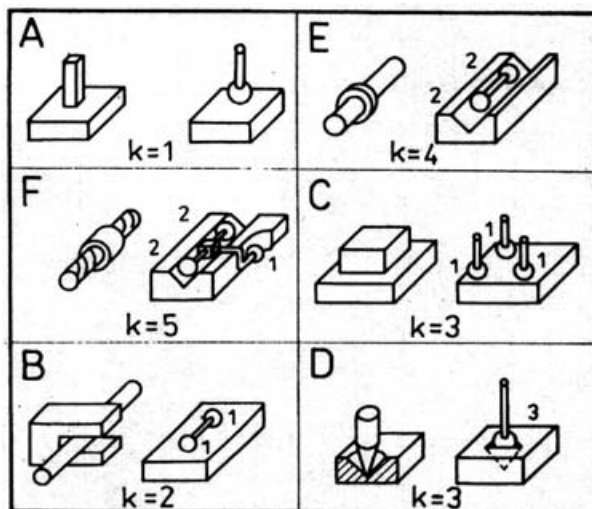
Na obr. 3.28 je niekoľko príkladov využitia poznatkov o stereostatike sústav (stereostatika je náuka o priestorových sústavách síl a ich riešení statickými metódami). Na obr. 3.28a je zobrazený Abbého princíp jednoznačného spojenia dvoch členov dvojice: celkom v 6 diskretných (osamelých) kontaktných bodoch. Praktická realizácia je rovnaké ako guľový model, aby statická určitosť bola dokonalá.

Z hľadiska montáže má Abbého princíp tieto vlastnosti:

1. Po demontáži a opätovnej montáži stačí dve časti k sebe len priložiť, potom pritlačením hornej časti nastane samočinné spresnenie vzájomnej polohy vo všetkých dotykových miestach.
2. Aj pri nepresnej výrobe oboch častí je vzájomná poloha členov dvojice jednoznačná a presne opakovateľná.

3. Pri montáži nie sú potrebné rozmerové úpravy za účelom zmenšenia vnútorného napätia.

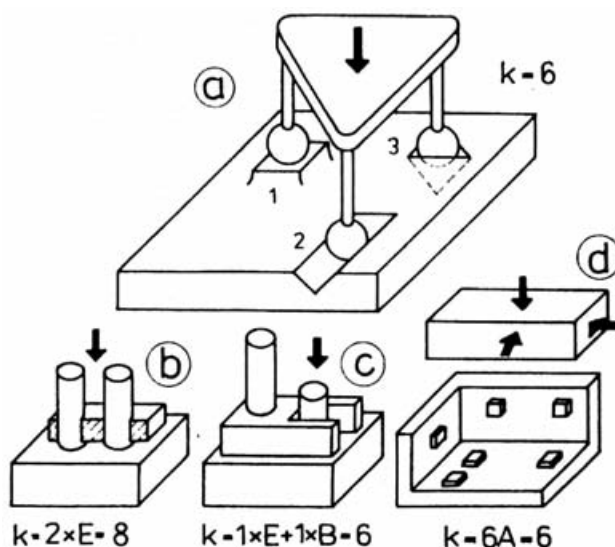
Abbého princíp sa využíva v presnej mechanike a optike na spojenie frémy stroja so základovou doskou. Ani pri ohreve frémy nevzniká v nej vnútorné pnutie. Ďalej sa tento princíp používa na nastavovanie priestorovej polohy zrkadiel a pod.



**Obr. 3.27** Elementárne dvojice a ich modely

*a – malá plocha na veľkej ploche, b – krátka vidlica na valci, c – veľká plocha na veľkej ploche, d – hrot v kuželi, e – krátka objímka na valcovej tyči, f – krátka matica na skrutke.*

Keby reálne sústavy boli realizované ako guľové modely, teda ako sústavy dokonale staticky určité, montáž by bola i pri nepresnej výrobe iba skladaním členov, ktoré by po zatlačení zaujali požadované polohy. Po montáži by vznikli úplne bezvôľové mechanizmy fungujúce i pri nepresnej výrobe ihneď po montáži. Ich jedinou nevýhodou by však bola malá tuhosť v miestach bodových dotykov v malom počte bodov, (Predpokladá sa pritom, že konštruktér zabezpečí, aby v dotykových bodoch pôsobili sily vytvárajúce silový dotyk.).



**Obr. 3.28** Ideálne nehybné uloženie – Abbého princíp (a) a príklady praktickej realizácie Prípad:

$$b: 6-8= -2,$$

$$c: 6-6= 0,$$

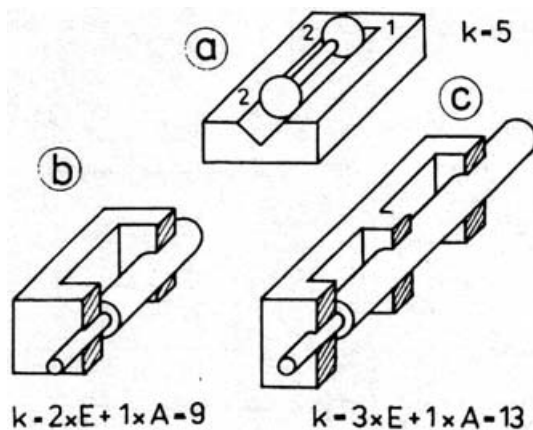
$$d: 6-6= 0.$$

Na obr. 3.28b je posuvné uloženie na dvoch valcových kolíkoch. Jeho guľový model je 8 bodový, lebo je vytvorený z dvoch dvojíc typu E (podľa obr. 3.27).

Staticky určité posuvné uloženie by malo byť 5 bodové. Uloženie podľa obr. 3.28b je:  $8-5 = 3$  krát staticky preurčené. Len jedenkrát staticky preurčené je obdobné uloženie podľa obr. 3.28c.

Na obr. 3.28d je princíp jednoznačného upínania hranolovitých súčiastok a správne rozloženie 6 upínacích bodov - oporných plošiek.

Obdobne je na obr. 3.29 diskutovaný problém rotačného uloženia. Je zrejmé, že s počtom ložísk hriadeľa stúpa tuhosť, ale sa zvyšuje i statická preurčitosť a zvyšujú sa nároky na presnosť výroby a prácnosť montáže. Tam, kde sú pôsobiace sily relatívne malé, reálne sústavy by mali byť konštrukčne blízke svojim ideálnym a staticky určitým modelom. Tam, kde sú pôsobiace sily relatívne veľké, používajú sa z dôvodov zvýšenia tuhosti sústavy staticky preurčené.



**Obr. 3.29** Ideálne rotačné uloženie (a) a príklady praktickej realizácie. Prípad:

$$b: 5-9= -4,$$

$$c: 5-13= -8.$$

Statické preurčenie má byť čo najmenšie. Statickým preurčením sa zvyšujú nároky na presnosť výroby. Keby telesá sústavy boli dokonale tuhé a dvojice úplne bezvôľové, mohol by staticky preurčený mechanizmus fungovať len za predpokladu absolútne presnej výroby.

Ak v staticky preurčených sústavách nemajú byť vnútorné pnútia, musíme vykonať starostlivú rozmerovú analýzu potrebných vôlí v dvojiciach, čo zabezpečí funkciu sústavy i v prípade reálnych hodnôt tvarových (rovnobežnosť, kolmosť, súosovosť a pod. ) a rozmerových nepresností. Ináč hrozí nebezpečie, že bude potrebné zabehávať a "uvoľňovať" sústavy pri jej montáži.

### **Príklady riešenia stereostatických problémov**

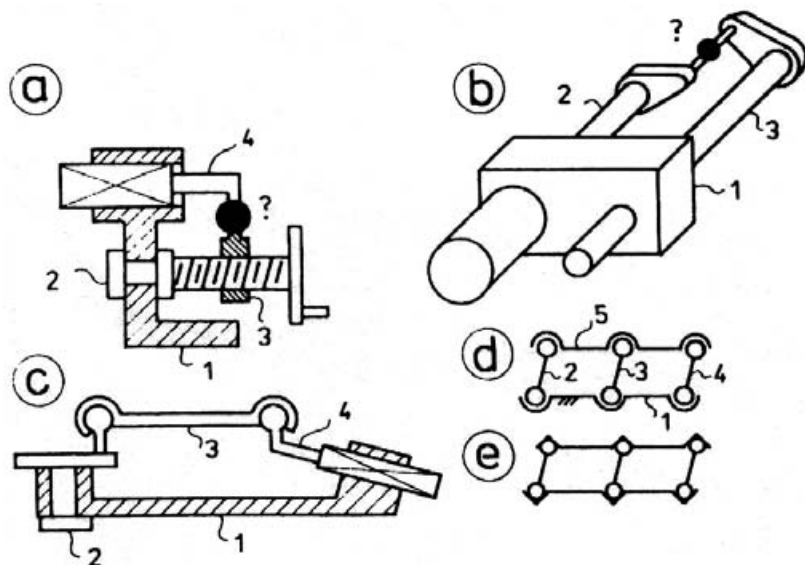
Na obr. 3.30 sú štyri príklady na precvičenie znalostí o stereostatike. Pokúste sa ich vyriešiť sami a riešenie potom porovnajte s tu uvedeným. Riešenie podobných prípadov je v

praxi veľmi časté. Neznalosť riešenia vedie často k zbytočnému preurčovaniu konštrukcií, zvýšeniu nákladov na výrobu, montáž a k trhavým pohybom mechanizmov.

**Príklad 1** (obr. 3.30a):

Štvorčlenný mechanizmus obsahuje rotačnú dvojicu 1-2, skrutkovú dvojicu 2-3, posuvovú dvojicu 1-4 a neznámu dvojicu 3-4.

Koľkobodová musí byť dvojica 3-4, aby bol mechanizmus staticky určitý (t.j., aby fungoval napr. i keď os saní člena 4 nie je presne rovnobežná s osou skrutky 3) ?



Obr. 3.30 Príklady na vyšetovanie stupňov voľnosti mechanizmov

**Riešenie:**

Pre priestorový mechanizmus platí rovnica (1):

$$i = 6n - 6 - k.$$

Pre náš prípad bude:

$$i = 6 \times 4 - 6 - (k_{12} + k_{14} + k_{23} + k_{34}),$$

keďže  $k_{12} = 5$  (rotačná dvojica),  $k_{14} = 5$  (posuvná dvojica) a  $k_{23} = 5$  (skrutková dvojica) bude:

$$1 = 18 - (15 + k_{34})$$

a z toho:

$$k_{34} = 2.$$

**Príklad 2** (obr. 3.30b):

Trojčlenný mechanizmus. Piestnica 2 pneumatického valca má posúvať valcovú tyč 3 (i za predpokladu, že piestnica a tyč nebudú presne rovnobežné, čo je v praxi bežné). Koľko bodové by malo byť spojenie členov 2 a 3 ?

**Riešenie:**

$$i = 6n - 6 - k$$

$$i = 6 \times 3 - 6 - (k_{12} + k_{13} + k_{23}),$$

dvojice 1-2 a 1-3 sú rotačné posuvné, preto  $k_{12} = 4$ ,  $k_{13} = 4$ ,

$$1 = 12 - (4 + 4 + k_{23}).$$

$$k_{23} = 3 \text{ (guľový čap)}$$

**Príklad 3** (obr. 3.30c):

Bežný priestorový kľukový mechanizmus. Očakávame, že bude mať jeden stupeň voľnosti ( $i = 1$ ). Z rovnice (1) nám však vychádza:

$$i = 6 \times 4 - 6 - (k_{12} + k_{23} + k_{34} + k_{14}),$$

$$i = 18 - (5 + 3 + 3 + 5),$$

$$i = 2. \text{ Vysvetlite tento paradox !}$$

**Riešenie:**

Člen 3 sa môže otáčať okolo spojnice stredov guľových čapov. To na funkciu mechanizmu nemá podstatný vplyv a mechanizmus sa správa, ako keby bolo  $i = 1$ .

Otáčanie ojnice 3 predstavuje ďalší "vnútorný" stupeň voľnosti.

**Príklad 4** (obr. 3.30d, obr. 3.30e):

Rovinný mechanizmus podľa obr. 3.30d bol vyrobený a proti očakávaniu bol nepohyblivý. **Prečo ? Ako chybu napravíte ?**

**Riešenie:**

Keď nakreslíme schému tak, že členy 2,3,4 sú nerovnoběžné a nerovnako dlhé (pri nepresnej výrobe to bude vždy)  $i$  na základe geometrie bude zrejmé, že mechanizmus je nepohyblivý. Môžeme však postupovať exaktne. Ide o rovinný mechanizmus, jeho rovinný model je na obr. 3.30e. Rotačné dvojice sú v rovine dvojbodové. Pre rovinný mechanizmus bude mať rovnica (1) tvar:

$$i = 3n - 3 - k,$$

$$i = 3 \times 5 - 3 - (k_{12} + k_{13} + k_{14} + k_{25} + k_{35} + k_{45}),$$

$$i = 3 \times 5 - 3 - (6 \times 2) = 0,$$

$$i = 0.$$

Chybu napravíme tak, že ktorúkoľvek rovinnú dvojbodovú rotačnú dvojicu nahradíme za jednobodovú rotačnú dvojicu.

Uvedené príklady sú ďalšími jednoduchými príkladmi uplatnenia kombinačnej metódy hľadania nového funkčného princípu alebo jeho zdokonalenia.

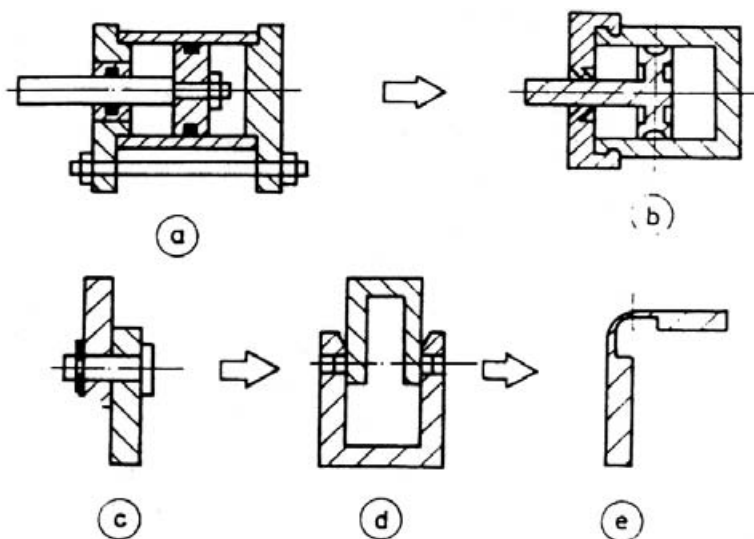
Prekvapuje, že známa literatúra o montáži sa problémom stereostatiky nezaobrá, hoci v praxi problémy so stereostatickým preurčením sú často hlavnými problémami montáže  $i$  funkcie.

### 3.4.7 Počet súčiastok

Funkčná štruktúra (napr. guľový model) určuje počet členov montovaného mechanizmu.

Mechanizmus nemôže mať menej súčiastok ako je počet jeho členov. Počet súčiastok je z rôznych príčin značne väčší, ako je počet členov mechanizmu. Počet súčiastok má najväčší vplyv na montážnu zložitosť a prácnosť.

Na obr. 3.31 sú ukážky ako možno zmenšiť počet súčiastok na minimum. Napr. každá súčiastka piestu a piestnice v starom riešení plní jednu funkciu (obr. 3.31a). V novom riešení (3.31b) plní všetky tieto funkcie jediná súčiastka vyrobená zo špeciálneho plastu.



Obr. 3.31 Minimalizácia počtu súčiastok

Platí tu pravidlo:

**Integrovat' do jednej súčiastky možno len súčiastky, ktoré sa vzájomne nepohybujú a vzájomne sa dotýkajú.**

Na každý výrobok existuje najmenší možný počet súčiastok. Napr. valec podľa obr. 3.31a môže mať najmenej 3 súčiastky (obr. 3.31b).

**Pomer súčiastok výrobku pred rekonštrukciou a po rekonštrukcii je dôležitým ukazovateľom úspešnosti rekonštrukcie.**

Hlavne výrobcovia nových spojovacích elementov sa usilujú, aby jediná súčiastka plnila viac funkcií, ktoré predtým plnilo viacej súčiastok. Tak napr. sú známe skrutky, ktoré plnia i úlohu poistných a tesniacich podložiek a ešte si samé režu závit.

Najväčší pokrok sa dosahuje vynechaním spojovacích prvkov. Spojujú sa priamo členy mechanizmu napr. tak, že čap je tvarovým prvkom prvého člena, diera je tvarovým prvkom druhého člena (otočná dvojica). Jeden plech sa ohne tak, aby s druhým plechom tvorili lemový spoj (nehybná dvojica). Príklady budú uvedené v ďalších kapitolách.

### 3.4.8 Vlastnosti súčiastok z hľadiska orientácie

Viac ako 90% súčiastok je dodávaných na montáž tak, že sú neusporiadane nasýpané alebo vložené do zásobníkov.

Účelom orientácie je maximálne tromi priestorovými uhlovými rotáciami súčiastku tak nasmerovať, aby sa mohla po priblížení k montážnemu otvoru jednoduchým zasunutím stotožniť s tvarom toho otvoru.

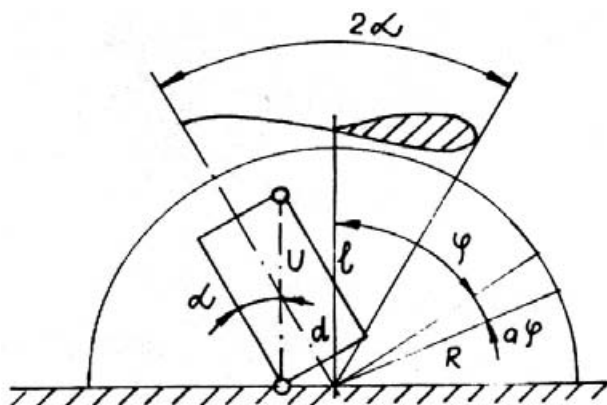
Zložitosť orientácie súvisí hlavne s tvarom súčiastky a stupňom symetrie tohto tvaru napr. guľou, ktorá je totálne symetrická a vôbec nie je potrebné ju orientovať.

Už pri sypaní súčiastok do zásobníka sa súčiastky čiastočne orientujú. Napr. väčšina rovinných plochých "leží" na jednej z dvoch veľkých rovín na povrchu súčiastky.

Také polohy, v ktorých sa súčiastky v zásobníku po nasypaní vyskytujú najčastejšie, nazvime *prioritné polohy*.

Automatická orientácia často prebieha tak, že orientačný systém si vyberá - vytried'uje len súčiastky v prioritných polohách a orientuje ich. Ostatné súčiastky znova sype do zásobníka.

Výkonnosť orientácie bude tým vyššia, čím viac súčiastok v zásobníku bude vo vybraných prioritných polohách. To bude v prípade súčiastok, pri ktorých jeden z troch obrysových rozmerov alebo niektorá obrysová plocha sú výrazne väčšie ako iné obrysové rozmery alebo plochy. Tak napr. dlhé valce budú padať hlavne na povrchovú priamku, hranoly na jednu z dvoch najväčších stien a pod. Rozoberme teoreticky prípad valca a hranola. Na obr. 3.32 je valec o priemere  $d$  a dĺžke  $l$ , ktorý padol na rovinu tak, že jeho telesná uhlopriečka je kolmá na túto rovinu. Je to neutrálna poloha, teoreticky by si takýto valec neľahol ani na základňu o priemere  $d$ , ani na povrchky o dĺžke  $l$ .



Obr. 3.32 Polohy valcov, ktoré padali na rovinu

Prvé valce, ktorých povrchky pri dotyku s rovinou boli odklonené od vertikály o uhol menší než je uhol  $\alpha$ , si ľahnú na základňu o priemere  $d$ , druhé valce, ktorých povrchky pri dotyku s rovinou boli odklonené od vertikály o uhol väčší ako  $\alpha$ , si ľahnú na povrchky. Osi padajúcich valcov tvoria zväzok priamok, ktorých priesečníky s fiktívnou poglobou o polomere  $R$  sú na povrchu poglobule rovnomerne rozložené (nieť dôvodov na iné než lineárne rozloženie). Nech počet prvých valcov je  $n_d$  a počet druhých valcov nech je  $n_l$ . Ich vzájomný pomer bude rovnaký, ako je pomer plochy guľovej kužeľovej výseče s vrcholovým uhlom  $2\alpha$  k zostávajúcej ploche poglobule.

Plocha poglobule je:

$$P_p = 2\pi R^2 \quad (3)$$

Plocha guľovej výseče bude:

$$P_d = 2\pi R^2 (1 - \cos \alpha),$$

$$\cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{d^2 + l^2}} =$$

$$P_d = 2\pi R^2 \frac{\sqrt{d^2 + l^2} - 1}{1}.$$

Potom bude:



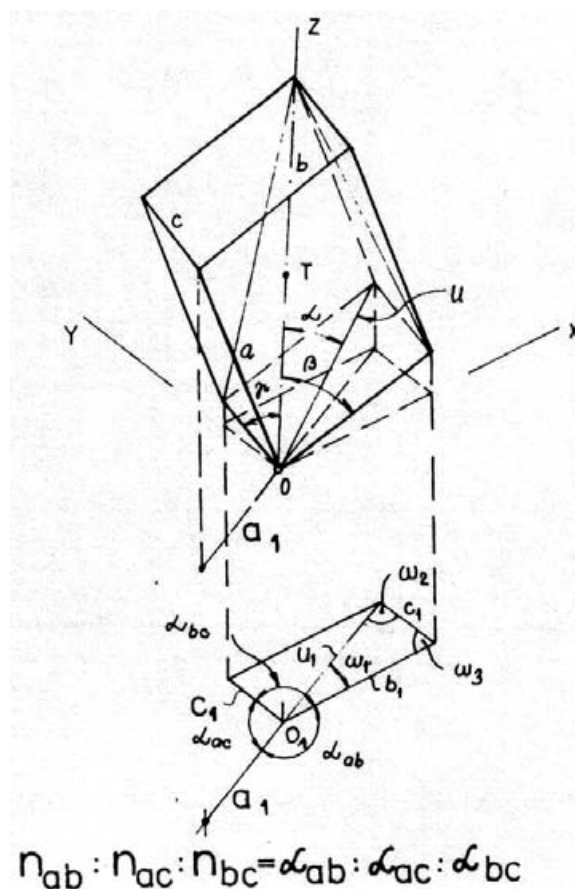
$$\frac{n_d}{n_1} = \frac{P_d}{P_p - P_d} = \frac{\sqrt{d^2 + 1^2} - 1}{1} .$$

Napr. pre  $d = 1$  bude:

$$\frac{n_d}{n_1} = 0,29 .$$

Len cca tretina tzv. štvorcových valcov ( $d = 1$ ) si ľahne na základňu, ostatné si ľahnú na povrchu. Táto poloha bude prioritná.

Na obr. 3.33 je hranol, ktorý dopadol na rovinu v neutrálnej polohe a jeho telesná uhlopriečka je kolmá na vodorovnú rovinu dopadu. Hrany  $a, b, c$  pretínajúce sa v bode dotyku  $O$  majú svoje pôdorysy  $a_1, b_1, c_1$ , ktoré vzájomne zvierajú uhly  $\alpha_{ab}, \alpha_{ac}, \alpha_{bc}$ .



Obr. 3.33 Polohy hranola po jeho páde na rovinu

Počty súčiastok, ktoré si ľahnú na stenu  $ab, ac$  resp.  $bc$ , nech sú  $n_{ab}, n_{ac}, n_{bc}$ .

Zvislé roviny prechádzajúce cez pôdorysy  $a_i, b_i, c_i$  rozdelia myslenú polguľu so stredom v  $O_1$  na tri segmenty, ktorých povrchy (a stredové uhly  $\alpha_{ab}, \alpha_{ac}, \alpha_{bc}$ ) sú v takom pomere ako počty  $n_{ab}, n_{ac}, n_{bc}$ .

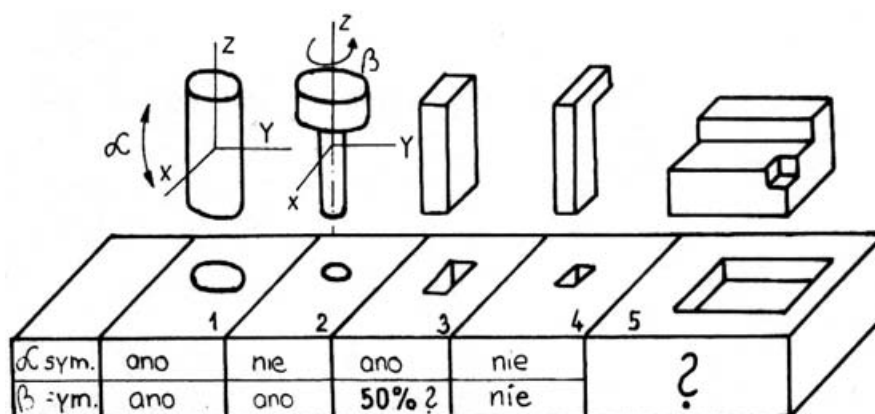
Platí teda :  $n_{ab} : n_{ac} : n_{bc} = \alpha_{ab} : \alpha_{ac} : \alpha_{bc}$ .

Príklad:

Z trigonometrie podľa obr. 1.22 odvodte výrazy pre  $\alpha_{ab}, \alpha_{ac}, \alpha_{bc}$  pre dané a, b, c.

Vypočítajte hodnoty  $\alpha_{ab}, \alpha_{ac}, \alpha_{bc}$  pre  $a = 5, b = 3, c = 1$ , zistite, ktorá poloha bude prioritná a aké bude jej percentuálne zastúpenie. (Bude to stena a, b, na ktorú padne 44% hranolov). V skutočnosti výpočtami získané údaje sú len približné. Oveľa rýchlejšie je experimentálne overenie percentuálneho rozloženia rôznych polôh súčiastok v zásobníku. Po primárnej predorientácii nasleduje konečná orientácia.

Jej najnovšiu teóriu vypracoval Boothroyd [16] a jej podstata je zobrazená na obr. 3.34. Teória sa zameriava hlavne na štíhle súčiastky, ktoré môžu byť alfasymetrické alebo alfanesymetrické, betasymetrické alebo betanesymetrické.



Obr. 3.34 Boothroydova teória orientácie

Alfasymetrické súčiastky sú symetrické podľa jednej roviny X, Y kolmej na pozdĺžnu os Z, a preto sa môžu ktorýmkoľvek koncom zasunúť do otvoru.

Betasymetrické súčiastky sú symetrické podľa pozdĺžnej osi Z, a preto odpadá potreba ich skrútenia okolo ich osi zasunutím do otvoru (pohyb "skrútiť").

Tretiu súčiastku na obr. 3.34 stačí otočiť o uhol max, 0.5 otáčky, štvrtú maximálne o celú otáčku, tento rozdiel si metóda nevšíma, obidve súčiastky považuje za betanesymetrické.

Metóda sa nedá aplikovať na súčiastky hranolovité (piata súčiastka), ktorých býva viac ako 50%. Autor metódy prehliadol skutočnosť, že súčiastky sú bežne trojrozmerné útvary a ich orientácia vyžaduje nie dve, ale tri uhlové otočenia, ktorých veľkosť môže byť všeobecne v rozsahu nula až jedna celá otáčka. Z praktického hľadiska nás nezaujíma len potreba niektorej rotácie, ale i jej veľkosť.

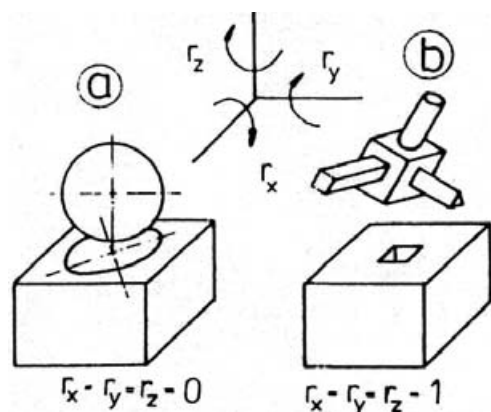
Autor týchto skrípt vypracoval novú metódu hodnotenia orientačných vlastností súčiastok, ktorá odstraňuje nevýhody Boothroydovej metódy:

Existujú súčiastky úplne symetrické (guľa) a úplne nesymetrické (obr. 3.35). Úplne nesymetrické súčiastky nie sú symetrické ani podľa bodu, ani osi, ani roviny. Guľa pre orientáciu nepotrebuje otáčania okolo osi X, Y, Z (v dohodnutom kladnom smere otáčania), preto počet orientačných otáčok je pri guli:

$$r_x = r_y = r_z = 0.$$

Úplne asymetrická súčiastka bude potrebovať k orientácii všeobecne 3 rotácie, pričom hodnota každej bude v limitnom prípade:

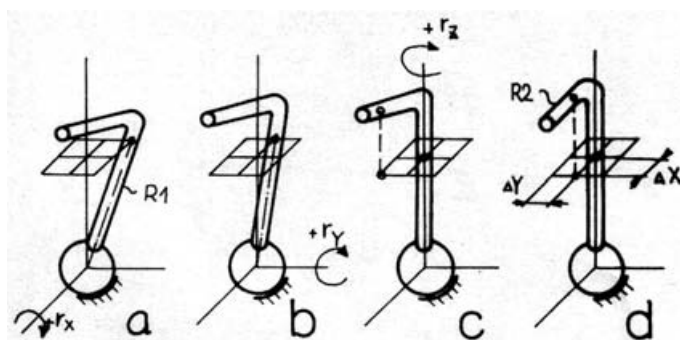
$$r_x = r_y = r_z = 1 \text{ otáčka.}$$



Obr. 3.35 Úplná symetria (a) a úplná asymetria (b)

Dôkaz:

Na obrázku 3. 36a je úplne nesymetrická súčiastka vo všeobecnej polohe. Otáčaním v predpísanom smere  $+r_x$  o takmer celú otáčku jej rameno R1 sa dostane do bokorysne (obr. b). Otáčaním v predpísanom smere  $+r_y$  (o takmer celú otáčku) sa jej rameno dostane do osi Z (obr. c). Nakoniec musíme súčiastku otáčať okolo osi Z o takmer celú otáčku, až sa jej rameno R2 dostane do žiadanej zorientovanej polohy, teda do bokorysne.



Obr. 3.36 Postup orientácie úplne nesymetrickej súčiastky

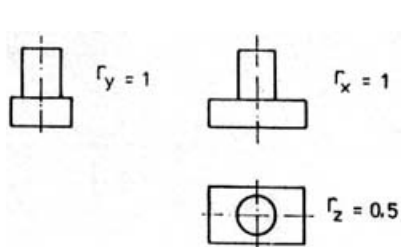
Ukázali sme, že úplne nesymetrická súčiastka môže byť limitne (ak  $\lim \Delta\varphi_x = \lim \Delta\varphi_y = 0$ ) v tak nepriaznivej východiskovej polohe, že na jej orientáciu potrebujeme 3 rotácie  $r_x, r_y, r_z$ , pričom v krajnom prípade veľkosť každej rotácie v zvolenom smere bude 1 otáčka.

Počet potrebných rotačných orientácií a ich veľkosť môžeme rýchlo pre danú súčiastku určiť podľa tejto vety (obr. 3.37):

Pre súčiastku zobrazenú v náryse, bokoryse a pôdoryse platí:

*Potrebný uhol otočenia  $r_x, r_y, r_z$  je uhol otočenia obrazu otáčaného nárysu (bokorysu, pôdorysu), po otočení ktorého sa obraz otáčaného nárysu (bokorysu, pôdorysu) stotožní s nárysom (bokorysom, pôdorysom).*

Súčiastka podľa obr. 3.37 potrebuje na orientáciu tri rotátory (zložitosť orientácie), pričom celková prácnosť orientácie je  $1 + 1 + 0.5 = 2.5$  otáčky. Tieto dva ukazovatele charakterizujú zložitosť a prácnosť orientácie súčiastky bez ohľadu na to, či sa orientácia vykonáva ručne, vibračné alebo roboticky.



Konštruktér výrobku už pri prvom návrhu rýchlo preveruje zložitosť a prácnosť orientácie a snaží sa o zlepšenie týchto ukazovateľov. Tieto hodnoty sú hodnoty nezávislé od cien, miezd ani od konštrukcie montážneho systému.

**Obr. 3.37** Vyšetrovanie orientačných ukazovateľov

Ukazujú nový prístup hodnotenia montážnej zložitosti a prácnosti, čo je základom novej tu prezentovanej metodiky DFA.

Zvyšovanie stupňa symetrie súčiastok je hlavný a univerzálny nástroj na zjednodušovanie orientácie. Ďalšie konštrukčné úpravy záležia na tom, aký orientačný systém bude pravdepodobne používaný. Pre ručnú orientáciu sú dôležité dobré vizuálne a hmatové prvky, pomocou ktorých sa rozlíši poloha súčiastky.

Často z hľadiska funkcie potrebujeme súčiastku menej symetrickú, ak to však nezvýši podstatne výrobné náklady (napr. súčiastky z plastov, použijeme upravený tvar s vyššou symetriou. Príklady tejto filozofie sú na obr. 3.38.

TVAR	GULE		VALCE		HRANOLY		
	FUNKČNÝ 1	UPRAVENÝ 2	FUNKČNÝ 3	UPRAVENÝ 4	FUNKČNÝ 5	UPRAVENÝ 6	UPRAVENÝ 7
a							
b							
c							
d							

**Obr. 3.38** Umelé zvyšovanie symetrie tvaru súčiastok

Ďalšie konštrukčné úpravy záležia na tom, aký konkrétny systém orientácie bude pravdepodobne použitý.

Pre ručný systém sú dôležité výrazné vizuálne a hmatové prvky na rozlíšenie tvaru, pre vibračnú techniku je dôležité, aby ťažisko bolo výrazne pod predpokladaným miestom zavesenia, aby sa tak zvýšila pravdepodobnosť zavesovania.

Ak má súčiastka tvarové prvky rozhodujúce o jej orientácii vo vnútri obrysu (siluety), tieto sa nedajú využiť pre vibračnú orientáciu. V tomto prípade je vhodné, aby súčiastka mala takéto prvky i na povrchu (napr. stenu alebo drážku vhodnú na vedenie vo vibračnom žľabe).

*Pre robotickú orientáciu je napr. vhodné opatriť povrch súčiastky unifikovanými kódovými znakmi, ktoré jednoznačne ohlásia snímačom polohu súčiastky.*

### 3.4.9 Vlastnosti konštrukcie z hľadiska montážnej manipulácie

V predošlej kapitole sme ukázali, že pre každú súčiastku možno jednoznačne určiť počet potrebných orientačných úkonov (rotácií, resp. rotátorov) ako mieru zložitosti orientácie a súčet potrebných otáčok na orientáciu ako mieru prácnosti orientácie.

Všeobecne nielen orientáciu, ale i celú montáž vrátane orientácie považujeme v prevažnej miere za postupné vykonávanie nesilových alebo silových rotácií a translácií. Počet týchto úkonov (realizovaných fiktívnymi aktuátormi, t.j. rotátormi a translátormi) bude *ukazovateľom zložitosti montáže výrobku*. Súčet potrebných otáčok bude *rotačným ukazovateľom prácnosti* a súčet translácií (v mm) bude *translačným ukazovateľom prácnosti* (posledné dva ukazovatele nevieme spočítať).

Pri zisťovaní týchto hodnôt postupujeme tak, že si predstavíme montáž skúmaného výrobku v polohovacom prípravku. V duchu vykonávame orientáciu súčiastok a ich montáž, potrebnú rotáciu a transláciu súčiastok upínača a polohovadla a ich veľkosti vhodným spôsobom zapisujeme do tabuľky.

*Do bilancie zaratúvame len tie pohyby, za ktoré je zodpovedná konštrukcia výrobku.* Konštrukcia výrobku nie je zodpovedná napr. za pohyby súvisiace s približovaním súčiastok k upínaču, ani za prípadný posun upínača od stanice k stanici.

Naopak konštrukcia výrobku zodpovedá za potrebné pohyby súvisiace s upínaním, polohovaním, uvoľnením, orientáciou, zasúvaním, skrutkovaním a i. Predstavíme si, že každá montovaná súčiastka je pred montážou tesne nad jej montážnym otvorom zorientovaná maximálne tromi rotačnými orientáciami a potom je silovými či nesilovými rotáciami a transláciami montovaná.

Príklad bilancie je znázornený na obr. 3.39. Na obr. 3.39/9 je zobrazený zmontovaný výrobok po uvoľnení z upínača.

Výrobok pozostáva z hlavnej súčiastky C (obr. 3.39/1), do ktorej je z jednej strany zaskrutkovaná skrutka e poistená lepidlom d (obr. 3.39/3) a z druhej strany je zalisovaný kolík f (obr. 3.39/6).

Postup bilancie:

Obr. 3.39/1 **Orientácia a vloženie súčiastky c .**

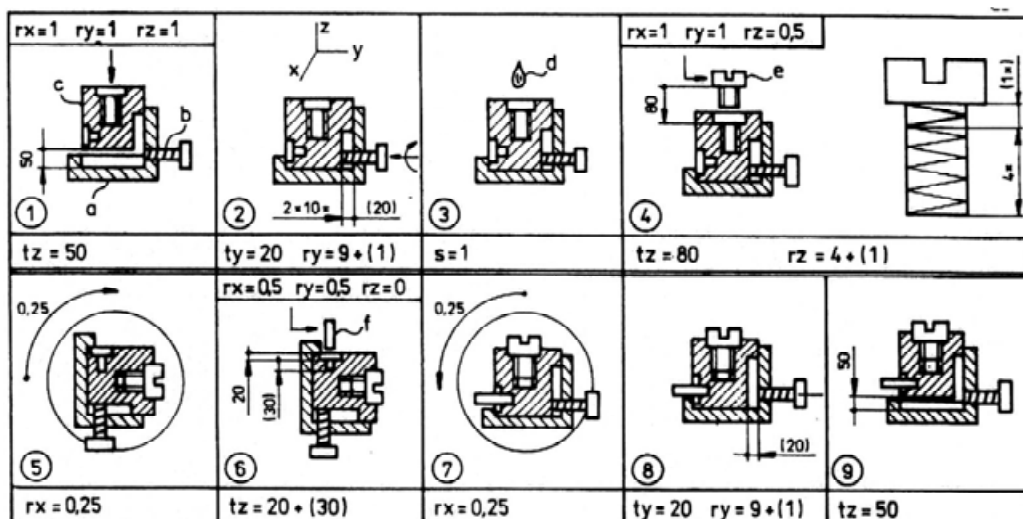
Výsledok: orientačné rotácie  $r_x = 1$ ,  $r_y = 1$ ,  $r_z = 1$  otáčok, zasunutie - translácia:  $t_z = 50\text{mm}$ .

Obr. 3.39/2 **Prepínanie.**

Skrutkový pohyb zložený z  $r_y = 10$  otáčok a translácia  $t_y = 20\text{mm}$ .

Obr. 3.39/3 **Kvapnutie lepidla**

Špeciálna operácia, zatiaľ nebilancujeme.



Obr. 3.39 Príklad vyšetrovania montážnej zložitosti a práci

Obr. 3.39/4 Orientácia a montáž skrutky.

Orientácia:  $r_x = 1$ ,  $r_y = 1$ ,  $r_z = 0.5$ , montáž skrutky:  $t_z = 80\text{mm}$ ,  $r_z = 5$  otáčok.

Obr. 3.39/5 Otočenie polohovadla.

Otočenie  $r_x = 0.25$ , atď.

Do bilancie sme dosiaľ nezapočítali špeciálne operácie, ktoré okrem translácií a rotácií nástroje vyžadujú, t.j. ďalšie aktivity (ako je napr. tavenie teplom, ultrazvukom a pod.), prípadne i špeciálne prídavné materiály (lepenie, spájkovanie a pod.).

O tom, či je výhodnejšie použiť len silové alebo špeciálne spojenie (ak vôbec táto alternatíva existuje), o tom, aký druh špeciálneho spojenia použiť rozhodneme na základe technicko-ekonomického rozboru.

Toto je jediná výnimka, pri ktorej hodnotíme kvalitu konštrukcie peniazmi. Nemusíme pritom však poznať konštrukciu montážneho systému. Ťažisko nákladov je v meničoch energie (ultrazvukový, laserový generátor a pod.) a nie v nákladoch na automatizáciu a spôsob jej realizácie.

Špeciálne spojovacie operácie sa používajú len pri špeciálnych nárokoch na spoj. Väčšina spojovacích operácií sa vykonáva len nesilovými a silovými pohybmi, a preto ich počet a veľkosť sú dobrými ukazovateľmi zložitosti a práci montáže väčšiny strojárskych výrobkov.

Na základe uvedených úvah môžeme sformulovať nové, temer univerzálne pravidlo DFA:

**Konštruuj výrobok a jeho súčiastky tak, aby bol počet montážnych aktuátorov (rotátorov, translátorov) čo najmenší a aby suma vykonaných rotácií a translácií pri montáži bola minimálna.**

Napr. z desiatich uvedených pravidiel naplňujú priamo uvedené hlavné pravidlá pravidiel č. 1,5,6,8, ostatné naplňujú univerzálne pravidlo nepriamo.

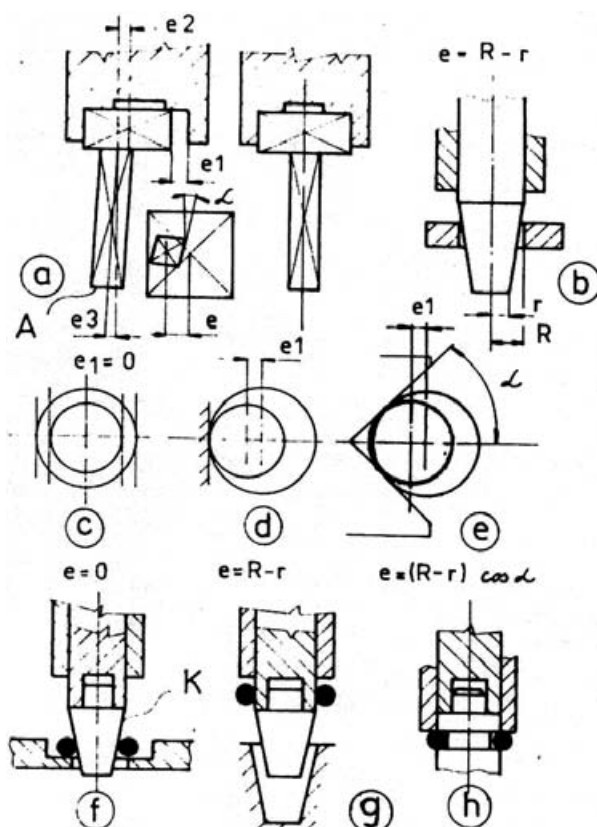
Opísanú bilanciu robíme len v prípadoch, ak chceme porovnať starú a novú konštrukciu. Pri konštrukcii nového výrobku stačí iba pri každom i detailnom konštrukčnom kroku mať na zreteli uvedené univerzálne pravidlo.

### 3.4.10 Vlastnosti súčiastok z hľadiska montážnej manipulácie

Na montážne manipulácie platia hlavne tieto pravidlá:

1. Ak je to možné, tvaruj súčiastky tak, aby do seba jednoznačne zapadali, aby nebolo ani možné pripojiť súčiastku v nesprávnej polohe.
2. Ak je súčiastka s inou súčiastkou spojená vo viacerých dvojiciach, uprav konštrukciu tak, aby sa dvojice nevytvárali súčasne (obr. 3.28b), ale postupne (obr. 3.28c).
3. Otvor (dutina, lôžko) pre montovanú súčiastku umiestňuj na dobre prístupnom a viditeľnom mieste s dostatočným priestorom pre hlavicu predpokladanej manipulačnej a spojovacej techniky (skrútkovače, kľúče, motorické náradie, uchopovače robota a pod).
4. Najlepšie sa montuje zhora nadol. Montáž i v iných smeroch je zložitejšia a prácnejšia, niekedy sa nedá vykonať a výrobok treba natáčať na smer zhora nadol. Minimalizuj počet montážnych smerov.
5. Konštruuj výrobok tak, aby jeho montáž vyžadovala čo najmenší sortiment uchopovacích mechanizmov montážnych a demontážnych nástrojov. (Čím novší automobil, tým menej kľúčov je v brašne na nástroje). [128].

Na obr. 3.40 sú diskutované niektoré problémy, ktoré súvisia s uchopovaním súčiastok manipulátormi. Veľké excentricity  $e_1$ ,  $e_2$ ,  $e_3$  (obr. a) môžu zapríčiniť, že excentricita  $e$  špičky súčiastky je taká veľká, že špička "netrafí" do montážneho otvoru.



Obr. 3.40 Uchopovanie súčiastok pri strojovej montáži

Drobné podložky sa prenášajú tak, že sú trením uchytené na kužeľovom trní. Po prenesení sú z trňa vytlačené. Rozdiel polomerov  $R$  a  $r$  musí byť malý, aby podložka pri vytlačení nevybočila do strany (b).

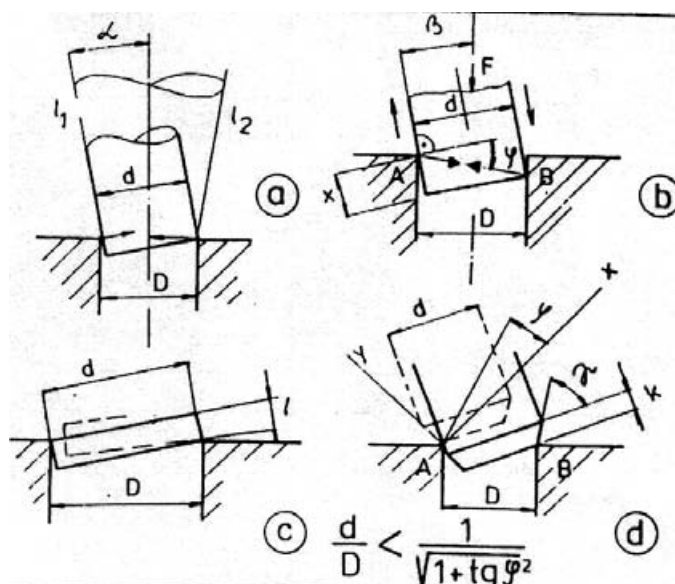
Pri symetrickom pohybe uchopovacích čeľustí sa poloha stredu uchopovanej súčiastky nemení (c), mení sa, ak len jedna čeľusť je pohyblivá (d, e).

Obrázky f, g, h ukazujú príklad mechanizmu na prenášanie a montáž "o" krúžkov podľa patentu firmy VUMA. Krúžok je v prvej fáze cyklu nasunutý cez kužeľový nástavec na valcový trň (f), v druhej fáze cyklu je pomocný kužeľový nástavec odložený do lôžka (g), v tretej fáze cyklu je krúžok vytlačенý do drážky na čape vyčnievajúcim z montovaného výrobku.

Pri konštruovaní výrobku na automatickú a flexibilnú montáž je účelné zároveň unifikovať uchopovače manipulátorov a na výrobkoch vytvárať vhodné tvary na tieto uchopovače. Príklady budú uvedené ďalej.

Na obr. 3.41 sú ilustrované geometrické a statické podmienky vkladania [36]. Z hľadiska geometrie dovolený odklon kolíka na začiatku montáže je limitovaný uhlom a rovnicou (obr. 3.41), kde platí:

$$\cos \alpha = d/D \quad (4)$$



Obr. 3.41 Geometrické a statické podmienky vkladania

Takto naklonený kolík sa však môže z hľadiska statického v diere vzpriečiť. Tak vznikne situácia podľa obr. 3.41b, kde  $\varphi$  je uhol trenia v bodoch dotyku A a B, v bodoch A a B pôsobia reakcie diery na kolík. Reakcie nie sú kolmé na povrchy kolíka, ale sú odklonené od normály o uhol  $\varphi$ , a to proti smerom pohybu kolíka vzhľadom na diery. Tieto smery pre bod A a B ukazujú šípky. Na kolík pôsobia tri sily:  $F$ ,  $R_a$ ,  $R_b$ , a tie musia byť v rovnováhe. Výslednica reakcií v bodoch A a B musí byť v rovnováhe s hnacou silou  $F$ .

Ak však vznikne situácia podľa obr. 1.30b, že reakcie ležia na jednej priamke, vznikne samosvornosť. Akokoľvek veľká sila  $F$  vyvolá v bodoch A, B nekonečne veľké reakcie a kolík nie je možné zasunúť.

Z trigonometrie a podľa obr. 3.41a a 3.41b platí:

$$x > d \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (5)$$



$$x \cdot \sin \beta = D - d \cdot \cos \beta,$$

$$x = \frac{(D - d \cos \beta)}{\sin \beta}, \quad (6)$$

Spojením (2) a (3) bude:

$$1/\sin \beta (1/\cos \alpha - \cos \beta) \operatorname{tg} \varphi. \quad (7)$$

Uhol  $\beta$  nesmie byť väčší ako uhol  $\alpha$  (obr. 1 30a).

$$\text{Pre } \alpha = \beta \text{ bude: } \frac{d}{D} < \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}}. \text{ Tento dôkaz je prevzatý z [36].} \quad (8)$$

Pri splnení tejto podmienky nenastane samosvornosť. Napr. pre  $\operatorname{tg} \varphi = 0,1$  bude  $d/D < 0,995$ , teda pre dieru  $D = 10$  mm musí byť  $d$  menej ako 9,995 mm, aby nevznikala samosvornosť.

Obr. 3.41d ilustruje statické pomery pre kolík s kuželovým zrazením. Dá sa dokázať, že zrazenie zväčšuje dovolený sklon kolíka a znižuje nebezpečie samosvornosti.

Na obr. 3.41c je problém padania kotúčov do valcovej šachty (diery). Kotúč vpadne do diery, bez zádržky len za predpokladu, že:

$$D = (1^2 + d^2)^{1/2}. \quad (9)$$

Problém samosvornosti vzniká napr. pri automatizácii montáže guľkových ložísk do otvorov. Čelí sa mu napr. tak, že nástroj tlačiaci na ložisko vykonáva malé kývavé pohyby.

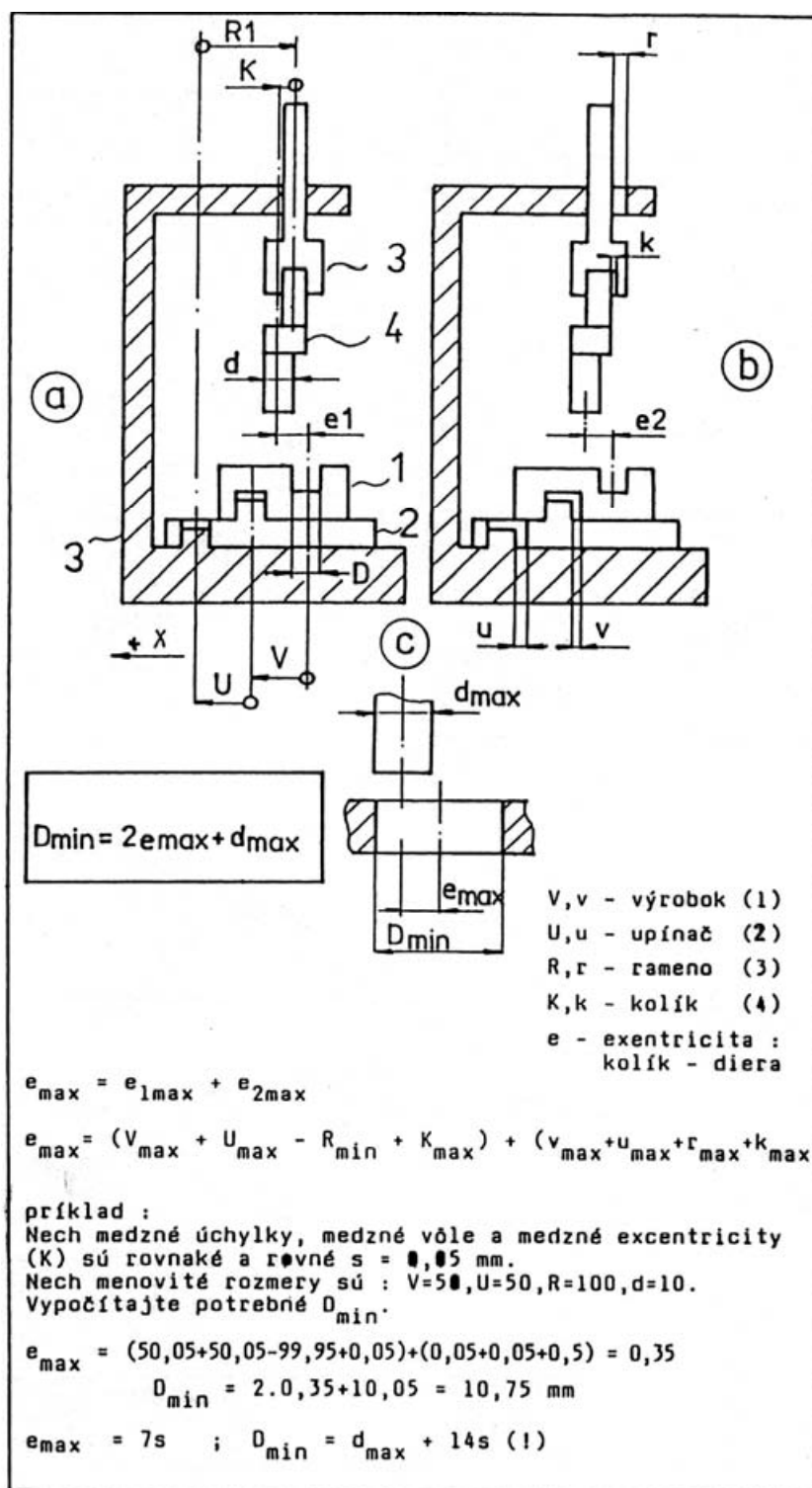
### 3.4.11 Rozmerové vlastnosti konštrukcie

Najväčšie nároky na rozmerové vlastnosti konštrukcie sú pri tvrdej automatickej montáži. Na obr. 3.42 sú schémy stanice tvrdej automatickej linky, pričom na obr. 3.42a je ilustrovaný problém rozmerov a tolerancií a na obr. 3.42b problém vôle. Na obrázkoch je:

1. - montovaný výrobok,
2. - unášač (upínač) výrobku,
3. - rameno zakladača,
4. - montovaná súčiastka, ktorej priemer  $d$  je potrebné zasunúť do otvoru o priemere  $D$ .

Zasunutiu súčiastky môže brániť excentricita „e“ otvoru o priemere „D“ vzhľadom na priemer súčiastky „d“. Táto excentricita môže byť zapríčinená nevhodnými veľkosťami a nepriaznivou kombináciou tolerancií kľúčových rozmerov  $V$ ,  $U$ ,  $R_1$ ,  $K$  (excentricita  $e_1$ - obr. 3.42a), alebo nevhodnými veľkosťami a nepriaznivou kombináciou vôle  $u$ ,  $v$ ,  $k$ ,  $r$  (excentricita  $e_2$ -obr. 3.42b).

Príklad ukazuje, že pri vôľach a úchyľkách o absolútnej hodnote 0,05 mm (bežná presnosť) montovaný kolík s priemerom  $d = 10 * 0,05$  bude vyžadovať otvor o priemere  $D_{\min} = 10,75$  mm.



Obr. 3.42 a) Rozmerové problémy strojovej montáže

Ak podmienka nebude splnená, budú vznikať zádržky. Pri ručnej montáži alebo adaptívnej montáži automatickej by sme bez ťažkostí montovali i tesnejšie uloženia. Diera by mohla mať priemer  $D_{min} = 10,05$  mm.

V obidvoch prípadoch sa situácia zlepší, ak bude mať kolík kužeľový nábeh a bude uchytený v odpružených čeľustiach.

### 3.4.12 Materiál súčiastok

Materiál súčiastok sa volí vzhľadom na požadovanú funkciu a nie vzhľadom na montáž. Z hľadiska montáže je výhodné, ak sú súčiastky dostatočne tuhé, odolné proti lámaniu a otieraniu vo vibračných zásobníkoch.

Z hľadiska montáže, hlavne automatickej, nie sú výhodné voľne ohybné súčiastky, ako sú napr. elektrické drôty a lanká. Poloha ich koncov nie je pri manipulácii jednoznačná, čo sťažuje automatizáciu. Výhodnejšie je, keď tieto drôty sú nahradené tuhými dotykmi, pričom poskladaním súčiastok sa vytvorí i zapojenie. Takéto tendencie prechodu na tzv. "sandwich" systém sú badateľné i pri hydraulických a pneumatických prvkoch.

Aktuálnym problémom je možnosť recyklácie materiálu. Z tohto dôvodu je výhodné, ak výrobok je konštruovaný tak, aby sa z neho dal materiál na recykláciu získať jednoducho.

Sú známe napr. kuchynské spotrebiče v ktorých po stlačení v lise sa plastové časti separujú od kovových. Všetky použité plasty sú jedného druhu, takže ich zmes môže byť použitá ako surovina pri výrobe.

Úroveň DFA sa zvýšila zavedením plastov. Plasty umožňujú integrovať viac funkcií do jednej súčiastky. Ich pružnosť sa využíva v konštruovaní spojov, ktoré sa vytvárajú jednoduchým zatlačením spojovaných častí do seba. Časti sú spojené trecou silou vyvolanou pružením. Niekedy jedna časť pri zatláčaní prepruží a potom "zaskočí" do protitvaru druhej časti. Mnohé drobné skrutkové spoje boli úspešne nahradené takýmito spojmi.

### 3.4.13 Pravidlá DFA a príklady ich využitia

V kapitole 3.3 sme uviedli, že temer všetky metodiky DFA okrem všeobecnej teórie a filozofie príslušnej metodiky uvádzajú práce zozbierané príklady, ktoré ilustrujú využitie pravidiel v praxi.

V Nemecku tieto pravidlá boli spracované do formy smernice VD1 3237 autormi Andreasen, Berlich, Pahl, Stoferle a boli uvedené tiež v známej knihe Ehlerspiela [19]. Tieto pravidlá sú uvedené na obrázkoch 3.2 až 5. Postupne sú uvedené pravidlá a príklady na :

1. zmenšenie počtu montážnych operácií,
2. uľahčenie plnenia zásobníkov a orientácie,
3. uľahčenie manipulácie so súčiastkami,
4. uľahčenie nastavovania polohy,
5. uľahčenie spojovania,
6. uľahčenie nastavenia a justovania,
7. uľahčenie poistenia,
8. uľahčenie kontroly.

Z konštrukčnej praxe je známe, že niektoré spojovacie problémy sa veľmi často opakujú. Tak napr. veľmi častý je problém spojenia dvoch plechov alebo dosák, spojenia náboja s hriadeľom a iné. Často konštruktér tento problém rieši podľa momentálneho nápadu alebo individuálnej obľuby určitého riešenia.

Niektoré firmy alebo autori si pre svoje podmienky vypracovali na takéto prípady technicko-ekonomické porovnania všetkých nimi používaných riešení, ktoré okrem montážneho hľadiska zohľadňujú i iné hľadiská, napr. funkciu, celkové náklady na výrobu

(nákup) a montáž. Takto sa postupne poznatky rôznych metodík spájajú a vytvárajú univerzálnu metodiku, napr.:

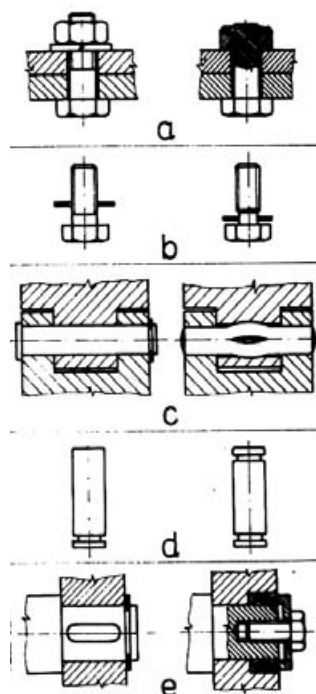
DFA - konštruovanie pre montáž - (Design for Assembly),

DFM - konštruovanie pre výrobu - (Design for Manufacturing),

DFC - cenové konštruovanie - (Design for Costs).

Vráťme sa k obrázku 3.7. Na obrázku prezentované výsledky sú v dobrom súlade s našou novou metodikou DFA. Aj podľa tejto metodiky bodový zvar je najmenej nákladný. Tento spoj vyžaduje len jeden aktuátor krátkého pohybu, rovnako ako lemovaný spoj. Naopak, i všetky spoje, ktoré majú na obr. 3.7 známku 3, sa vyznačujú potrebou viacerých aktuátorov alebo veľkou sumou rotácií a translácií potrebných na zhotovenie spoja.

Existujú skrutky do plechu, ktoré plnia tieto funkcie: režu si diery pre závit, režu závit, hlava je zaistená proti uvoľneniu a má tesniacu podložku. Iné príklady integrácie viac súčiastok do jednej súčiastky sú na obr. 3.42 b).



**Obr. 3.42 b) Príklady integrácie funkcií alebo zlepšenia funkcie spoja**

*a - matica s trecou vložkou nahradzuje maticu a treciu podložku,*

*b - skrutka s nalisovanou podložkou nahradzuje skrutku a podložku,*

*c - kolík so zásekmi (vrubmi) nahradzuje čap a poistný krúžok.*

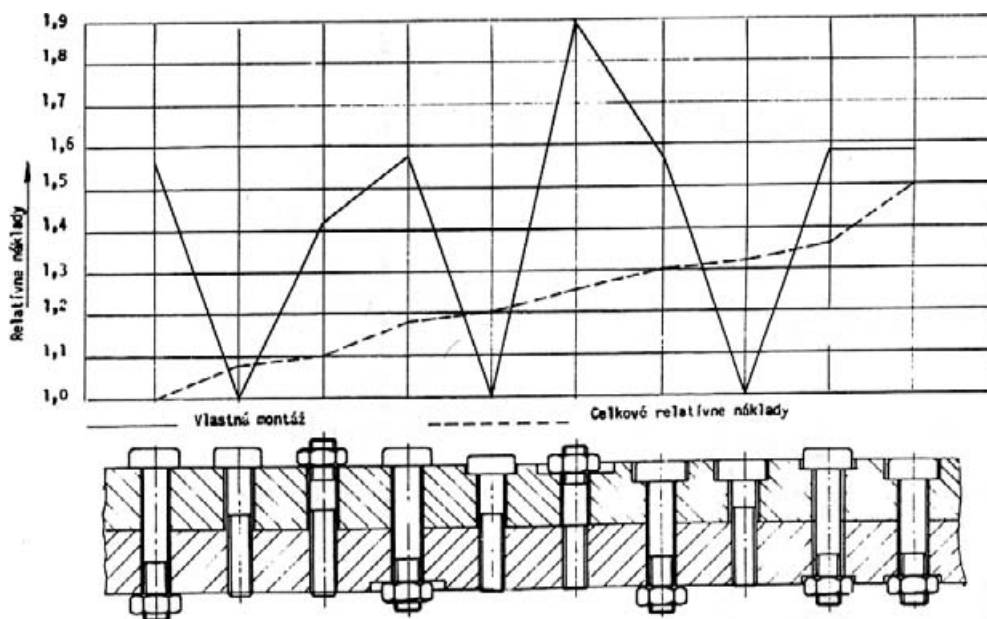
Obraz d ukazuje, že zvýšením symetrie sa šetrí montážna práca. Použitím klinovitých kruhových krúžkov (obr.3.42 b), obraz e) sa dosiahne vysoká pevnosť a možnosť natočenia náboja vzhľadom na hriadeľ.

Spojovanie kovových plátň, prírub a plechov skrutkami je konštrukčný problém, ktorý sa mnohokrát vyskytuje na takmer každom výrobku. Pri voľbe vhodnej konštrukcie spoja sa konštruktér riadil len intuíciou, často volil riešenie, ktoré pre daný prípad bolo neprímerane nákladné. Pri voľbe riešenia obvykle nerozhodujú len náklady na montáž, ale celkové náklady, pozostávajúce z nákladov na nákup spojovacích prvkov, vrtanie otvorov, rezanie závitov, frézovanie zahĺbení a montáž.

Z tohto pohľadu môže riešenie s nízkymi nákladmi na montáž viesť k vysokým celkovým nákladom a naopak.

Logicky tak na základe poznatkov o konštruovaní z hľadiska montáže (DFA - Design for Assembly - konštruovanie pre montáž) a poznatkov o konštruovaní z hľadiska výroby (DFM - Design for Manufacturing - konštruovanie pre výrobu) prideme k metóde DFC - Design for Costs - konštruovanie z hľadiska ceny, ktorá zhŕňa výsledky metód DFA, DFM.

Výsledkom takéhoto bádania je napr. obr. 3.43, zobrazujúci relatívne montážne a celkové náklady na najpoužívanejšie skrutkové spoje [83].

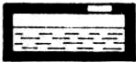


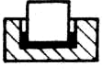
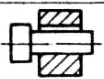




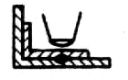




Obr. 3.43 Relatívne montážne a celkové náklady na rôzne realizácie skrutkových spojov

### 3.4.14 Bilancia dosiahnutých výsledkov

Pri zlepšovaní konštrukcie podľa DFA sme využívali hlavne tieto možnosti:

1. Hľadanie nového funkčného princípu využitím známych metód i novej kombinačnej metódy.
2. Voľba takej štruktúry, ktorá zabezpečuje vysokú výťažnosť (stromová štruktúra), malú statickú preurčitosť, malý počet súčiastok.
3. Uprednostňovanie spojov skupiny A, resp. B pred B, resp. C (obr. 3.44).
4. Zvýšenie stupňa symetrie súčiastok a tým zníženie počtu potrebných orientačných otáčaní i počtu orientačných otáčok (prácnosť).
5. Zmenšenie počtu montážnych úkonov (zložitosť) a počtu nimi vykonaných translácií a rotácií (prácnosť).
6. Konštrukcia súčiastok uľahčujúca ich manipuláciu.
7. Úprava rozmerov, tolerancií a vŕli.
8. Zmena materiálov.
9. Využitie pravidiel a príkladov.
10. Využitie znalostí o predpokladanej montážnej technike a jej vplyvu na konštrukciu výrobku [128].

	ks		FYZIKÁLNY DRUH	ÚKONY	PRÍKLADY
A1	1		KVAPALINOVÝ	1 - DÁVKOVAŤ	PLNENIE NÁDRŽE
A2			SYPANÝ	1 - DÁVKOVAŤ	PLNENIE NÁBOJNICE
A3			PASTOVÝ ADHÉZNY	1 - DÁVKOVAŤ	DÁVKOVANIE LEPIDLA ZALIEVANIE EPOXY
B1	2		TVAROVO-ADHÉZNY	1 - ORIENTOVAŤ 2 - ZASUNÚŤ	VKLADANIE DO OTVORU S LEPIDLOM
B2			TVAROVÝ	1 - ORIENTOVAŤ 2 - ZASUNÚŤ	ČAP DO DIERY
B3			TVAROVO-ELASTICKÝ	1 - ORIENTOVAŤ 2 - ZASUNÚŤ	SPONOVÉ SPOJE
C1	3		TVAROVO-PLASTICKÝ	1 - ORIENTOVAŤ 2 - ZASUNÚŤ 3 - PRETVÁRNIŤ 4 -	USOVÉ NITOVANIE ZA STUDENA
C2			TVAROVO-ELASTICKÝ	1 - ORIENTOVAŤ 2 - ZASUNÚŤ 3 - ZALISOVAŤ	KUŽELOVÝ KOLÍK
D1	4		TVAROVO-ELASTICKÝ	1 - ORIENTOVAŤ 2 - ROZOPNÚŤ 3 - ZASUNÚŤ 4 - UVOLNIŤ	SPONOVÉ SPOJE
D2			TVAROVO-TAVNÝ	1 - ORIENTOVAŤ 2 - PRILOŽIŤ 3 - TLAČIŤ 4 - TAVIŤ	BODOVÉ ZVAROVANIE
D3			TVAROVO-PLASTICKÝ	1 - ORIENTOVAŤ 2 - ZASUNÚŤ 3 - TLAČIŤ 4 - ROTOVAŤ	ROTAČNÉ NITOVANIE
D4			TVAROVO-ELASTICKÝ	1 - ORIENTOVAŤ 2 - UCHYTIŤ 3 - SKRUTKOVAŤ 4 - UTAHOVAŤ	SKRUTKOVANIE

Obr. 3.44 Klasifikácia montážnych spojov

Výsledkom je konštrukcia výrobku, ktorá má vysokú montážnu kvalitu. Túto kvalitu môžeme charakterizovať týmito ukazovateľmi:

1. Pomer počtu skutočných súčiastok k teoreticky minimálnemu počtu alebo vzhľadom na staršiemu výrobku.
2. Absolútna úspora počtu súčiastok vzhľadom na porovnateľný starší výrobok.
3. Počet úkonov potrebných na orientáciu a montáž ako ukazovateľ zložitosti.
4. Súčet potrebných otáčok na orientáciu a montáž ako ukazovateľ rotačnej práce.
5. Súčet potrebných translačných dráh (mm) na montáž ako ukazovateľ translačnej práce.
6. Verbálnym opisom prínosov, ktoré nie je možné kvantifikovať [128].

## 4. MONTÁŽNE TECHNOLOGIE

### 4.1 KLASIFIKÁCIA MONTÁŽNYCH TECHNOLOGIÍ

Dobrá klasifikáciu ponúka norma DIN 8593 [128]. Namiesto neohraničeného pojmu "technológia" norma hovorí 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). **Treťí spoj.**
- c) Materiálovým prienikom (zváranie, spájkovanie). **Materiálový spoj.**
- d) Adhéznymi silami (lepenie). **Adhézny spoj.**

Pri zaplňovaní objemov tekutými a sypkými látkami nehovoríme o spojovaní, ale o plnení. Výsledkom striekania a máčania (laku) je adhézny spoj [66].

### 4.2 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 časností,
- spojovacích činností,
- kontrolných činností [138].

Spojovacie činnosti majú veľký podiel na prácnosti montáže. V minulosti sa percentuálny podiel prácnosti 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 prácnosť klesá, majú stále významný vplyv na výslednú prácnosť. Práve pre tú skutočnosť je potrebné si problematiku spojov dôkladne priblížiť.

#### 4.2.1 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% kuželových 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 [66].

#### Rozdelenie podľa konštrukcie a prevádzkových podmienok:

Všeobecne si ich možno rozdeliť do dvoch základných skupín.

- **Rozoberateľné spojenia** sú také, ktoré môžeme bez poškodenia alebo bez deformácie spojovaných súčiastok uvoľniť a znovu spojiť.
- **Nerозoberateľné 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 nerозoberateľnosť je podmienená určitým okolnostiam (faktorom).

- **Podmienené rozoberateľné spojenia** sú také spojenia, ktoré sú za určitých podmienok rozoberateľné. Dajú sa však iba niekoľkokrát rozobrať a opätovne zložiť.
- **Podmienené nerозoberateľné spojenia** sú také spojenia, ktoré sú za určitých podmienok nerозoberateľné.

K podmienkam, ktoré ovplyvňujú rozoberateľnosť, patrí najmä 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 príde 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 podmienené 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: ložiská, 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.

### Dôležité je aj rozdelenie podľa použitia spojovacieho elementu:

- **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, t. j. 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). V priebehu rokov pribúdajú rôzne nové technologické riešenia spojov, my sme sa rozhodli uviesť 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 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 s **použitím sprostredkujúceho materiálu** je medzi spojovanými súčiastkami spojovací materiál. Ide o spoje realizované zvaraním, spájkovaním, lepením a pod. Môžu byť celkové a miestne [66].

Realizovanie mnohých horeuvedených operácií nevyžaduje zvláštne materiálovo - technologické znalosti. Z uvedeného dôvodu budú ďalej podrobnejšie analyzované 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 [130].

Z predchádzajúcej klasifikácie vieme, že spoje ako také môžu byť vyhotovené rozmanitými spôsobmi, ktoré sú založené na rôznych princípoch. Za najdôležitejší princíp považujeme rozdelenie na základe ich rozoberateľnosti. A preto budeme postupovať podľa tohto princípu. Ako prvé si teda priblížime rozoberateľné spoje.

#### 4.2.2 Rozoberateľné spoje

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

##### 4.2.2.1 Skrutkové spoje

Skrutkové spoje patria medzi najčastejšie používané rozoberateľné spoje, a to preto, 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 je založený na kombinovanom princípe. Tvorí ho kombinácia tvarového a silového (trečieho) spoja.

Skrutkové spojenia sú charakteristické týmito vlastnosťami:

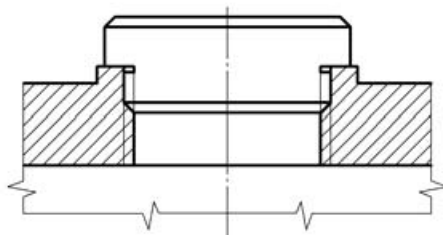
- jednoduchosť a spoľahlivosť spoja,

- 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 (137).

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

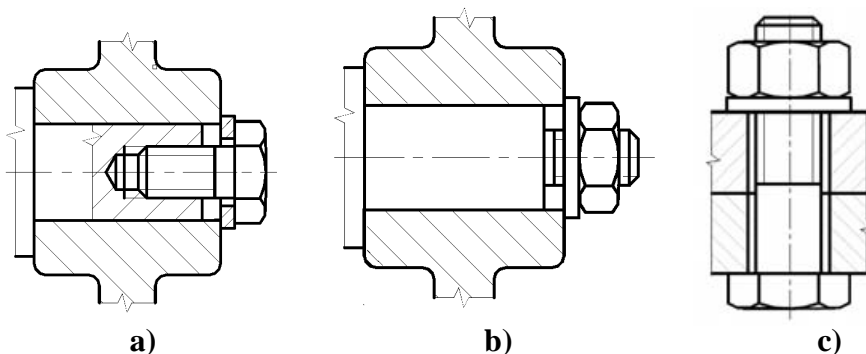
- priame skrutkové spoje,
- nepriame skrutkové spoje.

Pri **priamych skrutkových spojoch** je umiestnený nosný závit priamo na spojovaných súčiastkach. Ako príklad môžeme uviesť veko na obr. 4.1.



*Obr. 4.1 Príklad priameho skrutkového spoja (veko)*

**Nepriame skrutkové spoje** sa používajú ako spojovacie elementy skrutky a matice. To znamená, že spojovaciu silu vytvára závit umiestnený na spojovacích elementoch. Spoj môže byť realizovaný pomocou súčiastky, na ktorej je závit a skrutky alebo matice, ale častokrát spoj pozostáva z oboch elementov (obr.4.2).



*Obr. 4.2 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.*

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.

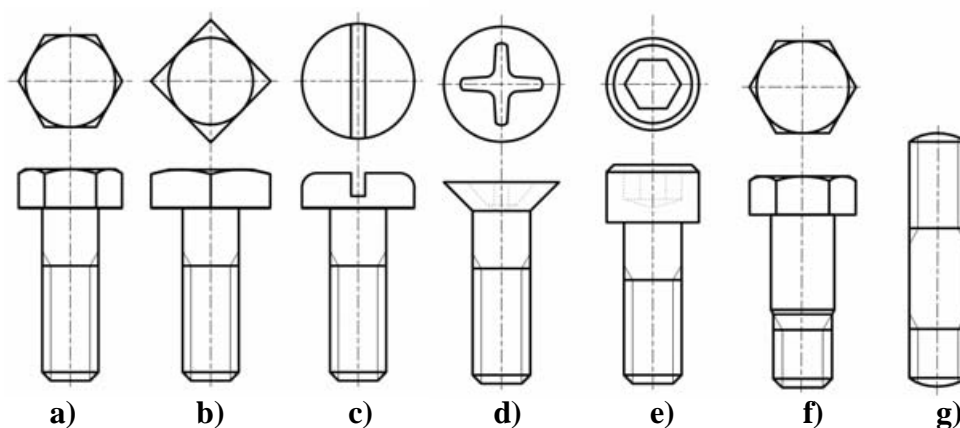
Skrutky sa používajú na spojenie jednej alebo viacerých častí, na nastavenie vzájomnej polohy súčiastok, prípadne na zmenu krútiaceho momentu na osovú silu (pohyblivé skrutky). Dôležitým faktom je, že skrutky a matice sú **normalizované**. Ich konštrukčné vyhotovenie je závislé od účelu použitia, tvaru a materiálu spojovaných častí. Skrutky a matice 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 a zliatiny hliníka, ale aj z plastických materiálov [77].

V dnešnej dobe sú badateľné tendencie používať materiál stále vyššej pevnosti. To vedie k miniaturizácii nielen skrutkového spoja, ale aj celej konštrukcie výrobku [130].

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

Na nasledujúcich obrázkoch 4.3 až 4.5 môžeme vidieť základnú realizáciu skrutiek, matíc a podložiek.

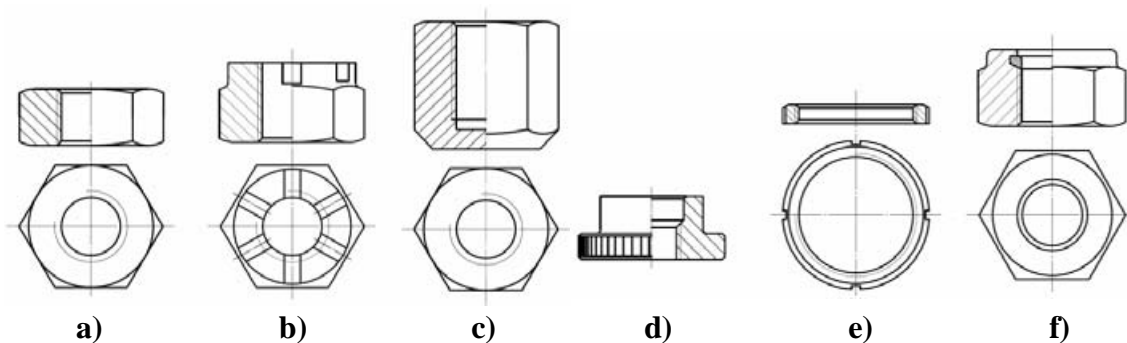


**Obr. 4.3** Rôzne typy skrutiek

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,

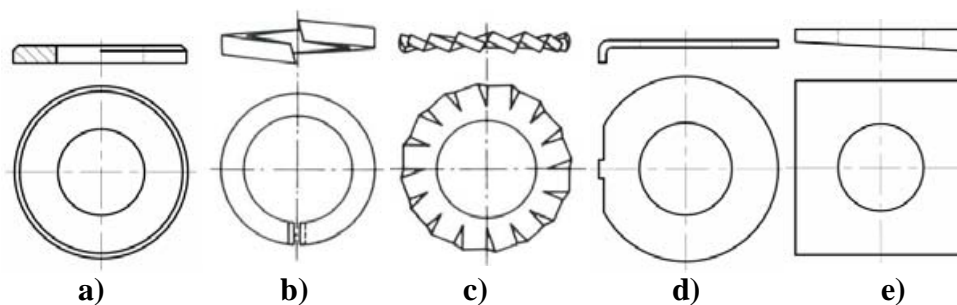
f) lícovaná skrutka, g) závrtná skrutka.



**Obr. 4.4** Základné typy matíc

a) presná šesťhranná matica, b) korunová matica, c) uzavretá matica, d) ryhovaná matica,

e) upínacia a sťahovacia matica KM, f) samopoistná šesťhranná matica.



Obr.4.5 Základné typy podložiek

- a) podložka na skrutky so šesťhrannou hlavou, b) pružná podložka, c) vejárová podložka, d) poistná podložka s nosom, e) šikmá podložka.

#### 4.2.2.2 Zaťaženie skrutkového spoja

Skrutkový spoj zachytáva zaťažujúce sily iba vtedy ak v ňom vznikne dostatočná zverná sila  $F_{zv}$ . Pritom platí zásada, že uťahovaním sa nesmie prekročiť medza pružnosti všetkých prvkov skrutkového spoja. Z toho dôvodu je nutné pracovať v pružnej oblasti, kde uťahovaním 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 veľa prípadoch ide o premenlivé nestacionárne zaťaženie vyvolané vonkajšou silou  $F$ . Podiel vonkajšej sily na zaťažení skrutky  $F_v$  určuje súčiniteľ  $\eta$ , ktorého veľkosť pre spoje bežnej konštrukcie sa pohybuje v intervale 0,2 až 0,3.

$$F_{zv} = F_0 + F_v = F_0 + \eta \cdot F \quad (10)$$

Spoj môže vytvárať jedna skrutka 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  $\sigma_o$  a krútiaci moment  $\tau$ . Potom celkové napätie je:

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad (11)$$

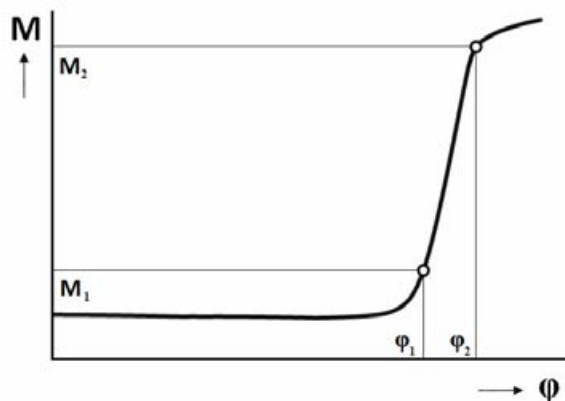
Skrutkový spoj musí spĺňať zásady bezpečnosti, ktoré sú vyjadrené súčiniteľom bezpečnosti  $k_b$ . Tento súčiniteľ by sa mal nachádzať v intervale 1,5 až 3,0 (134).

$$k_b = \frac{R_e}{\sigma_c} \quad (12)$$

#### 4.2.2.3 Metódy uťahovania

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 bežne bude výhodné uťahovať skrutky až pod medzu tečenia materiálu.

Mierou kvality utiahnutia skrutky nie je teda uťahovací moment, ale osová sila, resp. osovú napätie. Na obr. 4.6 je typická závislosť uťahovacieho momentu  $M$  od uhla otočenia kľúča  $\varphi$  pre tzv. tvrdé spoje.



Obr. 4.6 Závislosť momentu  $M$  a uhla uťahovania pre tvrdý spoj

Proces vlastného uťahovania sa začína pri prahovom uhle  $\varphi$  a jemu zodpovedajúcim prahovom momente  $M_1$ . Najprv je uvedená závislosť lineárna, lebo osovú napätie je v oblasti pružnej deformácie. Pri uhle  $\varphi_2$  a momente  $M_2$  začne materiál tiecť, začína sa plastická deformácia. Tu treba proces uťahovania prerušiť, inak hrozí trvalá deformácia a pretrhnutie skrutky [130].

Dnes existujú tri 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.

Prvá časť privádzaného momentu sa spotrebuje na prekonanie trenia a radiálnu deformáciu závitú (najmä 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 [130].

#### Uhlová metóda

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.

Z princípu metódy vyplýva, že veľkosť zvernej sily je kontrolovaná pomocou natiahnutia skrutky, čo je vierohodnejšia metóda ako kontrola tejto sily prostredníctvom privádzaného momentu, kde nekontrolovateľná časť momentu sa spotrebuje na trenie a deformácie a len zvyšok sa "premení" na zvernú silu.

Metóda je využiteľná na tie významné spoje, pri 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 motora [130].

## Gradientová metóda

Dá sa realizovať len na univerzálnom uťahovacom systéme vybavenom snímačom momentu, snímačom uhla a rýchlym odpínačom prívodu energie do motora. Po dosiahnutí prahového momentu sa sníma závislosť momentu a uhlu. Proces uťahovania sa preruší, keď sa derivácia (gradient) tejto závislosti náhle poklesne, čo znamená, že napätie v skrutke dosiahlo medzi 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. (napr. zakúsnutie matky do skrutky pred jej utiahnutím, menšia než dovolená pevnosť materiálu a pod). Druh tejto chyby môže byť priamo vypísaný na monitore. Pri uhlovej i momentovej metóde môže byť generovaný výpis o nameraných hodnotách momentov a uhlov a iných výsledkov súvisiacich s kvalitou uťahovania. Počítač môže generovať i štatistické údaje dosiahnuté za hodinu, zmenu a pod.

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

Jediná možnosť kontroly kvality uťahovania je merať moment počas uťahovania priamo "na kľúči", napr. tenzometrickým snímačom. Proces uťahovania 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 napr. od toho, či skrutkovač drží človek slabý alebo silný, od tuhosti rámu, v ktorom 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 impulzové rotačné rázy. Veľkosť uťahovacieho momentu nie je tu závislá len od predpätia spojky, ale i od času preskakovania, ktorý sa však riadi len podľa citu robotníka. Uvedené nevýhody veľkého rozptylu majú hlavne tzv. impulzové uťahováky, v ktorých je veľkosť momentu daná počtom a intenzitou rotačných rázov rotačných kladíviek na rotujúci rotor. Túto nevýhodu klasických impulzových uťahovákov eliminujú vstavané počítadlá impulzových rázov alebo torzové vložky medzi motor a kľúč, ktorými sa bráni, aby uťahovací moment prekročil hodnotu limitujúcu tuhosť použitej vložky (uťahováky fir. BOSCH, ATLAS, COPCO a i.).

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

- presný snímač uťahovacieho momentu (napr. tenzometrický),
- snímač uhla otočenia,
- rýchly odpínač prívodu 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 uťahovať nielen presnou momentovou metódou, ale i ďalej opísanými metódami: uhlovou a gradientovou. Takýto systém je však nákladný, a preto sa

využíva zatiaľ najmä na uťahovanie silových spojov, na ktoré sa kladú mimoriadne nároky. Sú to napr. skrutkové spoje na uchytenie hlavy valcov spaľovacieho motora, spojenie dvoch častí ojníc a iné.

Na uťahovanie "nesilových" skrutiek (cca do M6) sa hľadajú menej zložité uťahovacie systémy. Pretrváva tu ešte momentová metóda uťahovania, avšak miesto nepresných rapkáčových spojok sa stále viac začínajú presadzovať spojky, ktoré pri dosiahnutí želaného momentu odpoja prívod energie do motora, prípadne i mechanicky odpoja kľúč od motora a prevodovky. Nazvime tieto spojky odpínacie spojky.

Na niektoré druhy spojov sa osvedčil najjednoduchší priamy náhon kľúča motorom, pričom uťahovací moment je limitovaný maximálnym momentom motora, daný alebo tlakom vzduchu pneumatického motora, alebo hraničným prúdom v kotve či statore jednosmerného motora. Voľba spojky závisí od tvaru uťahovacej krivky (obr. 4.6) danej tvrdosťou spoja.

Výrobcovia náradia uvádzajú v prospektoch charakteristické spoje, ich uťahovacie krivky a odporúčané druhy spojok. Z tabuliek je zrejmé, že najuniverzálnejšie vlastnosti má odopínacia spojka.

Staré príručky uvádzali smerné hodnoty uťahovacích momentov na rôzne priemery a materiály metrických skrutiek Uvedieme výťah z takejto tabuľky :

Tab.4.1 Smerné hodnoty uťahovacích momentov pre bežné metrické skrutky v Nm [130].

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 uťahovania skrutiek a na jeho základe vydávajú obsiahle tabuľky odporúčaných hodnôt nielen momentov, ale i zverných síl vo vzťahu k priemeru závitu a materiálu skrutky, ako aj vo vzťahu k použitému mazivu (ak je použité) a k druhu povrchovej úpravy závitu, ktoré ovplyvňujú koeficient trenia [130].

#### 4.2.2.4 Sadanie skrutkového spoja

Bolo zistené, že osová zverná sila v skrutke po krátkej prevádzke nekontrolovateľne poklesne. Tento jav pznačuje ako "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. pulzovým uťahovaním, napr. tak, že skrutka sa viackrát utiahne a povolí alebo moment je do skrutky privádzaný "po skokoch" [130].

#### 4.2.2.5 Uvoľňovanie skrutkového spoja

Uvoľnenie skrutkového spoja je najčastejšou príčinou porúch a havárií strojníckych 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



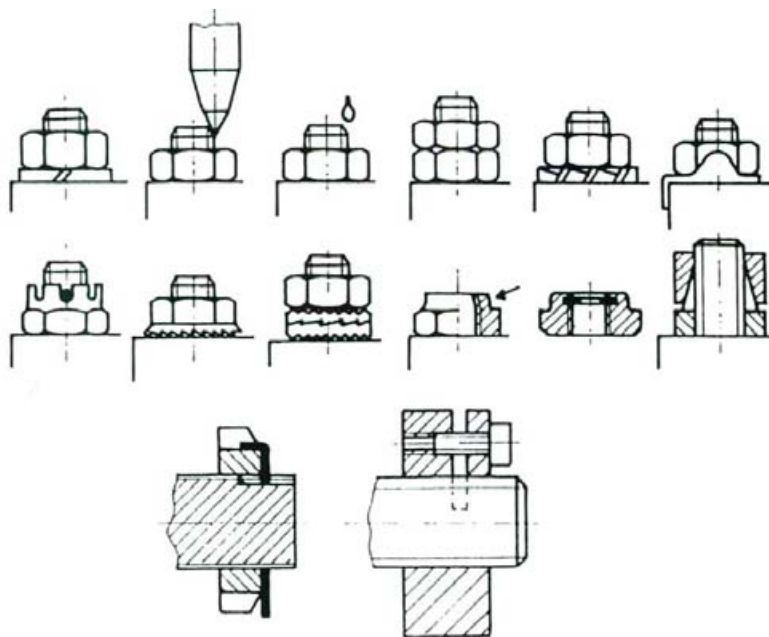
boli osvetlené až v 70-tych rokoch. Bolo zistené, že príčinou uvoľnenia sú najmä kmity spojovaných častí.

Dve pásnice boli zoskrutkované skrutkou a pulzovo namáhané ťahovými silami (vibrátor). Všeobecne koeficient trenia nie je pod celou matkou rovnaký a čelo matky bežne nie je rovnobežné s pásnicou. Elementárne trecie sily pod matkou nie sú preto rovnaké v celej dotykovej časti, preto účinkom pulzových síl sa vytvára moment pôsobiaci na matku v smere uvoľňovania alebo ťahovania.

Častejší je prípad samouvoľňovania, lebo na uvoľnenie treba menší moment ako na ďalšie utiahnutie. Boli skúšané všetky bežne známe spôsoby poistenia na zube listu.

Niektoré z nich sú na obr. 4.7. Ako je vidieť na obrázku, existujú rôzne varianty poistenia, ktoré sú založené na viacerých princípoch. Môžeme ich zadeliť do piatich skupín podľa použitého poistovacieho 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 lepidlom c).



**Obr. 4.7** Spôsoby poistenia skrutkových spojov

a) pružná (perová) 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.

Prekvapivé výsledky boli zistené pri veľmi častom poistení tzv. "perovou podložkou". Ukázalo sa, že pri vibračných skúškach sa spoj s touto podložkou uvoľnil zhruba po tom

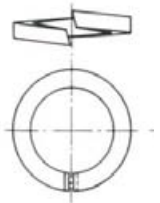
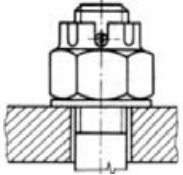
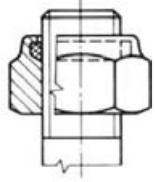
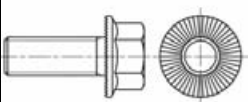
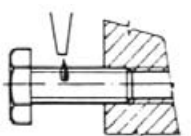
istom počte kmitov ako spoj bez podložky za inak rovnakých podmienok (rovnaká skrutka, rovnaká zverná sila a i.).

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

Prekvapivo dobré samoistiace vlastnosti boli dosiahnuté pri poistení lepidlom. Uspokojivé vlastnosti majú poistenia založené na zakúsnutí zubov do protikusu, narušenie protikusu vedie však k rýchlej korózií.

Ako výsledok týchto výskumov vznikla tabuľka odporučaní na voľbu poistných prvkov Tab.4.2 [130].

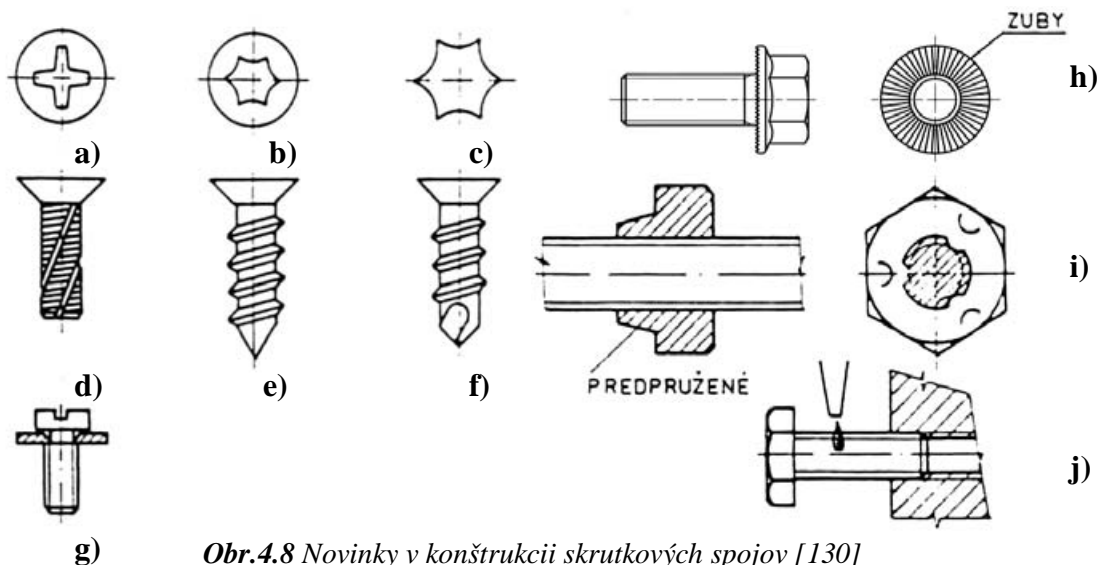
Tab.4.2 Poistné vlastnosti rôznych poistných prvkov podľa Strelowa [130].

Skupina	Príklad	Druhy elementov	Poistné vlastnosti	Opakovateľnosť použitia
pružné prvky predopnuté osovou silou		<ul style="list-style-type: none"> <li>pružné krúžky</li> <li>pružné podložky</li> <li>zubové podložky</li> <li>vejárové podložky</li> </ul>	žiadne poistné účinky v skrutkách pevnosti 5,6	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>tanierové podložky</li> <li>jednostranne vyhnuté</li> <li>dvojstranne vyhnuté</li> </ul>	poistenie proti strate predpätia účinné pri axiálne napnutých krátkych skrutkách	áno
prvky s tvarovým poistením		<ul style="list-style-type: none"> <li>plechové jazýčkové podložky</li> <li>podložky s nosom</li> <li>korunové matky so závlačkou</li> </ul>	poistenie proti strate matky pri trvale namáhané spoje nižších pevnostných tried	áno
prvky so silovým poistením		<ul style="list-style-type: none"> <li>samopoistné matice</li> <li>skrutky s plastovými vložkami v záвите</li> </ul>	poistenie proti strate matice	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>kontramatice</li> <li>poistné matice</li> </ul>	bez zaručených poistných účinkov matka sa môže úplne vyskrutkovať	
prvky zakusovacie		<ul style="list-style-type: none"> <li>zubové skrutky a matice</li> </ul>	poistenie proti otočeniu, ak protikus je tvrdý, nepoistujú, zuby sa nezahryznú (HRC 40)	áno
prvky poistujúce lepidlom		<ul style="list-style-type: none"> <li>lepidlo v dutinách pórovitej látky</li> </ul>	poistenie proti otečeniu výnimka: teplota 160°C	3 krát
		<ul style="list-style-type: none"> <li>lepidlo z tuby</li> </ul>	poistenie proti otečeniu	nie
		<ul style="list-style-type: none"> <li>silikónová pasta v závitoch</li> </ul>	poistenie proti strate	áno

#### 4.2.2.6 Nové konštrukcie skrutkových spojov

Štandardné skrutkové spoje sme uviedli v predchádzajúcich kapitolách. V tejto kapitole upozorníme na menej známe novinky, ktoré sa už postupne stávajú súčasťou národných a medzinárodných noriem. Na obr. 4.8 sú niektoré takéto novinky v konštrukcii skrutkových

spojov. Nové tvary hláv sledujú väčšiu odolnosť hlavy proti odtláčaniu kľúčom, než akú majú "klasické" drážky a šesťhrany (obr. 4.8 a, b, c). Nové tvary závitov umožňujú, aby si skrutka sama rezala závit (obr. 4.8 d, e) alebo aj vrtala otvor (obr. 4.8 f).



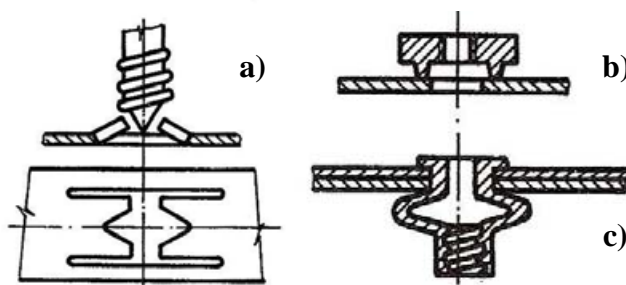
**Obr.4.8** Novinky v konštrukcii skrutkových spojov [130]

a), b), c) nové typy hláv, d), e), f) nové tvary závitov, g) bezstratové podložky,

h) poistenie zaseknutím zubov, i) poistenie predpružením, j) poistenie lepidlom.

Skrutky s bezstratovými podložkami vyrábajú skrutkárne tak, že až po navlečení podložky valcujú závit (obr. 4.8 g). Za veľmi účinné sa považuje poistenie kalenými pílovými zubami na čele skrutky alebo matice. Nevýhodou je poškodenie povrchovej ochrany zvieranej súčiastky (hrdzavenie) (obr. 4.8 h). Mnohé matky sú vyrábané tak, že majú na troch miestach stlačený krčok, čo slúži na poistenie (obr. 4.8 i). Poisťovanie lepidlom sa aplikuje kvapnutím lepidla (obr. 4.8 j) alebo výrobca máča skrutky v špeciálnom roztoku. Po stuhnutí je na závite pórovitá hmota s dutinkami, v ktorých je lepidlo, a to sa uvoľní pri skrutkovaní.

V súvislosti so znižovaním hmotnosti konštrukcií sa prechádza na konštrukcie z plechu. Známe skrutky do plechu si tvoria v plechu závit veľmi málo tuhý, ktorý je často prekrútený alebo sa poškodí hrdzou. Snahy o vytvorenie lacného a hodnotnejšieho závitú sú zrejme z obrázkov k, l, m, n (obr. 4.9).



**Obr. 4.9** Ekonomické vyhotovenie matíc [6]

a) matice vyseknuté do plechu, b) matice k plechu odporovo privarené,

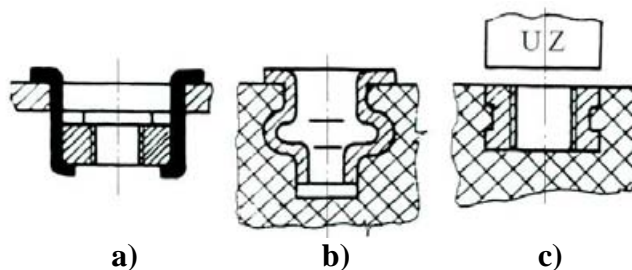
c) matice jednostranne prinitované (nit matica).

Na nižšie uvedenom obrázku (obr. 4.10) sú podrobnejšie ilustrované novinky v konštrukcii malých skrutiek.

Na obr. 4.11 je ďalšia konštrukcia matice vytvorená spojením s plechom (obr. 4.11 a) a tiež matice zapracované do plastových súčiastok (obr. 4.11 b, c). Tieto tzv. závitové vložky sa do plastov zalievajú. Ich vkladanie do horúcich foriem bolo nepríjemné, často ich závitové boli zaliate plastom. Výhodnejšie je zatlačenie tejto vložky do plastového odliatku nástrojom rozkmitávaným ultrazvukom (obr. 4.11 c), alebo sú vložky zakotvené v plaste ich deformáciou (obr. 4.11 b) [130].



**Obr. 4.10** Novinky v konštrukcii malých skrutiek [6]



**Obr. 4.11** Novinky v konštrukcii matíc [130]

- a) matice vložené do plechu, b) matice deformované v plaste,  
c) matice vkladané do plastu za pomoci ultrazvuku.

#### 4.2.2.7 Realizácia skrutkového spoja

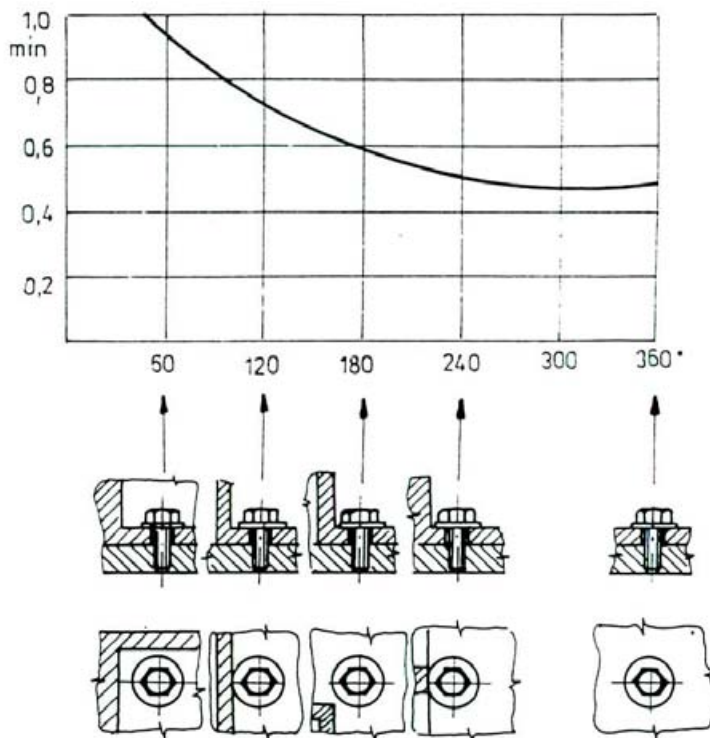
Skrutkové spoje predstavujú 20 – 30 % z celkovej prácnosti realizovaných montážnych prác. Realizácia skrutkového spoja si vyžaduje nasledovné etapy:

- 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 sa realizuje kombinovaným pohybom (kombinácia translačného a rotačného pohybu) na požadovanú vzdialenosť.
- Doťahovanie, 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. Na to, aby sa mohla realizovať táto etapa, je potrebné zabezpečiť takú orientáciu skrutky a matice, pri ktorej je polohovanie počiatkových bodov stúpaním ich závitov. Vzájomná poloha sa pritom realizuje tak, že počiatkový bod stúpania závitov skrutky sa

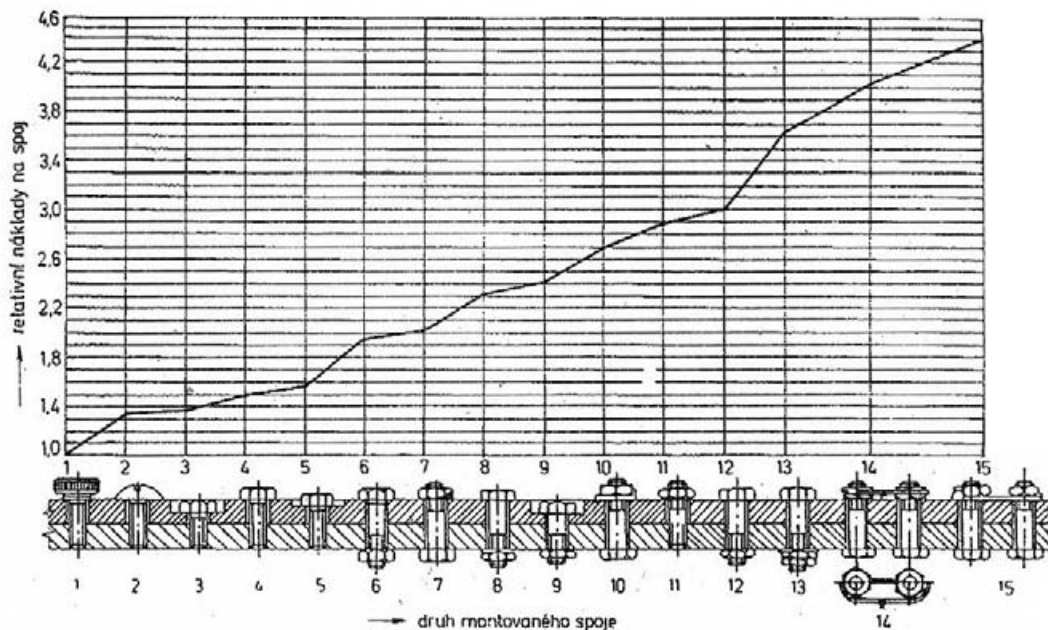
dostáva pod počiatočný bod stúpania závitú matice, teda do zodpovedajúcej závitovej medzery [66].

Na obr. 4.12 je závislosť prácnosti (v minútach) skrutkovania od priestoru na otáčanie ručného kľúča.



Obr. 4.12 Prácnosť montáže v závislosti od priestoru [130].

Ako vieme, jedným z najdôležitejších faktorov, ktoré ovplyvňujú výber typu skrutkového spoja, sú jeho relatívne náklady na realizáciu. Na obr. 4.13 je znázornená závislosť relatívnych nákladov od druhu spoja.



Obr. 4.13 Vplyv realizácie spoja na veľkosť nákladov [138]

## 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 driek skrutky sa valcuje závit, čím sa vonkajší priemer drieku zväčší a podložka už nevypadne. Štvorcové podložky na uchytenie elektrických vodičov sa poistujú proti vypadnutiu miestnym rozdrvením drieku.

Ak je to možné, vytvárame pre podložky lôžka na výrobku, aby podložky ostali na svojom mieste i počas presúvania výrobku na ďalšiu operáciu (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 závitú udržal elektrický spoj na ochranu zemnením.

Príslušné normy sa však neopierajú o preukázateľné experimentálne dôkazy, a preto treba sa usilovať o ich revíziu opierajúcu sa o experimentálny výskum [130].

### Výkresy výrobkov so skrutkovými spojmami.

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 uhla ťahovania na ťahovacom nástroji.

Pri spojoch zvlášť náročných na ťahovanie (napr. skrutky hláv spaľovacích motorov) sa používa postupná kombinácia rôznych metód ťahovania (momentová, uhlová, gradientová, pulzová) 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 od kvality konštrukcie skrutkových spojov, metód ich utiahnutia a poistenia [130].

### 4.2.3 Pružné (elastické) spoje

Pri pružných spojoch sa využíva pružnosť 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 príchytiek, klinové spoje, atď.

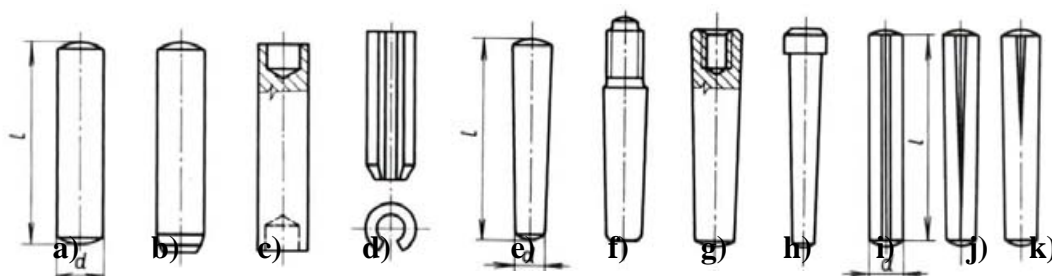
#### B - Pružné tvarové spoje

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.

## 4.2.3.1 Pružné trecie 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. 4.14.

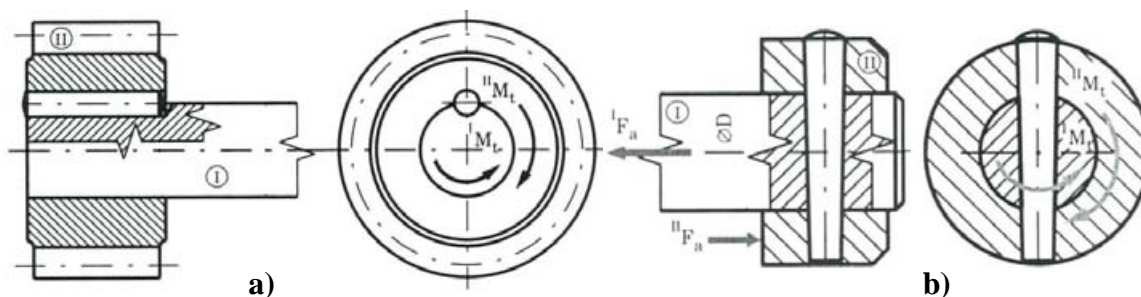


**Obr.4.14** Základné druhy kolíkov [11]

- 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 závitom,  
 g) kužeľový kolík s vnútorným závitom, h) kužeľový kolík s hlavou, i) ryhovaný kolík,  
 j) ryhovaný kužeľový kolík, k) ryhovaný kužeľový kolík do polovice drieku.

Na pevné kolíky (a), b), c), e), f), g), h) ) je potrebné dieru zhotoviť vrtaním s následným vystružovaním. Na 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.15).



**Obr. 4.15** Namáhanie kolíkov [57]

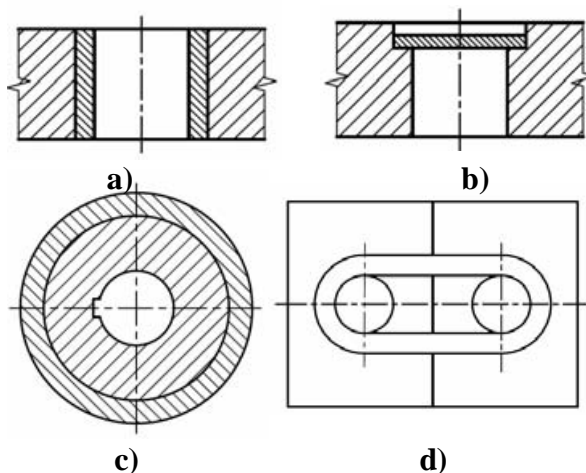
- a) pozdĺž osi, b) priečne na os.

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 z hliníka 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, najmä 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. 4.16.



**Obr. 4.16** Príklady lisovaných spojov [130]

a) puzdro zalisované za tepla, b) zátka zalisovaná po podchladení,

c) obruč kola lisovaná za tepla, d) strmeň montovaný za tepla.

Lisovaný spoj je rozoberateľný alebo nerozoberateľný spoj dvoch súčiastok vytvorený tak, že jedna súčiastka je s presahom zatlačená do druhej. Podmienene rozoberateľný spoj je možné len niekoľkokrát rozobrať a znova zmontovať.

Zalisovanie sa môže dosiahnuť staticky (súvislým tlačením) alebo dynamicky (napr. údermi kladiva). Zdrojom lisovacej sily pri súvislom tlačení môže byť skrutkový mechanizmus s ručným pohonom, pneumatický alebo hydraulický valec, prípadne kombinovaný s kolenovým mechanizmom, elektromotor s prevodovkou a kľukovým mechanizmom, energia výbuchu pôsobiaca na piest valca, tlaková vlna v kvapaline vyvolaná elektrickým výbojom (elektrohydraulický efekt), elektromagnetické pole a iné.

Potrebné zverné spojenie možno dosiahnuť nielen zalisovaním, ale i využitím tepelnej rozťažnosti tak, že sa dočasne umelo vytvorí veľký rozdiel teplôt spojovaných častí, napr. ohriatím, respektíve ochladením.

### Pred zalisovaním sa odporúča:

- opatriť 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. kadminovanie,
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.

Na podchladzovanie sa používajú chladničky, kde sa dá dosiahnuť až  $-100^{\circ}\text{C}$ . Ide o nákladný proces. Iný spôsob podchladzovania je uloženie súčiastok do nádob obklopených tekutým plynom (indirektné chladenie). Teploty a odparené teploty týchto plynov sú v tab. 4.3.

Tab. 4.3 Teplota a odparené teploty chladiacich plynov [130].

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

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

Doba chladenia závisí od hrúbky 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 sú metódy ohrievania vonkajších častí.

Tab. 4.4 Metódy ohrevu [130].

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 vodný 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

#### Výhody tepelného roztáhovania sú:

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

#### Nevýhody sú:

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

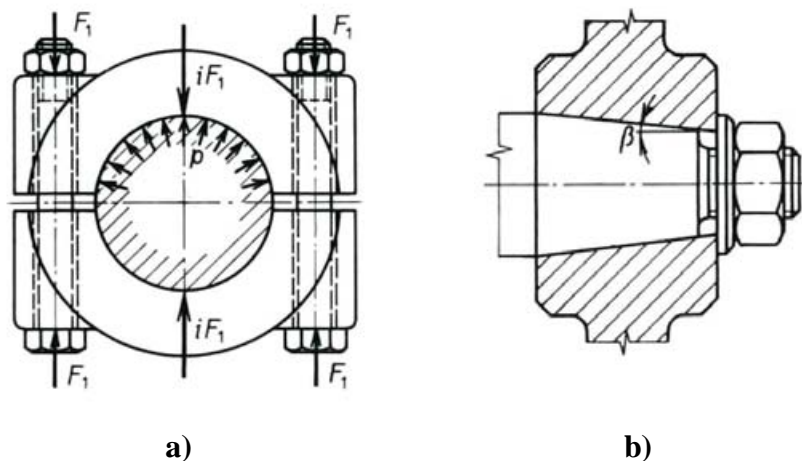
#### Výhody teplotného spájania oproti lisovaniu:

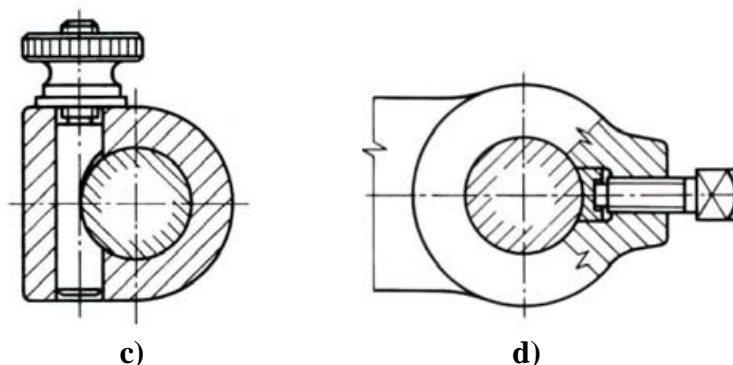
- súčiastky sa spájajú s vôľou, preto sa nepoškodia,
- súčiastky sú suché (bez maziva), a preto sa dosiahne 2 - až 3- násobná sila spoja.

#### Zverné spoje

Zverný spoj slúži na pevné a ľahko rozoberateľné spojenie 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 4.17 sú uvedené príklady tohto druhu spoja.





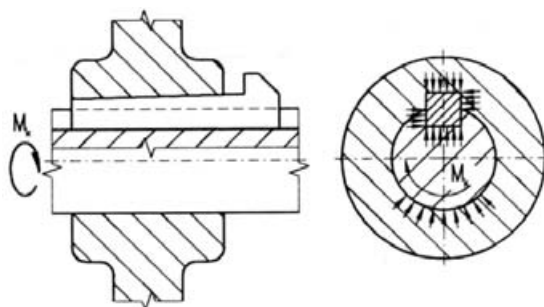
**Obr. 4.17** Príklady zverných spojov [11]

a) spojenie delením nábojom, b) spoj kužeľovým čapom, c) spoj pomocou vybraného čapu (ťahaní do druhej časti pomocou matice), d) spoj perom (pritláčané skrutkou).

### Klinové spoje

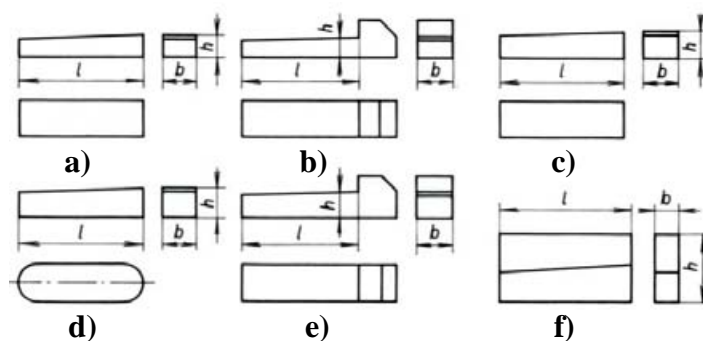
Kliny sa používajú najmä na pevné a rozoberateľné spojenie náboja s hriadeľom. Tento spoj je vhodný na prenášanie krútiacich momentov.

Spojenie ale nie je presné, a to preto, že dochádza k vysoveniu náboja voči hriadeľu, a tak tento typ spojenia nie je vhodný pre hriadele uložené vo valivých ložiskách. Tiež nie sú vhodné na prenášanie striedavého krútiaceho momentu, a to preto, že šírka drážky nie je lícovaná s klinom. Princíp klinového spojenia na obr. 4.18.



**Obr. 4.18** Princíp spojenia za pomoci klina [11]

Kliny majú rôznu konštrukciu, základné typy sú zobrazené na obr. 4.19.

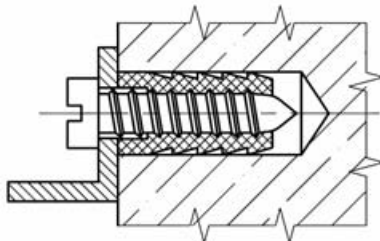


**Obr. 4.19** Druhy klinov [11]

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

### Spoje príchytkami (hmoždinkami)

Toto spojenie je založené sa rozťahnutím plastovej vložky (hmoždinky) pomocou skrutky. Spojenie príchytka (hmoždinka) sa používa na montovanie (prichytávanie) rôznych konštrukcií na steny. Podľa druhu steny sa mení tvar a princíp rozťahnutia (zakliesnenia) v stene. Na obr. 4.20 je zobrazená základná konštrukcia spoju pomocou hmoždinky.

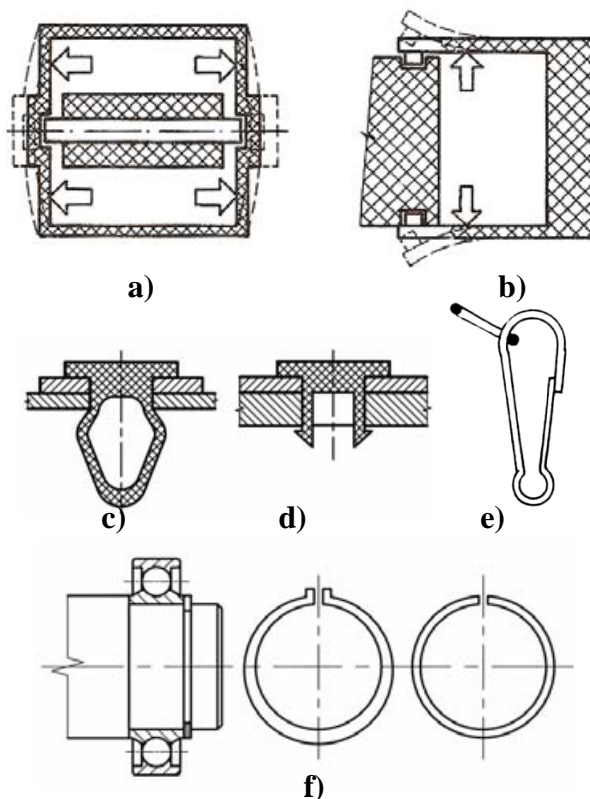


**Obr. 4.20** Spoj pomocou príchytky (hmoždinky) [130].

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

#### 4.2.3.2 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 4.21.



**Obr. 4.21** Príklady pružných tvarových spojov [130]

a), b), c), d) súčiastky z pružných plastických látok montované rukou,  
e) spona, f) pružné poistné krúžky.

Spoje podľa obr. 4.21 a) až d) využívajú pružnosť plastov a patria medzi moderné spoje, ktorými sa podarilo nahradiť zložitejšie spoje skrutkové a nitové. Rovnako moderné sú kovové pružné prvky, napr. podľa obr. 4.21 e), f), ale i iných dômyselných konštrukcií. Oceňuje sa pri nich nenáročnosť na montážnu techniku, rýchlosť montáže a trvalá pevnosť spoja (neuvoľní sa) [130].

#### 4.2.4 Nerozoberateľné spoje

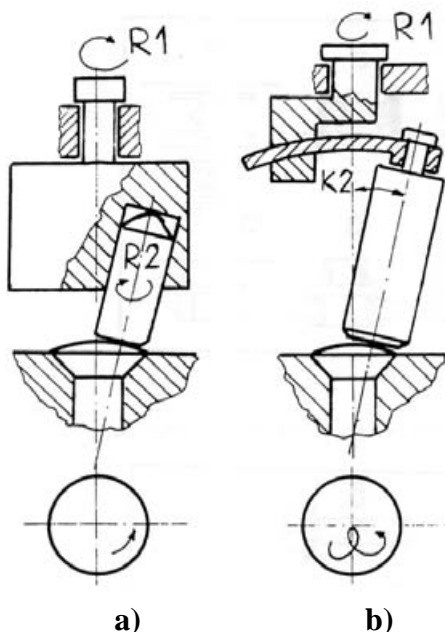
##### 4.2.4.1 Nitové spoje

Za klasické možno považovať dvojstranné nitovanie za tepla, ktoré sa používalo najmä v externej montáži mostových konštrukcií, kde bolo nahradené zvaraním. V interných montážach sa používa najmä 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, najmä 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 najmä pri konštrukcii prístrojov.

Dva známe spôsoby vytvárania hláv sú zobrazené na obr. 4.22.



Obr. 4.22 Bezhlukové nitovacie metódy [130]

a) systém TAUMEL, b) systém BRÄCKER.

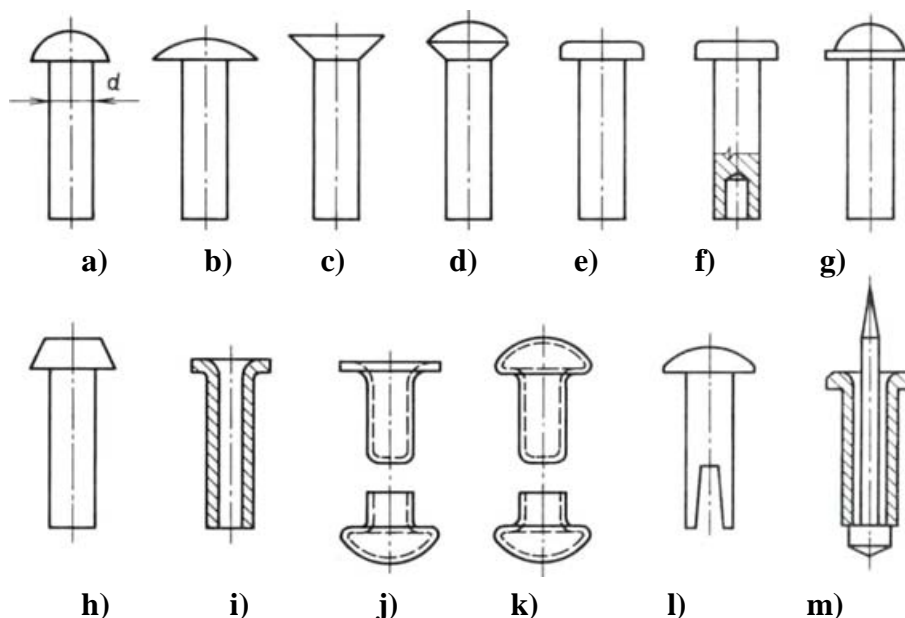
V systéme TAUMEL hlava nástroja vykonáva unášavý rotačný pohyb R1. Nástroj R2 šikmo rotačne uložený v hlave sa svojím čelom odvalčuje po hlave nitu, a preto vykonáva druhotný rotačný pohyb R2. Nástroj zanecháva na hlave stopy v podobe sústredných kružníc. Tvárnacie sily pôsobia na materiál tangenciálne 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 vytvárať, lebo tvárnený driek sa ohýba, keďže nástroj pôsobí stále zo strany drieku.

Túto nevýhodu nemá metóda BRÄCKER, v ktorej nástroj striedavo pôsobí zo strany hlavy alebo v jej osi (BRÄCKER-RADIÄL). 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. 4.23.

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, a tá vytvorí spodnú hlavu nitu (obr. 24a).



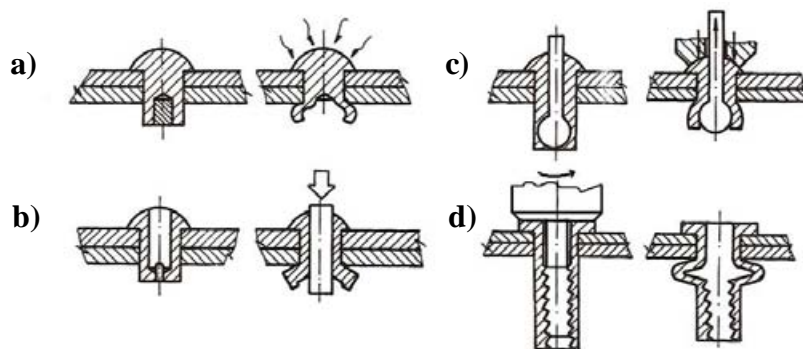
**Obr. 4.23** Základné druhy nitov [11]

- a) nit s polguľovou hlavou, b) nit s plochou polguľovou hlavou, c) zápuštný nit,  
 d) zápuštný nit so šoškovkovitou hlavou, e) nit s plochou hlavou, f) navŕtaný nit s plochou hlavou,  
 g) kotlový nit s polguľovou hlavou, h) lodný nit, i) rúrkový nit, j) dvojdielny otvorený nit, k) dvojdielny uzavretý, l) rozštiepnutý nit, m) dutý nit s trňom.

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

Na obr.4.24b je princíp nitu s kolíkom. Spodná hlava sa vytvorí narazením kolíka kladivom. Najviac sú používané nity s trhacím trňom (obr. 4.24c). 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. Na takéto prípady sú vhodné tzv. nitové matice (obr. 4.24d). Uťahovaním závitového trňa sa vytvorí spodná hlava nitu a potom sa trň vyskrutkuje.



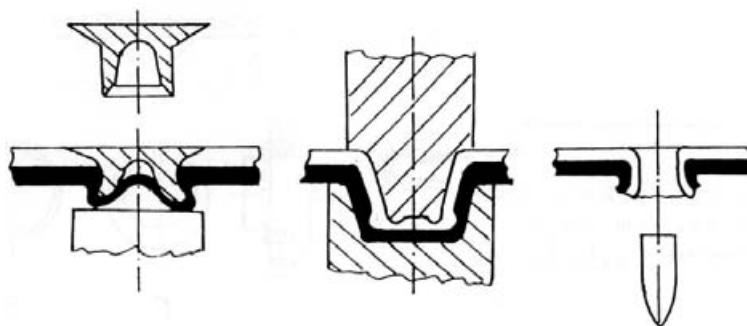
**Obr. 4.24** Bezhlukové nitovacie metódy [129]

a) jednostranné výbušné nity, b) jednostranné kolíkové nity,

c) jednostranné nity s trhacím trňom, d) ľahká jednostranná nitová hlavica.

Na obr. 4.25 sú niektoré novinky z oblasti nitovania plechov. Na obr. 4.25a 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 zospodku podopretých opierkou. Nit si sám prerazí otvor a vytvorí hermetické spojenie.

Na obr. 4.25b je spôsob nitového spojenia dvoch plechov bez potreby nitu. Zistilo sa, že po prestrelení dvoch plechov opierajúcich sa o seba niekedy príde k ich znitovaniu (obr. 25c). Hľadajú sa možnosti praktického využitia tohto javu.



**Obr. 4.25** Novinky v nitovaní [130]

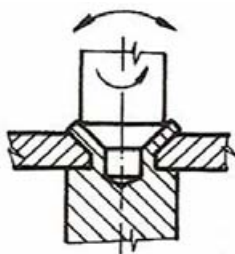
a) nitovanie RIV - SET, b) nitovanie bez potreby nitu,

c) nitovanie prestrelením.

Zváranie nahradilo nitovanie za tepla. Nitovanie za studena, najmä bezhlučné nitovanie a jednostranné nitovanie, otvára nové možnosti pre nitový spoj. Jeho výhody 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. Záverová hlava

týchto nitov sa vytvára pomocou úderov, lisovania, tlačenia, valcovania a rozopnutia. Najviac, najmä pre väčšie a plné nity, sa ešte stále používajú pneumtické 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. Pri dutých nitoch sa používa tiež tvarovanie súosovým rotujúcim kužeľovým alebo inak tvarovaným trňom (nitovací systém MERIDIAN). Tento systém je zobrazený na obr. 4.26.



Obr. 4.26 Bezhluchné nitovanie dutých nitov (systém MERIDIAN) [57]

Vzniká pritom často roztrhávanie lemu dutého nitu, čo znižuje pevnosť spoja a jeho vzhľad. Na primazávanie rotujúcich trňov sa osvedčil včelí vosk. Primazávaním sa podstatne redukuje výskyt trhlín na vytvárajúcej záverovej hlave. Plastové nity sú lacné, majú dobré elektroizolačné vlastnosti, malú mechanickú pevnosť. Záverová hlava sa vytvára v termoplastoch 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 [130].

Tab. 4.5 Porovnanie rôznych technológií nitovania podľa Bodmera [130].

Vlastnosti	Technológia nitovania			Taumel
	úderová	lisovanie	valcovanie	
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. opotrebenie nástroja	veľké	malé	veľké	malé
8. porušenie galvanických povlakov	veľké	veľké	veľké	malé
9. kvalita záverovej hlavy	dobrá	veľmi dobrá	veľmi dobrá	veľmi dobrá



## 4.2.4.2 Tvarované (plastické) spoje

Príklady tvarovaných spojov sú na obr. 4.27. Spoj sa dosiahne plastickou deformáciou jednej alebo oboch častí spoja.

Vzhľadom na veľký výskyt nitových spojov (obr. 4.27a) sme im venovali zvláštnu kapitolu. Spoje (obr. 4.27 b a c) sa zhotovujú obvykle valcovaním kladkou. Spoj d sa zhotovuje jamkárom alebo na lise. Spoje (obr. 4.27e, f, g) sú lemové (slangovo: falcové) spoje používané na výrobky z plechu. Spoje h a j sú používané v elektrotechnike. Obrázok h zobrazuje spôsob pripojenia konektorov a očiek ku koncom izolovaných vodičov. Spojenie sa dosiahne zamačnutím špeciálnymi kliešťami (pravá časť obrázku 4.27h).

V rozvádzačoch telefónnych ústrední a iných zariadení v elektronike je potrebné vzájomne poprepájať veľké počty kolíkov izolovanými vodičmi. Na tento účel sa používajú tzv. ovíjané spoje (anglicky: WIRE WRAP). Odizolovaný koniec vodiča sa tesne niekoľkokrát ovinie okolo mosadzného štvorhranného kolíka (obr. 4.27i). Na tento účel sa používa špeciálne náradie (ovíjačka) poháňané ručne alebo motoricky. V hračkárstve a v prístrojovej technike si našiel obľubu jednoduchý jazýčkový spoj (obr. 4.27j). Tvarové spoje sa používajú i na poistenie skrutkových spojov (obr. 4.27 l, m).

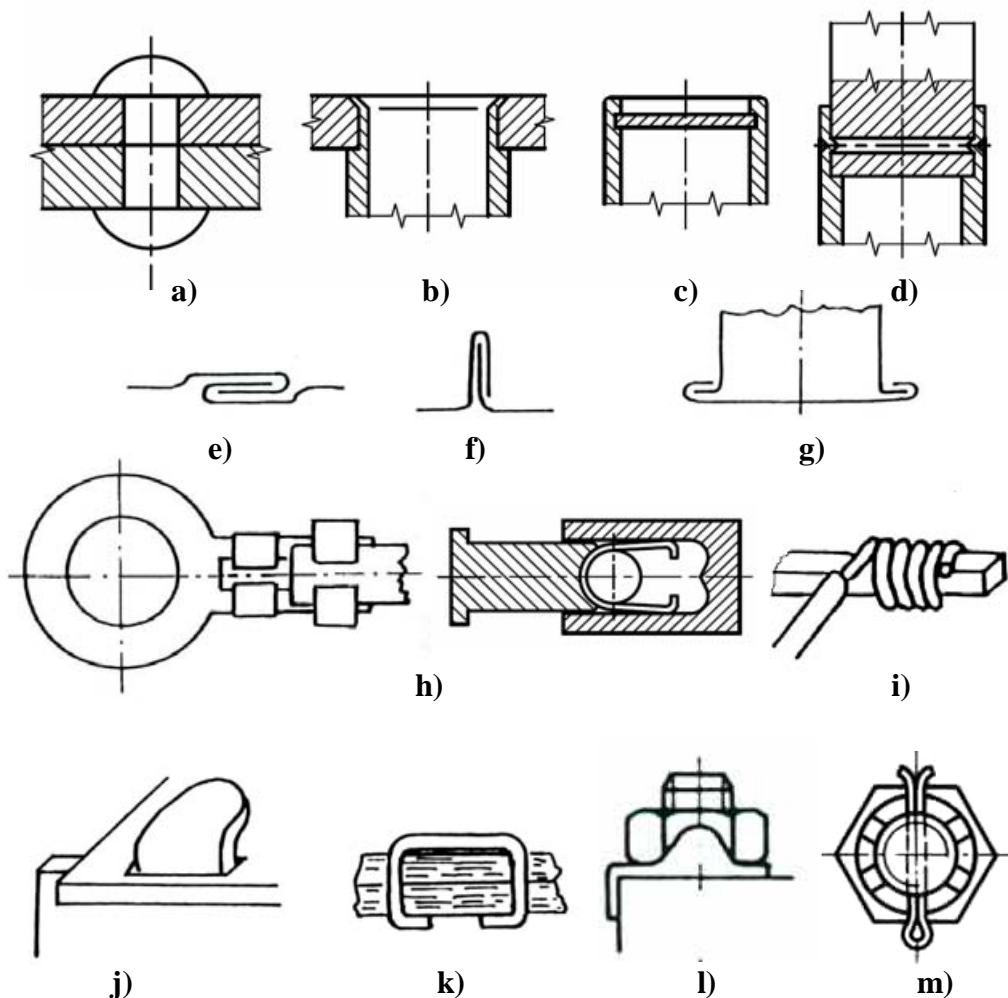
Medzi tvarové spoje patria i rôzne spony (obr. 27k) ohnuté klince, ukotvenia koncov drôtov skrútením. V širšom slova zmysle i výroba výrobkov z drôtu alebo textilných vlákien je vytváranie tvarovaných spojov.

Lemovanie a valcovanie je používané hlavne pri rotačných výrobkoch. Vykonáva sa na sústruhoch, strojoch nazývaných lemovačka (falcovačka) alebo na špeciálnych automatizovaných lemovacích stanicích 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 od hrúbky plechu a jeho materiálu.  $R_{\min} = c \times s$ , kde  $c$  je materiálový koeficient a  $s$  je hrúbka plechu.

Tab. 4.5 Materiálový koeficient „c“ závislosti od materiálu [130].

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 [130].



Obr. 4.27 Základné druhy nitov [130]

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

#### 4.2.4.3 Zvárané spoje

Zváranie sa na montážnych linkách vyskytuje len ojedinele. Väčšinou sa vykonáva v oddelených priestoroch - zvarovniach, ktoré sú organizačne začlenené do podsystému 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, mikrozváranie lemu kovového puzdra mikroelektronickej súčiastky po jej montáži, ultrazvukové prevarenie - uzavretie PVC obalu výrobku a iné. Ani v týchto prípadoch tvorcovia montážnej techniky nevyvíjajú potrebnú zváraciu techniku, ale si objednávajú jej vývoj u výrobcov zváracieho techniky.

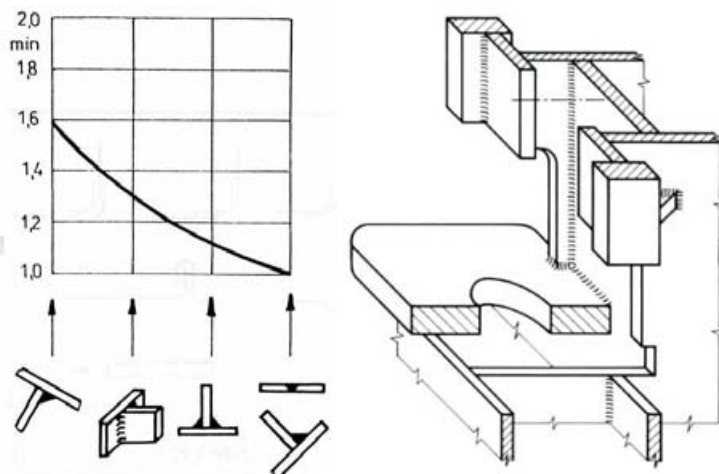
Ďalej uvedieme len najzákladnejšie poznatky potrebné pre kontakt so špecialistom v oblasti zvárania.

#### 4.2.4.3.1 Prehľad zvaracích metód

- **Tavné zváranie (h = hrúbka plechu v mm)**
  - volfrámový drôt v inertnej atmosfére (h = 1 až 10),
  - plazmatické zváranie (h = 0,01 až 0,8),
  - zváranie v CO<sub>2</sub> 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 100mm).
- **Tlakové zváranie (h = hrúbka v mm, D = priemer v mm, A = prierez mm<sup>2</sup>)**
  - bodové zváranie h = 0,4 až 4,  
*zvariteľné ocele, hliník, meď, niklové zliatiny,*
  - zradavkové zváranie h = 0,5 až 5,  
*zveriteľné 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, tvrdý PVC,*
  - ultrazvukové zváranie h = 0,005 až 3,  
*železné a neželezné kovy, sklo, keramika a kov, tvrdý PVC, polykarbonát a.,*
  - indukčné zváranie kovov,  
*k = 1 až 15, D = 350, železné a neželezné kovy,*
  - indukčné zváranie plastov,  
*h = 0,05 až 1. PVC, polyamid, celulózoacetát,*
  - zváranie plynovým ohrevom a tlakom,  
*A = 75 – 1200 mm<sup>2</sup> - zvariteľné ocele, sklo,*
  - zvárame na tupo – plasty,  
*A = 200, h = 3 až 5, polyetylén, polypropylén, tvrdý PVC,*
  - zváranie na tupo s predohriatím, A = 10 až 80 000 mm<sup>2</sup>,  
*ocel, zliatiny Al, Cu,*
  - zváranie trením, D = 3,5 až 220,  
*ocel, 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<sup>2</sup>,

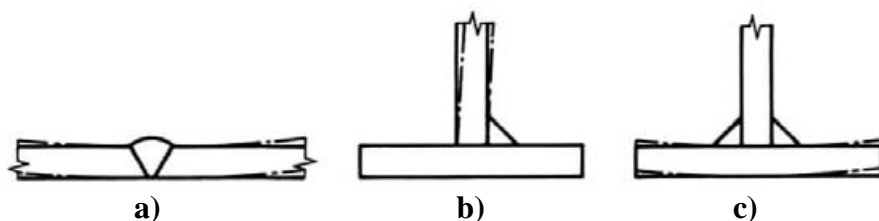
*kovy s dobrou tvárnosťou, Al, Cu, Au, Ni a iné,*

Pri ručnom zvaraní výkonnosť zvárača veľmi závisí od polohy zvaru vzhľadom na zvárača. Túto závislosť znázorňuje obr. 4.28. Podľa neho zváranie nad hlavu je 1,6-krát prácnejšie ako zváranie na stole. Pre odstránenie týchto problémov sa používajú polohovadlá zvaraného výrobku.



**Obr. 4.28** Závislosť výkonnosti zvárača od polohy zvaru vzhľadom na zvárača [130]

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. 4.29.



**Obr.4.29** Deformácia zvarov [11]

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

#### 4.2.4.4 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 spájkky do kvapalného stavu pomocou adhézie - príľnavosti kovu a spájkky a čiastočne aj vplyvom difúzie - prelínania častíc spájaného kovu a spájkky.

Spojenie spájkovaním je nerozoberateľné spojenie alebo podmiennečne rozoberateľné spojenie kovových súčastí, alebo tiež nekovových súčastí vytvorené tenkou vrstvou spojovacieho prostriedku - spájkky.

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

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

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

**Strieborné spájky** sú zliatinami najmä striebra, medi a 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, kremíka, cínu a i. Pracovná teplota je 800 až 950°C.

**Spájky na hliník** sú zliatiny hliníka 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, pásov, zrní, 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*.

#### 4.2.4.4.2 Spájkovacie techniky

##### **Spájkovanie spájkovačkou**

Je to najbežnejší spôsob spájkovania na mätko, napr. v opravárskej elektronike alebo v malosériovej elektronickej výrobe. Spájkované plochy je vhodné vopred pocínovať, postriebiť alebo ponoriť v kolofónii. Vhodná je tiež rúrková 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 na spájkovanie. 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 rozrušuje existujúce oxidy na povrchu súčiastok. Vodík je horľavý a výbušný, preto sa používajú nevybušné zmesi dusíka a vodíka (formovacie plyny).

### ***Spájkovanie pomocou spájkových pást***

Zatiaľ sa využíva najmä 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 naniesie na príslušné miesta tenké vrstvy pasty spájky. Podstatou sieťotlače je pretláčanie pasty cez nezalepené okienka drôtovej alebo textilnej sieťky na príslušnú súčiastku (podložku).

Do 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.

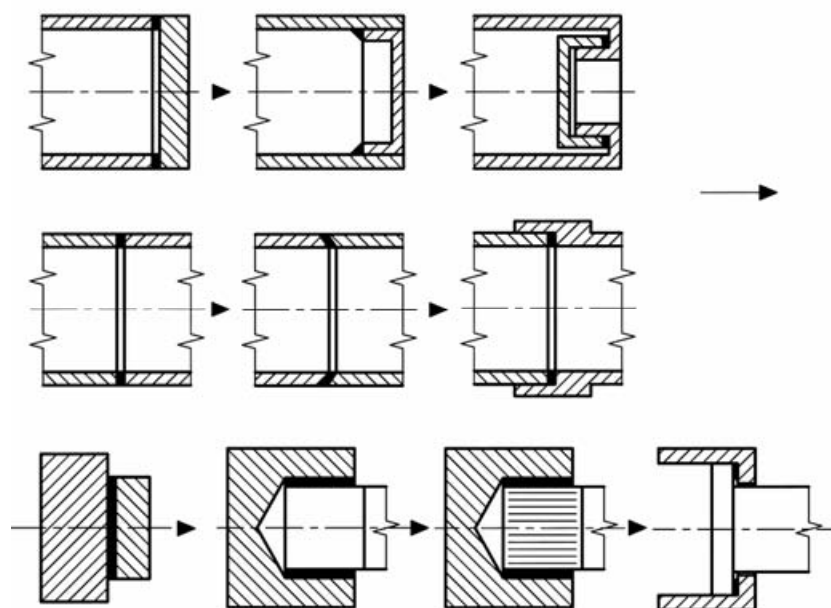
#### ***4.2.4.4.3 Konštrukcia spájkových spojov***

Bežne možno spájkový spoj považovať za miesto najmenej pevnosti, v ktorom sa výrobok pri silovom namáhaní spravidla poruší. Platí to najmä 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. 4.30. Spájka v spoji plní úlohu tesnenia (pri nádobách, potrubia a pod.) alebo úlohu dokonalého elektrického spoja, pričom ešte zvyšuje pevnosť pôvodného tvarového spoja.

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



Obr. 4.30 Hodnotenie spájkovaných konštrukcií [130]

ohrevom a postupným pomalým klesaním teploty po spájkovaní. Spájkovanie prebieha v ochrannej plynovej atmosfére. Spájkovanie - najmä s búrlivým rozvojom elektroniky - nadobúda stále viac na význame. Pri automatizácii spájkovania vznikajú problémy s dávkovaním spájky z drôtu, pásika a pod.

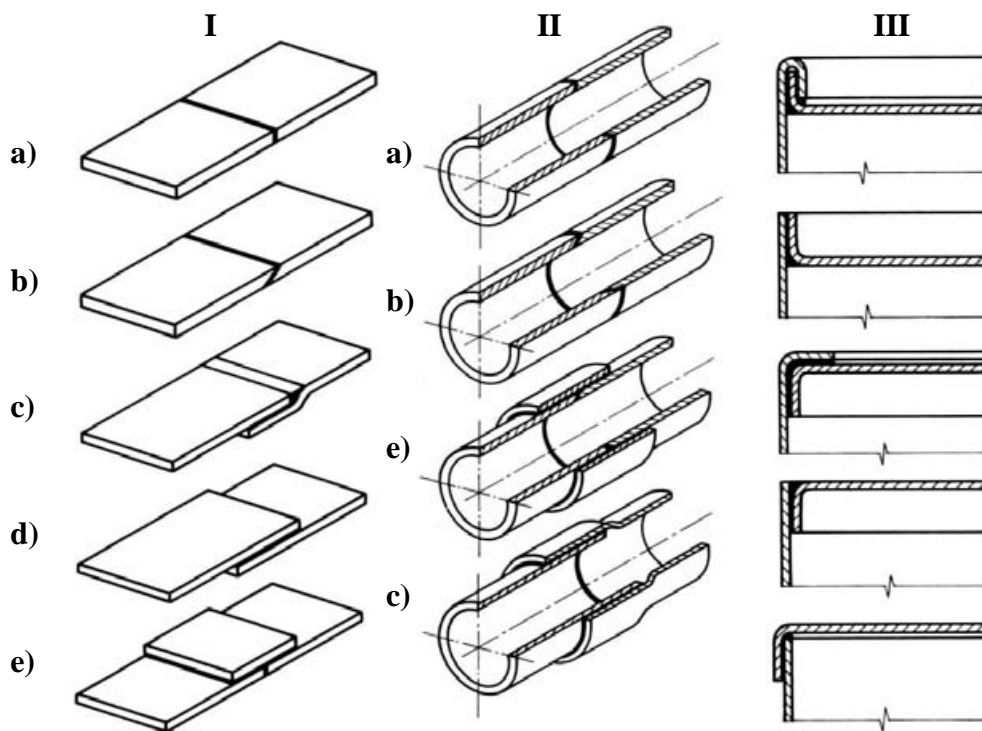
Presné dávkovanie je také, že sa na miesto spájkovania privedie ústrižok spájky. Jednoduchší než postupný prívod ústrižkov na mnoho spájkovacích miest je sieťotlačové nanosenie spájkovacej pasty súčasne na všetky spájkované miesta.

Na miesto strihania drôtu či pásky 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, najmä však nedostatočný predohrev spájkovaných častí a nedostatočná teplota tekutej spájky. Pri dobrom spájkovaní nesmie spájka na spájkovanej ploche tvoriť polgulové kvapky, ale sa musí rozlúčiť do tvaru kužeľa, ktorého povrchy majú s plochou zvierat' malý uhol cca do  $15^\circ$  až  $20^\circ$ . Je potrebné, aby osoby vykonávajúce spájkovanie absolvovali špeciálny kurz [130]. Príklady spájkovaných spojov sú uvedené na obr.4.31.

### Požiadavky na konštrukciu spájkovanej súčiastky

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



Obr. 4.31 Príklady spájkovaných spojov [11]

I - spoje plechov, II – spoje rúrok, III – nádrže na nízky tlak kvapalín

a) tupý spoj, b) spoj so šikmou špárkou, c) spoj s vyhnutým,  
d) preplátovaný spoj, e) spoj s jednou stykovou doskou.

#### 4.2.4.4.4 Zásady konštruovania spájkovaných spojov

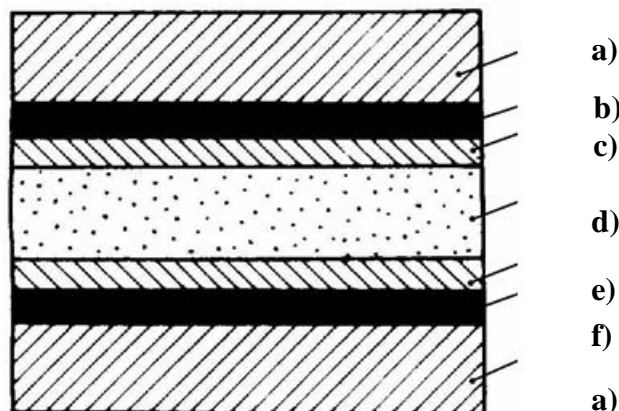
##### Hlavné zásady

- 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.



#### 4.2.4.5 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. 4.32.



Obr. 4.32 Štruktúra lepeného spoja

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, akými sú napr. nitovanie, skrutkovanie, zváranie a pod.), má lepenie tieto **výhody**:

- možnosť vzájomného spojovania 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 vytvrdzovacie časy pri normálnej teplote pri niektorých lepidlách,
- nerozoberateľnosť spoja,
- obtiažny a pomerne nespoľahlivý pevnostný výpočet.

##### 4.2.4.5.1 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.

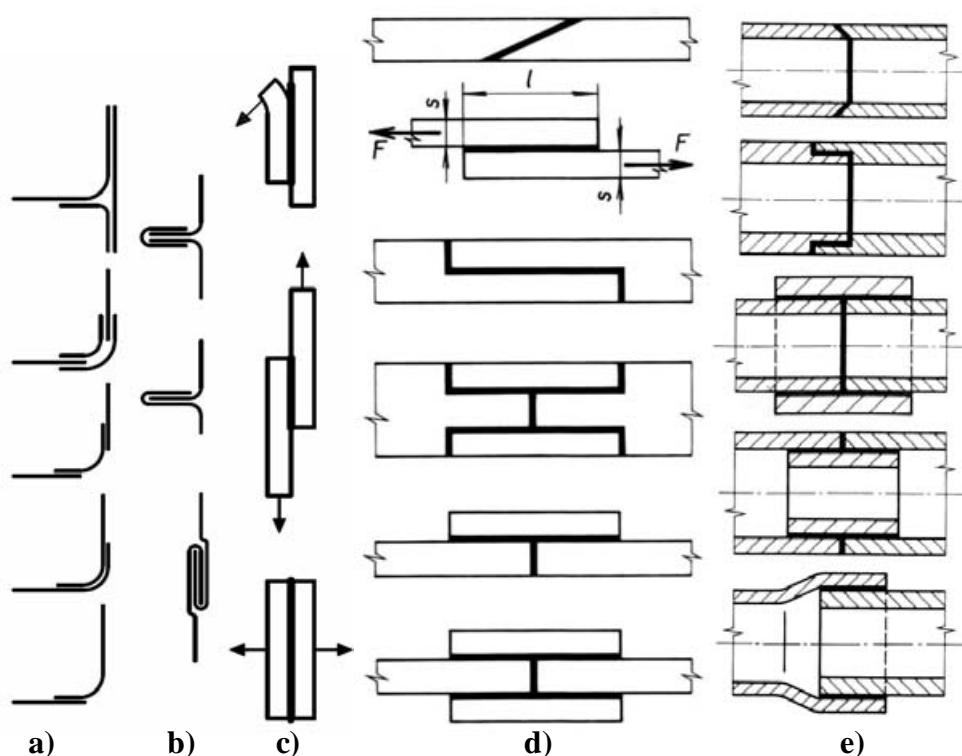
4.2.4.5.2 Technologický postup lepenia

Obvyklý postup je nasledovný:

- **mechanická úprava** (zdrsnenie povrchu): Je vhodná takmer na všetky kovové materiály. Vykonáva sa otryskávaním pieskom, šmirgľovaním a pod.
- **polohovanie spojovaných súčiastok,**
- **príprava lepidla:** pri dvojzložkových lepidlách je to odmeranie dávok zložiek a ich dokonalé zmiešanie. Pri niektorých dvojzložkových lepidlách v prípade miešania veľkých objemov zložiek môže byť teplo vzniknuté z reakcie medzi zložkami také 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 nanášacích pištolíriadených 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 skraca. Nové tzv. „sekundové“ lepidlá vytvrdzujú do doby 1 sekundy. Pozor na zleptanie prstov!
- **kontrola lepeného spoja:** Môže sa vykonať deštruktívnymi skúškami (ohyb, šmyk, odlupovanie) alebo nedeštruktívne – napr. röntgenom, ultrazvukom (rovnosť nánosu lepidla).

4.2.4.5.3 *Zásady konštruovania lepených spojov*

- vzhľadom na nízku pevnosť lepených spojov, podobne ako pri spájkovaných spojoch (obr. 31, 32), treba konštruovať spoj tak, aby lepený spoj pridržiaval 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. 33), 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. 33b) a lepidlo slúži najmä ako tesnenie,
- pevnosť spoja sa zvýši použitím prídavných líšt a príložiek (obr. 33a) [130].



Obr. 4.33 Príklady lepených spojov [11]

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

4.2.4.6 *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.

Pri lepenom spoji má spojovací materiál čo najmenšiu hrúbku a prakticky neovplyvňuje rozmery výrobku. Pri tmelených spojoch majú korešpondujúce plochy spájaných súčiastok spravidla rôzny tvar, 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, keď 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 zmesou dvoch chemických substancií: plnivo (obvykle v práškovej forme) a spojivo (obvykle v tekutej forme). Tieto tmely sú vyvíjané pre určité formy využitia – napr. tmely vhodné na spájanie kovových častí a keramickej izolácie v elektrotechnike, tmely na spájanie skla a kovu (napr. banky, žiarovky a objímky), lakovacie tmely a iné.

#### 4.2.4.6.1 Príklady tmelených spojov

1. Pritmelenie koncových čapičiek na konci sklenenej rúrky nízkoampérových tavných poistiek.
2. Zatmelenie banky, teplomeru, vodováhy, resp. iného skleneného prístroja do kovového puzdra.
3. Pritmelenie kovového závitového nákrutku ku koncu sklenenej rúrky.
4. Zatmelenie zafrízového ložiska do kovovej frézy prístroja.
5. Zatmelenie kovových závitových vložiek, uchyťavacích skrutiek a iných kovových častí do keramickej alebo kameninovej dosky.
6. Pritmelenie kovových matíc na konce 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 (vysušenie 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 živcami vznikajú výrobky vyznačujúce sa vysokou pevnosťou pri malej hmotnosti, ktoré sú stavebným materiálom budúcnosti všade tam, kde je potrebné znižovať hmotnosť (vozidlá, lietadlá). Na miesto orientovaného textilu sa používa niekedy neorientovaná „vláknová sečka“. Takáto hmota sa nazýva obchodne **PREPREG**. Sú z nej zhotovené napr. nárazníky automobilov a pod. [130].

## 5. POČÍTAČOVÁ PODPORA PROJEKTOVANIA MONTÁŽNYCH TECHNOLOGIÍ, PRACOVÍSK A SYSTÉMOV

Veľký význam a samostatnú oblasť implementácie informačných technológií v strojárskom priemysle predstavujú počítačom podporované systémy – CA systémy.

CA systémy sú počítačové systémy určené na podporu činností vo všetkých etapách výroby - od vývoja a navrhovania súčiastky, plánovania výroby, až po samotnú výrobu a montáž, skladovanie a expedíciu. Umožňujú urýchliť a zjednodušiť predovšetkým tzv. inžinierske činnosti, ako je kreslenie a modelovanie, dimenzovanie, uskutočnenie analýz, projektovanie, ale aj rôzne administratívne činnosti, ako je archivovanie, vyhľadávanie, reprodukovanie a pod.

Existuje celý rad CA systémov, ktoré predstavujú dôležitý nástroj na zvyšovanie produktivity, efektivity a racionalizácie práce, ako i zvyšovanie spoľahlivosti, presnosti súčiastok a znižovanie nákladov na výrobu. V našej publikácii sa budeme venovať systému CAA (Computer Aided Assembly – počítačom podporovaná montáž).

### 5.1 PROJEKTOVANIE MONTÁŽE

V oblasti projektovania montážnych pracovísk a systémov je potrebné riešiť celý rad problémov a úloh, ktoré vyplývajú jednak zo špecifik procesu projektovania, a jednak zo špecifik montážneho procesu.

Záujem o metodologické problémy projektovania je podmienený predovšetkým objektívnymi spoločenskými a ekonomickými podmienkami. Tak v prípade kritiky, ako aj pri propagácii nových metód projektovania môžeme identifikovať jednu rovnakú črtu: v jednom aj v druhom prípade môžeme odhaliť snahu vyjadriť podstatu projektovania a prepracovať ju do stavu nejakej štandardnej metódy, dať svojím spôsobom recept, na ktorý by bolo možné sa obrátiť vo všetkých situáciách.

Z definícií projektovania:

- „vyhľadávanie základných komponentov akejkoľvek fyzikálnej štruktúry“ [42],
- „prijatie riešenia v podmienkach neurčitosti s vážnymi následkami v prípade chyby“ [11],
- „modelovanie predpokladaných udalostí až do ich realizácie opakovaným dovtedy, kým sa neobjaví úplná istota o konečnom výsledku“ [5],
- „zaradenie výrobku do súladu so situáciou pri maximálnom zohľadnení všetkých požiadaviek“ [3],
- „použitie vedeckých princípov, technických informácií a fantázie na určenie mechanickej štruktúry stroja alebo systému určeného na realizáciu predtým definovaných funkcií s čo najlepšíou ekonomickou efektívnosťou“ [32].

Je možné usudzovať, že existuje toľko „procesov projektovania“, koľko existuje autorov. Je jasné, že v závislosti od okolností sa proces projektovania môže meniť vo veľmi širokých hraniciach. 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.

Termín „stratégia projektovania“ [31] sa používa vo význame stanovenej postupnosti činností, ktoré projektant vyberá s cieľom pretvorenia východiskovej technickej úlohy na hotový projekt. Rozhodnutie o tom, aké činnosti sa musia zaradiť do stratégie projektovania, sa môže urobiť na začiatku alebo sa môže meniť v závislosti od výsledkov dosiahnutých po vykonaní predošlých činností.

Preddefinované alebo hotové stratégie sú presne stanovené. Hodia sa na projektovanie v známych situáciách. V ideálnom prípade má takáto stratégia lineárnu štruktúru, t.j. pozostáva z reťazca činností, v ktorom každá činnosť závisí od výstupu (výsledku) predošlej činnosti. Ak po získaní výsledkov v niektorej etape je potrebné sa vrátiť k niektorej z predošlých etáp, hovoríme o cyklickej stratégii. Vznikajú situácie s viacerými spätnými väzbami. Nebezpečenstvom môže byť vznik „práce v kruhu“, čo sa nedá riešiť inak ako zmenou štruktúry úlohy.

V prípade, že projekčné činnosti nezávisia od seba môžeme hovoriť o rozvetvenej stratégii. V nej existujú paralelné etapy, ktoré umožňujú zapojenie väčšieho množstva pracovníkov do procesu projektovania, a tým ovplyvniť čas ukončenia projektu, ako aj konkurujúce si etapy, ktoré umožňujú do určitej miery modifikovať stratégiu v súlade s výsledkom predošlých etáp.

Adaptívne stratégie sú charakterizované tým, že od začiatku sa definuje iba prvá činnosť. Ďalej sa výber každej činnosti realizuje na základe výsledku predchádzajúcej činnosti. V princípe to je najrozumnejšia stratégia, pretože postup riešenia sa definuje na základe čo najúplnejšej možnej informácie. Nedostatkom je nemožnosť predvídať a kontrolovať náklady a čas na vypracovanie projektu.

Nádejným no ohraničeným variantom adaptívnej stratégie je stratégia prírastkov. Táto stratégia je základom tradičných prístupov k projektovaniu, zvlášť v niektorých oblastiach priemyslu. Ide o zmenu spôsobenú prírastkom, t.j. o postupnú zmenu jednej premennej v každom kroku. Rizikom je možnosť, že sa prehliadnu dobré riešenia, ak je zmena veľká. Ak je zmena malá, nie je možné obsiahnuť celé pole riešení.

Náhodné hľadanie je charakterizované absolútnou neprítomnosťou plánu, ale v niektorých prípadoch sa ukazuje ako jediná možná stratégia. Táto na prvý pohľad nerozumná stratégia má význam vtedy, ak potrebujeme nájsť množstvo východiskových bodov pre nezávislé hľadanie v širokom poli neurčitosti.

### 5.1.1 Typy problémov a úloh v projektovaní

Charakter procesu projektovania závisí od typu riešeného problému. Pri hlbšej analýze je možné identifikovať, že objektom skúmania je myšlienková činnosť, ktorá sprevádza proces projektovania. Z tohto hľadiska je možné podľa [93] identifikovať dva druhy problémov: dobre a zle (neostro) štruktúrované problémy. Dobre štruktúrované sú problémy, na riešenie ktorých sú k dispozícii isté jednoznačné k cieľu vedúce postupy a metódy, resp. sú tieto metódy a postupy všeobecne známe. V oblasti riešenia problému neexistujú žiadne "neznáme", všetky vzájomné súvislosti sú transparentné. Proces riešenia problému je systematický a logicky usporiadaný. Tieto problémy vlastne nie sú problémami v pravom

slova zmysle, ale skôr úlohami. Je možné ich považovať za rutinné problémy. Pre tieto problémy je charakteristické, že máme úplné znalosti o všetkých prvkoch problému, ktoré sú voči sebe navzájom vo vzťahoch a ich podstata je známa. Spravidla existuje jedno optimálne riešenie problému a na začiatku riešenia možné je definovať potrebné zdroje (materiál, čas, počet pracovníkov, prístroje a pod.).

Okrem týchto problémov je možné sa často stretnúť s takými problémami, ktoré sa nedajú riešiť iba prostredníctvom logických prostriedkov. Z problémovej situácie sa nedajú získať žiadne jednoznačné závery. Nie sú známe všetky prvky problému, hľadanie riešenia môže byť často intuitívne alebo náhodné. Existuje možnosť väčšieho množstva alternatívnych riešení a nie vždy sa dá stanoviť optimálne riešenie. Nie je možné dopredu presne stanoviť potrebné zdroje. Tieto problémy je nevyzerajú ako zle (neostro) štruktúrované. Väčšina projekčných problémov patrí do tejto kategórie.

Na toto rozčlenenie nadväzuje rozčlenenie typov projekčných úloh do dvoch kategórií, a to na rozčleniteľné projektové úlohy a nerozčleniteľné projektové úlohy. Rozčleniteľné projekčné úlohy umožňujú rozčlenenie (dekompozíciu) na jednotlivé úlohy, ktoré je možné riešiť buď postupne, alebo paralelne. Ak je úlohu možné rozčleniť, potom je možné každej časti venovať náležitú pozornosť. Toto rozčlenenie umožňuje aj rozdeliť prácu. Príkladom je projektovanie systémov, v ktorých je každá funkcia realizovaná jedným uzlom a každý uzol (mechanizmus, zariadenie a pod.) je spojený s inými uzlami vopred zadanými vstupnými a výstupnými vzťahmi. Funkcie sú jednoznačne zviazané s jednotlivými uzlami. Od začiatku je možné vyjadriť všetky vstupné a výstupné vzťahy v systéme.

Nerozčleniteľné projekčné úlohy, a to tak rozsiahle, ako aj úlohy menšieho rozsahu, nie je možné alebo je veľmi ťažké rozčleniť bez toho, aby neutrpeli niektoré charakteristiky alebo parametre. Takáto situácia vzniká pri úlohách, ktorých funkcie nie sú spojené so špecializovanými uzlami, ale sú zložitým spôsobom zviazané s celým systémom.

Je zrejmé, že hlavným cieľom metodológie projektovania je znížiť cykličnosť a zvýšiť lineárnosť procesu projektovania. Cykličnosť predpokladá, že dôležité čiastkové úlohy zostávajú bez pozornosti až do neskorých etáp práce a keď sa zistia, je potrebné zrevidovať riešenia projektu alebo dokonca prerušiť práce. Lineárnosť predpokladá, že všetky dôležité problémy je možné odhaliť od začiatku a nevznikne riziko toho, že v neskorších etapách práce vzniknú škody.

Úplnej lineárnosti každej práce bráni nepredvídateľnosť vzájomných vzťahov medzi jednotlivými časťami úlohy. Perspektívy lineárneho riešenia úloh existujú v týchto dvoch smeroch:

- zmeniť projektovaný systém na systém pozostávajúci z uzlov realizujúcich jednotlivé funkcie,
- aplikovať adaptívne stratégie projektovania.

Zo všeobecného hľadiska je pojem projektovanie previazaný na vedeckú a inžiniersku činnosť. Ide o špecifický proces tvorby určitého systému, ktorý je schopný plniť v daných podmienkach určené funkcie. Výsledky projektovania sú vyjadrované v dokumentačnej forme, ktorou sú v priestore, čase a hmotných znakoch vyjadrené také atribúty ako: skladba systému, jeho funkcie, materiálové, energetické, informačné, kádrové a iné predpoklady nevyhnutné pre realizáciu a dlhodobú prevádzku.

Vedu o projektovaní, t.j. teóriu projektovania a filozofiu projektovania možno charakterizovať aj ako súbor (systém) logicky zoskupených znalostí o inžinierskych činnostiach. Systém projektovania sa preto považuje za komplexnú oblasť teórií, metód a informácií zahrnujúcu široké pole inžinierskej pôsobnosti. V systéme sú zahrnuté aj štruktúry



projektových systémov (základné definície a terminológia, technické informácie, metodológia projektovania), ako aj technické informácie nevyhnutné pre vlastné projektovanie (aplikované náuky, teória technických systémov, teória projektovania).

### 5.1.2 Definícia projektu

V súčasnosti je pojem projekt rôzne definovaný a nie je k dispozícii, resp. nepresadila sa všeobecne platná definícia. Madauss [53] definuje projekt ako „zámer s definovaným začiatkom a koncom, ktorý je charakteristický časovým obmedzením, jedinečnosťou, komplexnosťou a novosťou. Podobne definuje projekt Frese [35], ale na rozdiel od predošlej charakteristiky hovorí o relatívnej novosti a definíciu dopĺňa konštatovaním, že „pre jedinečný charakter sa každý projekt vyznačuje značným rizikom“. Uvedené charakteristiky sa nachádzajú aj v definícii Haberfellnera [37], ktorý tieto dopĺňa konštatovaním, že každý projekt musí mať definovaný cieľ. Viacerí autori aplikujú definíciu podľa DIN 69 901, ktorá projekt charakterizuje ako „zámer, ktorý je vo svojej celkovej podstate charakteristický jedinečnosťou podmienok, ako napríklad zadaným cieľom, časovými, finančnými, personálnymi alebo inými obmedzeniami, ohraničením z hľadiska iných zámerov a projektovo špecifickou organizáciou“.

V každej z existujúcich definícií sa podľa [39] objavujú v istom kontexte nasledujúce základné charakteristiky projektu:

Pojem **jedinečnosť projektu** sa obvykle nevzťahuje na jednotlivé aktivity, aj keď sa toto kritérium často používa na rozlíšenie projektových a rutinných úloh, ale týka sa projektu ako celku, čo znamená, že príslušný projekt sa v tej istej, resp. podobnej forme ešte nikde nerealizoval. Táto jedinečnosť sa môže týkať aj konkrétnych finančných objemov, komplexnosti zmluvy, nákladov na vývoj, nových koordinačných opatrení, neobvyklých rizík z hľadiska techniky, termínov, zúčastňujúcich sa strán, atď.

Všetky definície projektu sa zmieňujú o charakteristike **časové ohraničenie** projektu. Každý projekt má jasne definovaný začiatok a koniec. Časové ohraničenie obvykle vytvára tlak na riešiteľský kolektív a podmieňuje aplikáciu takých opatrení a nástrojov, ktoré skracujú celý proces.

**Definovanie cieľov projektu.** Každá výrobná aktivita má viaceré ciele, a to ako vecné (napr. výkon), tak aj formálne zákaznícky orientované ciele ako napr. termíny, náklady, atď.

**Projekt je „nový“** v tom zmysle, že neexistuje možnosť identického opakovania a pri jeho vypracovaní je možné iba čiastočne využiť existujúce know-how. Pri definovaní novosti sa poukazuje na to, že projekt je často iba „relatívne nový“ napr. pre príslušný podnik a z tohto dôvodu viacerí autori charakteristiku novosti v definovaní projektu vynechávajú.

Ďalšou dôležitou charakteristikou projektu je jeho **interdisciplinárny charakter**, ktorý vyplýva z rozsahu a obsahu riešených úloh. Pri riešení projektu sa vyžadujú znalosti rozličných vedných, resp. technických disciplín.

**Obmedzenosť zdrojov** na riešenie projektu je jednou z jeho charakteristík a súvisí predovšetkým s rozpočtom, ktorý je k dispozícii.

**Komplexnosť** – táto charakteristika je mnohohrstvová a nie nesporná. Týka sa ako počtu aktivít ktoré je nutné vykonať, tak aj počtu účastníkov projektu. Okrem týchto kvantitatívnych aspektov majú svoj význam aj ťažko definovateľné a neštandardizovateľné vzájomné závislosti medzi rozličnými prvkami. Z tohto uhla pohľadu predstavuje komplexnosť projektu vážnu výzvu.

**Projektovo špecifická organizácia** je potrebná v prípade, ak na zvládnutie projektu nepostačuje organizačná štruktúra podniku určená prioritne riešenie rutinných úloh.

V praxi je možné sa stretnúť s kombinovaným výskytom rozličných charakteristík projektu. Každá organizácia si môže „definovať projekt“ na základe vlastných požiadaviek tak, aby táto vyhovovala špecifickým požiadavkám. Z vedených analýz je možné charakterizovať projekt nasledovne:

*„Projekt je cieľovo orientovaný zámer s definovaným začiatkom a koncom, ktorý je charakterizovaný časovým ohraničením, komplexnosťou a relatívnou novosťou a pre svoj jedinečný charakter sa vyznačuje značným rizikom“.*

### 5.1.3 Projektovanie montážnych pracovísk

Tvorba projektov v oblasti montáže má svoje špecifiká vyplývajúce hlavne zo špecifik samotného montážneho procesu. V tejto súvislosti je možné konštatovať, že:

- montážny proces je organizovaný a synchronizovaný vo väzbe na súčiastky, ktorých výroba sa realizuje v rôznom čase a na rôznych miestach,
- v montážnom procese dominujú ručné úkony, niektoré z nich pri automatizácii vyžadujú veľmi komplikované a nákladné zariadenia,
- montážny proces je obvykle posledný výrobný proces, v ktorom sa prejavia termínové a kvalitatívne nepravidelnosti z predchádzajúcich etáp a musia sa eliminovať,
- objavuje sa rozporné pôsobenie princípu diferenciacie a koncentracie operácií,
- niektoré operácie sa niekoľkokrát opakujú a je možné ich realizovať paralelne,
- obvyklé je oddelenie montáže podskupín od finálnej montáže produktu.

Prekážkou realizácie technicky a ekonomicky efektívnych montážnych pracovísk a systémov nie sú len nedostatky vyplývajúce z konštrukcie výrobku, ktorá nie je vhodná pre montáž a z malých skúseností pri aplikácii moderných technológií a zariadení, ale aj problémy vznikajúce v procese ich projektovania. Toto tvrdenie podporuje skutočnosť, že existuje problém času potrebného na vypracovanie projektu a následného zavedenia do výroby. Od konštrukcie výrobku až po zavedenie zariadení na jeho výrobu a montáž do prevádzky uplynie v americkom a európskom automobilovom priemysle asi 6 rokov [8]. Táto skutočnosť umožňuje predpokladať, že chýbajú efektívne metódy a nástroje projektovania. S pribúdaním systémových funkcií a vyššou komplexnosťou montážnych zariadení rastie tiež investičné riziko.

Napríklad materiálové a informačné prepojenie dvoch montážnych pracovísk zvyšuje podľa [8] možné investičné náklady o cca 50%. Zvyšujúce sa investičné riziko vyžaduje vyššiu spoľahlivosť projektovania. So zvyšujúcim sa objemom projekčných prác sa zároveň znižuje čas, ktorý je na vypracovanie projektu k dispozícii. So zmenou výrobku súvisí adaptácia a zmena výrobných techník. Táto zmena sa netýka iba jednotlivých zariadení, ale aj základnej štruktúry celého systému. To platí vo zvýšenej miere najmä pre montážnu techniku, kde je montovaný výrobok najpodstatnejším určujúcim faktorom. V súvislosti s tým sa projektovanie stáva plynulým nepretržitým procesom.

#### 5.1.4 Metódy projektovania montážnych pracovísk a systémov

Prehľad známych prístupov k projektovaniu montážnych systémov spracovaný podľa [115] je uvedený v tabuľke 5.1, zoradený podľa autorov. Základnými sledovanými charakteristikami je počet krokov metódy, ďalej to, či je projektovanie štruktúr montážnych systémov súčasťou metódy, či existujú algoritmy pre stanovenie montážnej štruktúry a či je možné ju použiť na plánovanie hybridných montážnych systémov a na sériovú montáž skupiny výrobkov. Uvedené metódy sa vyznačujú nasledujúcimi znakmi:

- obmedzenosť aplikácie metód na určitú časť projektových aktivít, prípadne orientácia na určitý typ technických zariadení,
- v niektorých prípadoch je metodický postup obsiahly a náročný z hľadiska zvládnutia základnej teórie,
- aplikácia často vyžaduje používanie účelovo orientovanej databázy,
- predpokladá sa počítačová podpora,
- väčšina metodík nie je k dispozícii vo forme uceleného a komerčne dostupného softvéru,
- obtiažnosť modifikácie metodického postupu resp. jeho doplnenia.

Proces projektovania montážnych procesov je v zásade zložitý súbor vzájomne sa podmieňujúcich aktivít, ktoré nevyhnutne vyžadujú znalostnú bázu a súčasne tvorivý individuálny prístup projektanta. Základné princípy, ktorých uplatnenie v procese projektovania sa dá považovať za prínosné, je možné aplikovať za týchto podmienok:

- jednotlivé princípy sa navzájom ovplyvňujú, podmieňujú a prelínajú,
- ich správna aplikácia a premietnutie do konkrétnych metodických nástrojov umožňuje získať viaceré výhody.

**Princíp modulovosti** vedie napr. k znižovaniu sortimentu prvkov, mechanizmov a zariadení, systémový prístup umožňuje vysoký stupeň abstrakcie potrebný pri simulačných a optimalizačných postupoch. Využívanie princípov modulovosti v projektovaní montážnych systémov je jednou z efektívnych ciest ich súčasného rozvoja. Vyplýva to zo špecifických hľadísk a kritérií, ktoré je potrebné pri vývoji nových systémov zohľadňovať. Okrem technických a ekonomických požiadaviek sa pri projektovaní modulových montážnych systémov ako najvýznamnejšie ukazujú nasledujúce hľadiská:

- projektové, vedúce k počítačovej optimalizácii konfigurácie montážnych systémov ako základných stavebnicových prvkov integrovaných výrob riadených počítačom (CIM),
- výrobnotechnologické, 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,
- spoľahlivostné, 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 princíпов a charakteristík funkčných modulov určených na realizáciu rovnakého druhu manipulačnej a montážnej operácie,
- realizácia funkčných modulov v rade typorozmerov,
- 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 unifikácia prvkov funkčného modulu.

**Morfologické analýzy** vykonané v rozličných etapách projekčných aktivít podporujú vytváranie variantných riešení, prípadne slúžia ako nástroj inovačných aktivít.

**Systémový prístup** [42] chápaný ako spôsob myslenia a riešenia problémov, pri ktorom sa javy chápu komplexne vo svojich vonkajších a vnútorných súvislostiach, aplikovaný v oblasti projektovania montážnych procesov sa prejavuje nasledujúcim spôsobom:

- dôslednou identifikáciou všetkých podstatných zložiek, javov, resp. prvkov, ktoré súvisia s príslušným problémom,
- možnosťou identifikovať a prípadne kvantifikovať všetky podstatné vzájomné vzťahy medzi identifikovanými prvkami,
- je základňou pre tvorbu modelov rozličného typu a druhu, ktoré sú nevyhnutným predpokladom aplikácie rozličných počítačom podporovaných simulačných a optimalizačných aktivít.

Tab. 5.1 Prehľad metód projektovania montážnych systémov podľa [115].

Autor metódy	Počet krokov	Plánovanie štruktúry montážnych systémov				Charakteristika
		Súčasť metódy	Algoritmy	Hybridné systémy	Sériová montáž pre skupinu výrobkov	
Bick [9]	3	●	●	●	●	Hrubé plánovanie montážnych systémov, nezohľadňuje sa montážna technológia.
Bullinger [13]	7	●	●	●	●	Vývoj principiálnych riešení a organizačných princíпов, voľba vhodného princípu rozdelenia kapacity.
Deutschländer [25]	7	●	●	●	●	Počítačom podporované plánovanie montážnych systémov obmedzené na lineárne montážne pracoviská a systémy.
Löhr [51]	5	●	-	-	-	Stanovenie vhodnej základnej súčiastky a optimálnej postupnosti spojovania pre

						automatizované montážne pracoviská, pevne prepojené.
Merz [67]	3	●	●	●	●	Plánovanie štruktúry montážnych systémov, stanovenie funkčného princípu pred plánovaním kapacity.
Metzger [68]	5	●	●	●	●	Štrukturalizácia montážnej úlohy hybridných montážnych systémov.
REFA [81]	6	●	●	●	●	Všeobecný postup, ktorý nie je orientovaný na montáž.
Schimke [92]	3	●	-	-	-	Integrovaný postup na základe príkladov, ktorý neobsahuje metodiku.
Scholtz [94]	7	●	-	-	-	Databázu podporované plánovanie montáže.
Schuster [95]	5	●	●	●	●	Integrácia konštrukcie a plánovania montáže s podporou výpočtovej techniky.
Walther [108]	6	●	-	-	-	Výber činných orgánov a stanovenie funkčných nosičov pre pružné automatizované montážne zariadenia, včasné stanovenie systémového princípu.
Warnecke, Haaf [109]	8	●	●	●	●	Automatizovaná montáž, počet montážnych pracovísk zodpovedá počtu jednotlivých montovaných uzlov.
Bosch [45]	5	●	●	●	●	Modulový postup projektovania s orientáciou na aplikáciu zariadení firmy Bosch, vrátane ekonomickej analýzy
Rampesad [80]	28	●	●	●	●	Všeobecný model projektovania založený na systémovom prístupe, aj pre skupinu výrobkov
Warnecke, Zeile [115]	10	●	●	●	●	Plánovanie štruktúr montážnych systémov na základe analýzy clustrov vrátane ekonomickej analýzy pre sériovú montáž skupiny výrobkov.

- splnené,
- splnené čiastočne,
- nesplnené,
- nie je možné hodnotiť, nie je súčasťou metodiky.

Správna syntéza týchto prístupov a ich premietnutie do projekčnej metodiky zohľadňuje nielen všetky špecifické charakteristiky a zvláštnosti tohto procesu, ale hlavne umožňuje:

- zachovanie prísne individuálneho prístupu k riešeniu problémov,
- zachovanie možnosti, resp. podporenie nových tvorivých riešení v každej etape projekčnej práce,
- urýchľovať prípadne minimalizovať rutinné aktivity,
- podporovať proces získavania nových znalostí a zachovávanie a odovzdávanie skúseností.

Cieľom aplikácie jednotlivých princípov je vytvoriť taký rámec, v ktorom sa projektant pohybuje v rozsiahlej znalostnej báze, na základe ktorej môže využívať relatívne nezávislé metodické nástroje s využitím informačných technológií tak, že nie je obmedzovaná jeho kreativita.

Špecifický charakter tvorby montážnych pracovísk sa prejavuje aj v ďalších dôležitých aspektoch, ako je napríklad výber softvérových nástrojov pre riešenie, realizácia projektu vrátane identifikácie podmienok riešenia a pod. Dôležité je brať do úvahy celý cyklus, počínajúc formuláciou úlohy až po ukončenie užívania realizovaného montážneho pracoviska.

V praxi je postup projektovania montážnych pracovísk a systémov ovplyvnený aj ďalšími aspektmi. Veľa závisí od toho, o aký projekt ide (nové pracovisko alebo montážny systém, inovácia, resp. zmena existujúceho pracoviska, atď.), akým spôsobom sa bude projekt realizovať (celý projekt môže podnik realizovať vo vlastnej réžii alebo bude projekt realizovať projektovo-špecifická organizácia na kľúč, prípadne sa bude realizovať nejaká kombinácia týchto možností).

Na celý proces sa môžeme pozrieť ako z pozície objednávateľa, tak aj projektanta, prípadne užívateľa výsledku projektu. Objednávateľ - zadávateľ projektu potrebuje čo najpresnejšie formulovať požiadavky na projekt. Ide o také požiadavky ako je napríklad: cena, cyklový čas, typ pracoviska, čas prestavenia pracoviska a pod. V podstate je možné stanoviť buď veľmi presné požiadavky na riešenie, ktoré obsahujú celý rad detailov a môžu mať rozsah napríklad aj desiatich strán textu, alebo stanoviť požiadavky len rámcovo (napríklad zvýšenie výkonu, zabezpečenie kvality a pod.) a počkať na návrhy riešenia. V prvom prípade bude riešenie príliš detailnými požiadavkami značne obmedzené, čo môže spôsobiť napríklad to, že sa vôbec nebude uvažovať s niektorými variantmi riešenia. Problém môže nastať aj vtedy, ak zadávateľ nemá s montážnymi technológiami skúsenosti a sumár požiadaviek môže byť nekonzistentný. Správne stanovený súbor požiadaviek na riešenie však môže byť veľmi nápomocný. V podstate to znamená, že problém je už detailne formulovaný, a teda existuje predstava o smerovaní riešenia.

Z hľadiska riešiteľa je potrebné predovšetkým získať všetky relevantné informácie a získať potrebnú špecifikáciu požiadaviek na projekt. V prípade, že sa projekt realizuje na základe zákazky na kľúč, je dôležitá aj procedúra získania zákazky na základe požiadaviek objednávateľa vo výberovom konaní. Na výberové konanie je obvykle objednávateľom vypísaný sumár požiadaviek, ktoré môžu byť pomerne rozsiahle a obsahujú okrem technických požiadaviek aj požiadavky týkajúce sa ceny, termínov, záruky, výkonu pracoviska a pod.

Na tomto základe po získaní zákazky je obvykle vypracovaná a podpísaná zmluva, ktorá obsahuje aj celý rad požiadaviek na riešenie montážneho pracoviska, resp. systému. Táto zmluva by vždy mala byť výsledkom konzultácií a vzájomnej komunikácie medzi zúčastnenými stranami – objednávateľom, projektovou organizáciou a užívateľom, t.j. organizáciou v ktorej bude pracovisko, resp. systém implementovaný.

V praxi je na začiatku procesu návrhu montážneho pracoviska montovaný objekt z hľadiska konštrukcie obvykle uzatvorený, t.j. nie je možné ho meniť. Objednávateľ tiež často stanovuje aj typ pracoviska, aký požaduje (napr. automatizované pracovisko, ručné montážne pracovisko a pod.), formou zoznamu určuje dodávateľov komponentov, ktorých z rôznych dôvodov akceptuje (napr. výrobcov pneumatických valcov, riadiacich systémov, snímačov a pod.). Medzi tieto požiadavky samozrejme patrí dodržiavanie všetkých platných noriem, bezpečnostných predpisov a ergonomických požiadaviek. Stanovené sú aj podmienky odovzdania pracoviska, kontroly a testy, ktoré sa budú realizovať, požadovaná dokumentácia (obsah, forma, jazyk, prípadne aj CAD systém, v ktorom sa dokumentácia vyžaduje). Kompletný projekt montáže je teda obvykle rozpracovaný do najmenších detailov (so zoznamom nástrojov, ktoré sú potrebné na opravy a údržbu, zoznamom náhradných dielov, pravidlami údržby, atď.) a pod.

Pre riešiteľa môže byť niekedy potrebná aj komunikácia s užívateľom riešenia. Ide hlavne o získanie informácií o konkrétnych podmienkach, v ktorých bude pracovisko implementované. To môže mať vplyv na celý rad technických detailov (prívody energií, kompatibilita s ostatnými zariadeniami na výrobnéj ploche, materiálový tok, platné bezpečnostné predpisy, prípadne podnikové normy). Obzvlášť je to dôležité, ak sa pracovisko

realizuje v inej krajine, kde môžu existovať odchýlky v právnych predpisoch, resp. v platných normách.

Organizácia, resp. časť podniku, kde sa projekt bude realizovať, by mala byť dostatočne a včas informovaná o projekte. Niekedy je vhodné, ak má možnosť zúčastniť sa procesu riešenia napr. formou konzultácií a to najmä preto, že má k dispozícii detailné informácie o existujúcich podmienkach, v ktorých sa bude riešenie implementovať.

## 5.2 POČÍTAČOVÁ PODPORA PROJEKTOVANIA MONTÁŽNYCH SYSTÉMOV

V súvislosti s aplikáciou koncepcie Digital Factory (digitálny podnik), ktorú je možné stručne charakterizovať ako koncepciu, v ktorej celý podnik existuje v digitálnej podobe, a to ako pred jeho realizáciou, tak aj počas jeho existencie, a to za účelom navrhovania, riadenia, prevádzky, plánovania, analýzy a simulácie všetkých prebiehajúcich procesov.

Základom realizácie tejto koncepcie je aplikácia počítačových technológií. V tejto súvislosti existuje viacero základných pojmov, ktoré sú uvedené v tabuľke 5.2. Podrobnejšie informácie je možné nájsť v literatúre [36], [112] [23].

Tab. 9.2 Základné CAx technológie.

Skratka	Názov
CAD	Computer Aided Design – počítačom podporované konštruovanie
CAM	Computer Aided Manufacturing – počítačom podporovaná výroba
CAD/CAM	Computer Aided Design a Computer Aided Manufacturing - počítačom podporované konštruovanie a počítačom podporovaná výroba
CAE	Computer Aided Engineering – počítačom podporované inžinierstvo
CAPP	Computer Aided Process Planning – poč. podpor. plánovanie procesov
CAQ	Computer Aided Quality – počítačom podporovaná kvalita
CAPE	Computer Aided Production Engineering – poč. podpora výrob. inžinierstva
CIM	Computer Integrated Manufacturing – počítačom integrovaná výroba
CAA	Computer Aided Assembly – počítačom podporovaná montáž

V tejto súvislosti možno ešte spomenúť aj tzv. **PLM systémy**, ktoré podporujú celý životný cyklus výrobku od tvorby koncepcie, konštruovania a výroby až po opravy. PLM systémy integrujú ľudí, dáta, procesy a podnikateľské systémy a ponúkajú komplexnú informáciu o výrobku.

**Virtuálna realita - Virtual Reality (VR)** je prostredie modelované počítačom, ktorý simuluje „akože“ skutočnosť. Týmto sa chápe vytváranie vizuálneho zážitku zobrazovaného na obrazovke počítača, prípadne cez špeciálne zobrazovacie zariadenie, napr. 3D okuliare alebo 3D helma. V niektorých prípadoch sa využíva aj stimulovanie ďalších zmyslov, ako je napr. sluch, čuch a hmat. Interakciu človeka s virtuálnou realitou zabezpečuje klasické vybavenie počítača alebo v pokročilejšom vybavení špeciálne prispôbené zariadenia ako 3D okuliare, rukavice so senzormi, oblečenie zachytávajúce pohyb a stimulujúce hmat, viackanálový zvuk a pod. Takto vytvorené prostredie môže vytvárať predstavu skutočného sveta (napr. nácvič boja, pilotovanie, simulácie výrob), prípadne sa od reálneho sveta odlišovať a vytvárať nový, ktorý využívajú hry a podobné aplikácie. Súčasnými technickými prostriedkami je veľmi ťažké vytvoriť vernú virtuálnu realitu, predpokladá sa však, že časom a postupným vývojom sa virtuálna realita začne využívať vo viacerých odvetviach života. Na obr. 5.1. je uvedený príklad vybavenia – 3D okuliare a rukavice.

**Projekčné systémy.** Tento systém je prezentovaný miestnosťami (CAVE), ktoré sú vybavené niekoľkými projekčnými plochami. Použitím špeciálnych okuliarov sa u osôb, ktoré sú vo vnútri miestnosti, vytvára dojem existencie presvedčivého trojrozmerného priestoru. Popri tom účastníci vidia svoje telá, čo im uľahčuje orientáciu a čiastočne eliminuje nepríjemné pocity. Na rozdiel od systémov VR pevne umiestnených na hlave však nebránia v stálom kontakte medzi členmi skupiny. CAVE systémy VR tvoria v súčasnosti špičku medzi systémami VR (obr. 5.2).



*Obr.5.1 Virtuálna realita – 3D okuliare a rukavica [75]*



*Obr. 5.2 Príklady CAVE*

**Rozšírená realita - Augmented Reality (AR)** – je oblasť počítačového výskumu, ktorá sa zaoberá kombinovaním skutočného sveta a počítačom generovaných dát. V súčasnosti je väčšina výskumu v oblasti AR zameraná na použitie v reálnom čase snímaného videa, ktoré je digitálne spracovávané a „rozšírené“ doplnením o počítačom generovanú grafiku. Výsledný obraz, ktorý vznikne miešaním snímaného videa s digitálnym obsahom, môže byť zobrazovaný na priehľadovom HMD (Head Mounted Display – displej umiestňovaný na hlavu užívateľa) alebo na monitore. Táto technológia nachádza uplatnenie v rôznych oblastiach (plánovanie výroby, dizajn, kontrola kolízií, prezentácia produktov, medicína, atď.).



Na trhu sa už objavili komerčné riešenia na báze AR. Jedným z nich je systém Nomad od firmy Microvision. Podľa údajov výrobcu systém Nomad zvyšuje produktivitu servisných stredísk poskytnutím nástroja, ktorý zaisťuje, že technici a ostatný servisný personál pracuje so špičkovou efektívnosťou s kritickými informáciami presne v požadovanom čase a mieste, pričom tieto informácie sú vždy dostupné a vždy aktuálne (obr. 5.3).



*Obr. 5.3 Ukážka činnosti expertného technického systému NOMAD od firmy Microvision [69]*

V oblasti montáže komplexných systémov je v štádiu testovania aplikačný scenár pre letecký priemysel, ktorý je realizovaný v rámci projektu ARVIKA. V tomto prípade ide o montáž vybavenia do Airbusu A 340 a A 3XX so zameraním na podporu montáže elektrických vedení a potrubí, obr. 9.4.



*Obr. 5.4 Montáž elektrických vedení a potrubí podporovaná AR je v štádiu testovania [4]*

### 5.2.1 CATIA

Dassault Systèmes (DS)' Product Life Cycle Management (PLM) riešenia sú určené komplexné riešenia, t.j. od virtuálneho výrobku **CATIA**, cez realistickú simuláciu **SIMULIA**, digitálnu výrobu **DELMIA**, collaboration and business process management **ENOVIA** a customer experiences **3DVIA**.

**CATIA** (Computer-Graphics Aided Three Dimensional Interactive Application) je PLM/CAD/CAM/CAE komerčný softvér vyvinutý spoločnosťou Dassault Systemes a je celosvetovo distribuovaný Dassault Systemes (<http://www.3ds.com/>) a jeho obchodnými partnermi.

Ide o modulový systém, kde si užívateľ môže vybrať z množstva dodávaných modulov, v závislosti od svojej špecializácie a požiadaviek. CATIA V5 je softvér používaný najmä v leteckom, automobilovom a spotrebnom priemysle. CATIA je navrhnutá tak, aby bolo

umožnené súbežné navrhovanie (concurrent engineering), čiže prekrývanie etáp vývoja výrobku, a tým možná aj spoločná práca viacerých oddelení nad novovyvíjaným produktom. Výrobca: Dassault Systèmes, Francúzsko CATIA V5 má implementovanú filozofiu NT (funkcie Cut/ Copy/ Paste/ Drag&Drop) a štandardy NT (Plug&Play, OLE, Visual Basic, WEB, API,...). Architektúra systému umožňuje definovať, zdieľať, modifikovať a vyhodnocovať všetky technologické informácie o celom životnom cykle výrobku.

Jadrom sú konfigurácie tvorené jednotlivými produktmi, usporiadanými do troch rôznych platforiem: P1, P2 a P3. Tieto platformy sa zameriavajú na tri rozdielne špecifické úrovne potrieb zákazníka:

- *Platforma P1* poskytuje súbor softvérových modulov orientovaných na objemové modelovanie na báze features a je vhodným štartovacím riešením pre nových užívateľov systému CATIA. V rámci väčších konfigurácií systému je možné túto platformu odporučiť aj pre občasných užívateľov, ktorí pre svoje výkony v rámci tímových štruktúr nepotrebujú plný rozsah aplikácií a funkcionalít systému.
- *Platforma P2* zahŕňa rozšírený súbor konfigurácií a aplikačných modulov založených na hybridnej modelovacej technológii s odporúčením pre produktovo a technologicky orientovaný vývojový proces a pre výrobcu s najvyššími požiadavkami na komplexnú elektronickú definíciu výrobkov a technológií.
- *Platforma P3* prináša vysokú úroveň špecifickej funkčnej výbavy ako zvláštnym zákazníkom, tak aj úsekom rozsiahlych priemyslových komplexov.

Hlavné moduly systému CATIA:

#### ***Mechanical Design Solution (Mechanická konštrukcia)***

Intuitívne 3D objemové modelovanie (Part Design), modelovanie plôch, práca s plechmi, tvorba a práca so zostavami, tvorba výkresov. Je modelovanie s cieľom vytvoriť plne editovateľný parametrický model s radom geometrických a technologických rysov a plnou asociativitou.

#### ***Shape Design & Styling Solution (Tvarovanie a úpravy)***

Produkty na vytváranie, riadenie a modifikácie jednoduchých i zložitých plôch - špecializované aplikácie pre najvyššie požiadavky v oblasti voľného i parametrického dizajnu na báze povrchového modelovania. Zahŕňa tiež špecializované nástroje určené pre profesionálne požiadavky v oblasti vývoja karosérie automobilov.

#### ***Product Synthesis (Syntéza produktu)***

Nástroje na kontrolu digitálneho prototypu a na simulácie jeho funkčnosti - aplikácie určené na virtuálnu analýzu a hodnotenie funkčnosti komplexného priemyselného výrobku počas celého jeho životného cyklu. Tento zahŕňa jeho finálnu montáž, simulácie úžitkových funkcií, vlastností a servisných výkonov, a tiež záverečnú demontáž po uplynutí životnosti.

#### ***Equipment and System Engineering Solution (Vnútorne zariadenia a systémy)***

Produkty na návrhy elektrických zariadení, káblových zväzkov a rozvodov – aplikácie na návrh, modifikáciu a analýzu elektrických a kvapalinových systémov s cieľom riešiť celkové usporiadanie priestorových pomerov v rámci priemyselného výrobku.

#### ***Analysis Solution (Inžinierske analýzy)***

Produkty na jednoduché analýzy metódou konečných prvkov, určených pre konštruktérov na prvotnú analýzu jednotlivých dielov alebo zostáv. Aplikácie sú určené predovšetkým na predbežné posúdenie správnosti navrhnutého dimenzovania konštrukcie konštruktérom a zaisťujú rýchlo dostupnú informáciu o stabilite konštrukcie priamo pri jej vzniku.

### ***Machining (NC obrábanie)***

Predmetom špecializovaných CAM aplikácií je tvorba numerických riadiacich dát pre počítačovo riadené výrobné technológie na základe geometrie CAD modelov a zabudovaného technologického know-how.

### ***Infrastructure Solution (Infraštruktúra systému)***

Zahŕňa prevodníky medzi CATIA V5 a ďalšími štandardnými formátmi, umožňuje výmenu dát s predchádzajúcou verziou CATIA V4. Skupina produktov na báze znalostného inžinierstva umožňujúca najvyššiu úroveň zdieľania a využívania know-how v rámci štruktúry podniku.

### ***Modelovanie súčiastok a navrhovanie komplexných výrobkov***

Systém CATIA poskytuje v prvom rade tvorbu virtuálnych 3D modelov súčiastok, dielcov a komplexných výrobkov. 3D model výrobku je potom základom, na ktorom je postavená aplikácia ďalších modulov. Na obr. 5.5 je uvedený príklad študentskej práce. Model bol vytvorený za pomoci modulov Part Design a Generative Shape Design. Na stránke [101] je možné nájsť ďalšie príklady. Zároveň je možné odporúčať publikácie [98], [28].



***Obr. 5.5 Model motocykla v CATII***

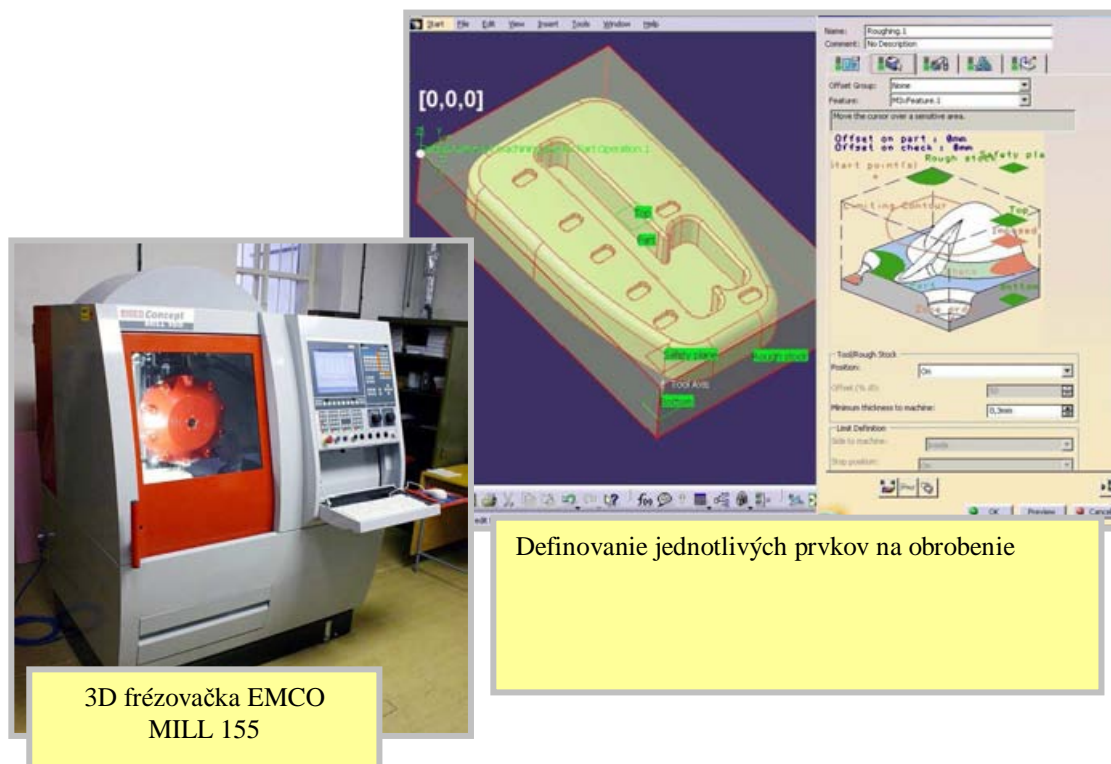
### ***CAD/CAM***

CATIA umožňuje na základe virtuálneho modelu dielca vytvoreného v CAD systéme vygenerovať dáta na jeho výrobu (obr.5.6). Rámcový postup podľa [98] je možné stručne popísať v nasledujúcich krokoch:

- výber obrábacieho stroja, definovanie základných parametrov,
- zosúladenie súradnicového systému modelu so súradnicovým systémom stroja,
- základné definovanie: polotovaru, obrobku, bezpečnej roviny (rovina, v ktorej sa bude nástroj premiestňovať medzi jednotlivými operáciami na vylúčenie nežiaducej interferencie medzi nástrojom a obrobkom),
- definovanie parametrov nástroja,
- definovanie čiastočných operácií obrábania: výber polotovaru, obrobku, bezpečnej roviny, hornej a spodnej roviny, kontrolných kontúr alebo plôch, prídavku na obrábanie pre konkrétnu operáciu,
- voľba stratégie dráhy nástroja po jednotlivých povrchoch súčiastky pre konkrétnu operáciu,

- definovanie rezných podmienok, nastavenie parametrov ovplyvňujúcich výslednú kvalitu obrobeného povrchu,
- definovanie makier na prísun nástroja do záberu a odsun nástroja zo záberu,
- vizualizácia a verifikácia korektnosti dráhy nástroja,
- generovanie NC kódu pre CNC stroj v tvare APT (Automatically Programmed Tool), CL File (Cutter Location File), prípadne priamo pre konkrétny riadiaci systém CNC stroja.

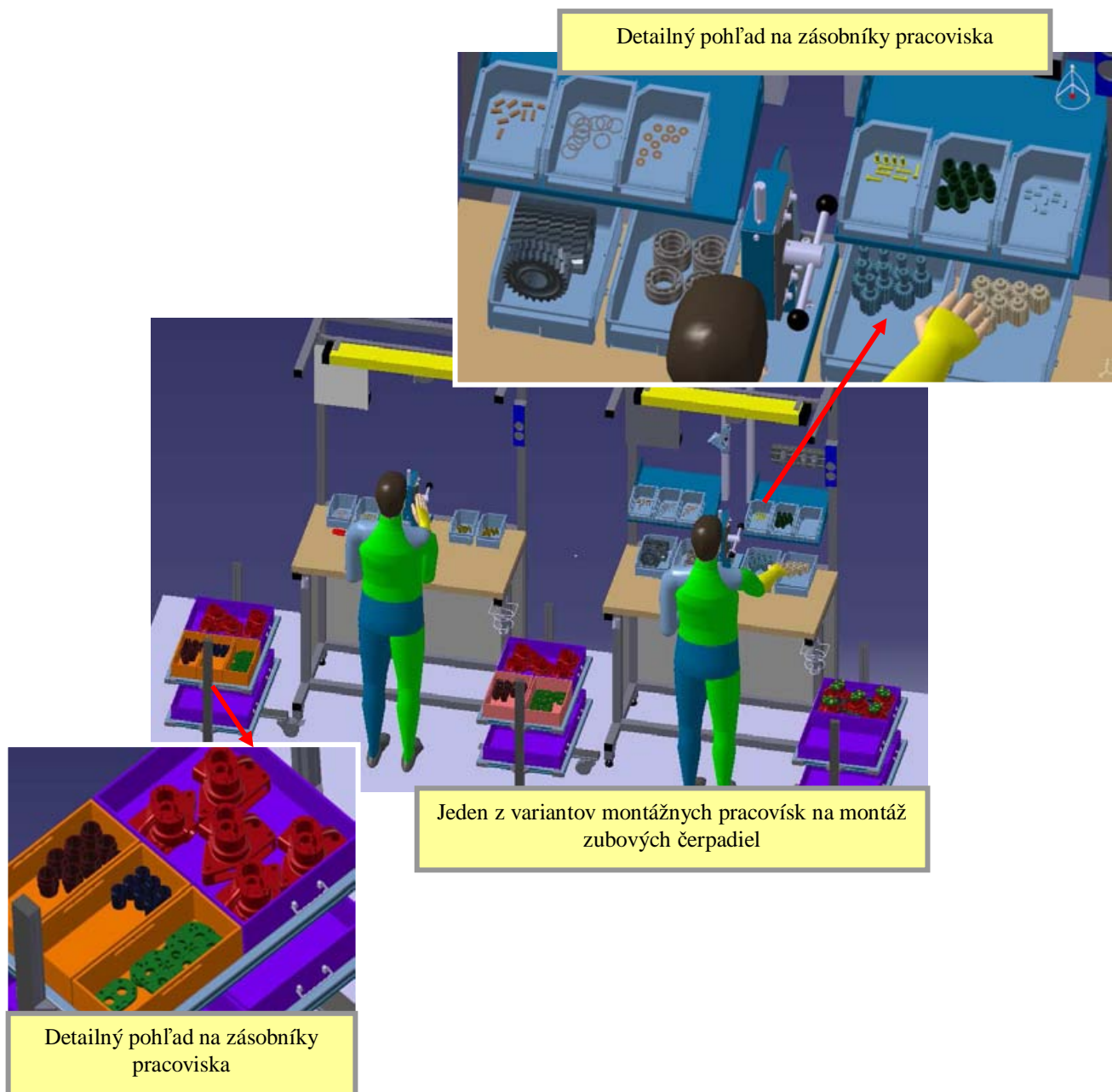
Problematika je samozrejme oveľa rozsiahlejšia a pre detailné štúdium je možné odporúčať niektorú z nasledujúcich publikácií [27], [28], [98].



*Obr. 5.6 3D frézovačka EMCO MILL 155 a obrazovka definovania jednotlivých prvkov obrábania [98]*

### **Návrh montážneho pracoviska na montáž čerpadla**

Pri navrhovaní montážneho pracoviska je samozrejme potrebné postupovať od analýzy montovaného výrobku cez návrh technologického postupu montáže a výber technických zariadení. Na návrh pracoviska v CATII je možné úspešne použiť viaceré existujúce zdroje 3D modelov prvkov a zariadení. Veľkou výhodou je, ak aj montovaný výrobok je navrhnutý v CATII. Napríklad v príklade takéhoto riešenia montážneho pracoviska na montáž zubového čerpadla (obr.5.7) sú na pracovisku v jednotlivých zásobníkoch umiestnené jednotlivé dielce a súčiastky zubového čerpadla. To umožňuje vytvoriť si veľmi realistickú predstavu o celom procese a zároveň napomáha pri stanovení rozmerov jednotlivých paliet, zásobníkov, upínačov a podobne. Detaily návrhu, ako aj ďalšie varianty pracovísk sú uvedené v [26].



*Obr. 5.7 Príklad projektu montáže zubového čerpadla vytvorený v CATII [26]*

### ***Aplikácia ergonomických modulov CATIE v projektovaní ručných montážnych pracovísk***

Ergonomické faktory zohrávajú pri projektovaní ručných montážnych pracovísk významnú úlohu, ktorá vyplýva z postavenia človeka v tomto druhu montáže. Nevhodne naprojektované pracovisko má negatívne vplyvy na zdravie pracovníka, produktivitu a kvalitu produkcie. Medzi základné úlohy projektovania takýchto pracovísk patrí vhodné umiestnenie pracovnej zóny, zásobníkov, nástrojov a súčiastok na pracovisku. Tým sa má na mysli také celkové usporiadanie pracoviska, ktoré rešpektuje špecifickú pracovníka vykonávajúceho danú montážnu operáciu (telesné rozmery, pohlavie, atď.). Komplexný návrh pracoviska so zohľadnením všetkých ergonomických aspektov je náročný a komplikovaný, čo v konečnom dôsledku predlžuje čas projektovania.

**PLM systém** CATIA firmy Dassault Systemes obsahuje moduly, ktoré podporujú celý životný cyklus produktu od návrhu, cez detailnú tvorbu modelov a výkresov produktu vrátane projektovanie výrobného zoskupenia až po servis a údržbu. Tento systém má v sebe integrované aj nasledovné moduly na ergonomické projektovanie a analýzy:

**Human builder (HBR)** – je určený na tvorbu a manipuláciu digitálneho modelu človeka (v aplikácii sa používa termín „Manikin“) na analýzu interakcií človek - produkt. Je možné generovať postavu človeka, špecifikovať pohlavie a percentily, vytvárať animácie a rozšírenú vizuálnu simuláciu. Na obr. 5.8 je uvedený príklad vloženia modelu človeka s dialógovými oknami na špecifikáciu pohlavia, percentilu, rasy a ďalších parametrov.

**Human measurements editor (HME)** - umožňuje tvorbu rozšírených, užívateľom definovaných 3D modelov človeka, a to pomocou celého radu vyspelých antropometrických nástrojov. Je možné nastaviť a prispôbiť 103 antropometrických premenných, a tak upraviť ktorýkoľvek telesný rozmer presným požiadavkám, resp. vytvoriť individuálny 3D model pracovníka.

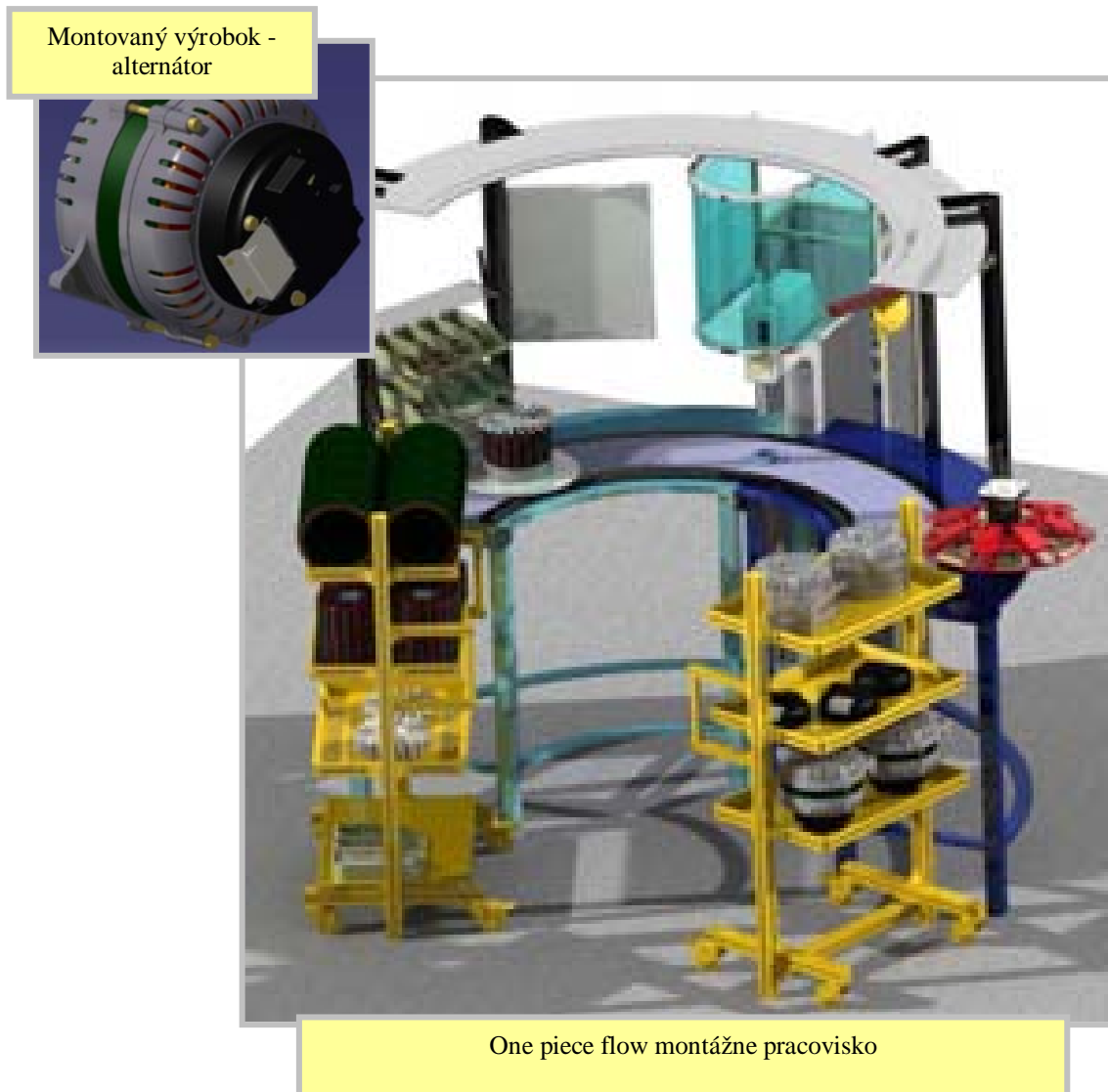
**Human posture analysis (HPA)** - umožňuje kvantitatívne a kvalitatívne analyzovať všetky aspekty postoja človeka. Celé telo a lokalizované pozície môžu byť skúšané, hodnotené a iterované tak, aby bolo zabezpečené pohodlie a výkonnosť človeka pri interakcii s technickým zariadením. Umožňuje upravovať stupne voľnosti jednotlivých segmentov, z ktorých je zložený 3D model človeka.

**Human activity analysis (HAA)** - umožňuje maximalizovať pohodlie, bezpečnosť a výkonnosť použitím širokého spektra nástrojov na ergonomickú analýzu, ktoré komplexne hodnotia všetky prvky interakcie človeka s technickým zariadením alebo výrobkom a špeciálne analyzujú interakciu s objektmi vo virtuálnom prostredí. Modul podporuje RULA (Rapid Upper Limb Assessment) analýzu, analýzu námahy pri zdvíhaní bremien (podľa NIOSH 1981, NIOSH 1991 a Snook & Ciriello), Push/Pull analýzu, Carry analýzu a biomechanickú analýzu.



**Obr.5.8** Dialógové okná na vloženie 3D modelu človeka a jeho umiestnenie do požadovanej pozície

Ergonomické moduly systému CATIA je možné použiť pri analýze ručných montážnych pracovísk vytvorených v systéme CATIA ako 3D modely, resp. importovaných do systému CATIA vo všeobecnom formáte pôvodne vytvorených v inom CAD systéme. Základom je, samozrejme, analýza montovaného výrobku a detailný technologický postup montáže [107]. Okrem toho je možné ergonomické moduly použiť aj na analýzu návrhov nových technických prvkov a zariadení. Na obr. 5.9 je uvedený príklad vytvoreného one piece flow ručného pracoviska pre montáž alternátora. Toto pracovisko bolo vytvorené z vybraných štandardizovaných komponentov. Navrhnuté pracovisko bolo potrebné preveriť z hľadiska ergonómie (obr.5.10).



*Obr. 5.9 One piece flow ručné montážne pracovisko na montáž alternátora*

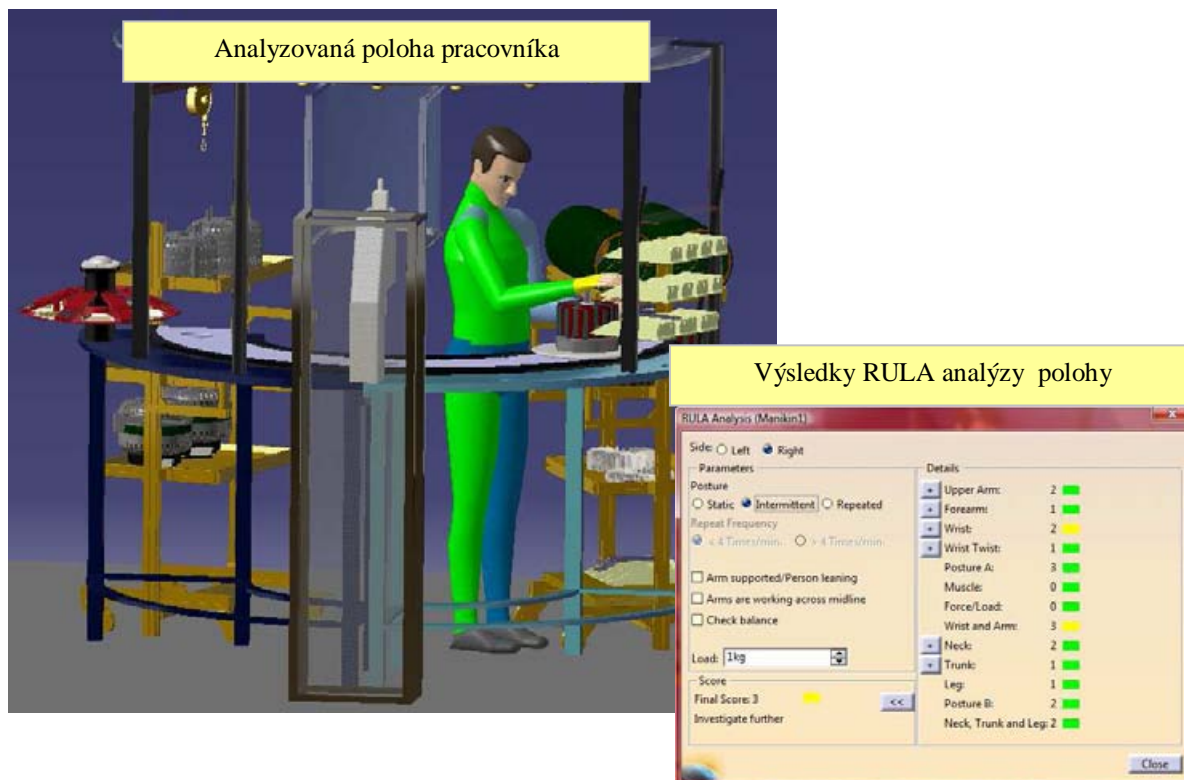
Po vložení 3D modelu človeka do modelu pracoviska boli identifikované polohy, ktoré je potrebné analyzovať (odoberanie súčiastok z paliet, umiestnenie pracovnej zóny a pod.). Jednotlivé polohy boli následne analyzované podľa RULA analýzy. Výsledkom tejto analýzy je skóre, ktoré sa počíta ako stredná hodnota čiastkového skóre jednotlivých častí tela, kde pre každú časť tela je osobitná stupnica hodnotenia, pozri tab. 5.3.

*Tab. 5.3 Čiastkové skóre pre jednotlivé časti tela.*

Segment – časť tela	Skóre	1	2	3	4	5	6
nadlaktie	1až 6	Green	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
predlaktie	1až 3	Green	Yellow	Red			
zápästie	1až 4	Green	Red	Orange	Red		
natáčanie zápästia	1až 2	Green	Red				
krk	1až 6	Green	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
trup	1až 6	Green	Green	Yellow	Yellow	Red	Red

Výsledné skóre sa hodnotí podľa nasledovnej stupnice:

- zelená farba – poloha je akceptovateľná,
- žltá farba – polohu je treba ďalej optimalizovať,
- oranžová farba – polohu je potrebné zmeniť,
- červená farba – poloha je absolútne nevyhovujúca a je potrebné ju okamžite zmeniť.



Obr. 5. 10 Poloha pracovníka na pracovisku a výsledky RULA analýzy

Ako príklad riešenia je uvedená poloha - operácia odoberania ložísk zo zásobníka. Pri tejto operácii pracovník naťahuje pravú ruku k polici so zásobníkmi, kde sú umiestnené ložiská. Zásobníky s ložiskami sú umiestnené v druhom rade odspodu na pravej strane z pohľadu pracovníka. Po nastavení 3D modelu človeka do pozície odoberania ložiska zo zásobníka, bola vykonaná RULA analýza. Tá ukázala, že pracovník ma najviac namáhané zápästie, čo vidieť aj z grafického znázornenia a tabuľky výsledkov (obr.5.10). Finálne skóre má hodnotu 3 (žltá farba), čo indikuje potrebu ďalšej optimalizácie. Pokusne bola zmenená výška police so zásobníkmi, ale výsledky analýzy ukázali, že síce pri odoberaní ložísk sa situácia zlepšila, ale podstatne sa zhoršila pri odoberaní hriadel'ov a zberacích krúžkov, ktoré sa nachádzajú v zásobníkoch umiestnených v rade nad a pod ložiskami, pretože zápästie a predlaktie sa zafarbilo na červeno, teda poloha bola absolútne nevyhovujúca. Čiže v podstate sa ukázalo, že pôvodný návrh pracoviska je kompromisom. Rovnakým spôsobom je možné analyzovať a optimalizovať všetky pozície na pracovisku. Výsledkom je potom pracovisko, ktoré je z hľadiska ergonomie riešené tak, že vytvára optimálne podmienky na prácu z hľadiska únavy, kvality, produktivity a zaťaženia pracovníka. V každom prípade je nutné povedať, že dosiahnuť „ideálny“ stav, aby všetky prvky pracoviska boli umiestnené „ideálne“, nie je jednoduché a niekedy v praxi aj nemožné vzhľadom na rôzne obmedzujúce faktory, ako sú obmedzenia priestoru, náklady spojené so špeciálnymi rotačným zásobníkmi



a pod. Avšak už vedomie toho, že pracovisko je navrhnuté s istými konkrétnymi kompromismi, umožňuje zohľadniť pri plánovaní produktivity tento hendikep a zakomponovať do pracovného programu povinné prestávky na oddych, resp. relaxačné cvičenie na odstránenie preťaženia.

Na základe skúseností s aplikáciou softvérových nástrojov CATIE v oblasti analýzy ergonomie je možné konštatovať, že je to vhodná cesta pre riešenie úloh súvisiacich s hľadáním vhodného umiestnenia prvkov na montážnom pracovisku, resp. na overenie rozmerových parametrov pracoviska z hľadiska ergonomie. Analýza umožňuje aj relatívne rýchle overenie realizovaných zmien a je možné ju použiť aj pri overovaní parametrov novo navrhovaných technických prvkov a zariadení z hľadiska ergonomie.

### Virtuálna realita

CATIA podporuje aj niektoré technológie virtuálnej reality. Na obr. 5.11 je uvedený príklad aplikácie dátovej rukavice CyberGlove II od firmy Immersion Corporation. Detailné informácie je možné nájsť v publikáciách [57],[59], [61].



Obr. 5.11 Aplikácia dátovej rukavice CyberGlove II od firmy Immersion Corporation [55]

### 5.2.2 DELMIA

DELMIA firmy Dassault Systèmes [20] sa špecializuje na plánovanie a simuláciu výrobných postupov zložitých komplexných výrobkov (automobily, lietadlá, lode,

elektronické a výrobné zariadenia). Pre každú etapu plánovania výroby ponúka DELMIA ucelené riešenie vrátane špeciálnych aplikácií.

#### ***Plánovanie výrobných procesov***

- definovanie väzieb medzi dielcami, operáciami a zariadeniami,
- komplexné popisné informácie k jednotlivým položkám,
- prehliadka grafického modelu v 3D,
- graf nadväznosti operácií,
- časové normy pre operácie podľa známych metodík ako napr. MTM,
- plánovanie rozmiestnenia zariadení.

#### ***Ergonómia***

- komplexné modelovanie ľudského tela podľa antropometrického modelu,
- statické a dynamické analýzy fyzickej záťaže podľa rôznych metodík,
- simulácie rozmanitých pracovných činností a pohybov,
- štúdie realizovateľnosti pracovných úkonov.

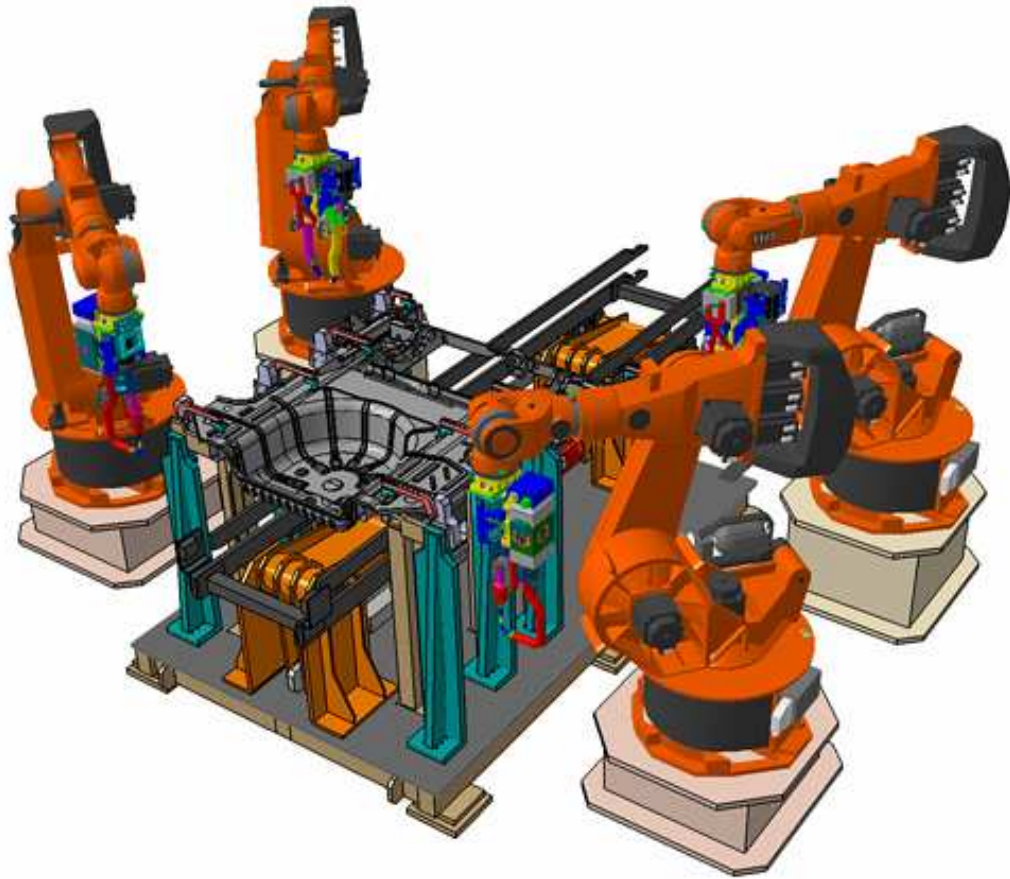
#### ***Robotika***

- vypracovanie štúdií realizovateľnosti robotizovaných pracovísk (napr. dosahy robotov, detekcia kolízií),
- komplexný nástroj pre návrh kinematiky robotov a prídavných zariadení,
- prenos vytvorených programov na výrobnú linku (off-line programovanie),
- realistická simulácia dynamických javov,
- knižnica robotov a výrobných zariadení,
- viac než 800 robotov rôznych výrobcov ABB, DAIHEN, FANUC, KUKA, MOTOMAN, NACHI.

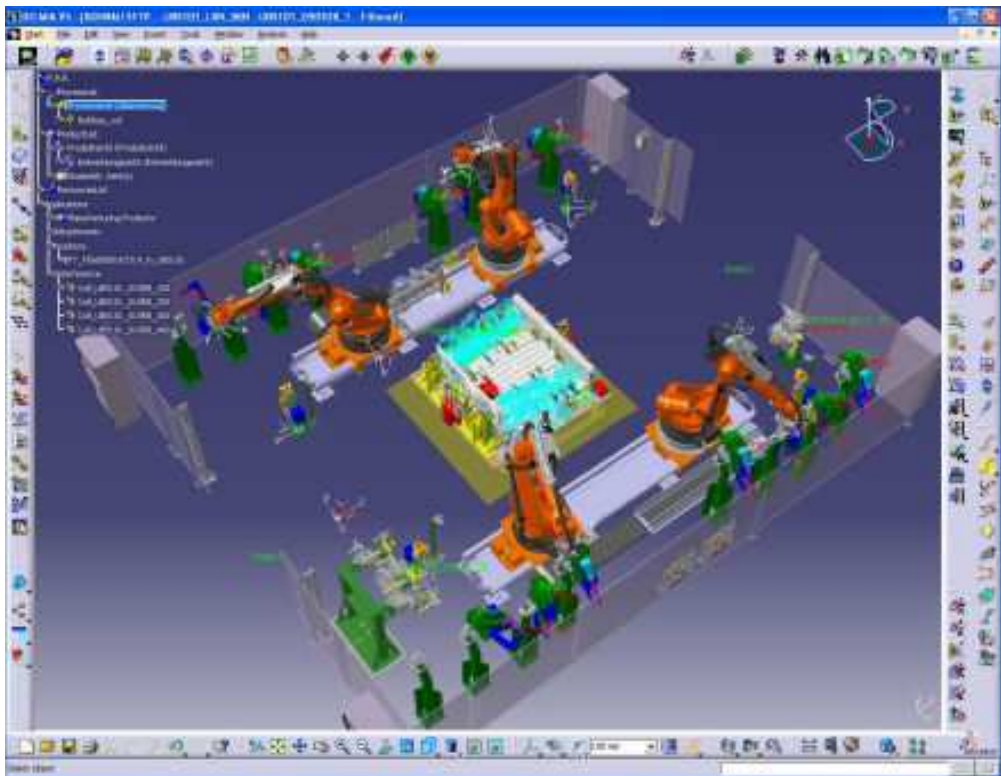
#### ***Simulácia výrobných procesov***

- modelovanie výrobných procesov s uvažovaním náhodných javov a súvisiacich vonkajších a vnútorných väzieb,
- schopnosť simulovať napr. niekoľko týždňov výroby dopredu počas niekoľkých minút,
- realizácia pokusov s modelom, ktoré nie sú v realite možné ,
- odpovede na otázky typu „Čo sa stane ak ... ?“,
- simulácie pre rôzne úrovne riadenia.

Na obr. 5.12 a 5.13 sú uvedené príklady aplikácie Delmie.



*Obr. 5.12 Robotizované pracovisko podľa [23]*



*Obr. 5.13 Aplikácia Delmie, ilustračné“ foto“ [99]*

### 5.2.3 INVENTOR

Inventor – jeden z produktov firmy Autodesk, Inc. [6] je v súčasnosti k dispozícii v novej verzii: Inventor Professional 2011. V ďalšom texte uvedená charakteristika je spracovaná podľa informácií uvedených na stránke [112].

„Autodesk Inventor Professional zvyšuje produktivitu navrhovania a rozširuje možnosti Inventoru o konštrukciu špecifických strojárskych prvkov, potrubných systémov a zostáv s vedením pevných a ohybných rúrok, elektromechanických zariadení, zostáv s doskami plošných spojov, o MKP/FEM výpočty zaťaženia, ANSYS FEA, dynamické simulácie, a pod. Okrem plnej funkčnosti Autodesk Inventor Series obsahuje funkcie pre izometrické vedenie rúrok, routing potrubných vedení, rozsiahlu knižnicu normalizovaných potrubných a spojovacích prvkov, podporu formátu .IDF, formát PCF pre [ISOGEN](#), CAE funkcie ANSYS, atď.

*Inventor Professional 2011* rozširuje modul "Tooling" s väzbou na simulácie a analýzy Moldflow, ponúka výpočty rámových konštrukcií, rozširuje modul dynamickej simulácie.“

Základná charakteristika:

- priama editácia dielcov,
- dynamické zadávanie v náčrtoch,
- skladanie zostáv uchopením,
- interoperabilita vďaka vylepšenej podpore súborov Aliasu, drag-n-drop práce s modelmi Catia V5 a V4 a CRG,
- inventor Fusion (česky) súčasť inštalácie, prepojenie s Inventorom,
- alias Design for Inventor - voľnoplošné 3D modelovanie v Inventore,
- automatizácia návrhu - iLogic, iCopy,
- realistický rendering počas editácie modelu (s hw podporou grafiky),
- jednotná knižnica rendering materiálov,
- práca s DWG blokmi bez otvárania DWG súboru,
- výmena architektonických BIM modelov s Revitem,
- viacpohľadové výkresy pomocou jednej funkcie,
- reťazové kóty,
- vylepšené šrafy (užívateľské šrafy, text),
- vylepšená 3D tlač,
- analýza rámových konštrukcií,
- dynamické simulácie zostáv foriem (Tooling).

Dostupné modifikácie sú uvedené v nasledujúcej tabuľke 5.4 a príklady nezávislých aplikácií pre Inventor v tabuľke 5.5.

Tab. 5.4. Modifikácie Inventoru.

Moduly	AutoCAD Inventor Suite	AutoCAD Inventor Routed Systems Suite	AutoCAD Inventor Tooling Suite	AutoCAD Inventor Simulation Suite	AutoCAD Inventor Professional Suite
Autodesk Inventor 3D	✓	✓	✓	✓	✓
AutoCAD Mechanical	✓	✓	✓	✓	✓
AutoCAD (plný)	✓	✓	✓	✓	✓
Natívny DWG formát - kompatibilita	✓	✓	✓	✓	✓
Digitálne prototypy	✓	✓	✓	✓	✓
Mechanické konštrukcie v 3D	✓	✓	✓	✓	✓
Konštrukcie veľkých zostáv	✓	✓	✓	✓	✓
Automatické generovanie rozpisky	✓	✓	✓	✓	✓
700000 normalizovaných dielov	✓	✓	✓	✓	✓
Nástroje pre 3D animácie	✓	✓	✓	✓	✓
Mechsoft - normalizované strojárske výpočty	✓	✓	✓	✓	✓
Frame generator (oceľové konštrukcie)	✓	✓	✓	✓	✓
Návrh káblov a káblových zväzkov, IDF		✓			✓
Návrh rúr, potrubí a ohybných hadíc		✓			✓
Analýza zaťaženia (MKP/FEA)				✓	✓
Dynamické simulácie				✓	✓
Návrh nástrojového vybavenia a foriem			✓		✓
Autodesk Vault (PLM) - datamanagment	✓	✓	✓	✓	✓

Tab. 5.5 Príklady nezávislých aplikácií pre Inventor podľa [112].

P.č.	Názov aplikácie - odkaz
1	Mechsoft PROFI pre Inventor (tvorba strojárskych detailov) – teraz ako súčasť Inventora ako <i>Inventor Design Accelerator</i> - <a href="#">Profi</a>
2	Elysium CADporter pre import/export CAD dát z Pro/Engineer, Unigraphics, CATIA, I-Deas a Solidworks v Inventore- <a href="#">Elysium</a>
3	FEM/MKP výpočty DesignSpace - <a href="#">ANSYS</a>
4	FEM/MKP výpočty COSMOS- <a href="#">COSMOS</a>
5	CNC obrábanie a výroba - EdgeCAM Solid Machinist- <a href="#">EdgeCAM</a>
6	CNC výroba – hyperMILL- <a href="#">hyperMILL</a>
7	3D SheetMetal - rozšírená podpora plechových súčiastok- <a href="#">SPI</a>
8	3D Ducting – konštrukcia plechových potrubí- <a href="#">Ducting</a>
9	Metal-Bender - plechové súčiastky, ohýbanie- <a href="#">COPRA MetalBender</a>

10	Konštrukcia foriem 3D formy- <a href="#">Mold Factory</a>
11	Moldflow Plastics - vstrekovacie formy, plastové výrobky
12	Oceľové a potrubné prvky, prevody - Power Products pro Inventor- <a href="#">Power Products</a>
13	Súčiastky, oceľové profily a prehliadač pre Inventor- <a href="#">CADmanagement</a>
14	Oceľové konštrukcie pre Inventor ASi-Profile (ACAD Steel)- <a href="#">ASi-Profile</a>
15	Organizéry pre Inventor (projekty, farebné schémy, štatistiky...)- <a href="#">Organizer</a>
16	<a href="#">GraphiCalc</a> pre Inventor (decision-support)
17	<a href="#">IPA</a> pre Inventor (authoring, prezentácia a komunikácia)
18	Publikovanie 3D zostáv - <a href="#">ModelPress</a>
19	<a href="#">Presenter 3D</a> - fotorealistická prezentácia zostáv Inventora
20	<a href="#">CFdesign</a> - simulácia prúdenia pre Inventor (prúdenie tekutín, prenos tepla)
21	<a href="#">iTOL</a> - tolerančná analýza pre Inventor 6 a 7
22	<a href="#">Geomate ToleranceCalc</a> - tolerančná analýza pre Inventor 2009 (1D/2D)
23	IVV Drawings, IVView - distribúcia Inventor výkresov s integrovaným prehliadačom - <a href="#">IVView</a>
24	Rozhranie pre formát IDF (PCB) - <a href="#">IDF-Interface</a> pre Inventor
25	SAP-Link - ERP rozhranie pre Inventor - <a href="#">SAP</a>
26	Dávková tlač <a href="#">i-Print</a> a ďalšie utility pre Inventor
27	Online knižnica <a href="#">Manufacturing Supplier Content Center</a>
28	Online knižnice strojných súčiastok (i-drop) - <a href="#">Parts</a>
29	Online knižnica strojárskych modelov - <a href="#">Thomas Register</a>
30	SKF CAD modely <a href="#">SKF ložiska</a>
31	Import súradníc náčrtu z Excelu - <a href="#">ImportCoord</a>
32	Zrkadlenie zostáv starších verzií Inventoru - <a href="#">Assembly Mirror</a>
33	Xanadu Inventor Tools - makrá pre Inventor (súčasť BonusCD X+) - <a href="#">X-Tools</a>
34	Export VRML modelov zostáv Inventora 5.3/6/7/8/9/10/11/2008/2009/2010 pre Web publikovanie - <a href="#">VRML Translator</a>

\* Pozn.: aktuálnosť uvedených www. stránok v tabuľke ku dňu 10.6.2010

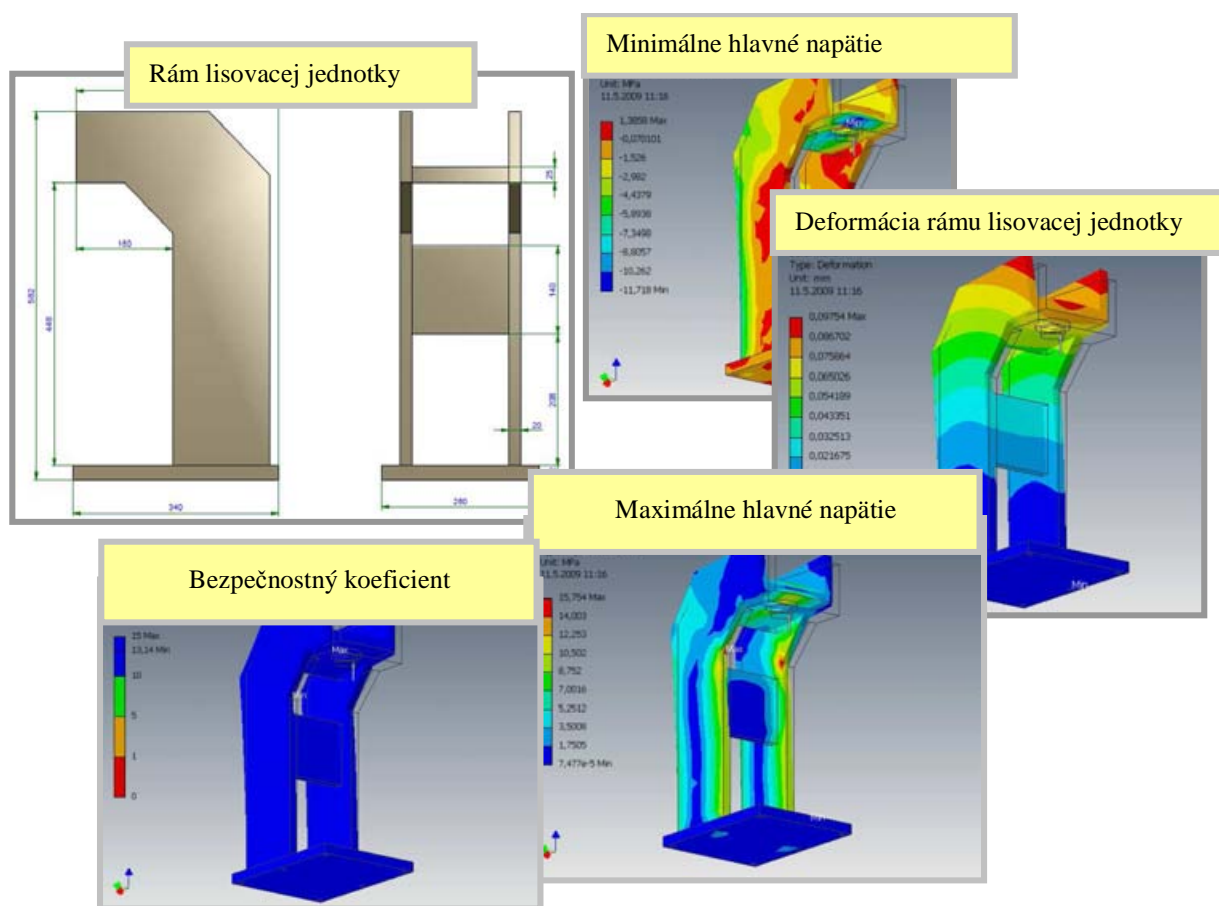
### Návrh rámu lisovacej jednotky

Pri projektovaní montážnych procesov a systémov je niekedy nevyhnutné, resp. účelné navrhovať aj vlastné konštrukcie technických zariadení, ktoré sa následne implementujú v projekte montážneho pracoviska, resp. systému. Ako príklad je možné uviesť konštrukčný návrh lisovacej jednotky. Prvou základnou úlohou v tomto prípade [48], [88] bol návrh rámu lisovacej jednotky.

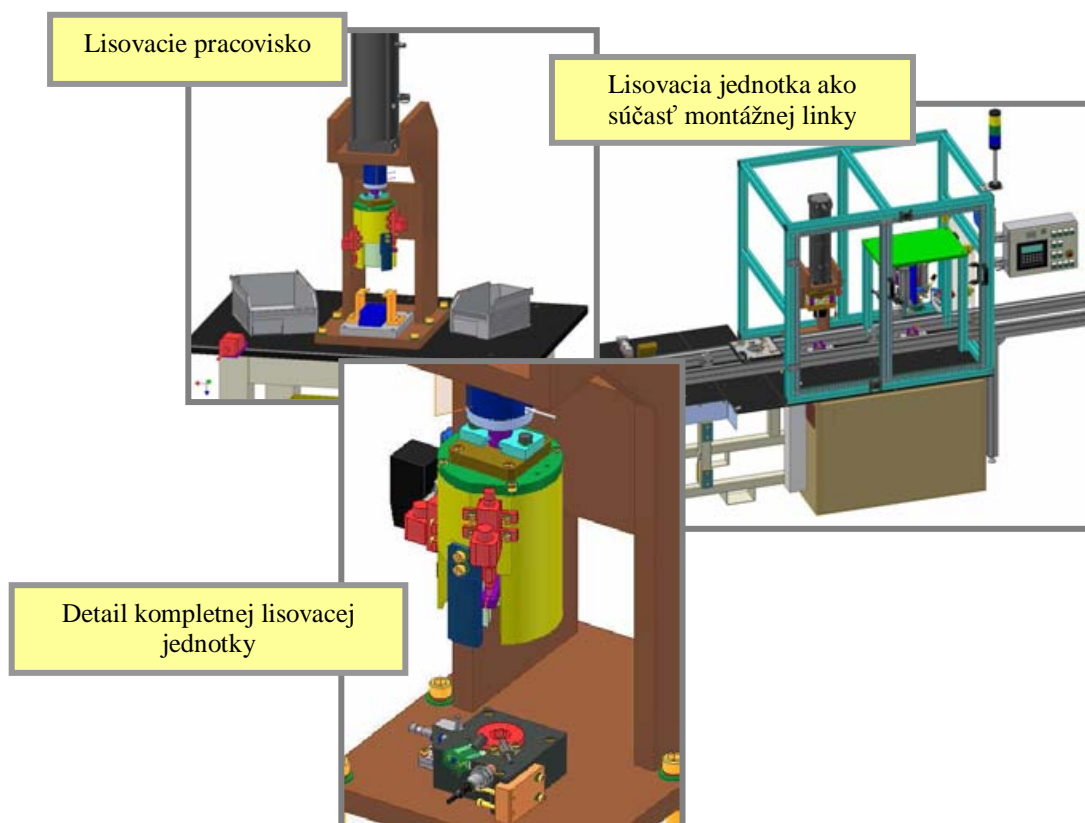
Celý rám lisovacej jednotky bol navrhnutý v programe Autodesk Inventor Professional 2009. Priamo pri modelovaní boli definované fyzikálne vlastnosti. Po výbere materiálu z ponuky program ihneď vypočíta hmotnosť, plochu, objem, polohu ťažiska a momenty zotrvačnosti. Tieto vlastnosti potom program využíva pri výpočtoch alebo vloží vlastnosti do titulného bloku na výkrese. Výhodou je, že program má integrovaný modul Autodesk Inventor Stress Analysis, čiže pevnostnú analýzu metódou konečných prvkov (FEM). Nie je potrebné exportovať CAD model do špeciálnych FEM aplikácií, čo značne uľahčuje a urýchľuje prácu. Po definovaní požadovaných parametrov do programu potrebných pre výpočet sa realizuje analýza. Na základe výsledkov analýzy môžeme správne dimenzovať jednotlivé súčiastky, minimalizovať hmotnosť výrobku a materiálové náklady. Výstupom z analýzy je ekvivalentné napätie, maximálne a minimálne hlavné napätie, deformácia a súčiniteľ bezpečnosti (obr. 5.14).

Rám lisovacej jednotky je, samozrejme, iba jedna časť celkového návrhu. Kompletná lisovacia jednotka obsahuje celý rad ďalších prvkov a dielcov (pozri obr. 5.15). Na spodnú dosku rámu je prichytený lisovací prípravok, do ktorého sa ukladajú spájané súčiastky. Poloha a prítomnosť súčiastok je snímaná snímačmi polohy. Lisovacia jednotka obsahuje lisovaciu hlavu, v ktorej je uchytený lisovací nástroj. Hlava je prichytená k vrchnej doske rámu. V hlave sú aj snímače sily. Z vonkajšej strany sa na lisovaciu hlavu uchyťávajú snímače dráhy. Na rám lisovacej jednotky je prichytená úprava vzduchu, ktorá obsahuje spínacie ventily, redukčný ventil s manometrom a tlakový spínač. Ak je lisovacia jednotka súčasťou väčšieho pracoviska, je možné úpravu vzduchu premiestniť pod dosku stola, tým vznikne väčší priestor okolo rámu.

Takto navrhnutú lisovaciu jednotku je potrebné zakomponovať do pracoviska. Môže ísť o samostatné pracovisko s jednou operáciou – lisovanie. Prípadne je lisovacia jednotka súčasťou väčšieho pracoviska, kde realizuje len jednu z mnohých operácií či už na montážnej linke s dopravníkom, alebo na pracovisku s otočným stolom.



**Obr. 5.14** Rám lisovacej jednotky a výsledky analýzy [48]



Obr. 5.15 Príklad implementácie lisovacej jednotky [48]

## 5.2.4 PROENGINEER

Komplexný CAD/CAM systém Pro/ENGINEER firmy PTC Corporate Headquarters [79] je určený na podporu celého procesu od vývoja a konštrukcie až po výrobu. Kľúčovým rozdielom systému Pro/ENGINEER v porovnaní s ostatnými CAD/CAM/CAE systémami je koncepcia úplnej previazanosti, ktorá zaručuje, že zmeny počítačového modelu realizované v ľubovoľnej fáze vývoja produktu sa automaticky premietnu do všetkých ostatných oblastí projektu. Táto vlastnosť umožňuje vykonávať práce pri vývoji výrobku od vývoja a konštrukcie až po výrobu bez rizika, že zmeny spôsobia neaktuálnosť niektorej časti projektu. Pro/ENGINEER je založený na parametrickej technológii na modelovanie pevných telies, kriviek a plôch, pričom sú využívané pojmy a termíny z konštrukčnej praxe. Umožňuje definovať nielen tvar a rozmery, ale aj súvislosti medzi objektmi a pravidlá použité pri návrhu.

S príchodom Pro/ENGINEER Wildfire 5.0 dochádza k rozšíreniu funkčnosti všetkých hlavných konfigurácií CAD/CAM/CAE software Pro/ENGINEER. Konfigurácie Foundation XE a Basic sú teraz rozšírené o celý rad funkcií a modulov, ktoré v iných CAD systémov nie sú dostupné alebo sú dostupné za príplatok. Základné moduly spracované podľa informácií na stránke firmy AV ENGINEERING, a.s. [7]:

### Elektromechanické analýzy

Nové funkcie elektromechanických analýz umožňujú lepšie navrhovať výrobky s ohľadom na ich geometriu a elektrickú vodivosť. Už v Pro/ENGINEER Foundation XE a



Pro/ENGINEER Basic je možné optimálne rozmiestniť jednotlivé komponenty tak, aby nedošlo k preskočeniu elektrickej iskry, a teda k neočakávaným škodám.

### ***Profilové konštrukcie***

K dispozícii sú napr. rámy jednocelových strojov, mostné konštrukcie, zábradlie a iné profilové konštrukcie s využitím automatizačných funkcií Expert Framework. Expert Framework Lite umožňuje vytvoriť konštrukciu pozostávajúcu až z 20 prútov a spojovacích prvkov. V prípade potreby je možné konštrukcie rozsiahlych prútových konštrukcií rozšíriť na plnú verziu Expert Framework Extension.

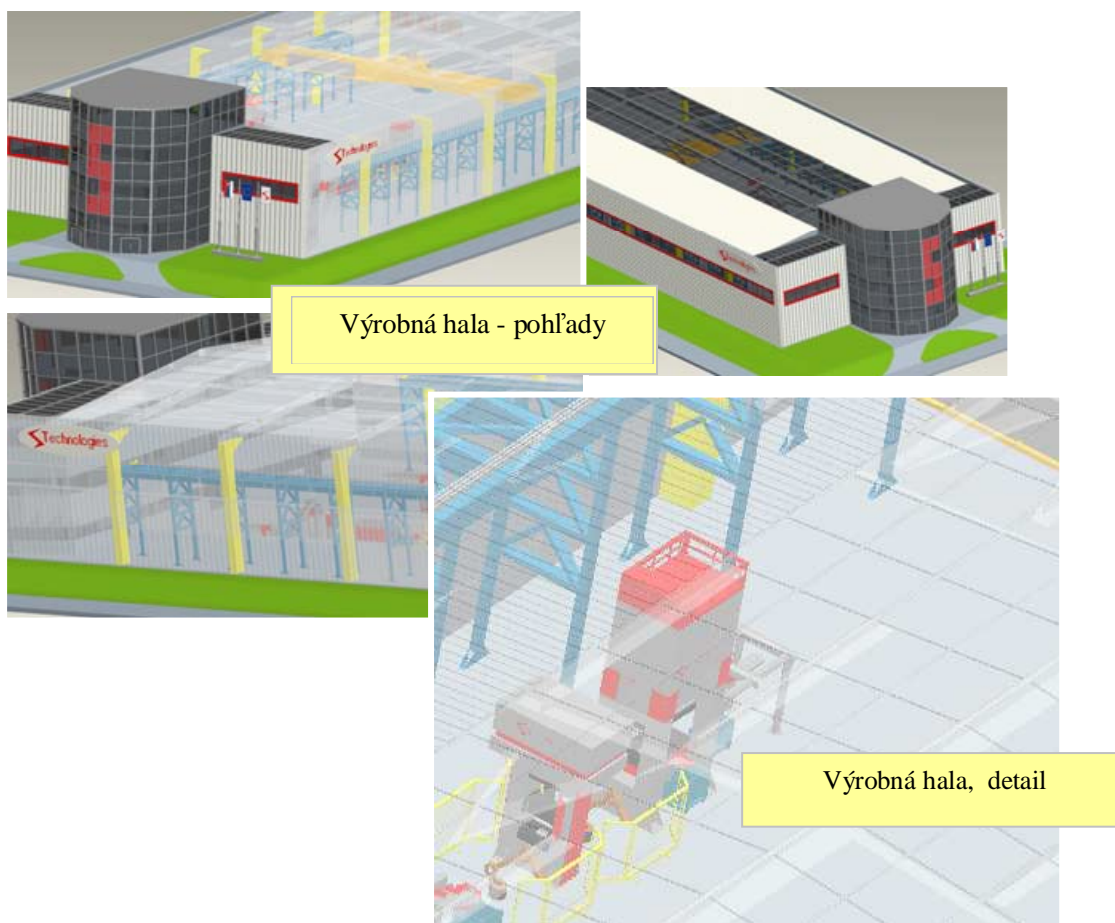
### ***Ergonomické štúdie a návrhy***

Pri konštrukcii nových výrobkov sa stále viac kladie dôraz na ich ergonómiu. Navrhnuť výrobok tak, aby odpovedal ergonomickým požiadavkám a štandardom, je možné aj pomocou Pro/ENGINEER Foundation XE a Pro/ENGINEER Basic. Integrované funkcie Manikin Lite umožňujú simulovať pozíciu obsluhy v rôznych polohách vrátane následnej optimalizácie rozmiestnenia ovládacích prvkov a eliminácie prípadných kolízií.

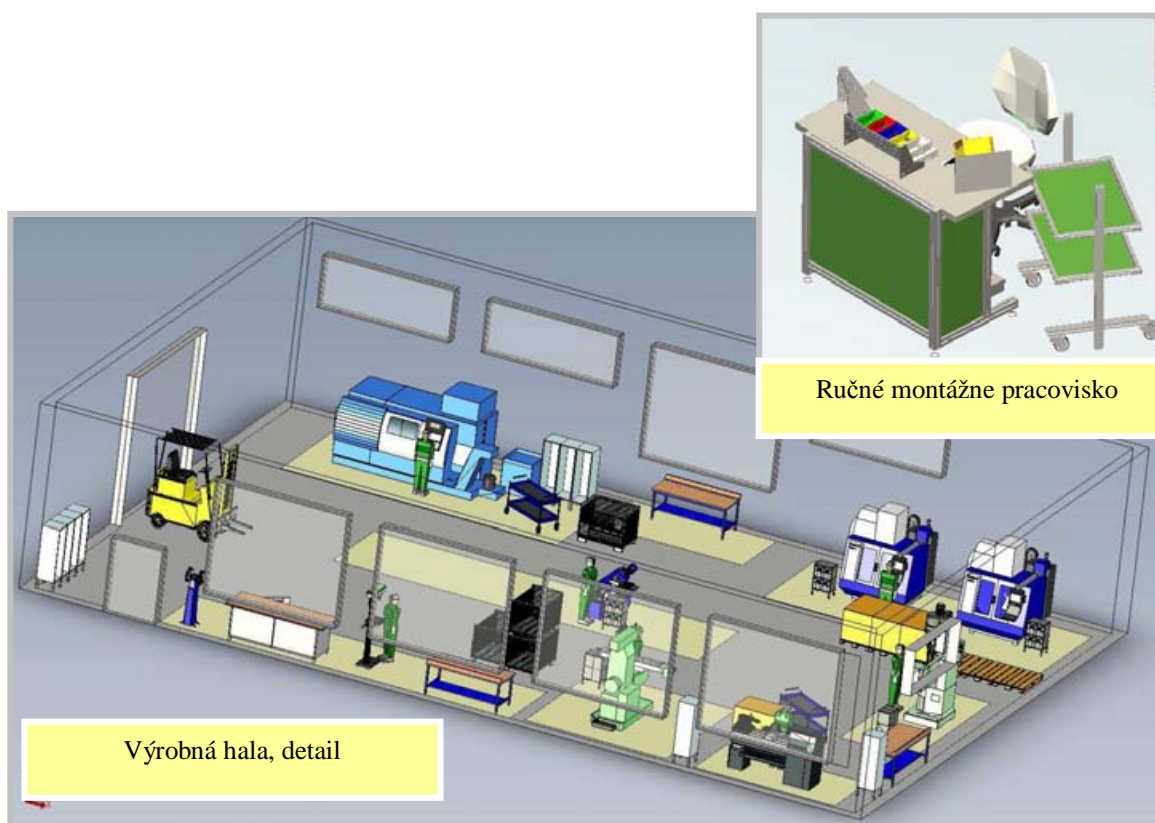
### ***Pevnostné analýzy***

Pro/ENGINEER Foundation XE a Pro/ENGINEER Basic poskytuje užitočnú podporu pri overovaní konštrukcie z hľadiska statického zaťaženia.

Na obr. 5.16 a 5.17 sú uvedené príklady riešení výrobných hál a pracovísk v ProE.



***Obr. 5.16 Príklad kompletnej výrobnéj haly – študentské zadanie***



**Obr. 5.17** Príklad výrobnéj haly a montážneho pracoviska– študentské zadanie

### NC výroba

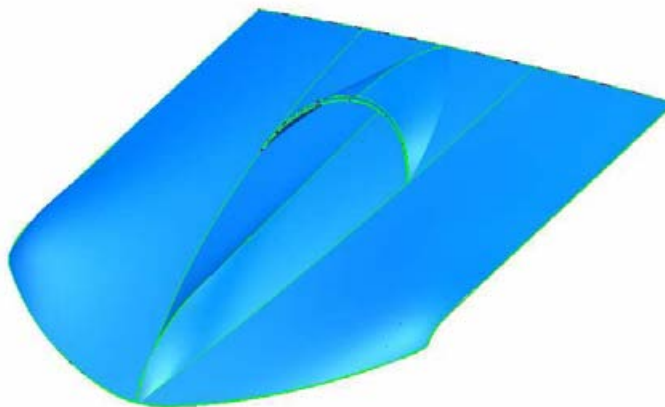
Pro/ENGINEER Foundation XE, ale aj Pro/ENGINEER Basic okrem silných konštrukčných a simulačných funkcií disponuje aj vysoko produktívnymi nástrojmi na podporu výroby prizmatických dielcov. Ľahké ovládanie, dobre známa terminológia, priama väzba na vstupné 3D CAD modely umožňuje vyrábať výrobky rýchlejšie.

### 5.2.5 POWERSHAPE

Softvér PowerSHAPE sa svojou funkcionalitou a použitím zaraďuje medzi **hybridné CAD modeláre**, určené najmä pre plošný dizajn. Obsahuje intuitívne nástroje na ľahkú a rýchlu konštrukciu dizajnu súčiastok, čo je vítané najmä pre bežnú konštruktérsku prax. Softvér je tvorený z viacerých modulov. Základným stavebným prvkom je modul **Surfacer**, ktorý obsahuje plošné modelovanie (obr.5.18).

K tomuto modulu je možné pripojiť ďalšie, napr. **Draft** modul na tvorbu výkresovej dokumentácie, **Elektrode** modul na navrhovanie elektród na elektroerozívne obrábanie, **Toolmaker** a **Moldmaker** modul na konštrukciu a montáž foriem na tvárnenie a odlievanie. S výhodou sa využíva knižnica prvkov, ktorá je neustále rozširovaná a dopĺňovaná.

V prípade že PowerSHAPE obsahuje všetky moduly, poskytuje integrovanú kombináciu plošného modelovania, objemového modelovania, modelovania pomocou trianglov (trojuholníkov), reverse engineering (spätne inžinierstvo) a dekoračné techniky. Takúto konfiguráciu modulov možno nazvať „**Total Modeling**“ - úplné modelovanie [77].



*Obr.5.18 Príklad použitia Delcam Surfacer*

PowerSHAPE ponúka kompletný postup modelovania od tvorby geometrie, voľných plôch vytvorených z kriviek po globálne zmeny objemových prvkov. Na tento účel slúži funkcia morphing, vďaka ktorej možno už hotovú súčasť jednoducho natiahnuť, zmrštiť alebo úplne zmeniť, pričom sa ostatné prvky modelu prispôsobujú novému tvaru súčasti. Filozofiu tohto systému by sme mohli zhrnúť do hesla "*Lahká tvorba, jednoduchá modifikácia*" [21].

Veľmi dôležitá funkcia, respektíve modul pre dizajnérov je „**Delcam Render**“, ktorý je určený na vytváranie fotorealistických obrázkov z 3D modelov, slúžiacich na prezentáciu produktu (obr.5.19). Počas niekoľkých minút je možné vytvoriť realistický obrázok vrátane nastavenia svetla a tieňa.

Delcam render obsahuje *knižnicu materiálov* - výber z niekoľko stoviek rôznych materiálov. Samozrejmosťou je tvorba ďalších vlastných materiálov a textúr.

*Svetelné štúdio* - nastavenie svetiel a tieňov vrhaných na súčasť na dosiahnutie čo najkrajšieho obrázku a zdôraznenie dizajnu súčasti.

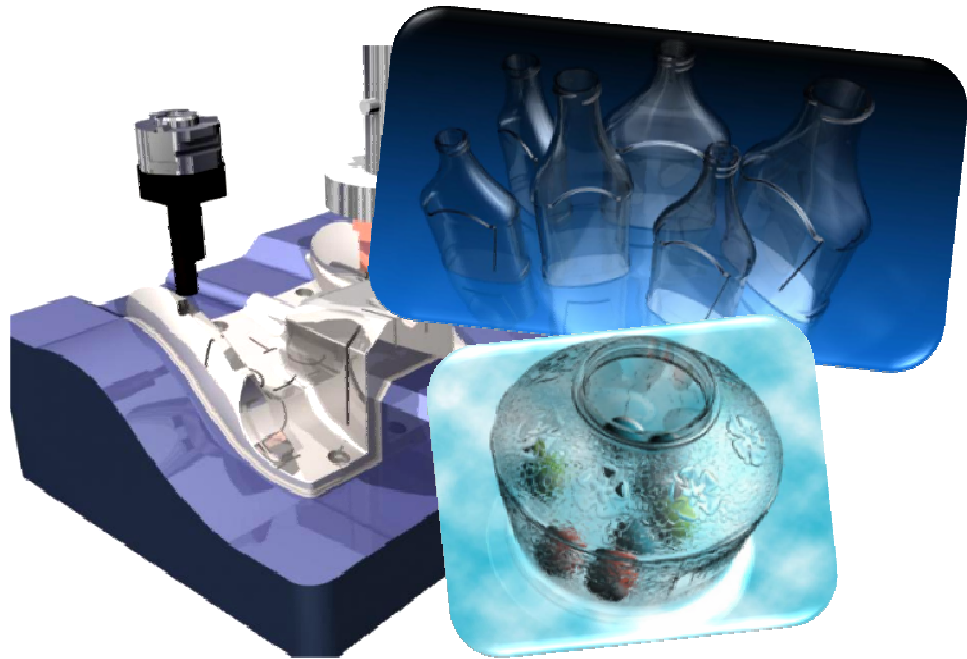
*Scenérie* - umožňujú umiestniť 3D model do rôzneho prostredia [21].

Z minulosti zaužívané 2D výkresy sú v dnešnej dobe stále aktuálne používané. Sú najjednoduchším a najprehľadnejším spôsobom archivovania v papierovej podobe. Tak isto veľkou výhodou je jednoduchosť zaznačenia jednotlivých rozmerov súčiastky (jednoznačne a prehľadne).

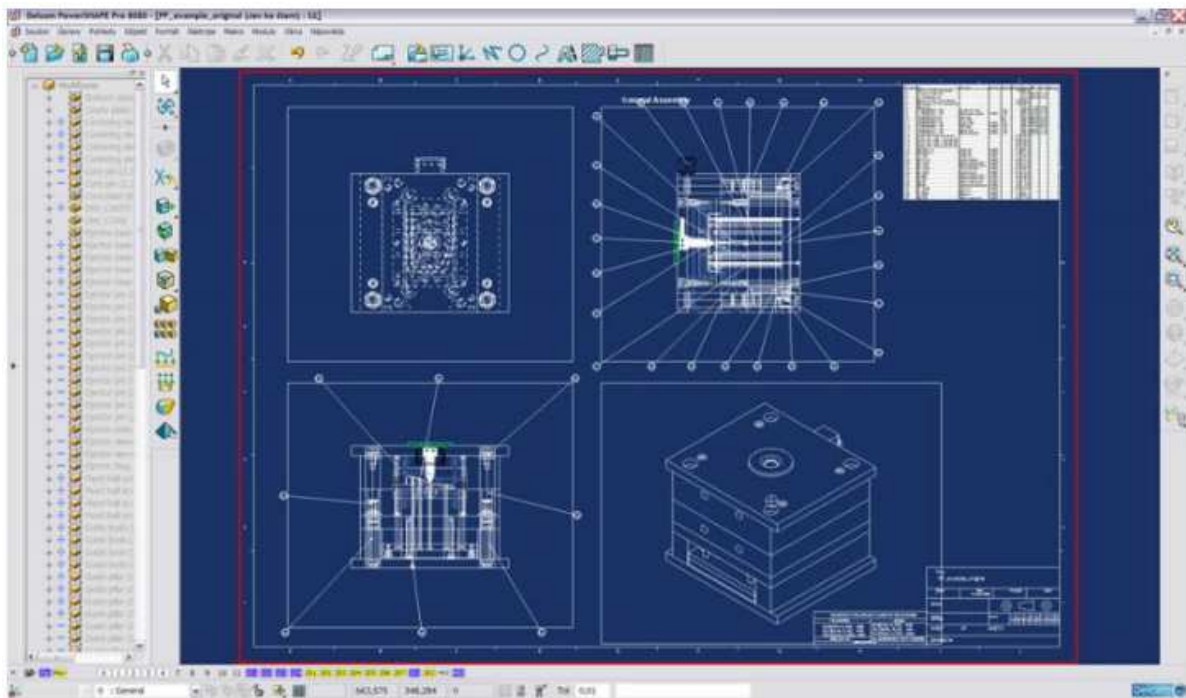
Modul „**Delcam Drafting**“ umožňuje vytváranie detailných konštrukčných výkresov z náčrtu alebo priamo z 3D modelu. Tento modul bol navrhnutý na podporu komplexných výkresov vrátane hladín, výrobných tolerancií a strojných symbolov (obr.5.20).

Delcam Drafting obsahuje:

*Asociativitu medzi výkresom a 3D súčasťou, automatickú tvorbu rezov, používateľské šablóny výkresov, knižnicu štandardných a používateľských komponentov, tvorbu kusovníka, rozpisky, obrábacie tolerancie, kóty, šrafoy, detaily, rezy, textové popisy, pracovnej roviny, osi, podporu všetkých hlavných medzinárodných štandardov, širokú škálu vstupných a výstupných formátov, tlač a ploter, možnosť vkladania MS OLE aplikácií (objekty, bitmapy, tabuľky), prispôbenie aplikácie pomocou VB a makier [21].*



*Obr.5.19 Príklad použitia Delcam Render [22], [78]*



*Obr.5.20 Príklad použitia Delcam Drafting [22]*

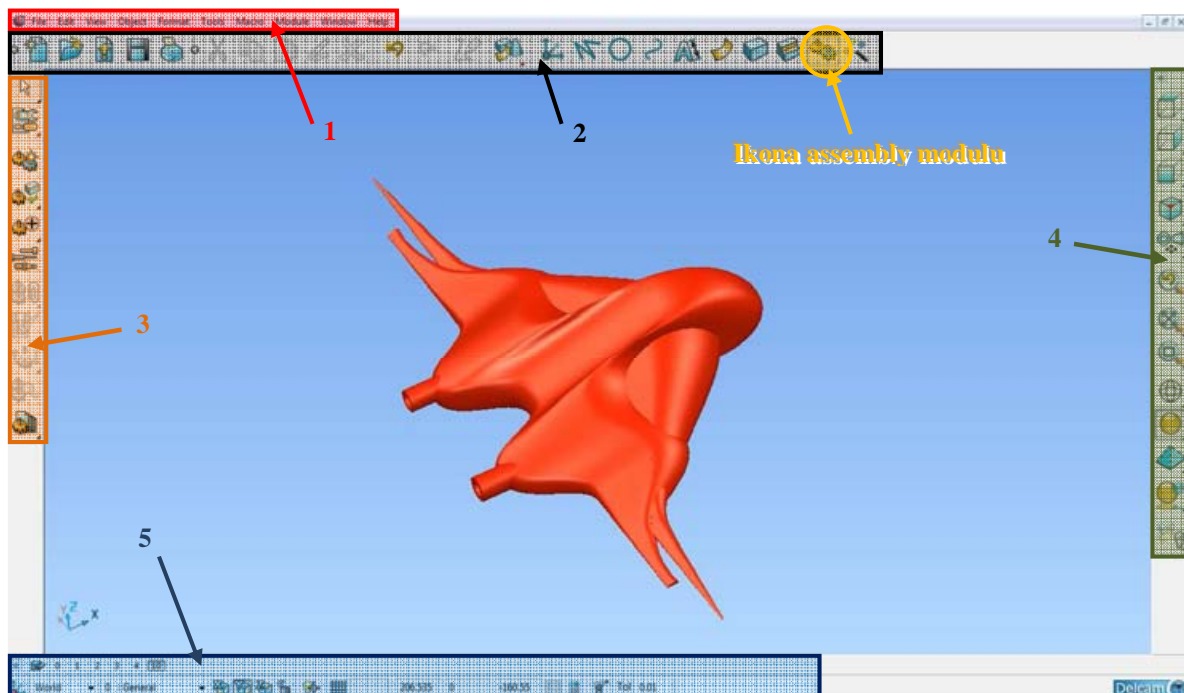
Ďalším veľmi dôležitým modulom je „*Assembly*“. Tento modul nám umožňuje vytváranie zostáv, teda komplexných celkov (obr.5.21). Potrebnejšie informácie budú popísané v nasledujúcich kapitolách.



*Obr.5.21 Príklad použitia Delcam Assembly [22]*

### Prostredie programu PowerShape

Po spustení programu PowerSHAPE sa zobrazí jeho pracovné prostredie (obr. 5.22). Na obrazovke v hornej časti sa nachádza roletové menu (1). Pod ním sa nachádza ikonové menu (2), ktoré slúži na ovládanie základných funkcií programu, ale aj na spúšťanie jednotlivých modulov softvéru.



*Obr.5.22 Prostredie programu PowerSHAPE [77]*


Na bočných stranách sa nachádzajú ikonové ovládače na prácu vo zvolenom module (3) (vľavo) a ikonové ovládače na nastavenie zobrazenia modelovanej súčiastky (4) (vpravo). V spodnej časti sú ovládače na nastavovanie a prácu v hladinách, nastavovanie pracovných

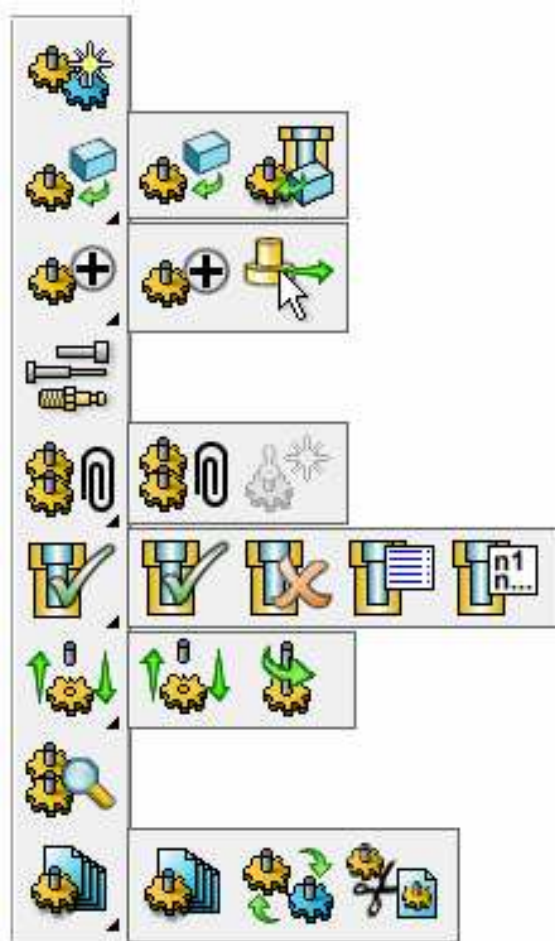
rovín a zobrazenie aktuálnych údajov polohy kurzora (5). V strednej časti sa nachádza pracovná časť, kde je zobrazená modelovaná súčiastka[1].

V hore uvedenom obrázku je znázornené veľké množstvo ikon, ktoré predstavujú rôzne funkcie programu. Tieto funkcie sú podrobne vysvetlene v publikácii [77]. My sa ďalej budeme venovať funkcii, ktorá je na obr. 5.22 označená žltým kruhom, teda „**Assembly modul**“.

#### 5.2.5.1 Assembly modul

#### Základné nástroje a ikony

 Po kliknutí na spomenutú ikonu sa nám ponúknu základne funkcie, ktoré sa zobrazia na ľavej strane pracovnej plochy (môžete vidieť na obr. 5, pozícia 3). Niektoré z tých ikon sú rolovacie, čo nám ponúka širšiu paletu funkcií. Ikonové menu pre „Assembly modul“ v plnom zobrazení je na obr. 5.23.





















Obr.5.23 Nástroje Assembly modulu

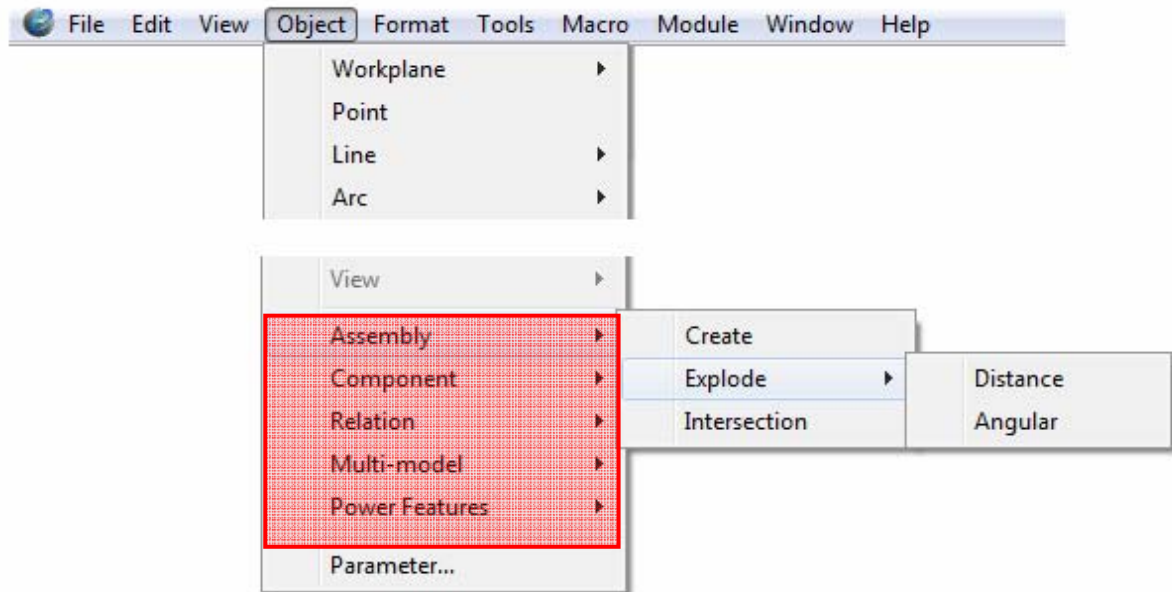
Pre lepšie pochopenie ikon sú v nižšie zobrazenej tabuľke (tab. 5. 6) uvedené vysvetlivky v slovenskom a anglickom jazyku.

K týmto a ďalším funkciám sa môžeme dostať aj cez hlavné roletové menu, ktoré sa nachádza vo vrchnej časti pracovnej plochy (môžete vidieť na obr. 5, pozícia 1).

Tab. 5.6 Ikony z panelu - zostava.

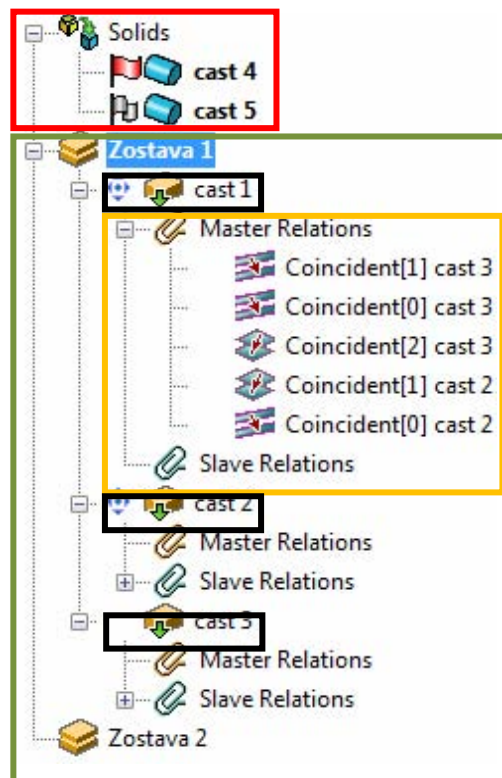
Ikona	Slovenský výraz	Anglický výraz
	vytvor novú prázdnu zostavu	Create new empty assembly
	vytvor komponent z vybraného solidu	Create components from selected solids
	vytvor komponent z vybraného solidu s Power features	Create components from selected solids with Power features
	pridať komponent vo voľnom priestore	Add component in free space
	pridať komponent s pokročilými možnosťami	Add components with advanced options
	sprievodca komponentmi	Component wizard
	vytvoriť vzťah použitím spojenia	Create relationship using attachment
	spravovanie spojení	Manage attachment
	generovať Power Features pre označené komponenty	Generate Power Features for selected components
	odstrániť Power Features z označených komponentov	Remove Power Features of selected components
	zobrazit' Power Features v súhrnnej forme	Show Power Feature Summary form
	zobrazit' pokročilé nastavenia Power Features	Show advanced Power Feature options
	rozloženie zostavy rozstupom	Distance exploding
	rozloženie zostavy pomocou uhlov	Angular exploding
	skontroluj priesečníky komponentov	Check components for intersection
	manažér zdrojov vložených komponentov	Manage source models of imported components
	obnov vložené komponenty	Refresh imported components
	konvertuj všetky lokálne vložené komponenty	Convert all imported components to local

Toto roletové menu je zobrazené na obr. 5.24. Na tomto obrázku môžete vidieť použitie roletového menu, konkrétne funkciu „Explode“. Tato funkcia nám umožňuje rozobratie nami skladanej zostavy, teda vytvorenie detonačného výkresu. Viac o tejto funkcii sa dozviete v kapitole 1.3.2. Funkcie prislúchajúce „Assembly modulu“ sú zvýraznené na obr.5.25 červeným poľom.



Obr.5.24 Práca s roletovým menu

Dôležitým nástrojom pri tvorbe zostavy je „strom zostavy“, v ktorom je vidieť všetky rozpracované zostavy a ešte nepriradené solidy. Strom zostavy je vyzobrazený v okne „Tree Windows“. Možno ho môžete aktivovať v hlavnom menu: View/Windows/Tree Windows.



Obr.5.25 Strom zostavy








Na vyššie uvedenom obrázku je zobrazený strom zostavy, v ktorom sú vyznačené jednotlivé prvky. V červeno označenej oblasti sa nachádzajú solidy, ktoré nie sú súčasťou zostavy. Tato skutočnosť je veľkou prednosťou PowerShapu, pretože umožňuje pracovať









v jednom strome ako s funkciami zostavy, tak aj s funkciami pre modelovanie, čo urýchľuje prácu.

Zeleno vyznačená oblasť je určená na prácu so zostavami. V tejto oblasti sa nachádzajú komponenty, ktoré tvoria zostavu (označené čiernym poľom) a vzťahy medzi nimi (označené oranžovým poľom). V strome zostavy sa nachádzajú rôzne typy ikon. V nasledujúcich tabuľkách (tab.5.7 - 5.9) si objasníme ich význam.





Tab. 5.7 Ikony zo stromu zostavy pre komponenty [102].





COMPONENTS		KOMPONENTY
	Power Features folder.	Priečinko Power Features.
	Component has up to date associated Power Feature(s). It is a target component.	Komponent je cieľ pre Power Features.
	Component contains Power Feature(s). It is a source component.	Komponent je zdroj pre Power Features.
	An associated Power Feature is out of date.	Združený Power Features je neplatný.
	Component.	Komponent.
	Imported component	Importovaný komponent.
	Power Feature is out of date	Power Feature je neplatný.

Tab. 5.8 Ikony zo stromu zostavy pre zostavy a subzostavy [102].

ASSEMBLY AND SUB-ASSEMBLY		ZOSTAVA A SUB-ZOSTAVA
	Assembly.	Zostava.
	Assembly from another model.	Zostava z iného modelu.
	Sub-assembly.	Subzostava.
	Assembly contains Power Features. It is a source component.	Zostava obsahuje Power Features.
	Imported assembly	Importovaná zostava.
	Group	Zoskupená subzostava.

Tab. 5.9 Ikony zo stromu zostavy pre parametre a vzťahy [102].

PARAMETERS AND RELATIONSHIPS		PARAMETRE A VZŤAHY
	A parameterised assembly, component or component definition, depending on the associated icon.	Parametrická zostava, komponent alebo definícia komponentu, závislá na združeného obraze ikony.
	The component has no relationships.	Komponent nemá vzťahy.
	The relationships of the component are under defined.	Vzťahy komponentov sú stanovené.
	There is a contradiction in relations.	Nezrovnalosť vo vzťahu.

	This branch lists the relations in which the current component is master.	Je to vetvený zoznam vzťahov, v ktorých je aktuálny komponent nadradený.
	This branch lists the relations in which the current component is slave.	Je to vetvený zoznam vzťahov, v ktorých je aktuálny komponent podradený.
	Relation type „Plane to Plane“	Spojenie typu „plocha na plochu“.
	Relation type Line to Line	Spojenie typu „čiara na čiara“.

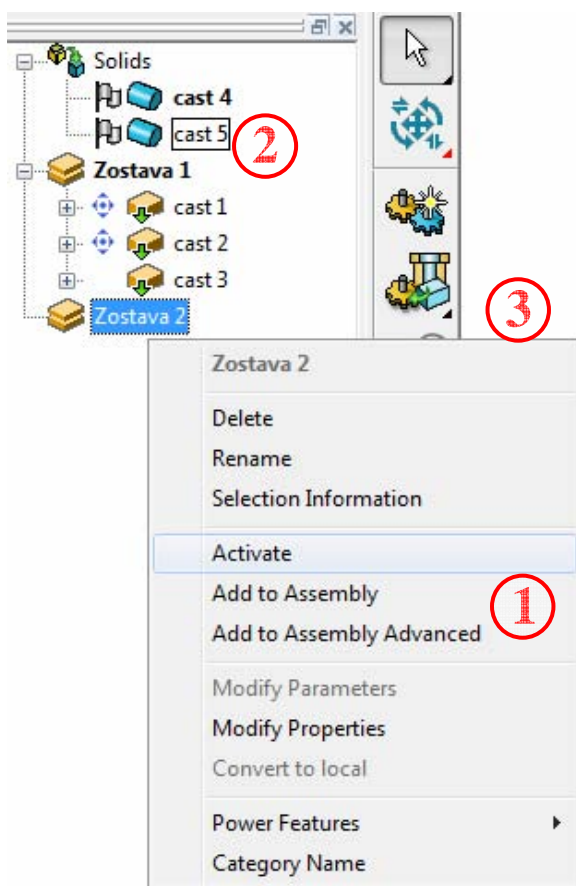
#### 5.2.5.2 Použitie základných funkcií



#### Vytvor komponent z vybraného solidu

Použitím tejto funkcie premeníme solid na komponent, ktorý je súčasťou zostavy. Táto funkcia sa využíva vtedy, keď dokresľujeme súčiastky priamo v súbore, kde skladáme zostavu. Postup použitia je veľmi jednoduchý, treba postupovať podľa týchto krokov (Postup je na obr. 5.26):

1. Aktivácia zostavy, do ktorej chceme importovať solid. Treba kliknúť pravým tlačidlom myši na zostavu a aktivovať „Activate“ (v našom prípade aktivujeme zostavu 2, po aktivovaní sa zmení hrúbka písma, ako je vidieť na obr. 5.25 v prípade Zostava 1),
2. označenie solidu, ktorý chceme importovať do zostavy,
3. kliknúť na ikonu ľavým tlačidlom myši.



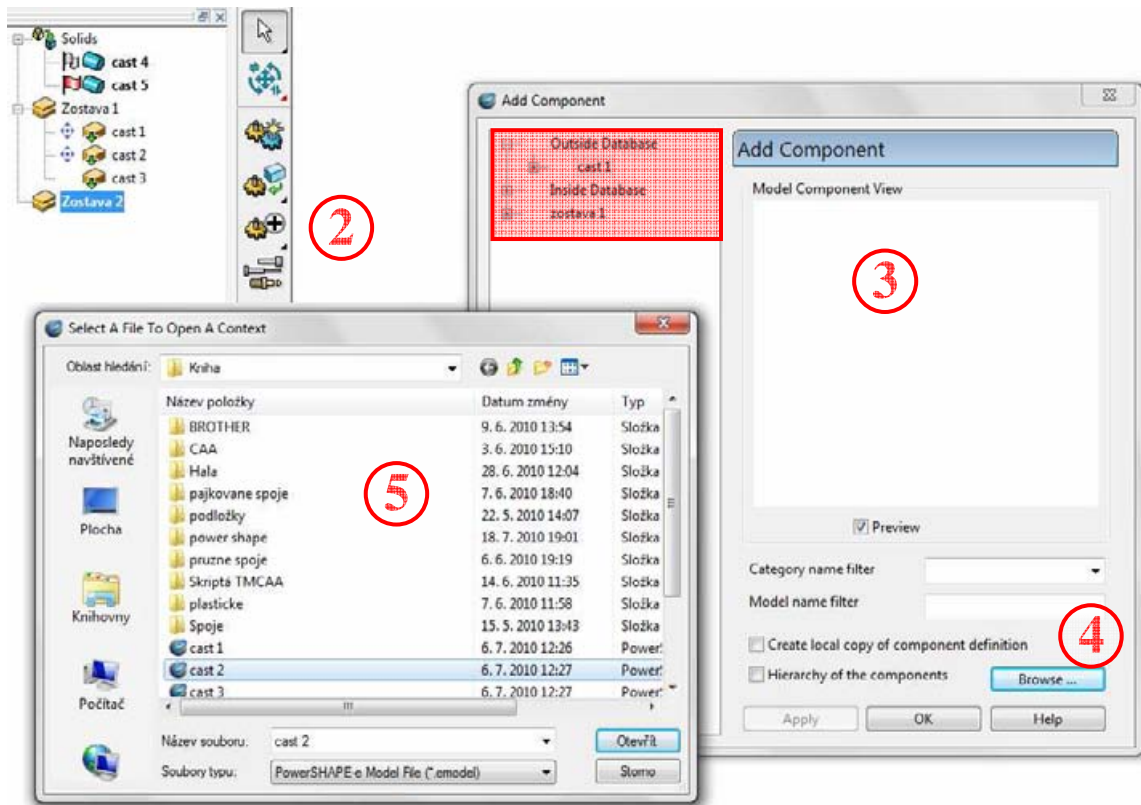
Obr.5.26 Postup pri používaní funkcie „Vytvor komponent z vybraného solidu“



### Pridať komponent vo voľnom priestore

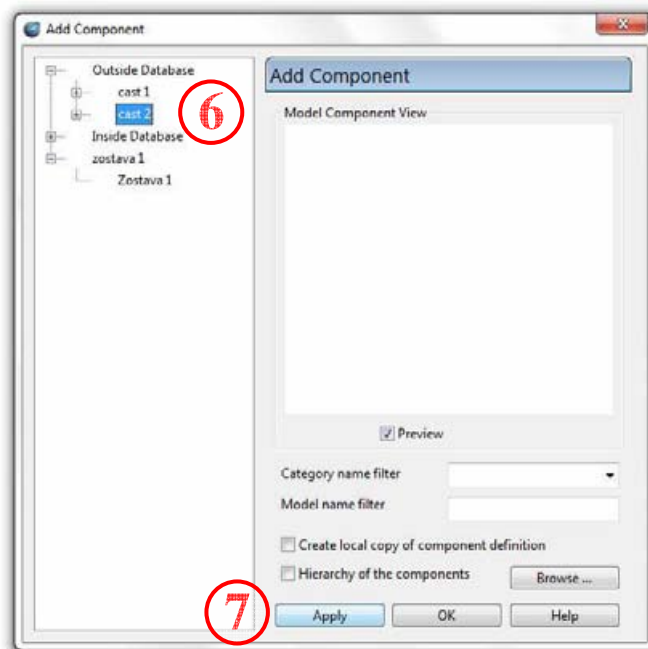
Táto funkcia sa používa na vkladanie vopred premodelovanej súčiastky do súboru zostavy. Súčiastka je vložená do voľného priestoru a nemá žiadne vzťahy s okolitými súčiastkami. Pre vloženie súčiastky postupujte takto (obrazový postup je na obr. 5.27):

1. Aktivácia zostavy do ktorej chceme importovať solid. Postup opísaný v predchádzajúcej funkcii.
2. Ľavým tlačidlom myši kliknúť na ikonu podľa obr. 10a, alebo cez roletové menu *Object/Component/Add to assembly*
3. Po kliknutí sa nám otvorí okno „Add Component“. V tomto okne si môžeme zvoliť odkiaľ chceme vložiť komponent. Máme na vyber externú databázu (Outside Database), internú databázu (Inside Database) alebo komponenty a zostavy ,ktoré sú už použité. (červené pole, obr. 5.27).
4. Komponenty, ktoré sa nenachádzajú ani v jednej položke, musíme vložiť do externej databázy, a to tak, že klikneme na tlačidlo prehľadaj „browse...“ (obr. 5.27).
5. Po kliknutí sa nám otvorí okno „Select A File To Open A Context“, v ktorom sa jednoducho preklikáme na požadovaný komponent. Tento komponent označíme a stlačíme tlačidlo Otvoriť (obr. 5.27).



*Obr.5.27 Postup pri používaní funkcie „Pridať komponent vo voľnom priestore“*

6. Komponent sa nám objaví v externej databáze, kde si ho označíme (obr. 5.28).
7. Pre vloženie stačíme tlačidlo „Apply“ (obr. 5.28).



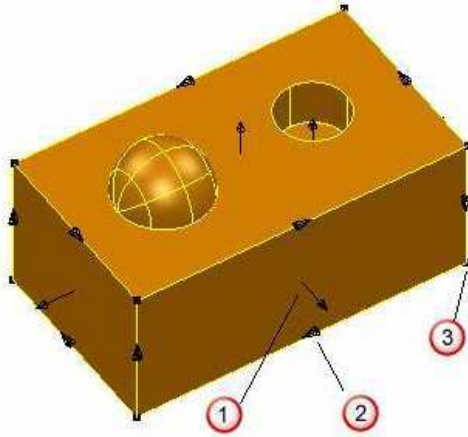
*Obr.5.28 Postup pri používaní funkcie „Pridať komponent vo voľnom priestore“*



### Vytvoriť vzťah použitím spojenia

Pomocou tejto funkcie sa priradujú vzťahy (väzby) medzi jednotlivými komponentmi. Existujú tri geometrické prvky, na ktoré sa dá väzba aplikovať, a to:

- rovinné plochy,
- priamky (hrany, osi),
- body (obr. 5.29).



**Obr.5.29** Geometrické prvky na tvorbu väzieb

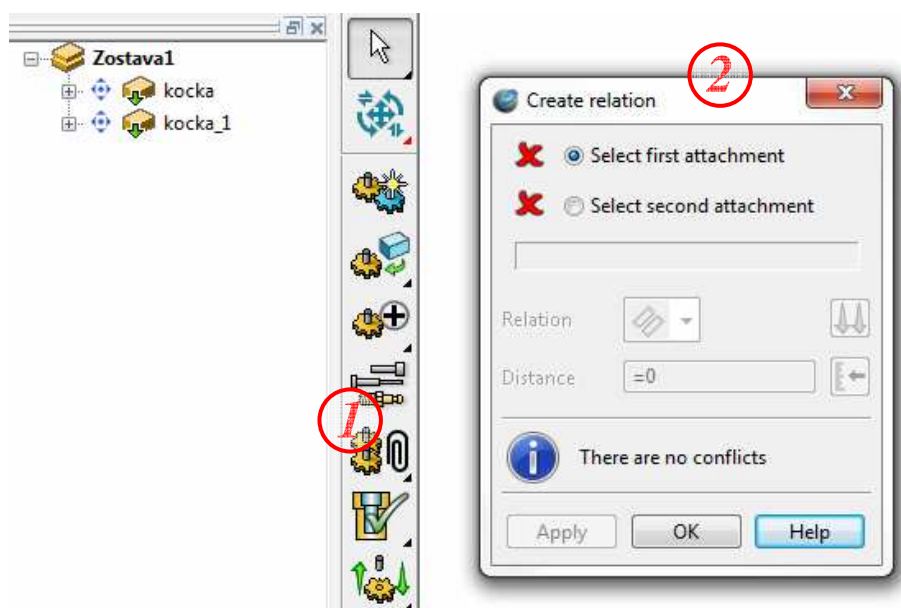
1. rovinné plochy, 2. priamky (hrany, osi), 3. body [100].

Tieto geometrické prvky môžu tvoriť dvojice (prvý menovaný prvok je na komponente, ktorý je nadradený):




- plocha – plocha,
- plocha – priamka,
- priamka – plocha,
- priamka – priamka,
- bod – bod.

Vzťahy vytvárame nasledovne:

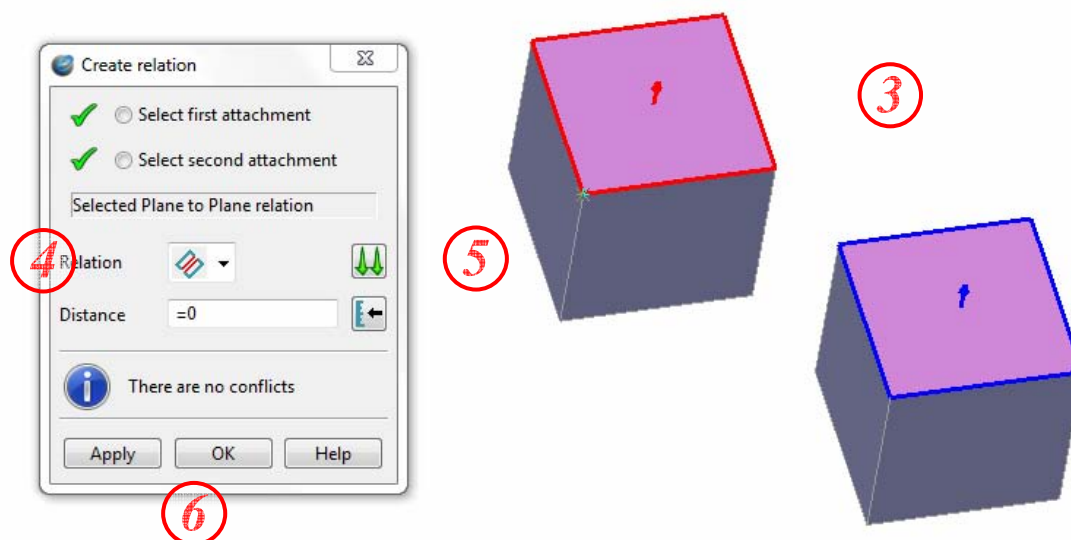
1. Na vytvorenie vzťahu stlač ikonu ľavým tlačidlom myši alebo cez roletové menu *Object/Relation/Create*.
2. Po stlačení sa zobrazí okno „create relation“. Toto okno môžete vidieť na obr. 5.30.



**Obr.5.30** Okno na vytvorenie vzťahu „Create relation“


3. V tomto okne sa nachádza sprievodca vytvorenia vzťahu, ako prvé nám treba vybrať geometrické prvky, na ktoré sa bude väzba vzťahovať. Vyberieme ich tak, že prejdeme kurzorom myši na komponent (obr. 5.30).
4. Jednotlivé možné prvky sa po prechode cez ne zvýrazňujú, na vybratie treba stlačiť ľavé tlačidlo myši. Prvý označený geometrický prvok je braný ako nadradený a druhý je podradený. To znamená, že druhý sa bude prispôbovať prvému. (nadradený označený červenou, poradený modrou). Keď správne zvolíme geometrické prvky, zobrazia sa nám zelene fajky a pod nimi sa nám vypíše typ vzťahu. (V tomto prípade je to vzťah plocha na plochu „Selected Plane to Plane relation“).
5. Následne v kolónke vzťah „Relation“ (obr. 5.31) si môžeme zvoliť typ väzby. Máme na výber tieto tri možnosti:
  -  rovnobežné „Coincident“,
  -  pod uhlom „Angular“,
  -  kolmé „Perpendicular“.

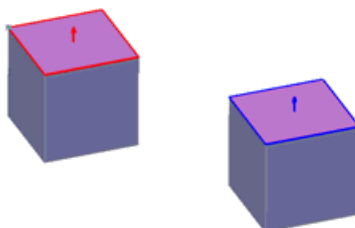
Keď zvolíme väzbu rovnobežné tak máme možnosť zvoliť odsadenie podradeného prvku od nadradeného a to zadaním hodnoty do kolónky vzdialenosť- „distance“. Obdobné je to pri vzťahu pod uhlom, kde zadávame uhol- „angle“.




**Obr.5.31** Postup označenia zvolených geometrických prvkov vytvorenie vzťahu

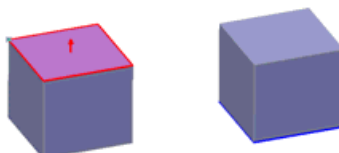
6. V okne „Create relation“ sa nachádza ikona zarovnať (obr. 5.32) alebo priložiť (obr. 5.33) „Align or anti-align“.

 zarovnať „align“,  
ñ



**Obr.5.32** Príklad zarovnanania

 priložiť „anti-align“.



**Obr.5.33** Príklad priloženia

7. Po zvolení požadovaných nastavení kliknite na tlačidlo „Apply“, keď chcete pokračovať v tvorbe ďalšieho vzťahu alebo „OK“, keď chcete ukončiť tvorbu vzťahov.

Vytvorené vzťahy môžete prehliadať a editovať v okne „Tree Windows“, respektíve v strome zostavy, ako to môžete vidieť na obr. 5.25.

**!!!Upozornenie:** Pri skladaní zostavy treba voliť jednotlivé vzťahy tak, aby ich výsledný vektor bol priaznivý pre vytvorenie detonačného výkresu.



- rozloženie zostavy rozstupom ,



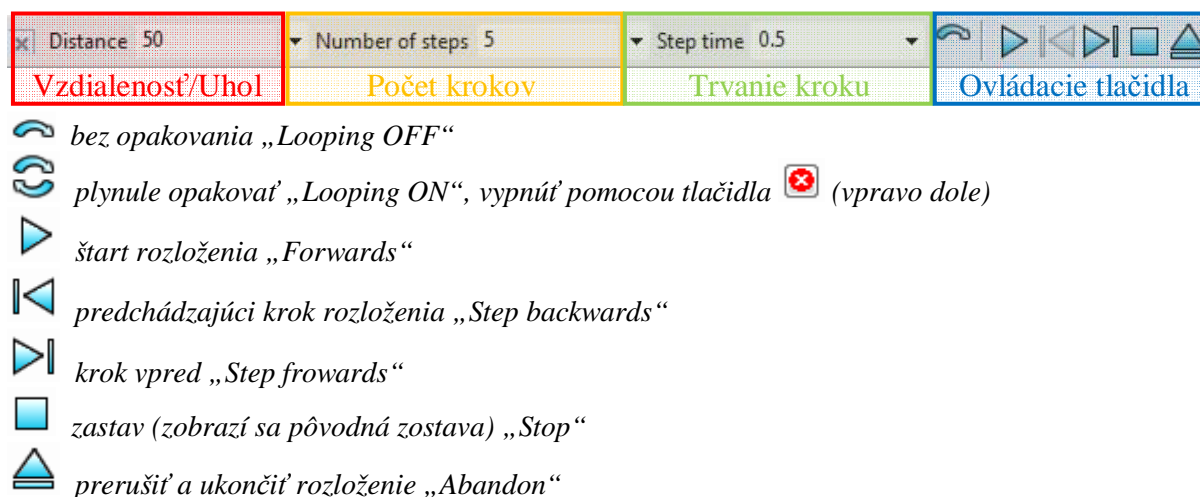
- rozloženie zostavy pomocou uhlov.

Pomocou týchto funkcií zhotovujeme takzvané detonačné výkresy, ktoré sú potrebné na komplexný rozbor montovanej súčiastky. Funkcia rozloženie zostavy rozstupom používa

na vytvorenie detonačného výkresu translačné posuvy v smere výsledného vektora väzbových síl. Pri druhej funkcii dochádza k rozobratiu pootočením o zvolený uhol.

Pri tvorbe detonačného výkresu postupujeme nasledovne:

1. Na vytvorenie detonačného výkresu stlač ikonu ľavým tlačidlom myši alebo cez roletové menu *Object/Assembly/Explode/Distance alebo Angular*.
2. Po kliknutí na ikonu sa zobrazí menu „Explode toolbar“. Toto menu je zobrazené na obr. 5.34, kde je popísaný význam jednotlivých ikon.



**Obr.5.34** Explode toolbar.

3. V menu treba zadať požadované parametre: vzdialenosť alebo uhol, počet krokov a trvanie kroku.
4. Posledným krokom je stlačenie ikony „Play“.

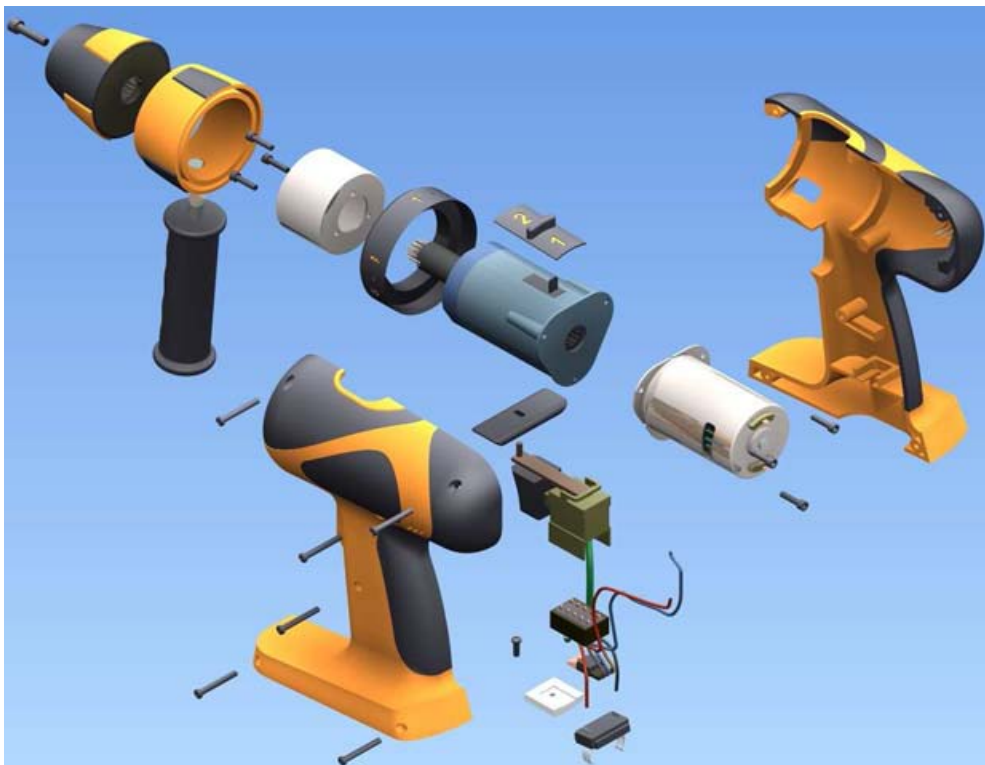
Praktické použitie tejto funkcie môžeme vidieť na obr. 5.35.

### 5.2.5.3 Praktické použitie programu PowerShape vo výučbe montáže (bakalárske práce)





*a*

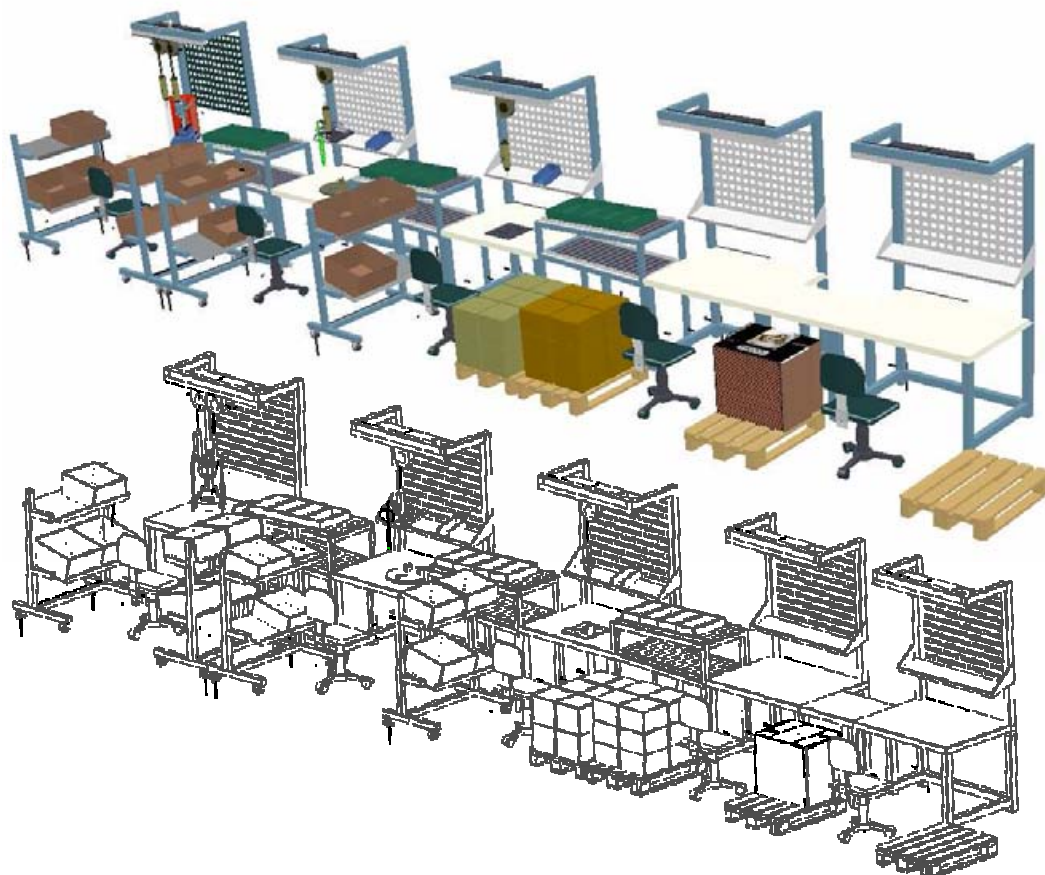


*b*

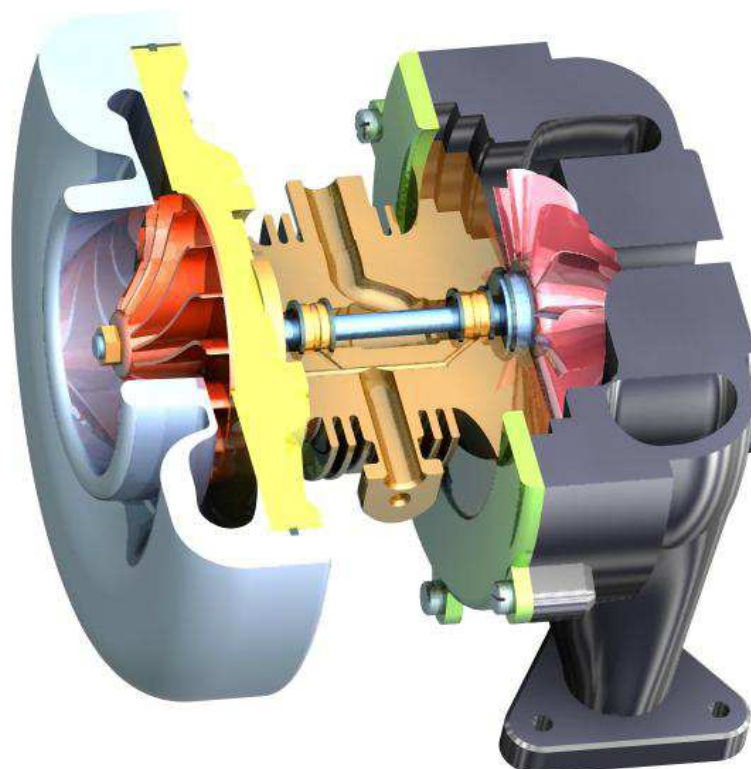
**Obr.5.35** Príklad použitia funkcie rozloženie zostavy (akumulátorová vŕtačka)[43]

*a* – 3D model výrobku,

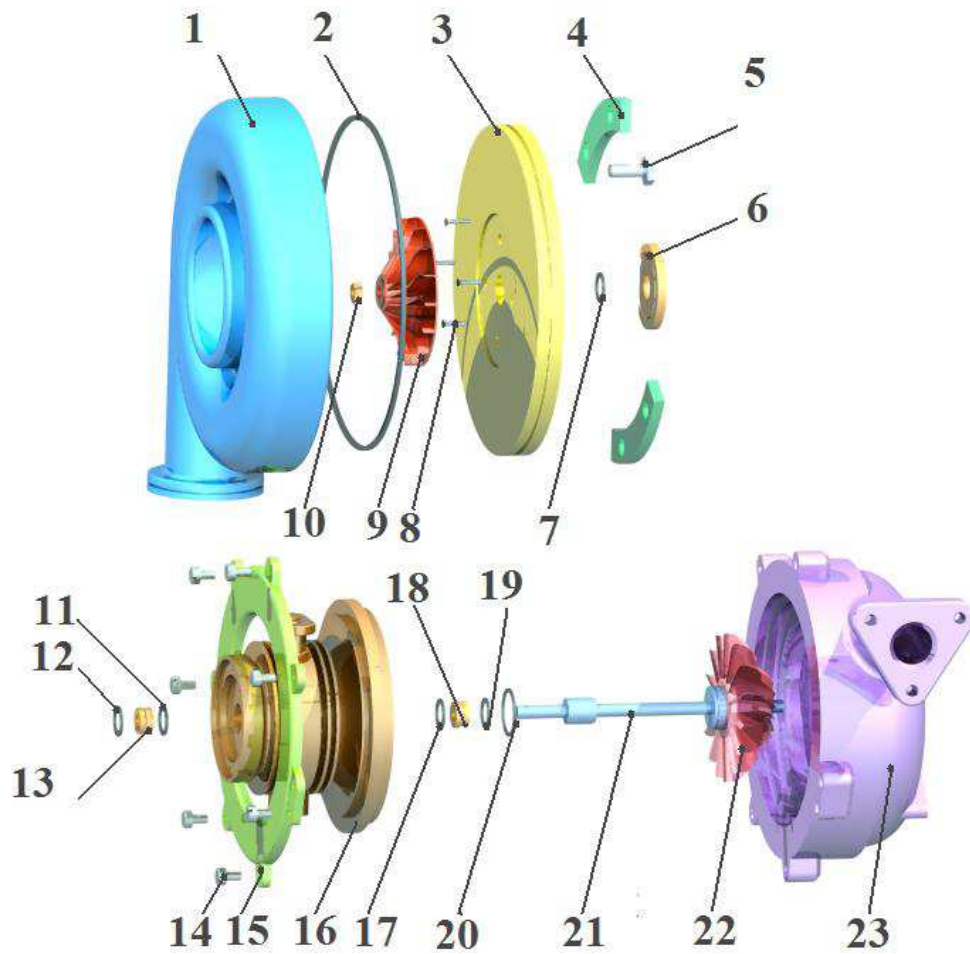
*b* – výkres zostav výrobku.



*Obr.5.36 Montážny systém pre akumulátorovú vŕtačku[43]*



*a*



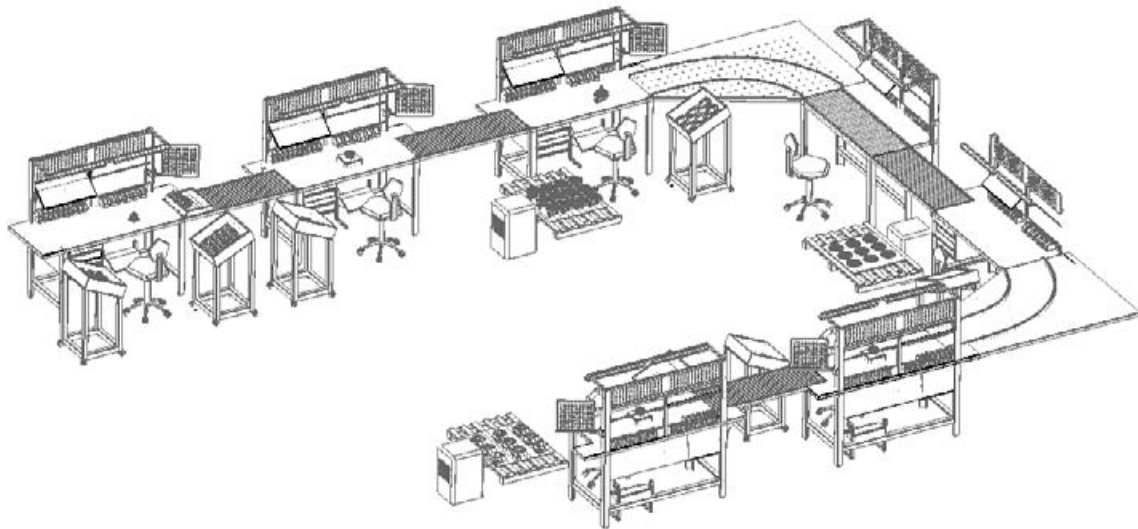
b

**Obr.5.37** Príklad použitia funkcie rozloženie zostavy (Turbodúchadlo)[18]

a – 3D model výrobku,

b – výkres zostavy výrobku.





**Obr.5.38** Ručná montážna linka pre montáž turbodúchadla  
(zobrazené v Shaded wiew a Wireframe wiew) [18]

## 6. ŠPECIÁLNE PROGRAMY A NÁSTROJE

### 6.1 DFA ANALÝZA

DFA (Design for Assembly) je systematická metodológia pre analýzu a návrh výrobku z hľadiska montážnych technológií a postupov, vytvorená ako na základe teoretického skúmania, tak aj na základe praktických skúseností. Táto metodológia je súčasťou komplexného prístupu k navrhovaniu a analýze výrobkov, ktorý v sebe zahŕňa okrem iného aj problematiku výroby, údržby, demontáže, ergonómie, logistiky, balenia, atď. Napríklad redukciami počtu dielcov je možné dosiahnuť redukciiu komplexnosti montáže, zjednodušenie riadenia výroby, zvýšenie produktivity práce, skrátenie priebežnej doby výroby a v konečnom dôsledku dosiahnuť zníženie celkových výrobných nákladov. Dalším aspektom DFA je aj konštrukčné prispôsobenie výrobku možnostiam automatizovanej montáže, resp. demontáže pri recyklácii výrobku.

Význam montážne spôsobilej konštrukcie výrobku je v popredí záujmu odborníkov už od 70-tych rokov. V rámci súboru požiadaviek kladených na konštrukciu výrobku sú požiadavky na montáž jednou z dôležitých oblastí, ktorej je potrebné venovať pozornosť. V súvislosti s tým sa v zahraničnej literatúre používajú pojmy *Design For Assembly*, a *Motagegerechte Produktgestaltung*, v súvislosti s aplikáciou robotov sa zavádza pojem *design for robotized assembly*. Pre tieto pojmy sa u nás používa termín *technologickosť konštrukcie z hľadiska montáže*, *technologickosť konštrukcie z hľadiska robotizovanej montáže* alebo tiež *montážne spôsobilá konštrukcia*. V súčasnosti sa veľká pozornosť venuje aj dvom ďalším oblastiam: demontáži a recyklácii, a to v súvislosti so súčasným trendom orientovaným na oblasť ochrany životného prostredia.

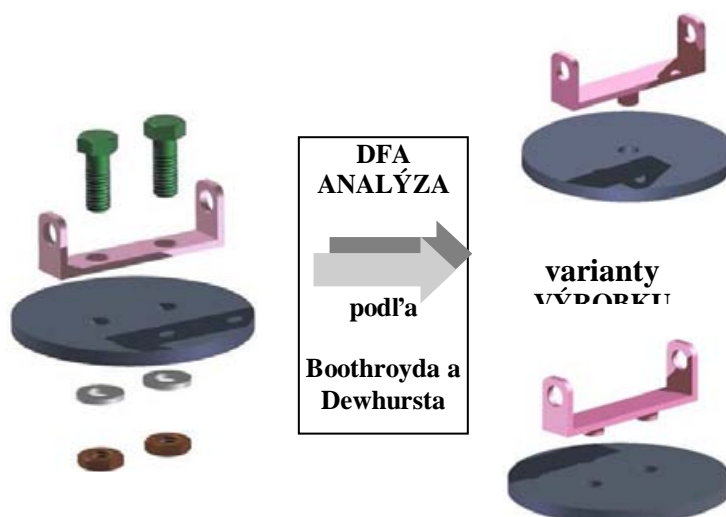
Jedným zo základných prístupov posudzovania výrobku z hľadiska montáže je používanie *súboru odporúčaní a pravidiel pre montážne spôsobilú konštrukciu*, ktoré sú spracované v prácach viacerých autorov [2], [96], [12], a obvykle sú znázornené formou príkladov. Tieto odporúčania je potrebné poznať a individuálne aplikovať v týchto oblastiach:

- pri návrhu konštrukcie výrobku,
- pri posudzovaní variantov výrobku spolu s ďalšími kritériami,
- pri posudzovaní vhodnosti výrobku na automatizovanú prípadne robotizovanú montáž,
- pri posudzovaní, resp. navrhovaní zmien výrobku.

Tento prístup neumožňuje kvantifikovať úroveň konštrukčného riešenia výrobku z hľadiska jeho montáže a vyžaduje znalosti a skúsenosti pracovníka, ktorý realizuje analýzu.

V tejto oblasti existuje viacero metód [34], [52], [111]. Jednou z najznámejších metód posudzovania konštrukcie výrobku z hľadiska montáže je metóda vyvinutá *Boothroydom a Dewhurstom*, dnes rozšírená ako metóda DFMA [12] (Design For Manufacturing and Assembly).

Analýza rozličných DFA projektov [12] realizovaná v posledných rokoch ukázala priemernú redukciiu počtu dielcov o 51%, času montáže o 62% a času vývoja o 50%. Na obr. 6.1 je uvedený príklad montovaného výrobku a výsledky jeho analýzy podľa [12]. Podľa informácií uvedených na stránke [12] sú výsledky dosahované pomocou aplikácie DFA analýzy uvedené v tab.6.1.



**Obr. 6.1** Príklad DFA analýzy podľa [12]

Tak ako aj v iných oblastiach existujú aj pre DFA analýzu softvérové nástroje na podporu procesu. Ako príklad je možné uviesť niekoľko produktov: softvér pre DFMA analýzu spoločnosti Boothroyd Dewhurst, Inc. [12], PROCON – modul softvéru TiCon nemeckého MTM zväzu [24] a modul DFM analýzy metódy Avix švédskej firmy Solme [97].

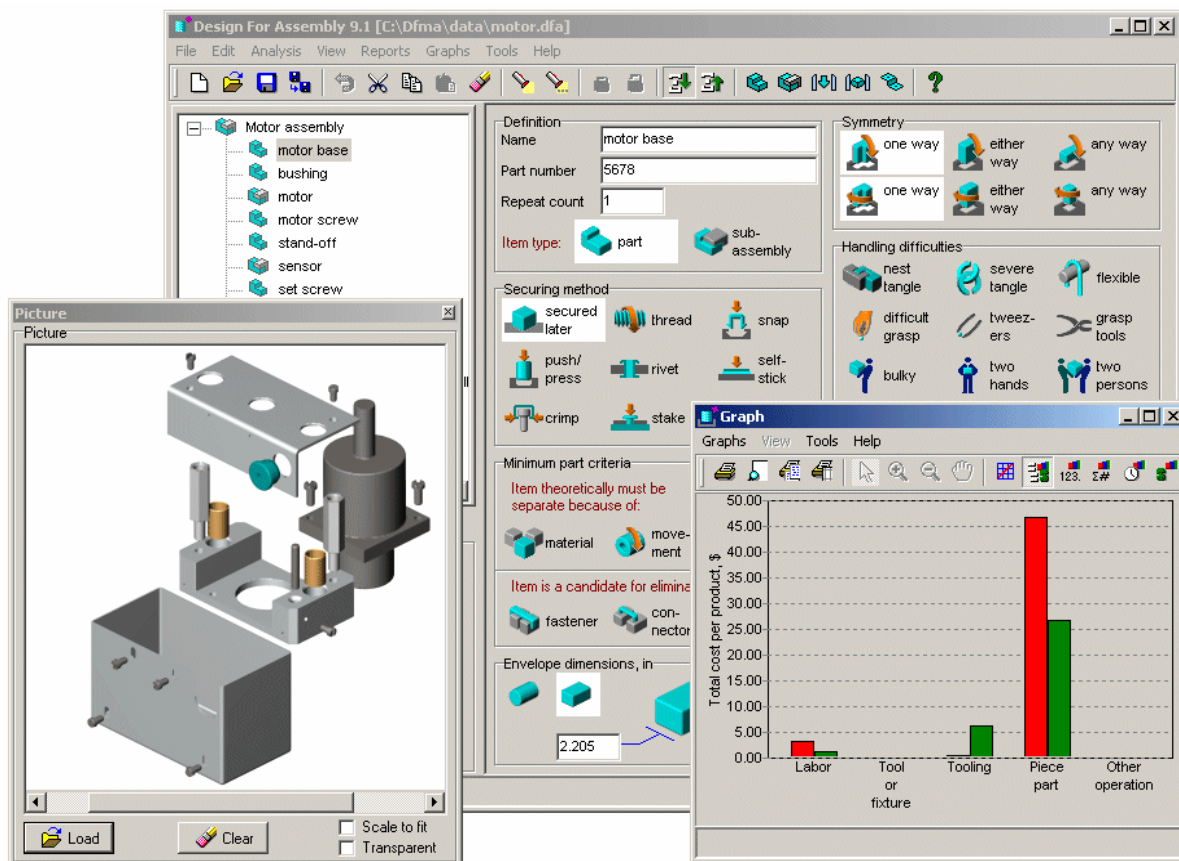
**Tab. 6.1** Výsledky aplikácie DFA analýzy podľa [12].

Oblasť	REDUKCIA
mzdové náklady	42 %
počet súčiastok	54 %
spojovacie prvky	57 %
hmotnosť	22 %
čas montáže	60%
náklady na montáž	45 %
nástroje na montáž	73 %
montážne operácie	53 %
cyklus vývoja výrobku	45 %
celkové náklady	50 %
Výsledky sú spracované podľa viac ako stovky prípadových štúdií.	

Prvý spomínaný produkt, softvér DFMA je integrovaný balík pozostávajúci z dvoch základných modulov: DFA a DFM. Na obr. 6.2 je uvedený ilustračný príklad obrazovky tejto softvérovej aplikácie. Táto aplikácia vychádza z dôkladnej analýzy tvaru a rozmerov, ako aj z klasifikácie súčiastok a dielcov. Základným východiskom analýzy je zatriedenie vytvorené na základe orientačných a manipulačných charakteristík súčiastok a dielcov.

Modul PROKON je súčasťou balíka TiCon, čo je v podstate softvérová podpora metódy analýzy a stanovenia času montáže, tzv. MTM metóda (Method Time Measurement). Na obr. 6.3 je uvedený príklad formulára PROKON. Základom všetkých modulov softvéru TiCon je analýza založená na MTM klasifikácii, t.j. na jednotlivých pohyboch, ako napr. siahnuť, uchopiť. ..., atď. a k nim priradených časových jednotkách TMU.

Tretí príklad – modul DFM zahrnujúci samozrejme aj montáž je súčasťou balíka tzv. Avix analýzy, ktorej základom je analýza založená na spracovaní video snímky procesu. Na obr. 6.4 je uvedený „print screen demo“ - ukážky aplikácie softvéru.



Obr. 6.1 Printsreen obrazovky softvéru DFA spoločnosti Boothroyd Dewhurst, Inc. podľa [12]

### MTM - PROKON

TiCon		<b>PROKON 2 Standard</b>										Seite: 1 von 1																											
Code: PKMKTKS....I		Variante:										Bearb.: MTM																											
Index:		Klemmschelle - Art-Zustand										Datum: 12.09.2005																											
Bezeichnung:		Klemmschelle bestehend aus 3 Teilen										And-Index: 9																											
Art: A Ausführung		Gültig von - bis: 22.04.2004 -		Erstellt: MTM / 22.04.2004																																			
Status: 3 Freigegeben für Prüfer		Eigentümer: MTM		Letzte Änderung: MTM / 10.06.2005																																			
Montage-Ablauf		Basiswert		Montage-Erschwernis		Anzahl Füge-stellen		mit Behinder-ung		falsche Einbau-lage möglich		mit Fest-halten		Nach-richten beim Fügen		ohne Postbo-nierhilfen		Änderung Füge-/ Befestigungs- richtung pro Achse (x, y, z)		Justage/ Prüfen		Prozess		Anzahl der ver-wandelten Werkzeuge															
		Gewicht 1. Fügestelle		Hauptab-messung > 300x300 mm		Teile-dimension > 800mm		2. 3. > 3 Sicht Raum												P1 P2 P3																			
		< 8 daN > 8 daN																																					
Dübel einsetzen		1										1										1																	
Dübel eindrücken		1										1		1		1																							
Klemmschelle ansetzen (Blech)Schraub-schraubwerkzeug		1										1										1		1															
Wichtungswert		40		55		10		100		10		40		15		15		35		15		20		10		15		20		100		50		150		300		40	
Häufigkeit		3																						2		1		1		1		1		1					
Gesamtsumme		120																						100		40		40		40		40		40					
Gesamtwert		345																						100		40		40		40		40		40					

Obr. 6.2 Formulár analýzy softvérovým modulom PROKON nemeckého zväzu MTM podľa [24]

Všetky uvedené softvérové nástroje majú isté spoločné charakteristické črty. Prvá spoločná vec je to, že všetky tieto nástroje sú súčasťou **komplexného riešenia**, t.j. existujú v istej súvislosti s inými riešenými úlohami. Ďalej to, že všetky tieto úlohy patria do oblasti **technickej prípravy výroby** ako napríklad: softvér DFMA obsahuje aj výber obrábacích strojov, výpočet času výroby dielca, atď., softvér TiCon obsahuje aj stanovenie výrobného taktu, riešenie ergonomie pracoviska, atď. a softvér Avix má moduly aj pre vyvažovanie liniek, video analýzu..., atď. Treťou základnou charakteristikou je to, že vychádzajú z nejakej **metódy**, resp. nadväzujú na istý **model riešenia** (model orientácie dielca v priestore, vopred definované časy základných pohybov, video analýza), sú teda založené na istom špecifickom teoretickom základe.



**BENEFITS**  
CASES AND RESULTS

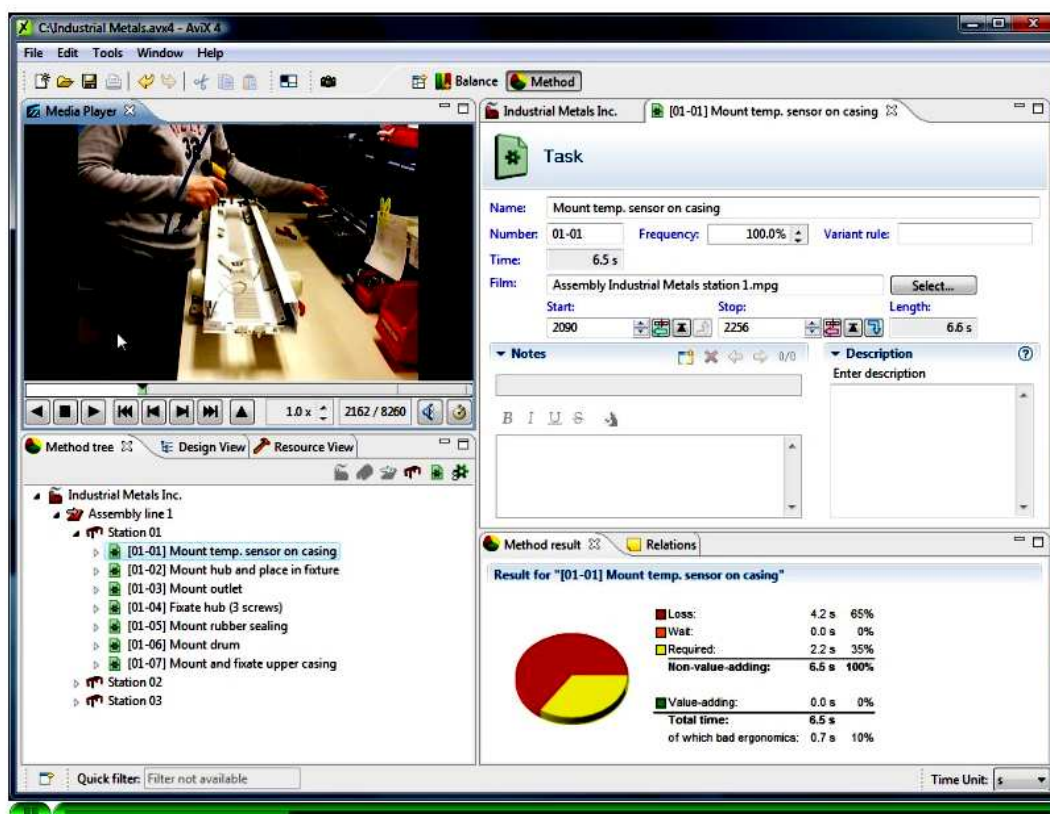
**OUR PRODUCTS**  
PRODUCTS AND SOLUTIONS

**HOW TO BUY**  
STEP BY STEP

**AVIX® CENTER**  
FOR VISITORS

**SUPPORT**  
INFORMATION

**ABOUT US**  
CONTACT



Obr. 6.3 Printscreen obrazovky on-line demo ukážky softvéru Avix firmy Solme podľa [97]

## 6.2 VIDEOANALÝZA MONTÁŽNEHO PRACOVISKA

Východiskom na podporu zvyšovania efektívnosti montážnych procesov je ich analýza. Táto analýza zahŕňa skúmanie postupnosti operácií, ich druh, rýchlosť a frekvenciu pohybov, rozmiestnenie paliet, zásobníkov, polotovarov, náradia a ostatných technických prvkov. Jednou z možností analýzy montážnych operácií je nasnímanie vykonaných montážnych operácií na video. Videosnímka reálne zachytáva postupnosť a čas vykonávaných operácií, je možné ju opakovane prehrávať, taktiež prehrávať spomalene, čo umožňuje všimnúť si aj detaily, ktoré nie sú zjavné pri bežnom pohľade. Aby bolo video čo najpresnejším zdrojom informácií, je potrebné venovať snímaniu videa patričnú pozornosť a mať na pamäti niektoré obmedzenia, ktoré sú spojené so snímaním videa.



Najbežnejším spôsobom analýzy videosnímkov je jej analýza softvérovým produktom. Príkladom môže byť softvérový balík Avix švédskej firmy Solme AB [97] alebo softvér AOA vyvíjaný v rámci výskumu na KTA M.

Programový produkt *Avix* slúži na podporu inžinierskej činnosti. Obsahuje viacero modulov, z ktorých každý zlepšuje konkurencieschopnosť výrobku alebo výrobného postupu. Základným cieľom je zlepšenie vlastností vyrábaného produktu, zvyšovanie efektívnosti výrobného procesu, nájdenie možností ako motivovať pracovníkov k zlepšovaniu produktu a procesu výroby.

Oblasti použitia:

- časové štúdie,
- zvýšenie efektívnosti výroby a montáže na jednotlivých pracoviskách ,
- optimalizácia rozmiestnenia technických zariadení,
- optimalizácia vybavenia nástrojmi,
- optimalizácia finálnej montáže,
- plynulý inovačný proces,
- meranie produktivity a efektívnosti pre rozdielne produkty a varianty výrobných procesov,
- hodnotenie existujúceho stavu a vytýčenie cieľov.

Tento produktový balík obsahuje nasledujúce moduly:

- Avix Balance,
- Avix FMEA,
- Avix DFX,
- Awix Method.

### **Avix Method**

Avix Method je softvér pre časové a metodické štúdie v priemysle. Jeho aplikácia môže mať podstatný vplyv na skrátenie výrobného cyklu a zvýšenie produktivity.

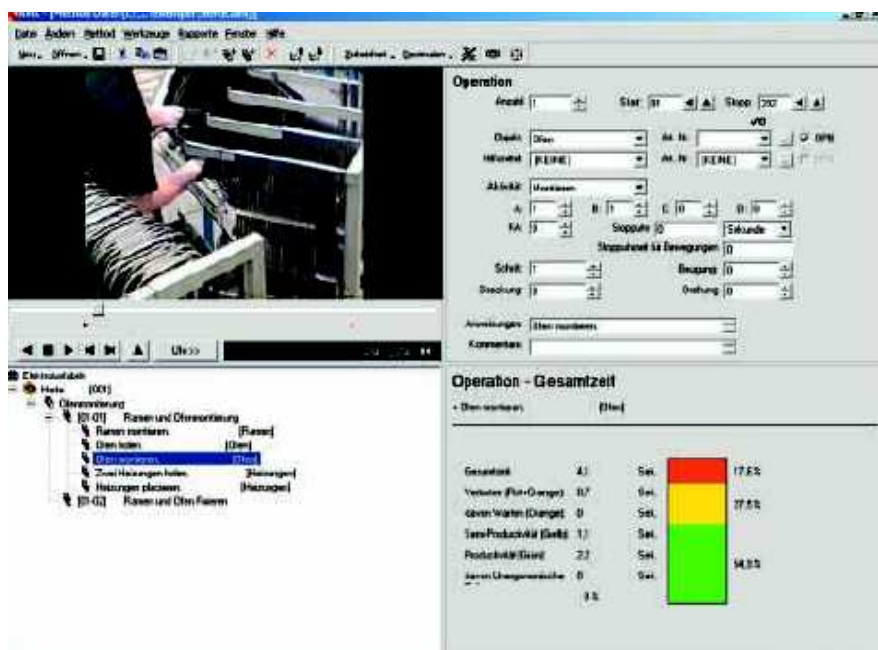
Hlavné oblasti použitia:

- časové a metodické štúdie,
- vývoj produktivity každého jednotlivého pracoviska,
- optimalizácia pracovísk,
- optimalizácia pomôcok a náradia pre každé pracovisko,
- optimalizácia konštrukcie výrobku z hľadiska jeho montáže,
- priebežné zlepšovanie výrobných a montážnych procesov,
- meranie produktivity a efektívnosti rozličných výrobkov a ich variantov,
- prezentácia aktuálneho a projektovaného stavu príslušného procesu,
- základ pre výpočtové moduly.

Analýza celého procesu je rýchla. Získané informácie môžu byť rôzne detailné a môžu slúžiť napríklad pre výpočty kapacít prípadne ako podklad pre rozhodovanie. Na obr. 6.4 je uvedený príklad softvéru Avix Method.

Analýza montážneho procesu sa začína nasnímaním montážnych operácií. Nasnímanie sa vykonáva prostredníctvom videokamery, ktorá verne zachytáva každý krok montážneho procesu, čas montáže a pohyby pracovníka potrebné na vykonávanie práce. Je potrebné

vybrať to správne pracovisko na vykonanie analýzy a zabezpečiť vhodné podmienky na vyhotovenie videosnímkov.



Obr. 6.4 Ukážka softvéru Avix Method [97]

Vyhotovená videosnímkov sa nahrá do počítača na ďalšiu analýzu. Pomocou softvéru sa analyzujú sa pohyby pracovníka, ktorý vykonáva montážny proces.

Analyzované snímky sa pomocou odborníkov prekonzultujú, prehodnocujú sa vyskytnuté chyby a nedostatky doterajšieho pracovného postupu a navrhnu sa nové, vylepšené postupy nasnímaného montážneho procesu. Výsledkom sú nové vylepšenia skúmaného montážneho procesu.

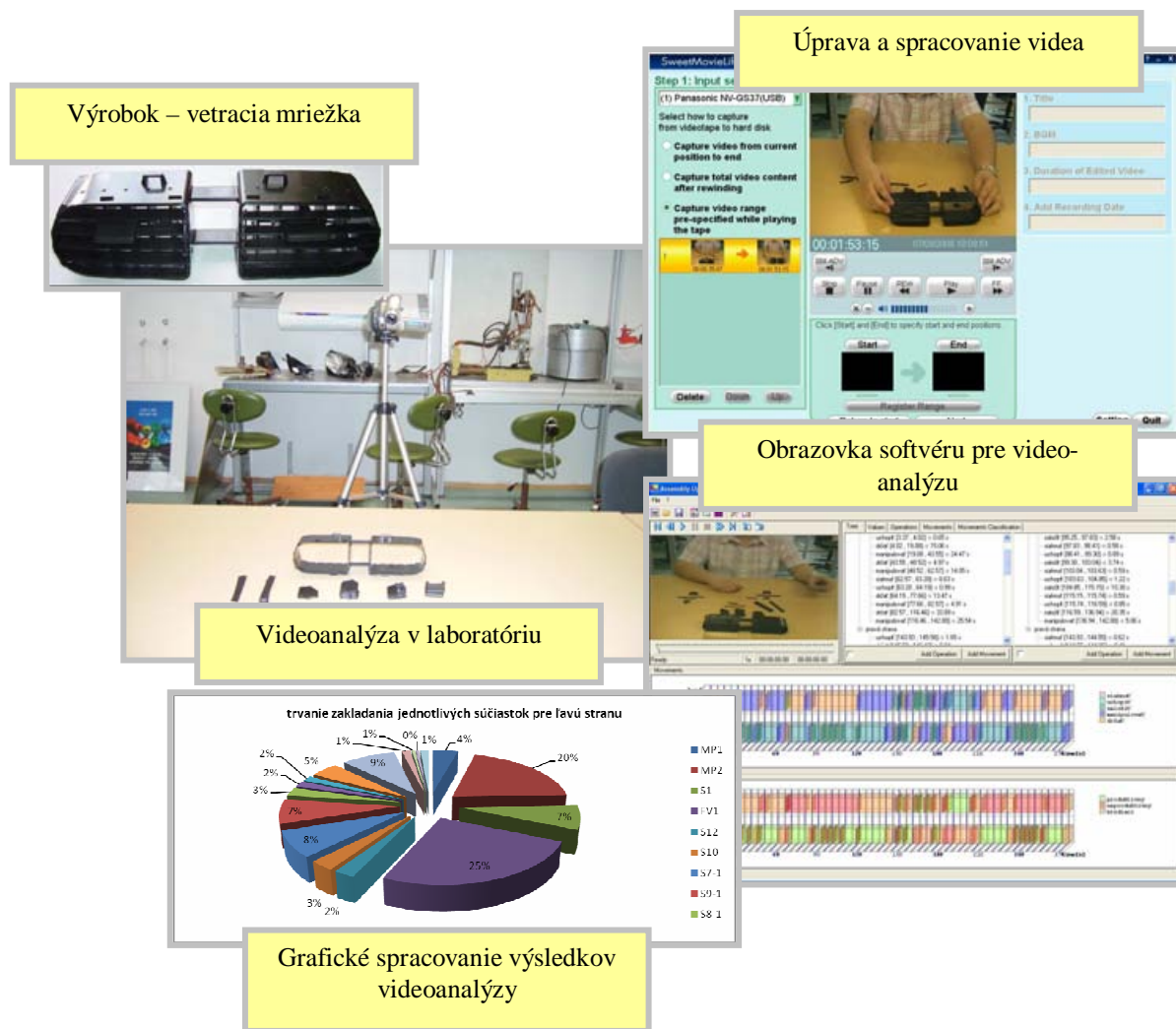
Navrhnuté a vylepšené postupy sa aplikujú v praxi. Namontujú sa pomôcky a príslušenstvá navrhnuté pri analýze skúmaného procesu a môže sa vykonať ďalšie nasnímanie vylepšeného postupu montážnej operácie. V závere sa porovnávajú výsledky získané softvérovou analýzou pred realizáciou a po realizácií zmien.

V rámci realizovaného výskumu bol na KTaM vyvinutý softvér pre videoanalýzu montážneho procesu AOA - Assembly Operation Analysis [56], [58]. Podrobné informácie je možné nájsť v publikovaných výsledkoch [63], [87]. Na obr. 6.5 je uvedený príklad videoanalýzy montáže vetracej mriežky osobného automobilu.

Na základe dosiahnutých výsledkov je možné konštatovať, že medzi hlavné oblasti aplikácie videoanalýzy patrí:

- posúdenie vplyvu zmeny konštrukcie výrobku na čas montáže a štruktúru montážnych operácií,
- posúdenie viacerých variantov výrobkov z hľadiska ich montážnej spôsobilosti,
- posúdenie vplyvu zmien konštrukcie používaných nástrojov, prípravkov a zásobníkov na čas a štruktúru montážnych operácií,
- posúdenie vplyvu zavedenia nového zariadenia, prvku alebo prípravku na čas a štruktúru montážnych operácií,
- posúdenie vplyvu zmeny organizácie práce, resp. zmeny technologického postupu montáže na čas a štruktúru operácií,

- posudzovanie viacerých variantov riešenia či už celého procesu montáže, alebo nejakej jeho čiastkovej zložky (napr. viaceré zásobníky a pod.),
- porovnanie časových údajov získaných v procese projektovania napr. metódou MTM s reálne získanými časmi na experimentálnom pracovisku, resp. priamo vo výrobe,
- snímanie za účelom podpory vzdelávania alebo inštruktáže nových pracovníkov v reálnom výrobnom procese,
- podpora výskumných a vývojových aktivít zameraných napr. na tvorbu vlastnej klasifikácie základných montážnych operácií a úkonov s aplikáciou časových údajov,
- snímanie za účelom identifikácie kritických miest montáže výrobku, resp. na štatistické účely.



Obr. 6.5 Videoanalýza softvérom AOA – Assembly Operation Analysis

### 6.3 MTM ANALÝZA

Metóda MTM (Methods Time Measurement) bola vyvinutá a publikovaná v roku 1948 v USA Haroldom B. Maynardom, G.J. Stegemertenom a J.L. Schwabem. Tento systém sa stal neskôr etalónom a základom väčšiny súčasných pragmatických riešení. Neskôr sa zaužívala pre túto verziu skratka MTM-1, ktorá označovala systém merania a analýzy, vychádzajúci z rozkladu každej činnosti na jej základné pohyby, analýzu týchto pohybov a priradovanie

časovej normy pre takéto základné pohyby. Súčtom časov priradených jednotlivým pohybom sa získavala celková časová norma.

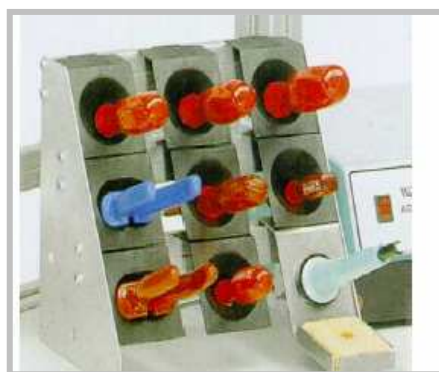
Na zjednodušenie analýzy boli časové jednotky vyjadrované v takzvaných **TMU** (Time Measurement Units - 1 TMU = 0.036 sekundy). Metóda MTM samozrejme nie je iba metódou vopred stanovených časov na montážne operácie. Ide aj o silný analytický nástroj, ktorého aplikácia je viazaná na získanie certifikátu na základe podmienok podľa [24].

Samotný princíp aplikácie je v prípade montáže relatívne jednoduchý. Usporiadaním montážneho pracoviska a napríklad použitím správnych prvkov a zariadení je možné zložité pohyby zjednodušiť, resp. úplne eliminovať. Túto analýzu je možné urobiť ešte pred skutočnou realizáciou pracoviska napríklad na základe 3D modelu. Príklad podľa [10] na obr. 6.6 ilustruje uvedený princíp. Pri používaní nástrojov a náradia ovplyvňuje čas montáže celý rad faktorov. Jedným z nich je spôsob ich umiestnenia na pracovisku. Redukciu času je možné dosiahnuť ich uložením do držiaka nástrojov vhodnej konštrukcie. Ako je uvedené v nasledujúcom príklade, čas montáže sa aplikáciou držiaka nástrojov zredukoval o 26%.

**26% redukcia času podľa metódy MTM**



Nástroje neusporiadané  
TMU =12,8



Nástroje umiestnené v držiaku  
TMU =9,5

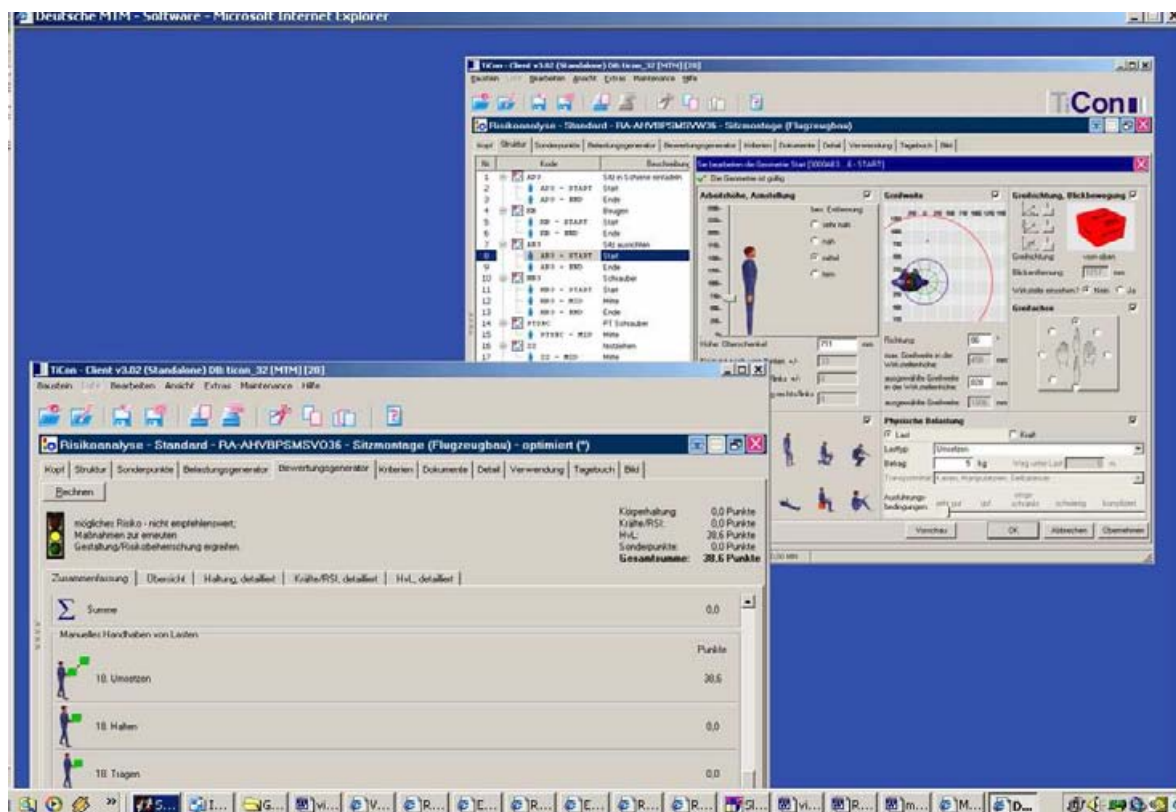
*Obr. 6.6 Redukcia času na základe umiestnenia nástrojov v držiaku [10]*

Animáciu jednotlivých pohybov s vysvetlením v nemeckom jazyku podľa metódy MTM je možné nájsť na stránke:

<https://www.dmtm.com/produkte/ausbildung/animation/index.html>.

Počítačová podpora metódy MTM - softvér TiCon<sup>®</sup>3 je výsledok spoločného výskumného projektu nemeckého MTM združenia [24] a inštitútu Institut für Arbeitswissenschaft TU v Darmstadt-e [40].

Na obr. 6.7 je uvedený print screen obrazovky softvéru TiCon<sup>®</sup>3 pre MTM analýzu. MTM združenie pre Česko a Slovensko [82]. Príklady aplikácie metódy MTM je možné nájsť napr. na stránke [75].



Obr. 6.7 Príklad obrazovky softvéru TiCon® 3 pre MTM analýzu podľa [24]

## 6.4 DATABÁZY A ICH APLIKÁCIA V PROJEKTOVANÍ MONTÁŽNYCH PROCESOV

V súlade s trendom digitalizácie procesu tvorby výrobku, ako aj procesu projektovania výrobných a montážnych zoskupení zvyšuje sa význam používania 3D modelov jednotlivých prvkov, konštrukčných skupín a zariadení.

Vývoj v oblasti projektovania výrob smeruje k tvorbe digitálnych modelov celých výrobných zoskupení a k ich overovaniu ešte vo virtuálnom prostredí. V tejto súvislosti sa používa termín Digital Manufacturing. K tvorbe takýchto modelov výrob sú potrebné CAD modely všetkých výrobných a pomocných prostriedkov, ktoré sa nachádzajú na výrobnej ploche. Tvorba takýchto modelov je často rutinnou a zdĺhavou činnosťou, a tá odčerpáva zdroje, ktoré by mohli byť využité na tvorivé činnosti. V dôsledku toho rastie význam databáz 3D CAD modelov technických prvkov a zariadení.

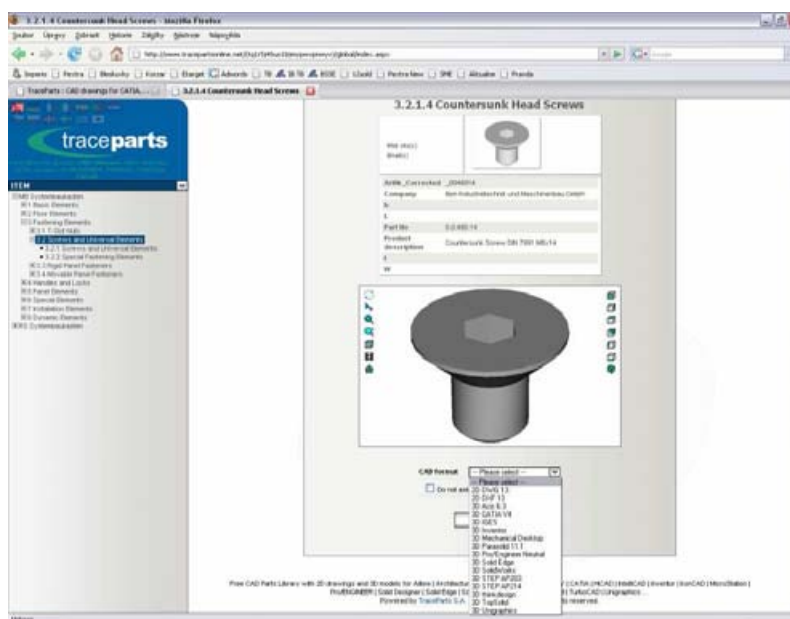
## 6.5 DATABÁZY DIELCOV A NORMALIZOVANÝCH SÚČIASTOK

V súčasnosti existuje viacero databáz, ktoré ponúkajú CAD modely rôzneho vybavenia, dosahujúce konštrukčné dielce, skupiny a súčiastky, normalizované súčiastky a dielce a iné výrobky. V tabuľke 6.2 sú uvedené niektoré z nich. Tieto databázy ponúkajú CAD modely na stiahnutie buď za poplatok, alebo v niektorých prípadoch bezplatne, resp. po registrácii. V týchto databázach sú zastúpené súčiastky od rôznych výrobcov, takže je možné stretnúť sa s tou istou normalizovanou súčiastkou v databáze aj viackrát. Zvyčajne sú CAD modely súčiastok v týchto databázach robené tak, že je možné stiahnuť si buď 2D, alebo 3D model a podporované sú všetky známe a bežne rozšírené CAD systémy. V prípade, že užívateľ používa nejaký menej rozšírený CAD systém, ktorý nie je tvorcom databázy podporovaný priamo, je možné použiť niektorý z univerzálnych dátových formátov na výmenu CAD dát,

ako sú DXF, Step, SAT, IGES. Takto získaný 3D model je potom možné priamo použiť pri navrhovaní a konštrukcii vlastného výrobku alebo zariadenia. Na obr. 6.8 je uvedený príklad výberu skrutky z databázy Traceparts.

Tab.6.2 Vybrané databázy CAD modelov výrobných zariadení, vybavenia a konštrukčných dielcov.

Databáza	www.stránka
Traceparts	<a href="http://www.traceparts.com/">http://www.traceparts.com/</a>
CADRegister	<a href="http://cad.thomasnet.com/">http://cad.thomasnet.com/</a>
Partserver	<a href="http://www.partserver.com/">http://www.partserver.com/</a>
CADsymbols	<a href="http://www.cadsymbols.com/">http://www.cadsymbols.com/</a> alebo <a href="http://www.partsworks.com/">http://www.partsworks.com/</a>
3D ContentCentral	<a href="http://www.3dcontentcentral.com/3DContentCentral/">http://www.3dcontentcentral.com/3DContentCentral/</a>



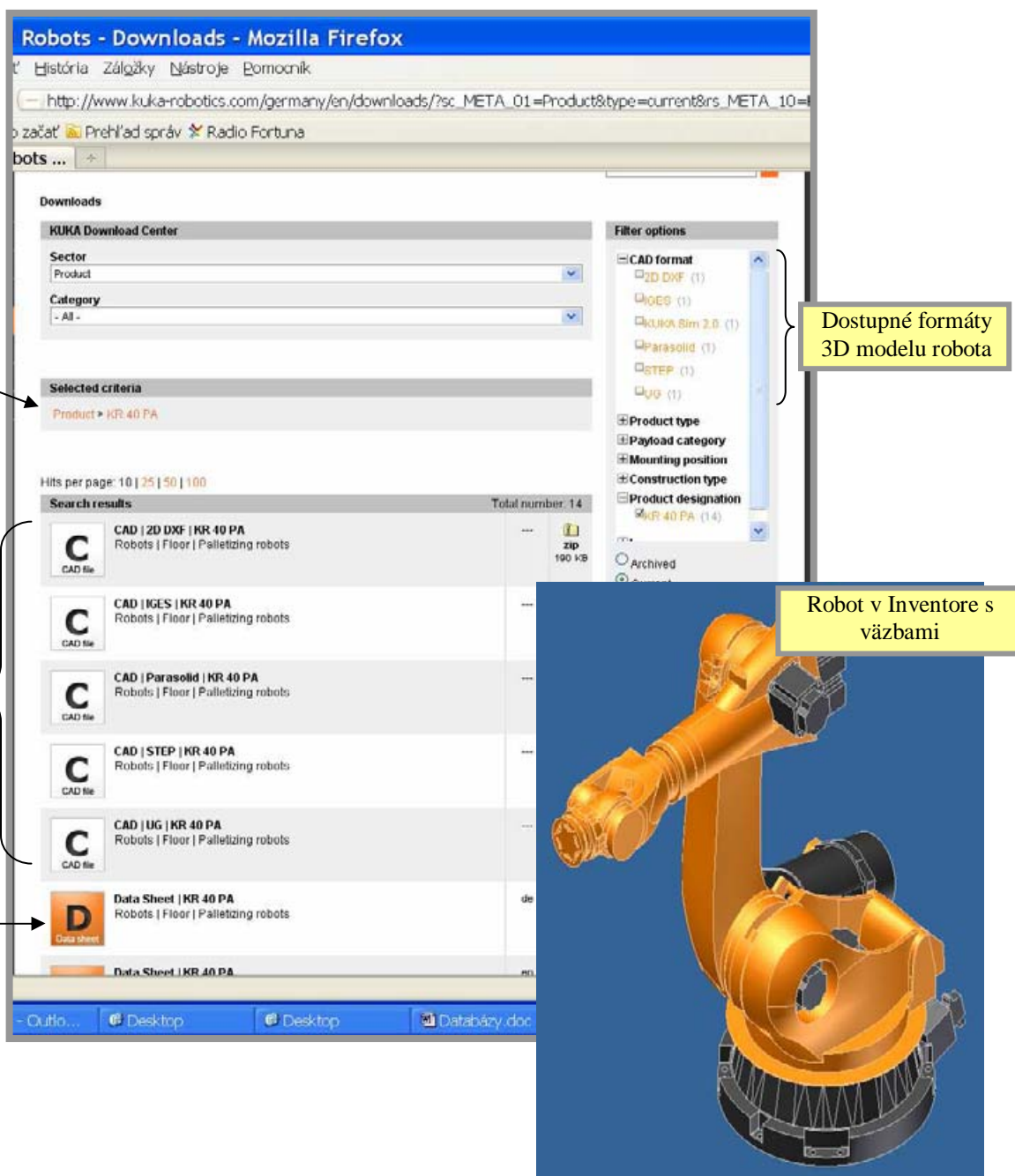
Obr. 6.8 Príklad 3D modelu v databáze TraceParts

## 6.6 3D MODELY TECHNICKÝCH ZARIADENÍ NA INTERNETE

V takej podobe, v akej existujú databázy normalizovaných súčiastok, zatiaľ databázy strojov, dopravníkov a ďalších zariadení neexistujú. Niektorí výrobcovia ponúkajú možnosť stiahnuť 3D, resp. 2D modely nimi vyrábaných zariadení. Takýchto firiem je však zatiaľ veľmi málo. Jednou z nich je napríklad výrobca priemyselných robotov firma Kuka [47], ktorá ponúka pre každý typ robota 3D model vo viacerých formátoch, pričom podporované sú aj univerzálne výmenné dátové formáty, takže je možné ich vložiť do takmer ľubovoľného CAD systému.

Na obr. 6.9 je uvedený príklad ponúkaných CAD dát pre vybraný priemyselný robot. Vybraný 3D model je potom možné použiť vo zvolenom CAD systéme. Spôsob, akým sa priemyselný robot zobrazí, závisí od toho, aký CAD systém sa použije. Niekedy nie je zachovaná stromová štruktúra 3D modelu. Túto štruktúru je potrebné znovu vytvoriť, čo je časovo náročné. Ak sa napríklad 3D model vo formáte stp vloží do CAD systému Inventor ako „assembly“, je možné na základe parametrov robota definovať väzby a pohyb ramena

robotu v priestore bude zodpovedať zadaným údajom - pohybovým vlastnostiam robota (rozsah pohybov ramena a pod.).

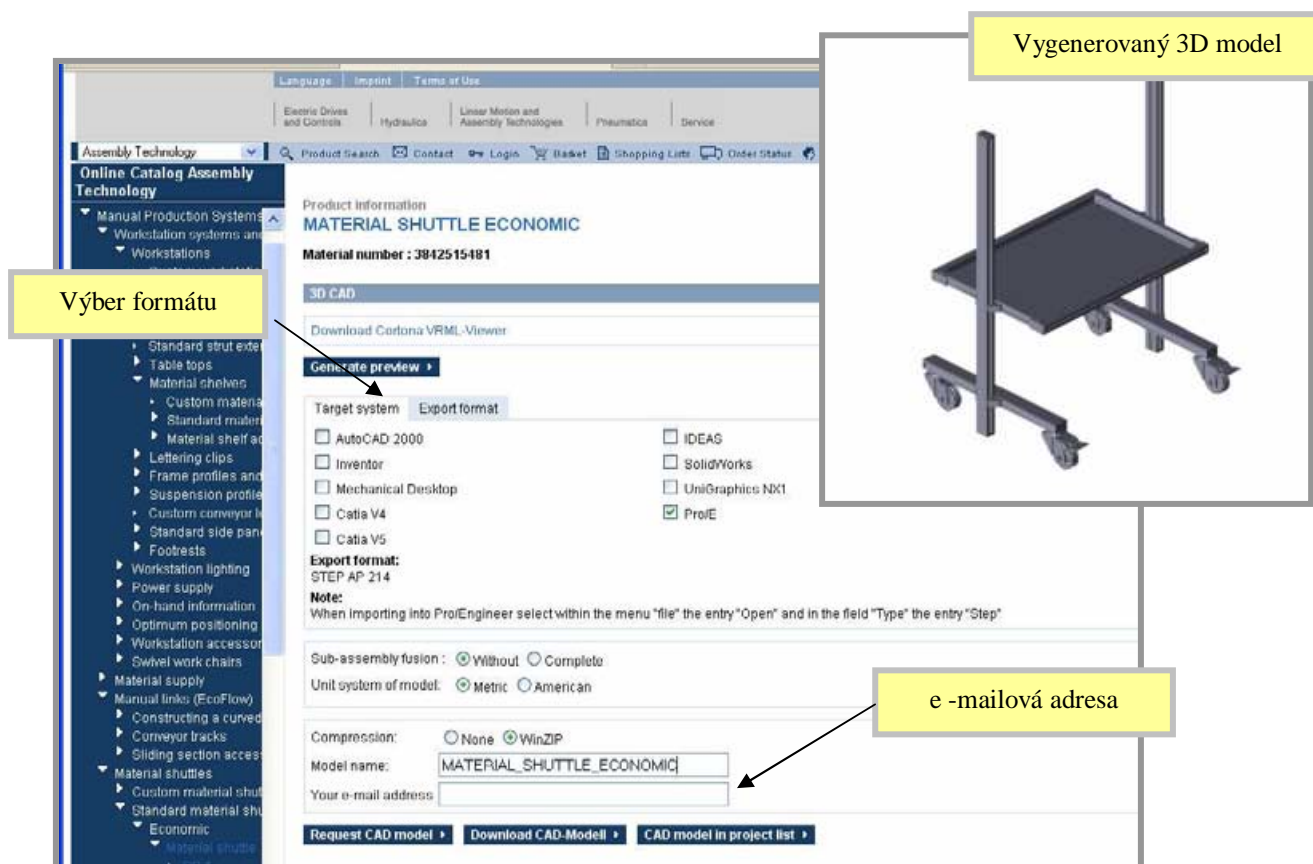


*Obr. 6.9* Obrazovka na výber a stiahnutie 3D modelov robota a príklady vloženia robotov do CAD systémov [47]

## 6.7 ON-LINE GENEROVANIE MODELOV NA INTERNETE

Niektoré firmy ponúkajú aj možnosť generovania variantu zariadenia on-line na internete a následne jeho stiahnutie vo zvolenom formáte, ktorý je vhodný pre použitie v CAD systéme, resp. tento model zasielajú po registrácii mailom.

Príkladom je firma Boschrexroth [10], ktorá umožňuje takýto spôsob navrhovania pre montážne pracoviská. S 3D modelom upraveným podľa vlastných požiadaviek je možné ďalej pracovať, napr. doplniť ho vlastnými konštrukčnými riešeniami, robiť úpravy a pod. Ukážka prostredia on-line aplikácie je na obr. 6.10.



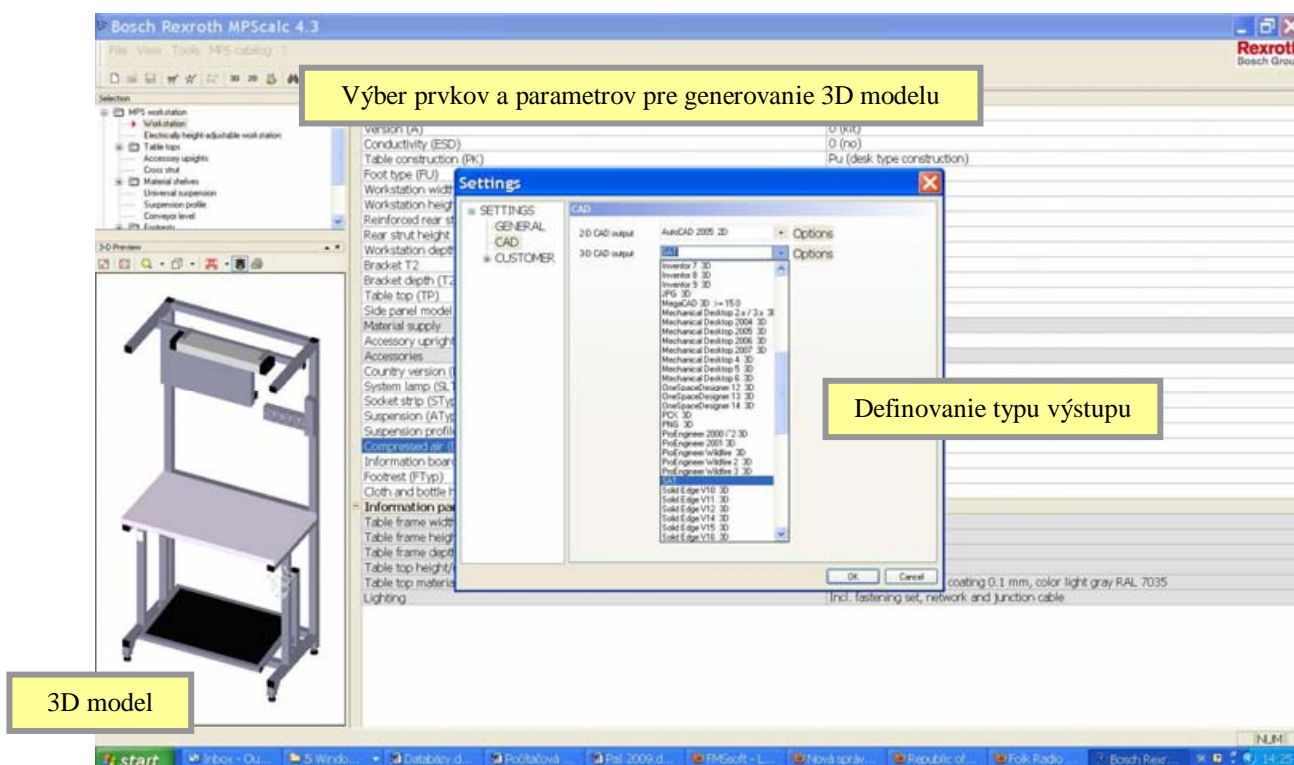
Obr. 6.10 Príklad 3D modelov zariadení firmy Boschrexroth na internete [10]

## 6.8 ŠPECIÁLNE PROGRAMY A NADSTAVBY

Niektorí výrobcovia ponúkajú špeciálne programy a nadstavby programov (viazané väčšinou na niektorý z CAD systémov). Tieto programy, resp. nadstavby obsahujú iba ich výrobky, resp. zariadenia. Obvykle existujú v dvoch verziách tzv. demoverzia, ktorá je bezplatná a plná verzia, viazaná na licenčný poplatok. Rozdiel medzi nimi je v prístupnosti jednotlivých funkcií. Demoverzia neobsahuje všetky funkcie a dá sa používať iba v obmedzenom rozsahu. Ako príklad je možné uviesť špeciálne programy a nadstavby, ktoré ponúka firma Boschrexroth.

**MPS calc** firmy Boschrexroth je softvér pre profesionálne dimenzovanie, konštrukciu a výpočty pracovísk a regálových systémov podľa potrieb zákazníka. Zadaním požadovaných parametrov zariadenia je možné dostať relatívne jednoducho transparentnú cenovú kalkuláciu, ako aj detailný 3D model, ktorý je možné implementovať vo vlastnom projekte a vo zvolenom CAD systéme. Tento softvér je bezplatne k dispozícii na stránke výrobcu, existuje v niekoľkých jazykových modifikáciách (nemecká, anglická, francúzska, španielska, talianska, portugalská a švédka verzia). Tiež je možné vybrať variant, ktorý obsahuje katalóg vo forme PDF. Katalógová verzia má veľkosť cca 202 MB, verzia bez katalógu cca 33 MB. Príklad obrazovky softvéru je na obr. 6.11.





Obr. 6.11 Príklad obrazovky softvéru MPScalc firmy Boschrexroth [72]

Druhým príkladom je softvér MTpro na plánovanie a projektovanie montážnych pracovísk a systémov, takisto od firmy Boschrexroth. V demoverzii je k dispozícii vo forme DVD na základe objednávky na stránke firmy. Systémové požiadavky na inštaláciu programu:

- Windows XP, Windows Vista, Windows 7 (32 Bit / 64 Bit),
- DVD-ROM mechanika,
- Adobe Reader 6 a novší,
- 2.5 GBytov na hard disku potrebných pre inštaláciu,
- internetové pripojenie pre automatickú aktualizáciu.

Program obsahuje modul *Layout designer* pre plánovanie a projektovanie kompletných riešení pracovísk a dopravníkov bez CAD systému. Modul nie je k dispozícii v demoverzii. Je možné iba 60 dňové bezplatné testovanie. Tento modul podľa [72] ponúka:

- vytváranie pracovísk a systémov z modulov vo virtuálnom 3D prostredí bez CAD systému,
- nástroje pre tvorbu pracovísk a systémov,
- užívateľskú knižnicu pre ukladanie a opakované použitie vlastných konštrukcií,
- export 3D návrhov pracovísk ako celok do bežných typov CAD systémov a uloženie vo všeobecnom výmennom formáte (STEP, SAT, IGES, ...),
- automatické generovanie objednávky všetkých prvkov a príslušenstva navrhnutého pracoviska,
- transfer CAD modelov s kusovníkom do podporovaných CAD systémov.

Modul **Product information** obsahuje informácie o výrobnom programe firmy Boschrexroth v nasledovnom členení:

- MGE – základné mechanické prvky,
- MPS – ručné výrobné systémy,
- MIT – technológie materiálového a informačného toku.

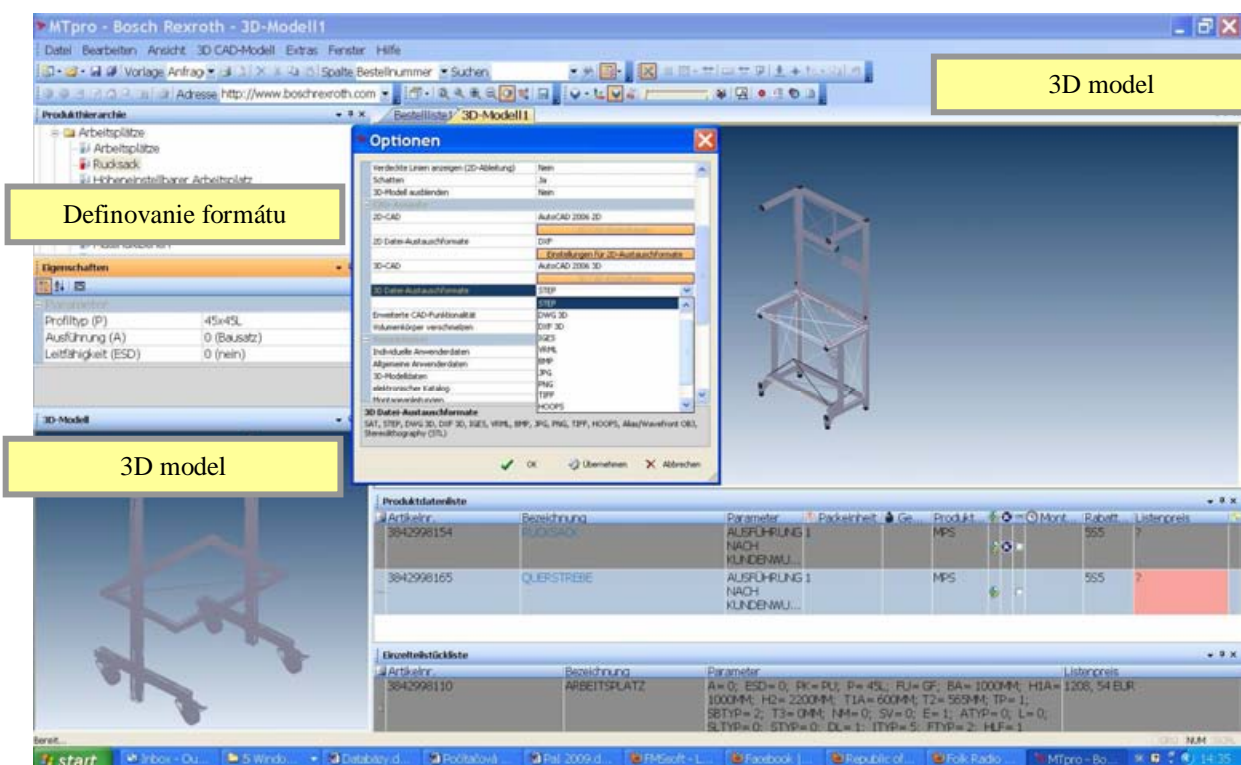
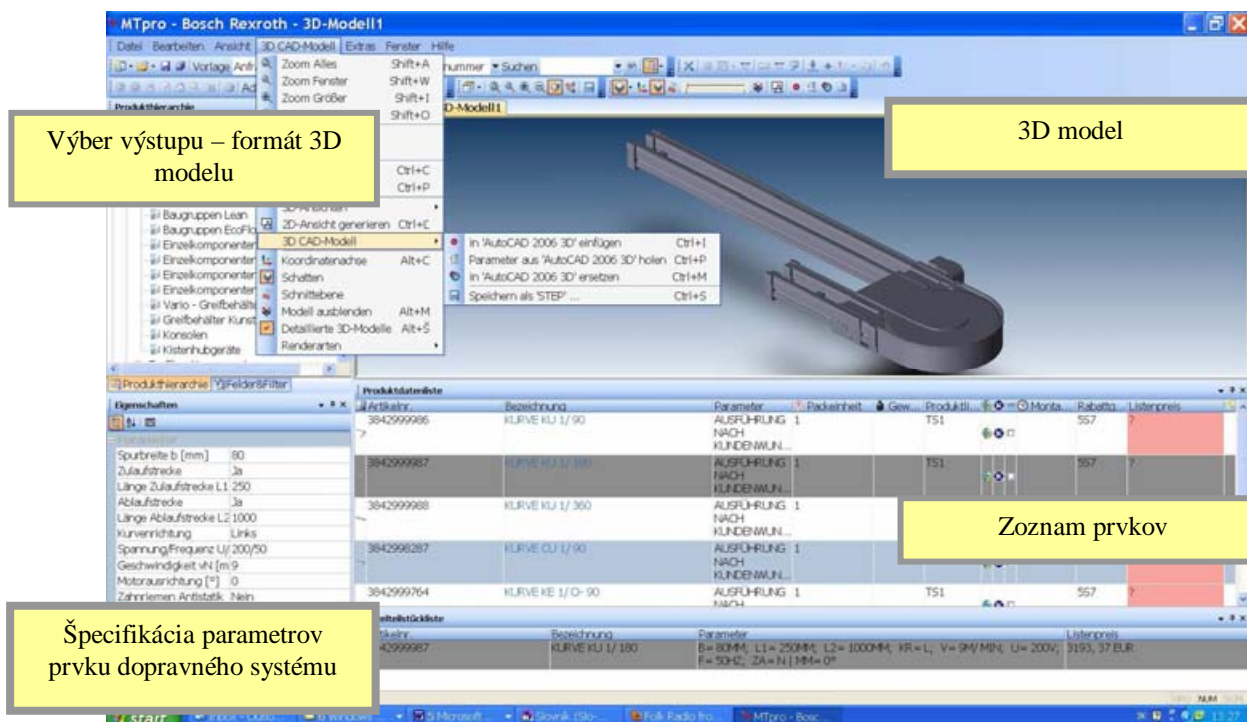
Modul **Generation of CAD models** má priame prepojenie do bežných typov CAD systémov. Je možné prenášanie dát medzi MTpro a FMSsoft. Generované modely je možné uložiť vo formáte:

- Alias / Wavefront OBJ,
- AutoCAD DWG,
- AutoCAD DXF 2-D, 3-D,
- HOOPS,
- SAT,
- STEP,
- VRML,
- STL,
- export vo forme grafiky (BMP, JPG, PNG, TIFF).

CAD modely je možné priamo implementovať v nasledujúcich CAD systémoch:

- Autocad 2002 a v novšej,
- Autocad LT 2002 a v novšej,
- CADdy ++ 2008 3D a v novšej,
- CATIA V5 - R12 a v novšej,
- Inventor 9 a v novšej,
- Mechanical Desktop 5 a v novšej,
- OneSpace Designer 2004 a v novšej,
- ProEngineer Wildfire a v novšej,
- Smart Sketch 5 (2D),
- Solid Edge 16 a v novšej,
- SolidWorks 2004 a v novšej,
- TopSolid 2003 a v novšej,
- TurboCAD 10 a v novšej,
- VectorWorks 11 a v novšej.

Na obr. 6.12 sú uvedené príklady obrazoviek programu MTpro (prvok dopravného systému a rámová konštrukcia montážneho stola).



Obr. 6.12 Príklady obrazoviek softvéru MTpro [74]

### FMS soft

Softvér pre projektovanie ručnej montáže od firmy Bosch FMSsoft je nadstavba CAD systému AutoCAD alebo Mechanical Desktop 2005. Pozostáva z troch základných modulov MGE soft, TS soft a MAS soft.

**MGEsoft** slúži na navrhovanie rámových konštrukcií zo základných hliníkových modulov. V tomto module je zahrnutá optimalizovaná 3D obsluha, inteligentné komponenty, makrofunkcie napr. pre pracovné stoly, ochranné deliace steny, dvere, špeciálne zakončenia na konce profilov, detailné pohľady, mechanické výpočty, doplnkový výpočet pre malé súčiastky a umožňuje jednoduchú modifikáciu komponentov.

V ponuke MGE sa nachádzajú profily, a to jednoduché, špeciálne, drážkované, plastické, prične pravouholníkové, drážkované profily a uzatváracie profilové prvky. Po vybratí požadovaného komponentu a stlačení klávesy „OK“ sa otvorí okno, v ktorom sa zobrazí náčrt komponentu s kótami, rozmery komponentu a iné vlastnosti, ktorých hodnoty je možné meniť podľa požiadaviek. V tomto okne sa tiež nachádza funkcia „Search“, ktorá slúži na vyhľadávanie zadaných komponentov, a to podľa objednávacieho čísla, názvu s rozmermi a fyzickej črty. Po nájdení takéhoto komponentu si tento komponent môžeme uložiť do databázy programu a kedykoľvek ho použiť. Po stlačení klávesy „insert“ sa vybraný komponent vloží na pracovnú plochu ACAD-u v ktorom sa nám zobrazí ako 3D objekt, na ktorom môžeme využívať všetky funkcie ACAD-u.

Ďalej sa v MGE moduloch nachádza ponuka „profilové systémy“, v ktorej sú diely na zostavenie profilového systému, a to profilová výstuha, hraničný profil, spojky, kocková spojka, pánty, sklápacie nôžky, doplnky, závesné držiaky, radiálne kompenzátory, kĺby a lišty pre elektrické a iné káble. Pri všetkých týchto komponentoch môžeme meniť ich parametre, ako aj vyhľadať nové druhy komponentov.

V MGE moduloch sa ďalej nachádzajú ponuky spojok (skrutky, uhlové podpery, modulové spojky a pod.), stykových komponentov (hviezdicový gombík prepínača, sklopenia, otočné podložky a pod.), dvierok (kľučky, pánty a pod.), bariér (bariéry proti spadnutiu materiálu z pásu, sklenené bariéry, bariéry pracovísk a pod.) nôh a koliesok, vzdušnej techniky (ventilátory, klimatizácia a pod.), vodiacich komponentov, dopravníkových častí (valčekové elementy, dopravníkové spojky a pod.), inštalačných krytov (kryty káblov a pod.) a rôznych nezaradených komponentov. Vo všetkých týchto ponukách sa nachádzajú rôzne komponenty vo väčšine ktorých sa dajú meniť ich parametre.

**Modul MASsoft** je prioritne určený na projektovanie a navrhovanie ručných pracovných staníc a pracovných systémov. Obsahuje ergonomické podporné funkcie (dimenzovanie, pracovný modul, dosahové priestory, zorné pole, zaťaženie), výškovo nastaviteľné elementy systému, makrofunkcie na prestavovanie pracovných stolov, výber zásobníkov a obsahuje tiež funkciu analýzy pracovného času, ktorá je aktívna v plnej verzii nadstavby. Ergonomické projektovanie umožňuje použitie 3D modelu pracovníkov, ako aj iných funkcií. Simuláciou pracovných podmienok, ako je napr. miesto uchopenia a zorné pole na umiestnenie montážnych komponentov na nové stanovisko, môžu byť identifikované a korigované chyby už v 3D modeli.

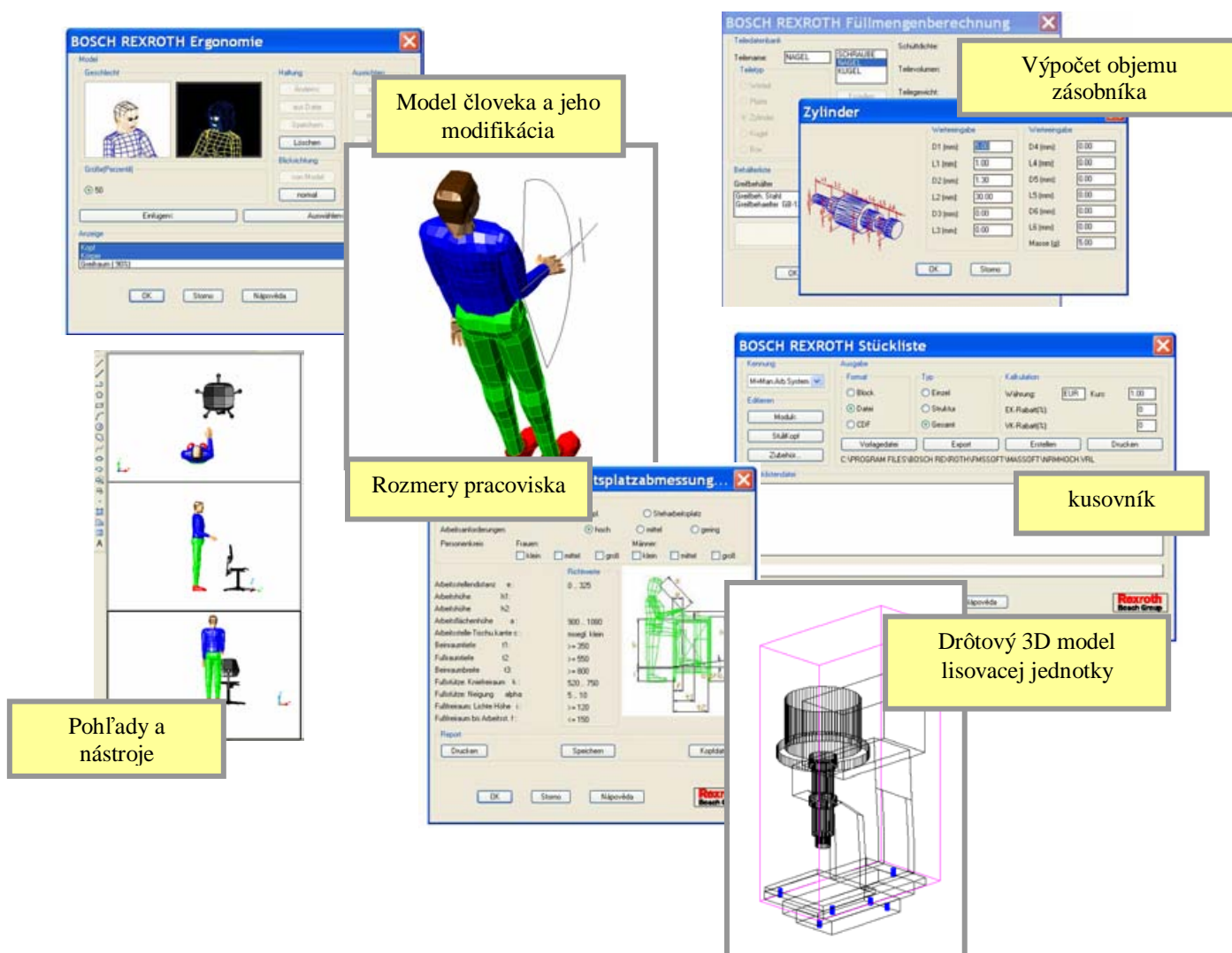
V ponuke MAS - modulov sa nachádzajú stoly (v tejto ponuke je možné meniť výšku, šírku, meniť model stola, pridávať bočné a zadné panely a materiál týchto panelov), VDU pracovné stoly (sú to stoly, pri ktorých sa pri práci sedí, sú vybavené opierkou nôh, avšak jedinou zmenou, ktorú môže používateľ využiť, je zmena výšky stola), komponenty pracovných stolov (nachádzajú sa tu prídavné komponenty stola ako napríklad nohy s integrovanými kolieskami, bočné a zadné panely stola, rôzne držiaky a pod.) a ponuka príslušenstva, kde sa nachádzajú držiaky monitorov či iných zariadení, zásuvky stolov, kolieska a podobne.

V ponuke prívodu energií je možnosť si vybrať prívody stlačeného vzduchu, elektrickej energie a osvetlenie.

V MAS module je aj ponuka informačných prvkov, ako sú rôzne informačné displeje, jednoduché stojanové tabule, pri ktorých je možnosť zmeniť ich veľkosť, ako aj iné vlastnosti. Ďalej sú k dispozícii stoličky či už otočné, výškovo nastaviteľné s opierkou a podobne. Všetky tieto vlastnosti si užívateľ vyberie (zmení) po vybraní základného druhu stoličky. Samozrejmosťou tejto ponuky sú komponenty stoličiek ako opierky nôh, rúk a podobne.

Pre zásobovanie pracoviska je možnosť si vybrať zo zásobníkov z plastu, kovu a variabilných zásobníkov. V každom druhu zásobníkov je možné si vybrať požadovaný tvar zásobníka jeho šírku a výšku, ako aj doplnky, akými sú napríklad podstavce pod zásobník a podobne. Ďalej je možné si zvoliť prenosné zásobníky, kde si môže užívateľ vybrať počet poličiek, ich výšku, šírku a podobne. Ďalšou ponukou je ponuka malých lisov, tu je možné vybrať si z dvoch typov lisov, dvoch spôsobov spúšťania ( pedálový mechanizmus alebo poloautomatický spúšťací mechanizmus).

Poslednou ponukou sú rôzne ďalšie komponenty, ako sú napríklad spájkovačka, meracie zariadenie invalidný vozík, PC a iné.



Obr. 6.13 Vybrané obrazovky modulu FMSsoft [33]

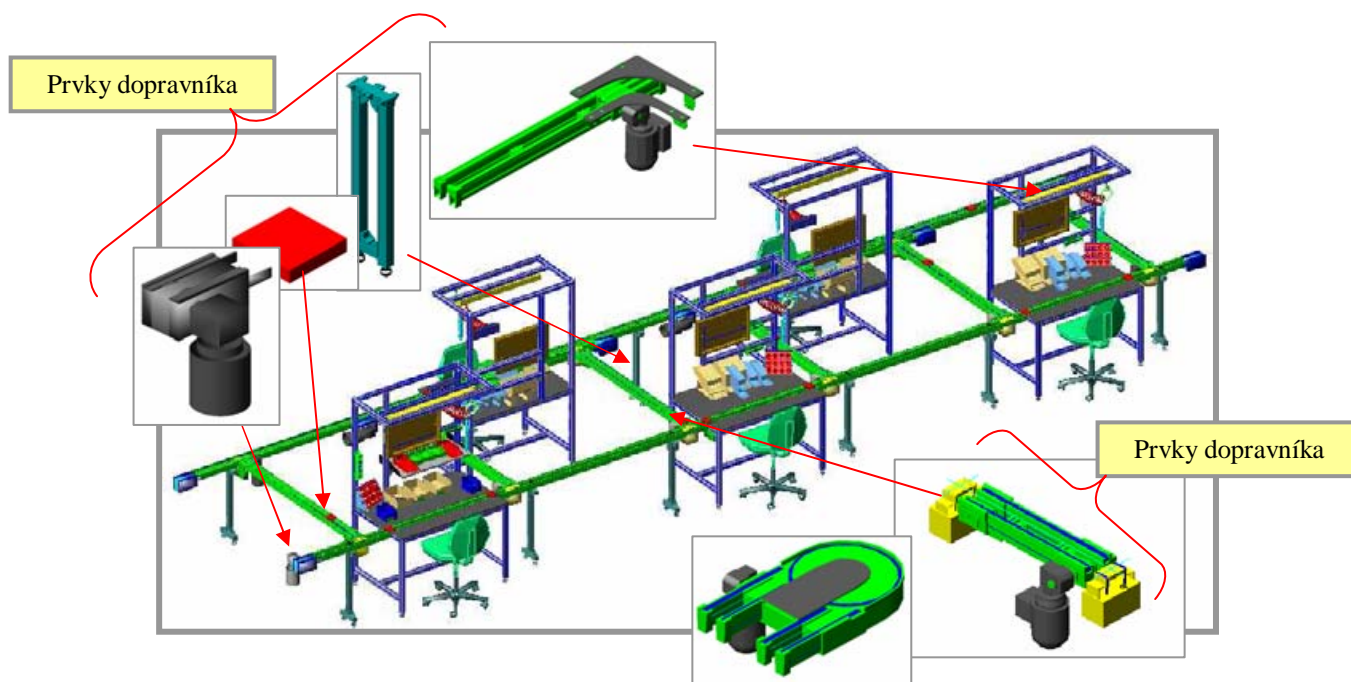
TSsoft slúži na vysoko efektívne projektovanie a navrhovanie dopravníkov, ako aj ECO-flow línií a Vario-Flow dopravníkového systému. Dopravný systém je zložený z modulárnych elementov uložených v hlavnej databáze. Obsahuje makrofunkcie pre prestavovanie návrhu, projektové globálne systémové parametre, prepočet dopravného systému (počet paliet, pohon, dovolené zaťaženie), porovnanie variantov, doplnkové výpočty, automatizované vytvorenie kusovníka a umožňuje automatický výpočet výrobných nákladov pre rôzne alternatívy. Jeho výhodou je v tom, že má jednoduchú modifikáciu komponentov a je jednoducho kombinovateľný s MGE-soft a MAS-soft.

V ponuke TS – modulov sa nachádza funkcia TS štart, ktorá slúži na vloženie základného dopravníkového systému. Pri vkladaní základného dopravníkového systému si môžeme zvoliť druh systému, jeho výšku, šírku, dĺžku, váhu dopravovaného materiálu, druh napájania a spôsob dopravovania (pásový alebo valčekový). Vkládanie sa uskutočňuje rovnako ako pri všetkých moduloch FMSoftu, a to stlačením tlačidla „insert“ a nasledovným stlačením tlačidla „OK“.

Ďalšou ponukou je ponuka výber z katalógu Bosch Rexroth, kde je možné si nastaviť model, z ktorého si chceme vybrať.

V ponuke funkčné moduly TS je na výber kruhový dopravník (tu si vieme meniť vlastnosti dopravníka ako typ, celkovú dĺžku, druh napájania a podobne), dopravníková jednotka (tu si vieme vybrať druh pohonu, jeho umiestnenie a samozrejmosťou sú meniteľné vlastnosti jednotky ako dĺžka, šírka a pod.) a TFE (križovatky dopravníkového systému).

Základné časti dopravníkov tvoria ďalšiu ponuku modulu TS, v ktorej sa nachádzajú pohonné jednotky, zákruty dopravníkov, nosné profily, nohy dopravníkových systémov, montážne kryty a podobne. Pri všetkých týchto komponentoch dopravníkových systémov je možné meniť ich vlastnosti. Na obr. 6.14 je uvedený príklad montážnej linky vytvorenej v nadstavbe FMSsoft s využitím prvkov dopravníka – použitie modulu TSsoft.



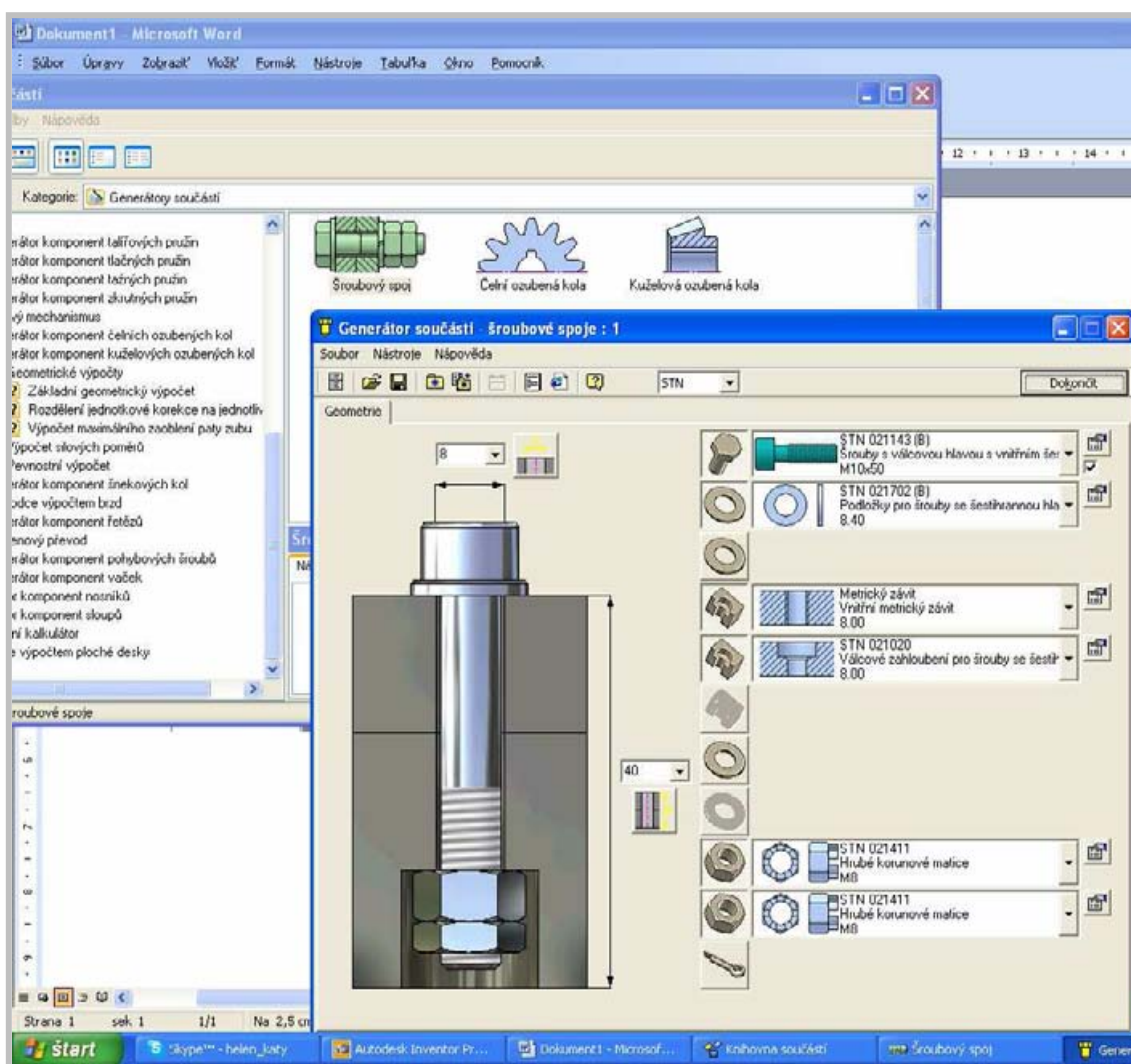
**Obr. 6.14** Montážna linka vytvorená z komponentov v nadstavbe FMSsoft [19]

V tomto programe sú v ponuke aj kontrolné jednotky, rôzne snímače, ako je napríklad snímač zaťaženia, snímač skončenia pásu, snímač materiálu a podobne.

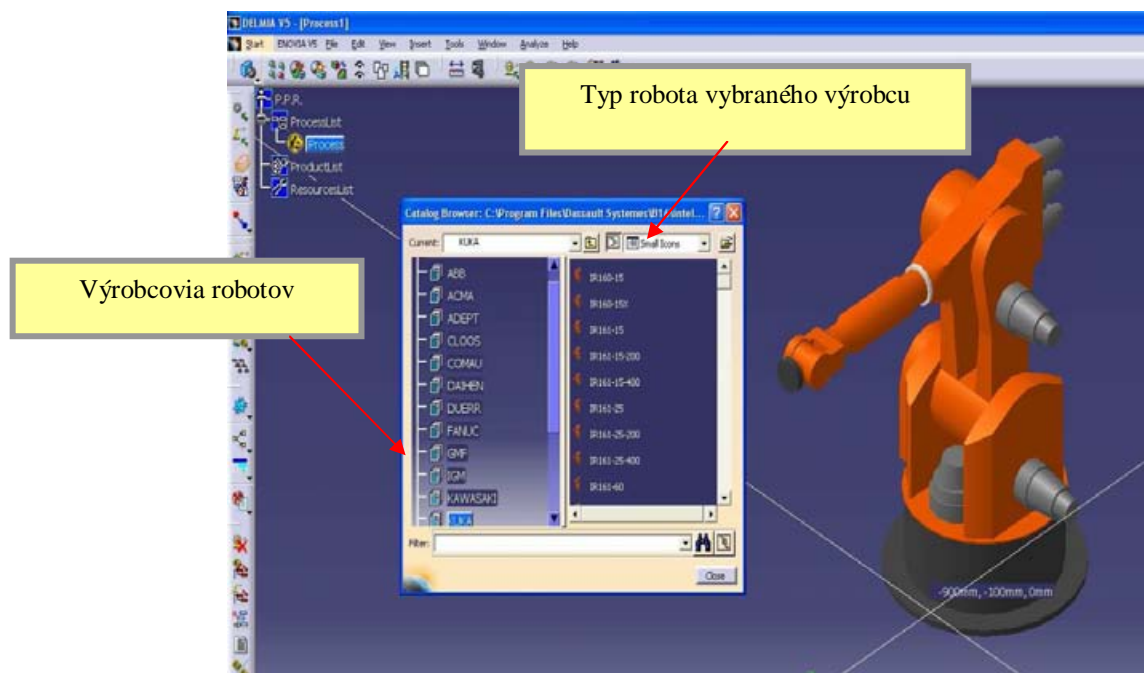
V poslednej ponuke TS modulov sú rôzne ďalšie komponenty, ako sú zdvíhacie zariadenia, spínačové (ističové) skrine, počítače a pod.. Pri väčšine týchto komponentov je možné meniť ich vlastnosti a všetky tieto komponenty sa vkladajú na pracovnú plochu rovnako ako vo všetkých predchádzajúcich prípadoch.

## 6.9 DATABÁZY AKO SÚČASŤ CAD SYSTÉMU

Viacere CAD systémy obsahujú databázy 3D modelov buď jednotlivých normalizovaných súčiastok a dielcov, alebo aj technických zariadení. Tieto databázy 3D modelov môžu byť doplnené viacerými ďalšími funkciami – výpočtami, simuláciou, programovaním a podobne. Ako príklad je možné uviesť návrh na výpočet skrutkového spoja v CAD systéme Inventor (obr. 6.15) alebo 3D model robotov rozličných výrobcov vrátane ďalších funkcií, ako je napríklad programovanie robota v systéme Delmia (obr. 6.16).



Obr. 6.15 Skrutkový spoj – Inventor



Obr. 6.16 3D model priemyselného robota Kuka v Delmii

## 6.10 DATABÁZY Z VLASTNÉHO VÝVOJA

Na podporu procesu projektovania je niekedy vhodné vytvoriť vlastné databázové systémy, ktoré budú zahŕňať všetky modely výrobných techník, resp. zariadení, ktoré sa podarilo získať na budúce použitie.

**Databáza priemyselných robotov** (obr. 6.17) spracovaná v Microsoft Access slúži na výber vhodného typu robota na základe zadaných kritérií. Súčasťou databázy sú odkazy na 2D a 3D modely robotov. V súčasnosti databáza obsahuje okolo 70 robotov rozličných svetových výrobcov a neustále sa dopĺňa. Vzhľadom na to, že je vytvorená v Microsoft Access, je možné ju relatívne jednoducho modifikovať a dopĺňovať, ako aj používať.

Funkčná databáza bola vytvorená na základe údajov z katalógových listov výrobcov robotov dostupných na internete. Má za úlohu zjednodušiť katalogizáciu a vyhľadávanie priemyselných robotov. Microsoft Access ponúka veľa funkcií, ako je triedenie a vyhľadávanie konkrétnych dát, zostavy, makrá a programovanie. Týmto je možné túto databázu ďalej rozširovať, dopĺňať a obohacovať o nové funkcie.

V databáze sú definované viaceré funkcie. Základný formulár robota zobrazuje všetky základné informácie uložené v databáze. Zároveň obsahuje ovládacie prvky, ktoré umožňujú databázu dopĺňať, listovať v nej, ako aj vytlačiť definované zostavy.

Formulár na výber priemyselného robota pracuje na základe kombinácie nasledujúcich parametrov:

- výrobca,
- typ robota,
- presnosť,
- nosnosť,
- dosah,



- oblasť aplikácie.

Formulár priemyselného robota

**Roboty**

Pridať záznam Uložiť záznam Informačný list [Navigation buttons] Zavrieť okno Hlavné menu

Lepenie  Paletizácia  Manipulácia  Montáž  Striekanie, Natieranie  
 Balenie  Zváranie elektrickým oblúkom  Rezanie  Bodové zváranie

Obrázok:

**Parametre**

Hľadanie záznamu

Označenie robota	IRB 1600
Výrobca	ABB
Typ robota	kĺbový
Pracovná zóna	polohujúce v priestore
Presnosť polohovania v mm	+0,05
Maximálna nosnosť v Kg	5
Počet riadených osí	6
Maximálny dosah v mm	1450
Hmotnosť v kg	250

**Rozsah pohybov v [°,mm]**

os1	+180 do -180
os2	+136 do -36
os3	+55 do -235

**Rýchlosť polohovania [°/s,mm/s]**

os1 za sec	150
os2 za sec	160
os3 za sec	170

2D pohľad bokorys   
2D pohľad nárys

Zostava databázy

Formulár výberu typu robota

**Výber robota**

Hľadaj Reset Zostava Prehľad

Výrobca: [dropdown] Typ robota: [dropdown] Presnosť: [dropdown] Oblasť Aplikácie:

Nosnosť v(Kg) [dropdown] Zadaj hodnotu [input] Dosah v [mm] [dropdown] Zadaj hodnotu [input]

Formulár:

ID ml	Označenie robota	Výrobca	Typ robota	Lepenie	Paletizácia
1	IRB 1600	ABB	kĺbový	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	SR4	Bosch	scara	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	SR6	Bosch	scara	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	SR8	Bosch	scara	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	AR6	Bosch	kĺbový	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	AR8	Bosch	kĺbový	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19	EA1400N	Motoman	kĺbový	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
27	KR3	Kuka	kĺbový	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
34	IRB 140	ABB	kĺbový	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

\* číslo) [input] [input]

Oblasť aplikácie: Lepenie  Paletizácia  Bodové zváranie  Zváranie elektrickým oblúkom  Rezanie  Manipulácia  Striekanie/Natieranie  Montáž  Balenie

Hmotnosť (Kg): 0  
 Presnosť polohovania (mm): ±0,05  
 Počet riadených osí: 6  
 Hmotnosť (Kg): 600

Dosah pohybov v [mm]  
 Rýchlosť polohovania [°/s,mm/s]

os 1:	110	os 1 za sec:	160
os 2:	115	os 2 za sec:	200
os 3:	110	os 3 za sec:	300
os 4:	50	os 4 za sec:	150
os 5:		os 5 za sec:	
os 6:		os 6 za sec:	

2D pohľad nárys 2D pohľad bokorys

Sub-ry 2D/3D modely robota  
3D model (Step/Obj/3ds)

Identifikačný odkaz: [roboty@a184/C06-10x4/D0Pa/NLE-M-10x-01.dwg](#)  
[roboty@a184/C06-10x4/D0Pa/NLE-M-10x-01.dwg](#)  
[roboty@a184/C06-10x4/D0Pa/NLE-M-10x-01.dwg](#)

Obr. 6.17 Databáza priemyselných robotov [14], [85]

V súvislosti s definovanými funkciami boli zároveň navrhnuté nasledovné základné výstupy:

- informačný list robota,
- zoznam robotov uvedených v databáze,
- zoznam výrobcov,
- zoznam robotov odporúčaných na základe kombinácie parametrov.

Databázu je možné používať na bežnom osobnom počítači, pokiaľ je na ňom nainštalovaná aplikácia Microsoft Access. Je možné ju jednoducho aktualizovať a dopĺňať. Jedným z parametrov, ktorý by bolo možné doplniť, je napríklad flexibilita, a tá je z hľadiska aplikácie veľmi dôležitý parameter.

Pripojené 2D a 3D modely priemyselných robotov umožňujú ich aplikáciu vo zvolenom CAD systéme. Ide o súborové formáty \*.step alebo \*.sat, ktoré je možné použiť vo všetkých obvykle užívaných CAD systémoch, ako je napr. Inventor, Catia, ProEngineer, Solid Works, Solid Edge a pod.

## 6.11 TVORBA VLASTNÝCH 3D MODELOV

V procese navrhovania montážnych procesov je niekedy samozrejme potrebné vytvoriť vlastné 3D modely technických prvkov a zariadení. Niekedy ide o návrhy inšpirované existujúcimi riešeniami, v ktorých nie sú dostupné 3D modely. Niekedy je nutné navrhnuť vlastné konštrukčné riešenia. V obidvoch prípadoch je účelné aplikovať modulový princíp, pre ktorý sú relevantné nasledujúce aspekty:

- Umožňuje definovať jednotlivé moduly, resp. časti a tieto detailne rozpracovať nezávisle od ostatných.
- Vyžaduje vytvorenie spoločných rozhraní resp. stanovenie základných parametrov, ktoré sú spoločné pre všetky vytvárané moduly tak, aby bolo možné vytvárať rozličné kombinácie bez obmedzení.
- Vytvoriť moduly tak, aby ich vzájomná závislosť bola čo najnižšia. Rozhrania musia byť štandardizované.
- Podstatná je v tejto súvislosti voľná vzájomná kombinovateľnosť malého počtu modulov.

Hlavným cieľom aplikácie modulového princípu je redukcia vnútornej komplexnosti pri súčasnej vysokej vonkajšej variantnosti, vymeniteľnosti, pružnosti v zmysle relatívne jednoduchej zmeny, resp. doplnenia štruktúry pracoviska ďalšími prvkami.

Tento princíp sa v stavbe prvkov a zariadení pre ručnú montáž často využíva väčšinou svetových výrobcov a umožňuje okrem iného aj rýchlu modifikáciu a získanie funkčného 3D modelu zadaním základného rozmeru, resp. charakteristiky (napr. 3D model dopravného systému firmy Boschrexroth má ako vstupný parameter rozmer palety a pod.). Na obr. 6.18 je uvedený príklad v Catii vytvorených 3D modelov prvkov na stavbu ručných montážnych pracovísk pracujúcich na princípe one piece flow.

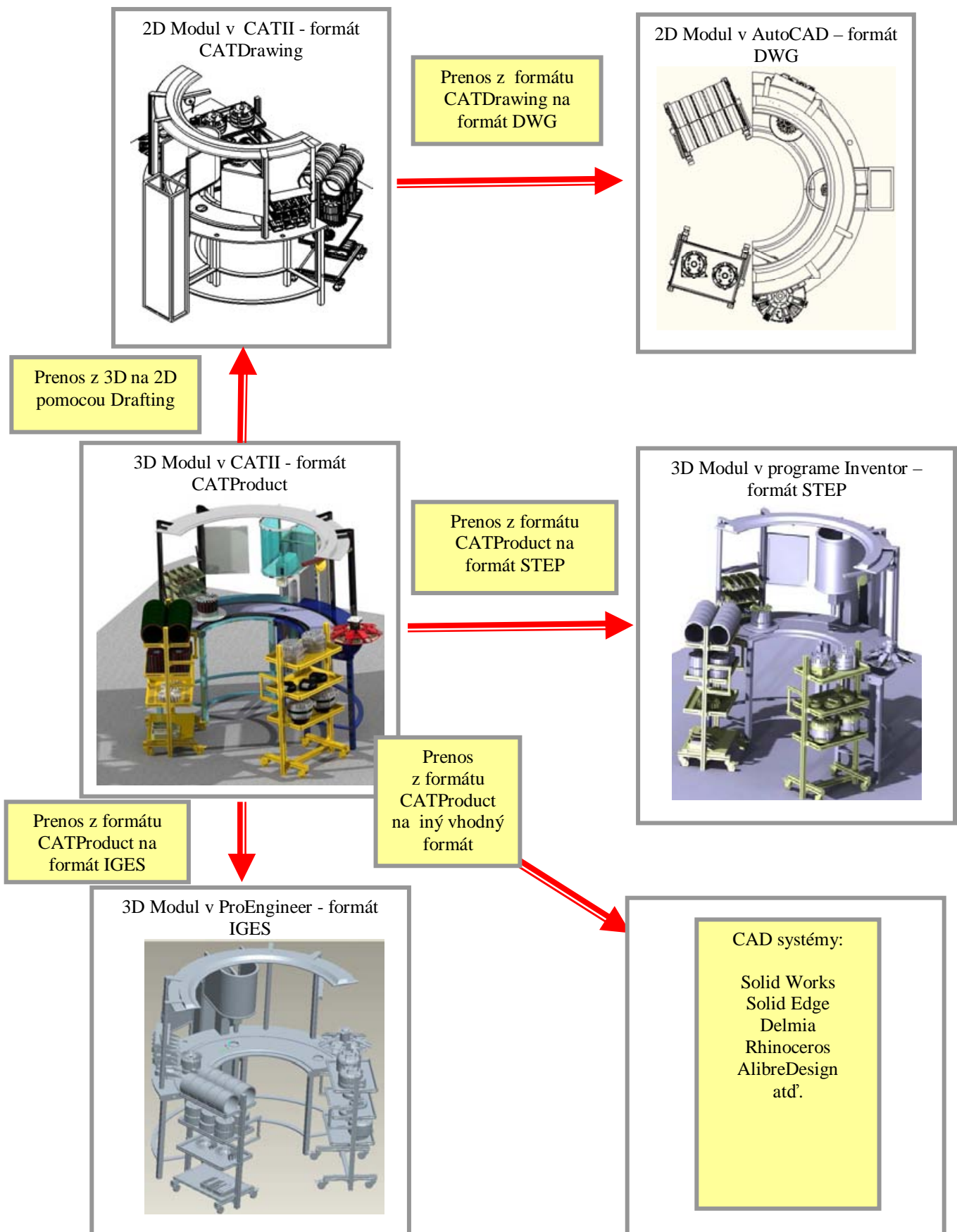
Na obr. 6.19 je uvedená aplikácia vytvorených modulov – na základe štruktúry pracoviska bol vytvorený 3D model.



Dôležité je aj uplatnenie a využitie vytvorených 3D modelov prvkov pracoviska v inom CAD systéme ako v Catii V5R19. Samotná Catia umožňuje ukladanie súborov v rôznych formátoch. Každý CAD program, je určený na otváranie konkrétnych typov súborov, pričom každý z týchto súborov je identifikovaný príponou súboru. Preto je vždy výhodnejšie, aby sa jednotlivé modely zostavovali v CAD programe, kde boli skonštruované. Pri prenose dát z jedného CAD programu do druhého sa môže stať, že druhý program nedisponuje potrebnými modulmi a z 3D modelu môže vzniknúť neúplný obraz a niekedy nevznikne žiadny obraz. Ak už je potrebné, aby sa model použil v inom CAD programe, je potrebné vedieť, ktoré formáty podporuje a ktorými by nemala nastať radikálna zmena modelu.

Na obrázku 6.19 je znázornený princíp ukladania 3D formátu CATProduct na formát IGES a STEP, ktorý podporujú ostatné všeobecne rozšírené CAD systémy. Už na prvý pohľad je jasné, že 3D model nemá farebné rozlíšenie jednotlivých komponentov. Všetky časti pracoviska sa sfarbili sivou a žltou farbou. To znamená, že pri prenose z programu Catia do programu Inventor je potrebné opäť práce zadávať druh materiálu komponentov a následne ich farebne odlíšiť. Podobným spôsobom sa 3D model prezentoval v programe PROEngineer, kde sa taktiež celá zostava zafarbila sivou farbou.

Pri prenose 2D modelov z Catie do programu AutoCAD nenastali žiadne problémy. 3D model vytvorený v Catii sa jednoducho pomocou funkcie Drafting transformoval do 2D modelu s príponou CATDrawing. Následným uložením 2D modelu do formátu DWG, ktorý podporuje AutoCAD, bol získaný plnohodnotný 2D model, s ktorým je možné bez problémov ďalej pracovať.



Obr. 6.19 Zmena formátov a ich následné použitie vo vybraných CAD programoch [107]

## 6.12 ZDROJE ÚDAJOV PRE TVORBU 3D MODELOV TECHNICKÝCH ZARIADENÍ

Väčšina doteraz uvádzaných zdrojov 3D modelov technických zariadení obsahuje iba zariadenia jedného výrobcu. V procese navrhovania montážnych pracovísk a systémov je často potrebné použiť v projekte zariadenia viacerých výrobcov. Preto je potrebné mať k dispozícii informácie o výrobcoch jednotlivých typov technických zariadení. Najjednoduchším prvým krokom je získať informácie na internete. Samozrejme, že v prípade reálneho projektu nie je takáto informácia dostatočná a je potrebný priamy kontakt s výrobcom. Pri výbere a implementácii konkrétneho výrobku v projekte montáže môžu byť, a často aj sú dôležité ďalšie konkrétne údaje, resp. podmienky (presná cena, záruka, spôsob dodávky, časové údaje, kompatibilita s inými zariadeniami, atď.) Súčasne je potrebné mnohé podrobnosti prekonzultovať s odborníkmi v príslušnej firme.

V ďalšej časti sú uvedené stručné informácie o základných typoch technických zariadení používaných v montáži s údajmi o výrobcach. Zoznam výrobcov nie je úplný. A výber je v podstate náhodný, nevykonala sa nijaká špeciálna analýza, výrobcovia nie sú v tabuľkách zaradení podľa žiadnych kritérií.

Uvedené informácie by mali slúžiť na výber vhodného typu zariadenia, získanie základných technických údajov o zariadení a prípadne aj 3D modelu zariadenia, pokiaľ ho výrobca nejakým spôsobom ponúka. Pre študentské práce môže slúžiť aj ako zdroj informácií pri tvorbe modelov týchto zariadení.

## 6.13 RUČNÉ MONTÁŽNE PRACOVISKÁ

V súčasnosti všetky známe firmy (pozri tab. 6.3), ktoré sa zaoberajú projektovaním, výrobou a implementáciou ručných montážnych pracovísk, využívajú princíp modulovosti. Výhody modulového prístupu:

- projektové, vedúce k počítačovej optimalizácii konfigurácie montážnych systémov ako základných stavebnicových prvkov integrovaných výrob riadených počítačom,
- výrobnotechnologické, 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,
- spoľahlivostné, vedúce k zvýšenej spoľahlivosti počas celej životnosti systému.

Prednosti modulového princípu sa prejavujú v nasledujúcich aspektoch:

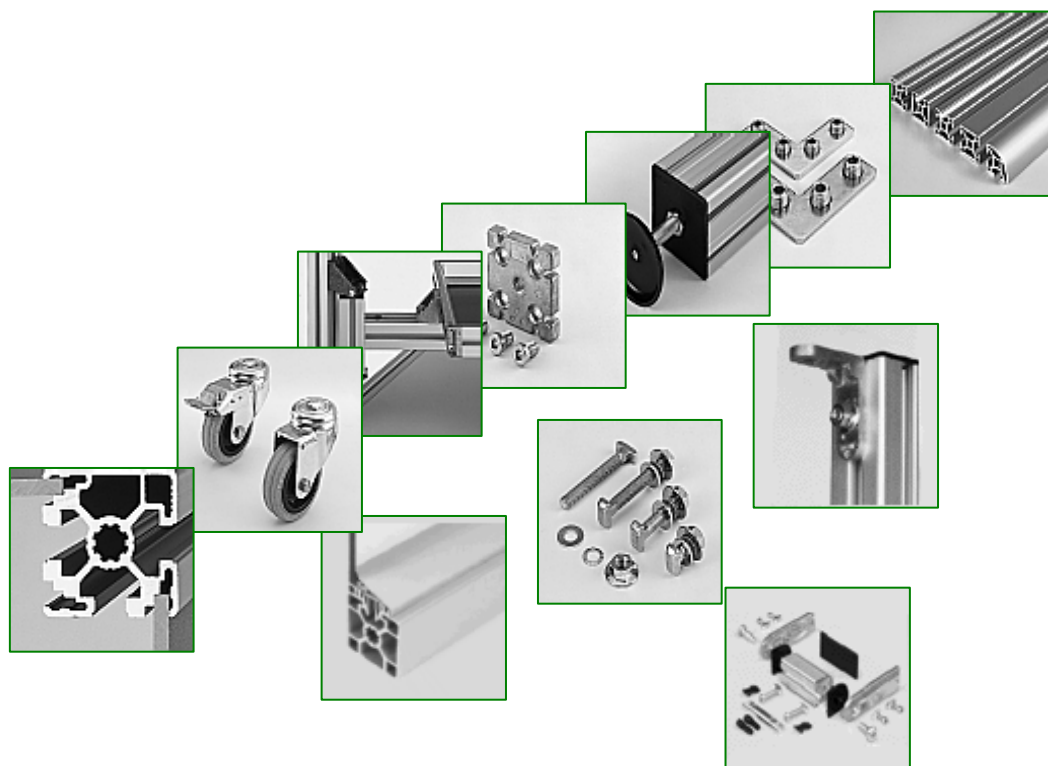
- vo vytváraní účelovo-orientovaných montážnych pracovísk s optimálnymi technicko-ekonomickými parametrami vzhľadom na konkrétne podmienky aplikácie,
- v získavaní nových konfigurácií montážnych pracovísk a systémov integráciou vhodných jednotiek a modulov,
- v jednoduchšom a pružnejšom prechode na nové 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.

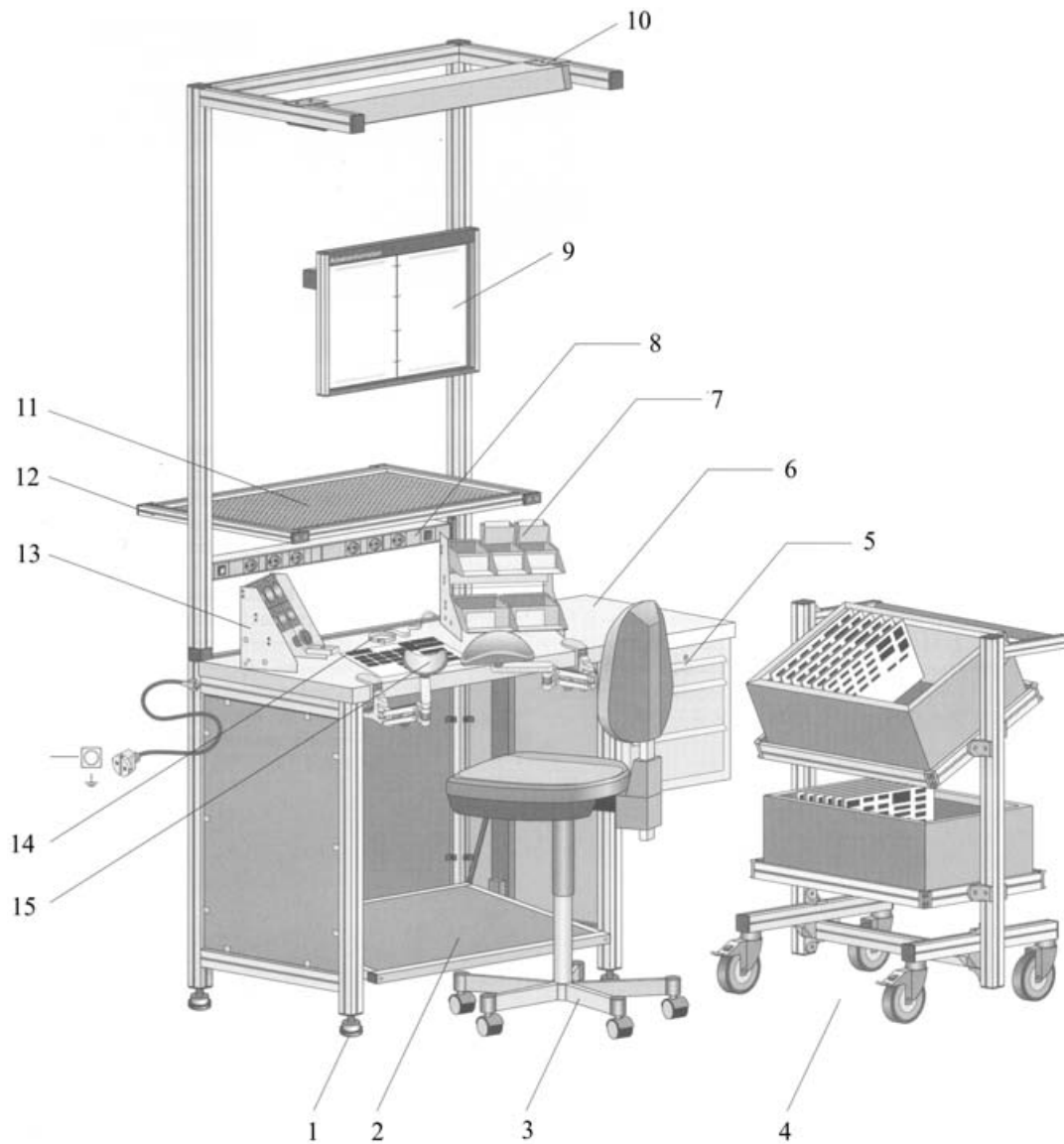
Pri projektovaní funkčných modulov montážnych pracovísk a systémov sa uplatňujú nasledujúce princípy:

- jednotnosť technických a konštrukčných princíпов a charakteristík funkčných modulov určených na realizáciu rovnakého druhu manipulačnej a montážnej operácie,
- realizácia funkčných modulov v rade typorozmerov,
- 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 unifikácia prvkov funkčného modulu.

Na obr. 6.20 je uvedený príklad vybraných prvkov pre modulovú stavbu ručných montážnych pracovísk firmy Boschrexroth, ktoré sa využívajú nielen v stavbe prvkov ručnej montáže, ale sú základom všetkých modulových technických prvkov (dopravníkov, zásten, regálov a pod.). Na obr. 6.21 je uvedený príklad montážnej pracovnej stanice s jednotlivými typmi prvkov.



**Obr. 6.20** Príklad modulovej skladby profilového systému pre stavbu montážnych pracovísk firmy Boschrexroth [10]



*Legenda:*

*1. stabilizačné nožičky*

*2. opierky nôh*

*3. montážne stoličky*

*4. prepravný zásobník*

*5. zásuvková skrinka*

*6. montážne stoly*

*7. zásobník materiálu*

*8. energetické prípojky*

*9. informačná tabuľa*

*10. osvetlenie*

*11. nadstavec*

*12. rám nadstavca*

*13. zásobník náradia*

*14. bezpečnostný náramok*

*15. opierky rúk*

**Obr. 6.21** Pracovná stanica [10]



Tab. 6.3 Prehľad vybraných výrobcov prvkov a zariadení pre ručnú montáž.

Firma	www.stránka*
Boschrexroth AG	<a href="http://www.boschrexroth.de">www.boschrexroth.de</a>
Bott GmbH & Co. KGt	<a href="http://www.bott.de">www.bott.de</a>
All Metal Designs, Inc.	<a href="http://www.allmetal.com">www.allmetal.com</a>
Polstore Storage Systems Limited	<a href="http://www.polstore.co.uk">www.polstore.co.uk</a>
Elabo GmbH	<a href="http://www.elabo.de">www.elabo.de</a>
Lanco AG	<a href="http://www.lanco.ch">www.lanco.ch</a>
item Industrietechnik GmbH	<a href="http://www.item-international.com">www.item-international.com</a>
LP-Montagetechnik GmbH	<a href="http://www.lp-montagetechnik.de">www.lp-montagetechnik.de</a>
FMS Montagetechnik GmbH	<a href="http://www.fms-montagetechnik.de">www.fms-montagetechnik.de</a>
MAV Prüfftechnik GmbH	<a href="http://www.mav-germany.de">www.mav-germany.de</a>

\* Pozn.: aktuálnosť uvedených www. stránok v tabuľke ku dňu 1.6.2010

## 6.14 DOPRAVNÉ SYSTÉMY A VOZIDLÁ

Riešenie dopravných úloh, t.j. transportu montovaných súčiastok a dielcov je integrálnou súčasťou projektu montážneho procesu. V oblasti integrácie materiálového toku sa v montáži najčastejšie využívajú pružné dopravné systémy modulovej koncepcie, a to reťazové, valčekové alebo s nosičom pohybujúcim sa na plynulo sa pohybujúcom páse. Návrh dopravného systému pre proces montáže má svoje špecifiká vyplývajúce z charakteru montážnej úlohy.

Charakter montážneho procesu zásadným spôsobom ovplyvňuje spôsob dopravy súčiastok a dielcov. Pri návrhu dopravníka, resp. dopravného systému je, samozrejme, potrebné sa riadiť známymi platnými princípmi. Cieľom je vždy dopraviť správne množstvo súčiastok alebo dielcov na správne miesto v správnom čase a kvalite s primeranými nákladmi a so správnou informáciou.

V prípade montáže potrebujeme riešiť aj otázky ako napríklad či sa na dopravnom systéme bude realizovať montáž alebo nie, či prepojenie medzi pracoviskami má byť pružné, voľné alebo pevné, či máme v systéme paralelne pracujúce pracoviská a podobne.

Trh ponúka široké spektrum dopravných systémov a dopravníkov. Tieto sa používajú prakticky vo všetkých výrobných a v mnohých nevýrobných oblastiach hospodárstva. Samozrejme, je možné navrhnúť a vyrobiť dopravník individuálne pre konkrétnu dopravnú úlohu. V montážnych procesoch sa najčastejšie používajú modulové pružné dopravné systémy, z ktorých značná časť používa obiehajúce palety, na ktoré je možné umiestniť prípravok s montovaným výrobkom, prípadne realizovať na tejto palete samotnú montáž. Súčasťou je systém senzorov, ktoré snímajú proces a umožňujú pružne reagovať na zmeny, prípadne poruchy celého procesu. Samozrejma je aj identifikácia obsahu každej obiehajúcej palety, čo má zmysel v prípade, že sa dopravný systém vetví, resp. ak sa montujú varianty výrobku, resp. skupina výrobkov.

Vo väčšine prípadov majú tieto dopravné systémy modulovú konštrukciu a sú k dispozícii v rozmerových variantoch. Napríklad firma Altratec [1] ponúka modulový dopravný systém s nasledujúcou špecifikáciou: rýchlosť transportu od 1 – do 20 m/min, základné rozmery palety 170 x 170 mm až 600 x 600 mm a hmotnosť výrobku do 50 kg. V uvedenom rozmedzí je

možné navrhnuť individuálne riešenie dopravného systému, ktorý je prispôsobený montážnej úlohe a je poskladaný z existujúcich kompatibilných modulov.

Keďže komerčný dopravný systém nie je obvykle prioritne určený pre jednu technológiu alebo produkt, oblasti aplikácie môžu byť rozmanité. V tabuľke 6.4 sú uvedené príklady rozličných aplikácií dopravných systémov od potravinárskeho priemyslu až po automobilový priemysel.

Tab. 6.4 Príklady aplikácie dopravných systémov.



Riešenia pre automobilový priemysel firmy DMW



Riešenia pre automobilový priemysel firmy DMW



Dopravný systém Vario-flow firmy Bosch



Dopravný systém firmy Flexlink



Aplikácia dopravného systému firmy Stein-automation



Aplikácia dopravného systému firmy Bosch

Dopravné systémy vyrába a ponúka celý rad firiem. Ponúkané dopravné systémy sú obvykle súčasťou širšieho sortimentu produktov výrobcu a ich základné určenie a aplikácia

súvisia so špecializáciou firmy. V tabuľke 6.5 je uvedený zoznam vybraných svetových výrobcov dopravných systémov a dopravníkov.

Tab. 6.5 Prehľad vybraných výrobcov dopravných zariadení pre montážne linky.

Výrobca	www.stránka*
Prime Conveyor, Inc.	<a href="http://www.primeconveyor.com">www.primeconveyor.com</a>
Bosch Rexroth AG	<a href="http://www.boschrexroth.com">www.boschrexroth.com</a>
BLEICHERT Förderanlagen	<a href="http://www.bleichert.de">www.bleichert.de</a>
Hytrol Conveyor Company, Inc.	<a href="http://www.hytrol.com">www.hytrol.com</a>
ALTRATEC Montagesysteme	<a href="http://www.altratec.net">www.altratec.net</a>
MayTec AluminiumSystemtechnik	<a href="http://www.maytec.org">www.maytec.org</a>
STEIN Automation GmbH & Co. KG	<a href="http://www.stein-automation.de">www.stein-automation.de</a>
CONVEC s.r.o.	<a href="http://www.convec.sk">www.convec.sk</a>
MARCEAU SAS	<a href="http://www.marceau.fr">www.marceau.fr</a>
Interroll Holding AG	<a href="http://www.interroll.com">www.interroll.com</a>
FlexLink AB	<a href="http://www.flexlink.com">www.flexlink.com</a>
DEARBORN MID-WEST CONVEYOR CO.	<a href="http://www.dmwcc.com">www.dmwcc.com</a>
TRANSNORM SYSTEM GmbH	<a href="http://www.transnorm.de">www.transnorm.de</a>
WEISS GmbH	<a href="http://www.weiss-international.com">www.weiss-international.com</a>
ZTS VVÚ KOŠICE a.s.	<a href="http://www.ztsvvuke.sk">www.ztsvvuke.sk</a>
Besto, s.r.o.	<a href="http://www.besto.sk">www.besto.sk</a>
MANEX spol. s r.o.	<a href="http://www.manex.sk">www.manex.sk</a>
EISENMANN AG	<a href="http://www.eisenmann.de">www.eisenmann.de</a>

\* Pozn.: aktuálnosť uvedených www. stránok v tabuľke ku dňu 1.6.2010

Automaticky navádzané vozidlá (Automated Guided Vehicles- AGV) sú ďalším z možných riešení materiálového toku aj v oblasti montáže predovšetkým pri takých výrobkoch, ako sú motory, časti vozidiel – karosérie a pod.

Tab. 6.6 Vybraní výrobcovia AGV vozidiel.

Výrobca	www.stránka*
Swisslog Headquarters	<a href="http://www.swisslog.com/">http://www.swisslog.com/</a>
FMC Technologies	<a href="http://www.fmcsags.com/index2.htm">http://www.fmcsags.com/index2.htm</a>
Egemin Automation Inc.	<a href="http://www.egeminusa.com/pages/agvs/agvs_tlv.html">http://www.egeminusa.com/pages/agvs/agvs_tlv.html</a>
E&K AUTOMATION GMBH	<a href="http://www.ek-automation.com/de/">http://www.ek-automation.com/de/</a>
HK Systems, Inc.	<a href="http://www.hksystems.com/">http://www.hksystems.com/</a>
Solving	<a href="http://www.solving.com/">http://www.solving.com/</a>
Köttgen	<a href="http://www.koettgen.de/">http://www.koettgen.de/</a>
Automatisierungs- und Fördertechnik GmbH & Co.KG	<a href="http://www.aft-group.de/">http://www.aft-group.de/</a>
Nuyts GmbH	<a href="http://www.nuyts.de/index.html">http://www.nuyts.de/index.html</a>

\* Pozn.: aktuálnosť uvedených www. stránok v tabuľke ku dňu 1.6.2010

Tab. 6.7 Príklady typov automaticky navádzaných vozidiel a ich aplikácie.



Aplikácia laserom navádzaného automatického **ŕahača** firmy FMC Technologies vo firme Ford podľa <http://www.fmcsvgs.com>



Transportný systém "Caddie Cart" –ŕahač s paletami a nádobami pre zásobovanie pracovísk drobnými súčiastkami podľa [www.tms-automotion.com](http://www.tms-automotion.com)



Vozidlo firmy TMS Automotion GmbH, LinzRakúsko so **špeciálnym zverákovým chápadlom** [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:FTF\\_mit\\_Klammergereifer.JPG&filetimestamp=20060714172546](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:FTF_mit_Klammergereifer.JPG&filetimestamp=20060714172546)



Aplikácia AVG transportného systému pri finalizácii automobilov podľa [www.tms-automotion.com](http://www.tms-automotion.com)



AVG vozidlo pre transport kabíny vodiča podľa [www.tms-automotion.com](http://www.tms-automotion.com)



AVG systém na pracovisku „svadby“ pre športové vozidlá podľa [www.tms-automotion.com](http://www.tms-automotion.com)



AVG pri montáži motorov podľa [www.tms-automotion.com](http://www.tms-automotion.com)



Zásobovanie montážnej linky pomocou AVG vozidiel podľa [www.tms-automotion.com](http://www.tms-automotion.com)

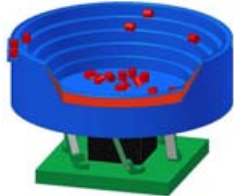

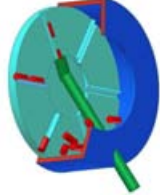
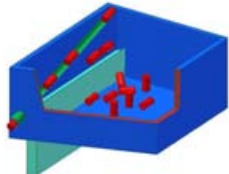
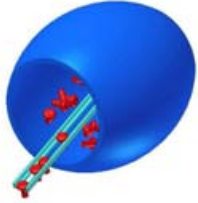
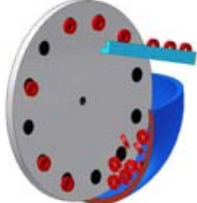
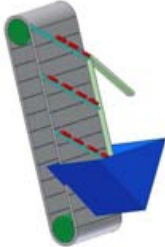

Samotná problematika výberu a návrhu systému dopravy je pomerne rozsiahla a v rámci nej je potrebné riešiť problémy, ako je napríklad spôsob navigácie, použitá technológia, spôsob riadenia, voľba trasy, frekvencia a pod.

V tabuľke 6.6 sú uvedení vybraní výrobcovia a v tabuľke 6.7 príklady aplikácie AGV vozidiel.

## 6.15 ZARIADENIA NA AUTOMATICKÚ ORIENTÁCIU

Na vytvorenie zásoby súčiastok, ich orientáciu a dopravu na miesto montáže je možné použiť rozličné typy zariadení. Väčšina z nich je určená na automatizáciu v hromadnej výrobe. Ich konštrukčné parametre sú úzko spojené s rozmermi a tvarom súčiastky. Na aplikáciu je obvykle potrebné navrhnuť a vyrobiť zásobník, ktorý je v podstate jednúčelovým zariadením.

Niektoré firmy ponúkajú takého typy zásobníkov, sú však obvykle vyrábané kusovo a pre konkrétneho zákazníka. Na obr. 6.22 sú uvedené príklady typov zásobníkov. Jednou z výnimiek je tzv. miskový vibračný zásobník. Tento typ zásobníka v rozličných variantoch je prakticky v ponuke každej firmy, ktorá sa zaoberá zariadeniami na automatickú orientáciu súčiastok.

<b>miskový vibračný zásobník</b>	<b>zásobník s pevným hákom</b>	<b>zásobník s rotačným kotúčom</b>	<b>zásobník s bočnou lopatkou</b>
			
<b>bubnový zásobník</b>	<b>diskový magnetický zásobník</b>	<b>výťahový zásobník</b>	<b>zásobník s pohyblivou rúrkou</b>
			

*Obr. 6.22 Príklady zariadení pre zásobovanie, automatickú orientáciu a prívod súčiastok v montáži*

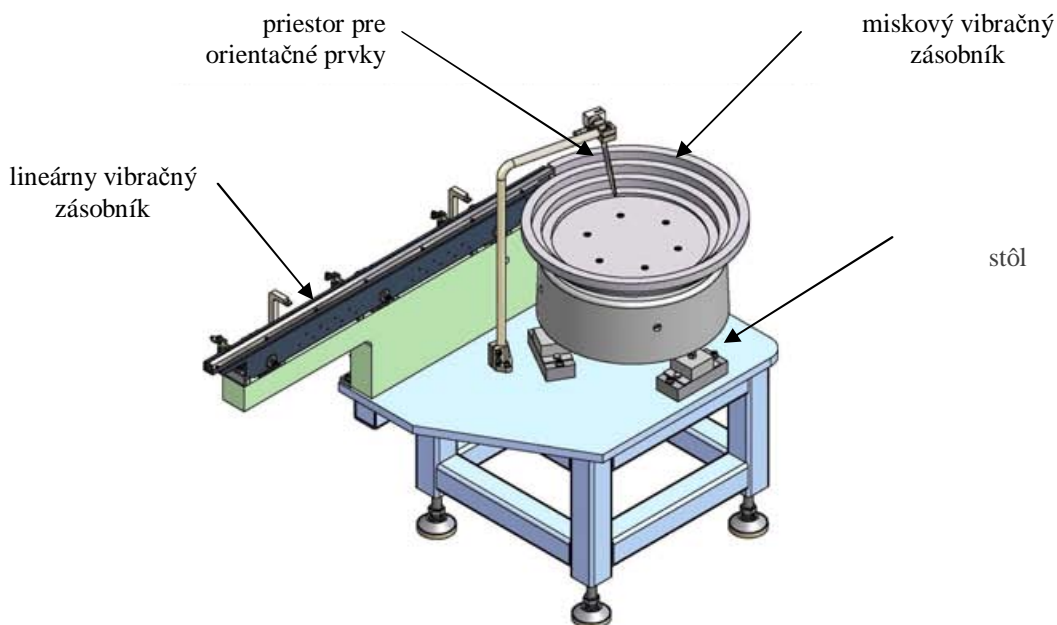
### Miskový vibračný zásobník

Ide o najznámejší a najčastejšie používaný typ zásobníka (obr. 6.23). Jeho výhodou je to, že základ zásobníka, t.j. stojan, riadenie a mechanizmus pohonu sú v rámci istých parametrov rovnaké pre všetky súčiastky. Prvky na orientáciu súčiastky, ktoré sú individuálne a jednúčelové, sa upevňujú na tento zásobník, resp. jeho vnútornú dráhu, prípadne sa táto dráha upravuje. Zásobník je možné zakúpiť bez orientačných prvkov a neskôr tieto doplniť.

Miskové vibračné zásobníky sa vyrábajú v rozličných variantoch. Na obr. 6.24 sú uvedené príklady rozličných úprav zásobníkov. K dispozícii sú zásobníky s výmennou

časou, niektorí výrobcovia ponúkajú pravé a ľavé zásobníky. Ako materiál sa najčastejšie používa ušľachtilá oceľ, ale využívajú sa aj iné materiály, ako je napríklad plastická hmota.

Okrem diskového vibračného zásobníka sa používa aj tzv. lineárny vibračný zásobník, ktorý sa obvykle kombinuje s miskovým vibračným zásobníkom a jeho hlavnou funkciou je doprava súčiastok na miesto montáže. V tabuľke 6.8 sú uvedení vybraní výrobcovia orientačných a prívodných zariadení.



**Obr. 6.23** Príklad riešenia automatickej orientácie súčiastok s vibračnými zásobníkmi

Čaša kaskádového vibračného zásobníka firmy Vibratory Feeders Inc.      Vibračný zásobník s dávkovačom firmy ISB Automation



Tradičný typ vibračného zásobníka firmy Zuführtechnik GmbH & Co. KG      Vibračný zásobník s vonkajšou dráhou firmy Industrial Feeding Systems



**Obr. 6.24** Príklady rozličných typov miskových vibračných zásobníkov

Tab. 6.8 Prehľad vybraných výrobcov orientačných a prívodných zariadení.

Názov	www.stránka*
Vibromatic Co., Inc.	<a href="http://www.vibromatic.net">http://www.vibromatic.net</a>
fimotec fischer KG	<a href="http://www.fimotec.de">www.fimotec.de</a>
dori matic GmbH Suhl	<a href="http://www.dorimatic.de">www.dorimatic.de</a>
TECNO VIBRAZIONI Deutschland GmbH	<a href="http://www.tecnovibrazioni.de">http://www.tecnovibrazioni.de</a>
AViTEQ Vibrationstechnik GmbH	<a href="http://www.aviteq.de">http://www.aviteq.de</a>
Grimm Zuführtechnik GmbH & Co. KG	<a href="http://www.grimm-automatisierung.de">http://www.grimm-automatisierung.de</a>
ISB Automation	<a href="http://www.isb.info">http://www.isb.info</a>
FCI Vibratory Feeders, Inc.	<a href="http://www.vibratory-bowl-feeders.com">http://www.vibratory-bowl-feeders.com</a>
Vibracraft Inc	<a href="http://www.vibracraft.com/">http://www.vibracraft.com/</a>
Vibratory Feeders Inc.	<a href="http://www.vibratoryfeeders.com/">http://www.vibratoryfeeders.com/</a>
Automation Devices, Inc.	<a href="http://www.autodev.com">http://www.autodev.com</a>
Accu-Tech Automation Inc	<a href="http://www.accutechautomation.com">http://www.accutechautomation.com</a>
TITAN INDUSTRIES LIMITED	<a href="http://www.titanautomation.in">http://www.titanautomation.in</a>
Industrial Feeding Systems	<a href="http://www.ifs1.com">http://www.ifs1.com</a>
Jerhen Industries, Inc.	<a href="http://www.jerhen.com">http://www.jerhen.com</a>
DIXON AUTOMATIC TOOL, INC.	<a href="http://www.dixonautomatic.com">http://www.dixonautomatic.com</a>
California Vibratory Feeders Inc	<a href="http://www.calvibes.com">http://www.calvibes.com</a>
Programmable Orienting Systems, Inc.	<a href="http://posifeeders.com/partfamilies.html">http://posifeeders.com/partfamilies.html</a>
GEHO - FÖRDERTECHNIK GmbH & Co. KG	<a href="http://www.geho-suhl.de">www.geho-suhl.de</a>
M Bredemeier	<a href="http://www.bredemeier-zufuehrtechnik.de/start.htm">http://www.bredemeier-zufuehrtechnik.de/start.htm</a>
Vibro Techniques	<a href="http://www.vibroonline.com">http://www.vibroonline.com</a>
intelligent feeding components GmbH	<a href="http://www.ifc-online.com">http://www.ifc-online.com</a>
Mid-State Automation, Inc	<a href="http://www.mid-stateautomation.com">http://www.mid-stateautomation.com</a>
Vibra-Flight Systems, Inc	<a href="http://www.vibraflight.com/index.html">http://www.vibraflight.com/index.html</a>
AGR Automation	<a href="http://www.agr-automation.com/ph1.html">http://www.agr-automation.com/ph1.html</a>

\* Pozn.: aktuálnosť uvedených www. stránok v tabuľke ku dňu 1.6.2010

## 6.16 PRIEMYSELNÉ ROBOTY A MANIPULÁTORY

1. Pojmom "priemyselný robot" sa označujeme komplexný technický systém, subsystemy ktorého sa nachádzajú vo vzájomnej interakcii a charakterizujú celý systém z hľadiska pružnosti a možnosti nasadenia.. Kinematika, pohony, efekторы, riadenie, senzory, programovací systém a počítač na realizáciu riadiaceho programu sú najdôležitejšími subsystemami každého priemyselného robota.

2. Podľa definície priemyselný robot je automatický stroj obsahujúci výkonný mechanizmus - manipulátor s dvoma a viacerými stupňami voľnosti s preprogramovateľným riadiacim systémom, ktorý vykonáva motorickú a riadiacu funkciu vo výrobnom procese.

Nasadenie priemyselných robotov v montážnych procesoch je rozsiahla a pomerne komplikovaná záležitosť.

Najdôležitejšími kritériami aplikácie sú ekonomické kritériá a kritériá kvality výslednej produkcie. Najbežnejšie je možné priemyselné roboty nájsť vo finálnej výrobe sériových automobilov. Na obr. 6.25 je uvedený príklad aplikácie priemyselných robotov Kuka. V tabuľke 6.9 je uvedený prehľad vybraných výrobcov robotickej techniky.



**Obr. 6.25** Aplikácia priemyselných robotov Kuka pri stavbe karosérie automobilu Mercedes triedy A Benz vo firme DaimlerChrysler [47]

*Tab. 6.9* Výrobcovia priemyselných robotov a manipulátorov.

<b>Firma</b>	<b>www.stránka*</b>
ABB	<a href="http://www.abb.com/">http://www.abb.com/</a>
KUKA	<a href="http://www.kuka.com">www.kuka.com</a>
Fanuc Robotics	<a href="http://www.fanurobotics.com">www.fanurobotics.com</a>
Kawasaki Robotics	<a href="http://www.kawasakirobotics.com">www.kawasakirobotics.com</a>
Motoman	<a href="http://www.motoman.de">www.motoman.de</a>
Stäubli	<a href="http://www.staubli.com">www.staubli.com</a>
REIS ROBOTICS	<a href="http://www.reisrobotics.com">www.reisrobotics.com</a>
Intelitek	<a href="http://www.intelitek.com">www.intelitek.com</a>
Nachi Robotic Systems	<a href="http://www.nachirobotics.com">www.nachirobotics.com</a>

**\* Pozn.: aktuálnosť uvedených www. stránok v tabuľke ku dňu 1.6.2010**

Pojmom manipulátor sa obvykle označuje technické zariadenie na manipuláciu, resp. na realizáciu rozličných technologických operácií pozostávajúce z viacerých pohybových osí. Na rozdiel od priemyselného robota je lacnejšie, čo je hlavný dôvod jeho aplikácie ako v automatizovaných, tak aj v hybridných montážnych systémoch. Samozrejme, že rozsah



možných pohybov, spôsob riadenia, dosah a tvar pracovnej zóny je iný. Manipulátory sú často k dispozícii vo forme modulov – základných pohybových osí, z ktorých je možné vytvoriť vlastnú konfiguráciu. Ako príklad je možné uviesť ponuku firmy Festo [31], ktorá k svojim manipulátorm poskytuje aj tzv. maticu systému, t.j. popis jednotlivých modulov a ich kompatibilitu s ostatnými modulmi na rýchlu stavbu vlastnej aplikácie.

Na obrázku 6.26 je uvedený printscreen obrazovky videoaplikácie „Pick and Place“ manipulátora firmy Festo.

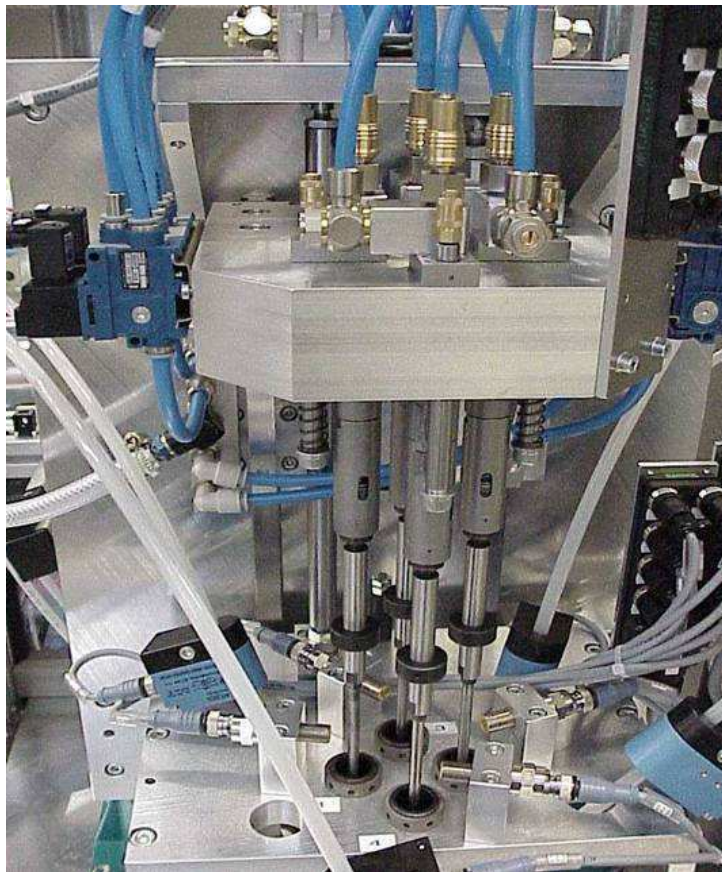


*Obr. 6.26 Printscreen- video ukážka videoaplikácie „Pick and Place“, manipulátora firmy Festo [31]*

## 6.17 TECHNOLOGICKÉ JEDNOTKY, NÁSTROJE A NÁRADIE

V montážnych pracoviskách sa realizuje celý rad rozličných technológií spojovania. Na ich realizáciu sú potrebné nástroje, náradie, prípravky prípadne technologické jednotky. Medzi najčastejšie používané patria skrutkovacie, lisovacie a nitovacie jednotky a zariadenia.

Všetky tieto jednotky sa vyrábajú v stolovom variante a je možné ich použiť ako v ručnej, a hybridnej, tak aj v automatizovanej montáži. Takéto technologické jednotky je možné navrhnúť a vyrobiť ako vlastné riešenie alebo použiť v projekte niektorú z jednotiek z ponuky celého radu výrobcov. Na obr. 6.27 je uvedený príklad aplikácie firmy WEBER, v tabuľke 6.10, 6.11 a 6.12 sú uvedení niektorí výrobcovia.



4-vretenová skrutkovacia jednotka  
na skrutkovanie 4 skrutiek do  
plastového dielca,  
4- jednotky na prívod skrutiek  
pneumatický pohon -  
čas skrutkovania 2 sekundy

Obr. 6.27 Príklad aplikácie skrutkovej jednotky firmy Weber [110]

Tab. 6.10 Prehľad vybraných výrobcov lisovacích jednotiek a zariadení.

Výrobca	www.stránka*
G.P.A. Italiana	<a href="http://www.gpa-automation.com">http://www.gpa-automation.com</a>
Schmidt Technology	<a href="http://www.schmidttechnology.de">http://www.schmidttechnology.de</a>
TOX Pressotechnik	<a href="http://www.tox-de.com/de/home.html">http://www.tox-de.com/de/home.html</a>
Mader Pressen	<a href="http://www.maederpressen.de">http://www.maederpressen.de</a>
GECHTER	<a href="http://www.gechter.com">http://www.gechter.com</a>
AGME	<a href="http://www.agme.net">http://www.agme.net</a>
EMG	<a href="http://www.emgpresses.com">http://www.emgpresses.com</a>
Alfamic	<a href="http://www.alfamic.com">http://www.alfamic.com</a>
DUNKES	<a href="http://www.dunkes.de">http://www.dunkes.de</a>
BRAUER	<a href="http://www.brauer.co.uk">http://www.brauer.co.uk</a>
Pryor	<a href="http://www.pryormarking.com">http://www.pryormarking.com</a>
Multicyl	<a href="http://www.multicyl.com">http://www.multicyl.com</a>
HŠV stroje	<a href="http://www.hsvpolicka.cz">http://www.hsvpolicka.cz</a>
Semet	<a href="http://www.semet.cz">http://www.semet.cz</a>
AIM Joraco	<a href="http://www.joraco.com">http://www.joraco.com</a>

\* Pozn.: aktuálnosť uvedených www. stránok v tabuľke ku dňu 2.6.2010

Tab. 6.11 Prehľad vybraných výrobcov nitovacích jednotiek.

Výrobca	www.stránka*
Grantriveters	<a href="http://grantriveters.com/orbitfeed.html">grantriveters.com/orbitfeed.html</a>
KMT Montagetechnik	<a href="http://www.kmt-montagetechnik.de/deutsch/index.htm">http://www.kmt-montagetechnik.de/deutsch/index.htm</a>
Xpertgate	<a href="http://xpertgate.de/produkte/Niettechnik.html">xpertgate.de/produkte/Niettechnik.html</a>
WUERTH	<a href="http://wuerth.de/de/service/dino/10niettechnik.html">wuerth.de/de/service/dino/10niettechnik.html</a>
DUNKES	<a href="http://www.dunkes.de">http://www.dunkes.de</a>

\* Pozn.: aktuálnosť uvedených www. stránok v tabuľke ku dňu 1.6.2010

Tab. 6.12 Prehľad vybraných výrobcov skrutkovacích jednotiek.

Výrobca	www.stránka*
WEBER Schraubautomaten	<a href="http://www.weber-online.com/">http://www.weber-online.com/</a>
STÖGER Automation	<a href="http://www.stoeger.com/">http://www.stoeger.com/</a>
BÖLLHOFF	<a href="http://www.boellhoff.com/de/de/unternehmen.php">http://www.boellhoff.com/de/de/unternehmen.php</a>
HAFFNER	<a href="http://www.haffner.de/">http://www.haffner.de/</a>

\* Pozn.: aktuálnosť uvedených www. stránok v tabuľke ku dňu 3.6.2010

## 6.18 SNÍMAČE A RIADIACE SYSTÉMY

Integrálnou súčasťou všetkých typov montážnych systémov je vybavenie snímačmi a riadením, a to aj v prípade ručných montážnych pracovísk, vybavených rozličnými typmi snímačov, ktoré monitorujú proces ručnej montáže. Zabezpečujú správnu realizáciu montážneho procesu, kontrolujú predpísané parametre montážnych operácií, umožňujú informovať pracovníka o stave technických zariadení, blokujú vykonávanie operácií v prípade poruchy, pri nesprávne nastavených parametroch resp. pri aplikácii nesprávnych nástrojov, prípravkov a pod. Tieto snímače sú súčasťou komplexného montážneho pracoviska a zabezpečujú predovšetkým kvalitu výslednej montovanej produkcie. Ak sa využívajú aj na riadenie a hodnotenie procesu montáže, potom sa na základe požiadavky vytvorí špeciálny softvér určený len pre tú ktorú konkrétnu aplikáciu. Detaily je možné nájsť napr. v literatúre [66]. V tabuľke 6.13 sú uvedení vybraní výrobcovia snímačov.

Tab. 6.13 Prehľad vybraných výrobcov snímačov.

Výrobca	www.stránka*
Senzor Košice	<a href="http://www.senzor.sk/">http://www.senzor.sk/</a>
IFM Electronic	<a href="http://www.ifm-electronic.com/ifmcz/web/home.htm">http://www.ifm-electronic.com/ifmcz/web/home.htm</a>
Mikro-Epsilon	<a href="http://www.micro-epsilon.com/company/MICRO-EPSILON_Czech_Republic.html">http://www.micro-epsilon.com/company/MICRO-EPSILON_Czech_Republic.html</a>
Balluff	<a href="http://www.balluff.com/StaticPages/sk/Balluff%20Slovakia.html">http://www.balluff.com/StaticPages/sk/Balluff%20Slovakia.html</a>
SenzorTech	<a href="http://senzortech.sk/neo/?stranka=hlavna&amp;menu=0">http://senzortech.sk/neo/?stranka=hlavna&amp;menu=0</a>
FESTO	<a href="http://www.festo.com">http://www.festo.com</a>

Tempex	<a href="http://www.tempex.sk/">http://www.tempex.sk/</a>
Transcom	<a href="http://www.transcom.sk/">http://www.transcom.sk/</a>
Siemens	<a href="http://www.siemens.com/entry/cc/en/">http://www.siemens.com/entry/cc/en/</a>
EximTech	<a href="http://www.eximtech.sk/index.php">http://www.eximtech.sk/index.php</a>

\* Pozn.: aktuálnosť uvedených www. stránok v tabuľke ku dňu 3.6.2010

Komplexné riešenie montáže si vyžaduje aj návrh a realizáciu vhodného spôsobu riadenia. V podstate je možné na riadenie pracoviska použiť riadiaci systém, ktorý sa dodáva k niektorému zo zariadení používaných na pracovisku (priemyselný robot, dopravný systém a pod.). Možno budovať aj vlastný riadiaci systém, ktorý bude „šitý na mieru,, alebo použiť riadiaci systém, ktorý ponúka niektorý z výrobcov, napr. firma Siemens. Na kontrolu a riadenie technologických procesov sa nikdy nepoužívajú osobné počítače.

## Záver

Učebný text „Technológia montáže a CAA systémy“ bol spracovaný s cieľom aktualizovať, doplniť a rozšíriť existujúce skriptá a učebné texty v predmetnej oblasti.

Hlavným cieľom bolo nielen zakomponovať ako existujúce, tak aj nové poznatky, resp. skúsenosti, ale aj realizovať tento text v takej forme, ktorá korešponduje so súčasnými potrebami.

Okrem technológie montáže obsahuje aj rozsiahlu kapitolu týkajúcu sa CAA technológií a ich aplikácie v projektovaní montážnych procesov a systémov, čo dáva študentovi možnosť získať základnú orientáciu v tejto mimoriadne dynamicky sa rozvíjajúcej oblasti.

Rozsiahle odkazy na výrobcov jednotlivých technických zariadení ako aj bohatý zoznam literatúry umožňuje rýchlejšiu orientáciu v čiastkovej problematike, resp. jej podrobnejšie štúdium.

V prílohe uvedený príklad semestrálneho projektu slúži ako námet na riešenie konkrétnej praktickej úlohy.

## Zoznam bibliografických odkazov

### Kapitola 1 až 4

- [1] ADREASEN, M. M., KÄHLER, S. LUND, T. *Design for assembly*. New York: IFS Publications, 1983
- [2] AGUIRRE, E.; LEROY, A.; PETIT, F.; RAUCENT, B. *Conception simultanée d'un produit et de sa ligne d'assemblage*. Formation Continue des Ingénieurs, 1995.
- [3] ALTSCHULLER, G. *40 Principles: TRIZ Keys to Technical Innovation*. Tokio: Japanese translation Nikke BP, 1999
- [4] ANDREANSEN, M. M., AHM, T. *Flexible Assembly Systems*. New York: Springer – Verlag IFS, 1988
- [5] ANDREASEN, M. M., KÄHLER, S., LUND, T. *Montagerechtes Konstruieren*. New York: Springer-Verlag, 1985
- [6] ASFAHL, R. C. *Robots and Manufacturing Automation*. U.S.A. : University of Arkansas, Fayetteville by John Wiley and Sons, 1992. ISBN 0- 471-57255-1
- [7] BALC, N; CAMPBELL, R.I. Design for Assembly verification using rapid prototyping. In *Annals of MTeM for 2001 & Proceedings of the 5<sup>th</sup> International MteM Symposium Published by MTeM 2001*. Cluj-Napoca, Romania: Editor Cs. Gyenge pp. 43-46
- [8] BÄSSLER, R. – SCHUMAU, T. Procedure for assembly – oriented product design. In *Internacional Conference on assembly automation*. London: March 1988
- [9] BEDWORTH, D. – HENDERSON, M. – WOLFE, P. *Computer integrated design a manufacturing*. New York: McGraw – Hill, 1991
- [10] BÉKÉS, J. *Zákony výroby tvaru súčiastok*. Trnava: Vedecké práce, zväzok 7. 1999, pp.12
- [11] BOLEK, A., KOCHMAN, J. *Časti strojů*. Praha: SNTL, 1989.
- [12] BOOTHROYD, G., DEWHURST, P. *Design for assembly handbook*. USA : Department of Mechanical Engineering, University of Mass. 1983
- [13] BOOTHROYD, G., DEWHURST, P. *Software: Design For Assembly Drill VI* [cit. 2009-10-26]. Dostupné na internete <<http://www.teamset.com/tools/dfa/assy.html>>
- [14] BOOTHROYD, G., REDFORD, A.H. *Mechanized Assembly*. London : Mc. Graw – Hill. 1968
- [15] BOOTHROYD, G. *Assembly automation and product design*. New York: Basel, Marcel Dekker, Inc. 1991, s. 2-6. ISBN 0-8247-8547-9
- [16] BOOTHROYD, G. *Assembly Automation and Product Design*. New York: Marcel Dekker Inc. 1992
- [17] BOOTHROYD, G. Design for Assembly – The Key to Design for Manufacture. In *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol. 2, No. 3, 1987
- [18] BOOTHROYD, G. Design for Manual Handling and Assembly. In *Report #4, Dept. Of Mechanical Engineering*. Amherst: Univ. of Massachusetts, Sept. 1979

- [19] BOOTHROYD, G. DEWHURST, P. *Design for manual assembly*. Product design for assembly handbook. Wakefield, Boothroyd Dewhurst Inc., 1991
- [20] BOOTHROYD, G. Economics of Assembly Systems. In *Journal of Manufacturing Systems*. Vol.1, No.1, 1982
- [21] BOOTHROYD, G. Economics of General-Purpose Assembly Robots. *Annals of the CIRP*, Vol.33, No. 1, 1984
- [22] BOOTHROYD, G., ALTING, L. Design for assembly and disassembly. *Annals of the CIRP* Vol. 41/2/1992
- [23] BOOTHROYD, G., DEWHURST, P. *Design for Assembly Software Toolkit*. Wakefield, R. I.: Boothroyd Dewhurst, 1990
- [24] BOOTHROYD, G., DEWHURST, P. *Product Design for Assembly Handbook*. Wakefield, RI: Boothroyd Dewhurst, Inc., 1987
- [25] BOOTHROYD, G., DEWHURST, P. *Product Design for Assembly Handbook*. Wakefield, RI: Boothroyd Dewhurst, Inc., 1990
- [26] BOOTHROYD, G., DEWHURST, P. *Product Design for Assembly*. Wakefield, R. I : Boothroyd Dewhurst Inc. 1989
- [27] BOOTHROYD, G., DEWHURST, P. *Product Design for Assembly*. Wakefield, R. I: Boothroyd Dewhurst Inc., 1986
- [28] BOOTHROYD, G., DEWHURST, P. *Software: Design for Assembly 9.1*. [cit. 2009-06-05]. Dostupné na internete: <<http://www.dfma.com>>
- [29] BOOTHROYD, G., DEWHURST, P. *Software: DFM Concurrent Costing 2.0*. [cit. 2009-06-06]. Dostupné na internete: <<http://www.dfma.com>>
- [30] BOOTHROYD, G., DEWHURST, P., KNIGHT, W. *Product Design for Manufacturing and Assembly*. Marcel Dekker, 1994
- [31] BOOTHROYD, G., POLI, C., MURCH, L.E. *Automatic Assembly*. New York: Marcel Dekker Inc. 1982
- [32] BOOTHROYD, G.; SHINOHARA, T. Component Insertion Times for Electronics Assembly. In *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1. 1986
- [33] BUSCH, S.A., ROBOOTHAM, A.J. Improving conceptual design quality by use of QFD a DFMA process. In *Proceedings of the 12th International Conference engineering design, ICED 99 Munich*, august 24-26, 1999. Volume I. ISBN 3-922979-53-X, pp. 361-364
- [34] BÜTTNER, K., KOHLHASE, N., BIRKHOFFER, H. Kostenprognose mit neuronalen Netzen in frühen Produktdefinitionsphasen. In *41. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium 23-26.09.1996*, Technische Universität Ilmenau, Volume 2 pp. 535-540
- [35] ČSN EN 1325: 1997 *Slovník hodnotového manažmentu, hodnotovej analýzy a funkčnej analýzy, časť 1*
- [36] DAMAYANTI, D. D., MURSALI. Redesign of comand card – Public Phone: „KANADA“ Using Design For Assembly Method. In *Flexible Automation and Intelligent Manufacturing 2000. Proceedings of the Tenth International FAIM Conference*. Vol. II. U.S.A. June 26-28, 2000, pp. 760-765
- [37] DE LIT P et al. A new Philosophy for the Design of a product and its Assembly Line.

- In *Proc. of 1999 IEEE Int. Symposium on Assembly and Task Plannig (ISATP99)*, pp. 381-386.
- [38] DELIT, P., REKIEK, B., PELLICHERO, F. Computer-aided product and assembly line design. In *Proceedings of the 12th International Conference engineering design, ICED 99 Munich*, august 24-26, 1999. Volume I. ISBN 3-922979-53-X, pp. 101-106
- [39] DESMOND, E. W. Running Empty?. In *Time Newsmagazine*, Vol. 141, No. 1, 1993, pp. 38-40
- [40] DIPLARIS, S. C., SFANTSIKOPOULOS, M. M. A Framework for Cost-Effective design. In *Flexible Automation and Intelligent Manufacturing 2000. Proceedings of the Tenth International FAIM Conference*. Vol. II. U.S.A. June 26-28, 2000, pp. 777-785
- [41] DOMB,E., SLOCOM,M. *The TRIZ Journal*. [cit. 2003-04-03], Dostupné na internete < : <http://www.triz-journal.com>. >
- [42] DUNG, P. Enlarging TRIZ and Teaching Enlarged TRIZ for the Large Public. In *International Conference „TRIZCON 2001“* [online], California, USA, March 25–27. [cit.2003-04-06], Dostupné na internete: < <http://www.hcmuns.edu.vn/CSTC/homev.html>. >
- [43] DVORAK, W. A., Boothroyd, G. Design for Assembly Handbook. In *Report #11, Dept. of Mechanical Engineering*, Univ. of Massachusetts, Amherst, Dec. 1980
- [44] EHRENSPIEL, K. *Kostengünstig Konstruieren*. Springer-Verlag, 1985
- [45] EHRENSPIEL, K. *Integrierte Produktentwicklung*. Carl Hansen-Verlag, 1995
- [46] *EN 45020: Všeobecné pojmy a definície týkajúce sa štandardizácie a súvisiacich aktivít (ISO/IEC GUID z:1991)*
- [47] ENGSTRÖM, T. *Material flow systems and mass production*. PhD. Dissertation. Ghalmers University of Technology. Göteborg 1983. Sweden
- [48] ENGSTRÖM,T. Design for Assembly. In *Proc. of the 1998 IEEE Int. Symposium on Assembly and Task Planning (ISATP98)*, pp. 287-302
- [49] Expert systems to the aid of assembly. *Assembly Automation (GB)* May 1990
- [50] FLOREKOVÁ, Ľ. a kol. *Metódy a prostriedky pre zabezpečovanie kvality : Quality assurance*. Košice: TU, 1999, str. 57-60. ISBN 80-7099-441-X
- [51] FREHR, H. U. *Total Quality Management*. Brno: UNIS Publishing 1995, str. 258.
- [52] GÖLDNER, K. *Kybernetika – věda budoucnosti“*, Praha: SNTL, 1982
- [53] HARDCOVER. *Topics in Automobile Life Cycle, Design and Manufacture for the Enviroment*. Society of Automotive Engineers. October 2000.
- [54] HAVRILA, M. *Automatizovaná montáž*. Košice: 1997, TU. S. 25-43, ISBN 80-7099-292-1
- [55] HERRERA, A. Design for Manufacturing and Assembly: Aplication on the Design of AH64D Helicopter. In *Presented at 12<sup>th</sup> International Forum on DFMA*, Newport, RI, June 1997
- [56] HÖHNE, G., LEIBL, P. Computer aided cost forecast with feature technology. In *Proceedings of the 12th International Conference engineering design, ICED 99 Munich*, august 24-26, 1999. Volume I. pp. 485-488



- [57] HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. *Průručka strojního inženýra*. Brno: Computer press, 1999.
- [58] HOUTEN, F. *PART – a computer aided process planing system*. Proefschrift Enschede, Haag, 1991
- [59] IPPS Group. *Modularity*. Department of Manufacturing Engineering Loughborough University. England. [cit. 2004-07-27]. Dostupné aj na internete [http://www.lboro.ac.uk/departments/mm/research/product-realisation/re\\_int/ipp/mod2.htm](http://www.lboro.ac.uk/departments/mm/research/product-realisation/re_int/ipp/mod2.htm).
- [60] JANÁČ, A., KURIC, I. Metodológia tvorby technologického postupu pre CAPP systém využívajúci skupinovú technológiu. In *Vedecké práce*. STU MTF Trnava, zväzok 6. STU MTF Trnava 1998, pp. 55–59
- [61] JANČAROVÁ, V., ROSICKÝ, A. *Úvod do systémových věd*. VŠE Praha 1992
- [62] KAEBERNICK, H. *Design for Assembly in Concurrent Product and Process Design*, Unit 8, UNSW, 1996.
- [63] KING, B. *Better Design in Half the Time GOAL/QPC*, Methuen, 1989
- [64] KORSAKOV, V. S. *Fundamentals of Manufacturing Engineering*. MIR Publishers, 1979.
- [65] KOŠTURIÁK, J., GREGOR, M. *Podnik v roce 2001. Revoluce v podnikové kulture*. Praha, Grada 1993.
- [66] KOVÁČ, J., SVOBODA, M., LÍŠKA, O. *Automatizovaná a pružna montáž*. Košice: Viena, 2000.
- [67] KURIC, I. JANÁČ, A. Modelovanie technologického postupu. In: *CA Systems and technologies. Internatiol DAAAM Workshop*. Žilina: 1997, s.11–18
- [68] KURIC, I., KOŠTURIÁK, J., JANÁČ, A. *Počítačom podporované systémy v strojárstve*. ŽU-EDIS. Žilina, 2002, s. 245-251, ISBN 80-7100-948-2
- [69] KURIC, I., VAREŠINSKÝ, Ľ. Východiská pre metodológiu návrhu technologického postupu pre nerotačné súčiastky. In *Počítačom podporované systémy v strojárstve*. WEB časopis. Žilina: ŽU, 32 článok, Dostupné aj na internete <<http://fstroj.utc.sk/journal>
- [70] KURIC, I. Theory of group applications. In: *Proceedings of 6<sup>th</sup> International Conference „Advanced Productional Operations“*, Varna 2001, pp.105–110
- [71] KURIC, I., BERNÁRT, M. Vybrané spôsoby určenia poradia technologických operácií v expertných CAPP systémov. In: *Zborník ATPV Zvolen*, TU Zvolen 1998, s.38–42
- [72] KURIC, I., ČUBOŇOVÁ, N. New Methods in CAPP Methodology Based on Group Technology. In *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Workshop „Intelligent Manufacturing Systems*. Košice 2000, s.43–44
- [73] KURIC, I., VAREŠINSKÝ, Ľ., ČUBOŇOVÁ, N. *Computer aided process planning based on Group Technology*. Učebné texty, 2. vydanie, SjF–KMA, Žilina 1999, s.39
- [74] L'ÉGLISE, T., MARÉE, J. F., RAUCENT, B. A complete methodology for generating an Assembly system. In *Flexible Automation and Intelligent Manufacturing 2000. Proceedings of the Tenth International FAIM Conference*. Vol.

- II. U.S.A. June 26-28, 2000, s. 824
- [75] LOTTER, BRUNO., *Wirtschaftliche Montage*. Ein Handbuch für Elektrogerätebau und Feinwerktechnik. VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1992. ISBN 3-18-401168-2
- [76] LUBRANO, F. DFA/DFM as Growth Strategy, Case Study, Detroit (Troy), Michigan, 1998.
- [77] MALÍK, L., MEDVECKÝ, Š. *Časti a mechanizmy strojov*, Žilina: Žilinská univerzita, 2003.
- [78] MANN, D., DE WULF, S. TRIZ. In *Conference The Altschuller Institute for TRIZ STUDIES*, USA. Apr. 16, 2003
- [79] MARÉE, J.-F.; RAUCENT, B.; SPINEUX, A. Selection of Assembly Modes and Techniques in the CISAL Project. In *Proc of 1999 IEEE Int. Symposium on Assembly and Task Planning (ISATP99)*, pp 393-998.
- [80] MAROPOULOS, P. Review of research in tooling technology, process modeling and process planning. Part I: Tooling and process modelling. In *Computer Integrated Manufacturing Systems*, Elsevier Science Ltd., Vol 8. No 1, pp. 5-12, 1995
- [81] MAROPOULOS, P. Review of research in tooling technology, process modeling and process planning. Part III: Process Planning. In *Computer Integrated Manufacturing Systems*, Elsevier Science Ltd., Vol 8. No 1, pp. 12-20, 1995.
- [82] MARSH, J. *Nástroje kvality A-Z*. Bratislava: AF, 1996, str 27-28.
- [83] MÉZEŠ, Š. a kol. *Metodika technologicnosti konštruovania výrobkov z hľadiska montáže*. VUMA 1970.
- [84] MITROFANOV, S. P. *Vedecké základy skupinovej technológie*. SNTL. Bratislava 1960.
- [85] MOLLOY, O., Tilley, S., Warman, E. A. *Design for Manufacturing and Assembly – Concepts, architectures and implementation*. Kluwer Academic Publishers, 1998. ISBN: 0412781905
- [86] MOLNÁR, P. Metódy a nástroje riadenia kvality a ich aplikačný priestor. In *Ostrava: Medzinárodná konferencia*, 1997.
- [87] MOLNÁR, P. Vybrané metódy manažérstva kvality. In *Kvalita 2002*, roč. X, č. 4, str. 22-27.
- [88] NAKAGAWA, T. *Let's Learn TRIZ! – A Methodology for Creative Problem Solving*. Plant Engineers, Vol.31 (August, 1999), pp.30–39. Japan. [cit. 2008-04-02], Dostupné na internete < : <http://www.osaka-qu.ac.jp/php/nakagawa/TRIZ/eTRIZ/>.>
- [89] NAKAGAWA, T. *New Software That Assists Invention–by Linking Science a Technology Principles and Proposing Composed Technologies*. Nikkei Mechanical, Nov.:1998 (No.530), pp. 26–31. Japan 1998. [cit. 2008-04-04], Dostupné na internete < : <http://www.triz-journal.com>. >
- [90] NAKAGAWA, T. *TRIZ Technical Report*. Software Tools for TRIZ–Machine's TechOptimizer Pro Version 2.5. Osaka Gakuin university. Japan (Febr.25) 1999. [citované 2009-03-08], Dostupné na internete < : <http://web.novalis.org/triz-talk/slide-4.html>. >
- [91] NAKAGAWA, T. USIT Solution Generation Methods. Osaka Gakuin university. Japan. In *ETRIA World Conference: TRIZ Future 2002*, Strasbourg, France, Nov.6–

- 8, 2002.
- [92] NAKAGAWA, T. *What is TRIZ?* Osaka Gakuin University. Japan. Nov. 1, 1998 [cit. 2008-03-07], Dostupné na internete:<<http://www.osaka-qu.ac.jp/php/nakagawa/TRIZ/eTRIZ/eTRIZintro.html>. >
- [93] NAKAGAWA, T. TRIZ: Theory of Inventive Problem Solving–Understanding and Introducing It. In *Bulletin of Cultural and Natural Sciences in Osaka Gakuin University*. No.37, Sept.1998. pp. 1–12. Japan. [cit. 2009-04-03] Dostupné na internete < : <http://www.triz-journal.com>. >
- [94] NENADÁL, J. a kol. *Moderní systémy řízení jakosti*. Quality Management. Praha, Management Press 2002, str. 78-79. ISBN 80-7261-071-6
- [95] *Neue Wege der Product-entwicklung im Armaturenbau*. Von Helmut Schuppar. VDI-Z133 (1999) Nr.1
- [96] PAHL, G., RIEG, F. *Kostenwachstumsgesetze nach Ähnlichkeitsbeziehungen für Baureihen*. VDI-Tagung 457, Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Verlag Duesseldorf, 1982, pages 61-70
- [97] PETERKA, J., DEBNÁR, R. Nový prístup k vytváraniu výrobnjej dispozície. *Vedecké práce*, zväzok 6. STU MTF Trnava 1998, pp.55–59
- [98] PETIT, F., AGUIRRE, E., RAUCENT, B., LEROY, A. *Interactive Design of a Product and its assembly line“*, *Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineerig*. Kluwer Academic Publishers, eds P. Chedmail, J.-C. Bocquet and D. Dornfeld, 1998, pp 525-534.
- [99] PETIT, F., LEROY, A., RAUCENT, B., AGUIRRE, E. Interactive Design of a Product and its assembly line. In *Proc. of the 6<sup>th</sup> Int. FAIM Conf., Middelsbrough*, May 1996, pp 499-508.
- [100] PETRÁČKOVÁ, V. KRAUS, J. *Akademický slovník cudzích slov*. Bratislava. SPN, 1997. 139 s. ISBN 80-08-02673-1
- [101] PETRÁČKOVÁ, V., KRAUS, J. *Technický slovník cudzích slov*. Bratislava: SPN, 1997, str. 891.
- [102] PLURA, J. Metóda QFD a její využití při plánování jakosti. In *Jakost 2001*, Ostrava: Dům techniky, str. F50-F54.
- [103] PLURA, J. *Plánování a neustálé zlepšování jakosti*. Praha: Computer Press, 2001, str. 53. ISBN 80-7226-543-1
- [104] *Příruční slovník naučný IV. díl*. Praha 1967, ČSAV, s. 468.
- [105] RE VELLE, J. B., MORAN, J.W.; COX, C.A. *The QFD Handbook*. John Wiley and Sons, Inc. New York, 2000, str. 410.
- [106] REDFORD, A. H., K. G. SWIFT, HOWIE, R. Product Design for Automatic Assembly. In *Proceedings, 2nd International Conference on Assembly Automation, Brighton, U.K. May 18-21, 1981*, pp. 129-142
- [107] REDFORD, A.H. – LO, E.K. – KILLEN, P. Design for robotic assembly. In *International Conference on assembly automation*. Stuttgart. May 1982
- [108] SFANTSIKOPOULOS, M. M. A cost-tolerance analytical approach for design and manufacturing. In *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 5, pp.126-134, 1990
- [109] SFANTSIKOPOULOS, M. M. Manufacturing Cost Indices in Concurrent

- Engineering. *Proceedings of the Pacific Conference on Manufacturing 96*, October 29-31, 1996, Seoul, Korea
- [110] SCHNEIDER, H., HÖHNE, G., EBERHARDT, S., FRITZ, T., LOTTER, E, Kostenprognose in der Angebotsphase bzw. Im Entwurfsstadium neuer Erzeugnisse. In *41. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium 23—26.09.1996*, Technische Universität Ilmenau, Technische Universität Ilmenau, location Ilmenau, 1996, volume 2 pages 541-547
- [111] SCHWARTZ, W. H. *An Assembly Hall of Fame*. Assembly Engineering, Jan. 1988, p. 30.
- [112] SKARBINSKI, M., SKARBINSKI, J. *Technologickosť konštrukcie strojov*. Bratislava: Alfa, 1982.
- [113] SLANINA, F. A kol. *Montáž v strojárskych a elektrotechnických výrobách*. Bratislava: Alfa. 1990, pp. 17, ISBN 80-05-00609-9
- [114] SLANINA, S. a kol. *Montáž v strojárskych a elektrotechnických výrobkoch: ALFA*, 1990.
- [115] *Smernice VDI Richtlinien 3236*
- [116] *Smernice VDI Richtlinien 3237*
- [117] SOKOLOVSKIJ, A. P. *Naučnyje osnovy technologie mašinstroje*. Moskva, 1955.
- [118] *STN ISO 9004-4: Manažérstvo kvality a prvky systému kvality, časť 4*.
- [119] SWANSON, R.R. Determination of standard sizes to be manufactured using dynamic programming – An extension. In *AIIE Transactions*, 2, 3. 1970. pp. 191-202.
- [120] ŠREJTR, J. Příspěvek k statickému a kinematickému vyšetřování tělesa v prostoru. In *Strojnícky zborník*, sv. 8. SNTL, Praha 1954.
- [121] TAKAHASCHI, K., SENBA, K. Design for automatic assembly. In *Internacional Conference on Assembly automation*. Zürich 1986.
- [122] TECHNICKÝ NÁUČNÝ SLOVNÍK, Ř-T. SNTL. Praha 1982. pp. 347
- [123] TSIEN, H. S. *Technická kybernetika*. Praha SNTL 1960.
- [124] TURNER, D. *40 principles of inventive problem solving*. Dec. 17, 2001 [citované 2009-03-08], Dostupné na internete < : <http://web.novalis.org/triz-talk/slide-4.html>. >
- [125] URLICHS, R., SCHREINER, T., CHEN, R.P. Design for machining , quality, cost and the enviroment. In *Proceedings of the 12th International Conference engineering design, ICED 99 Munich*, august 24-26, 1999. Volume 3. pp. 1447-1452
- [126] VÁCLAVEK, J. *Quality Function Deployment*. Praha: ČSJ, 1993, str. 59.
- [127] VÁCLAV, Š. *Objektívna metóda pre montáž. Objective Method for Assembly – OMA*. STU v Bratislave MTF, Trnava 2005. – 164s.
- [128] VALENTOVIČ, E. *Technológia montáže*. Skriptá. STU Bratislava. 1999.
- [129] VALENTOVIČ, E. *Základy montáže*. Skriptá. STU Bratislava 2001, str. 13-14.
- [130] VALENTOVIČ, E. *Technológia montáže*. Bratislava: STU, 1999.
- [131] VALENTOVIČ, E. Stereostatika konštrukcie výrobku a montážny proces. In *Vedecké práce zväzok 4*. STU MTF Trnava 1996, pp. 75–82

- [132] VANČÍKOVÁ, Z. *Nástroje zabezpečovania kvality*. Banská Bystrica UMB 2001. ISBN 80-8055-543-5
- [133] VANČÍKOVÁ, Z. *Výber nástrojov a metód zabezpečovania kvality*. Banská Bystrica UMB 2001, str. 35.
- [134] VASILKO, K., HRUBÝ, J., LIPTÁK, J. *Technológia obrábania a montáže*. Bratislava: ALFA,1991.
- [135] VAST, TH.; RAUCENT, B.; PETIT, F. A case study of interactive design of a product and its assembly line. In *Proc. of the 7<sup>th</sup> Int. FAIM Conf., Middlesbrough, June 1997*, pp 776-786.
- [136] VEBER, J. a kol. *Řízení jakosti a ochrana spotřebitele*. Praha: Grada Publishing, s.r.o., 2002, str. 130-131. ISBN 80-247-0194-4
- [137] VELIŠEK, K., PECHÁČEK, F.: *Montážne troje a zariadenia*. Bratislava: STU, 2003
- [138] VLACH, B.: *Technologie obrábění a montáží*. Praha: SNTL, 1990.
- [139] VLČEK, R. *Hodnotová analýza jako nástroj požadované jakosti*. Praha, ČSJ 1992, str. 33.
- [140] VLČEK, R. *Hodnotový management*. Praha, Management Press 1992, str. 102.
- [141] WARNECKE, H. J., LÖHR, H. G., KEINER, W. *Montagetechnik – Schwerpunkt der Rationalisierung*. Otto Krauskopf. Verlag GmbH. Mainz 1975
- [142] WATANUKI, K., MURATA, T. Evaluation method for assembly/disassembly by petri nets. In *Proceedings of the 12th International Conference engineering design, ICED 99 Munich*, august 24-26, 1999. Volume I. pp. 519-522, ISBN 3-922979-53-X
- [143] WIENER, N. *Kybernetika nebo řízení a sdělování v živých organismech a strojích*. Praha, SNTL 1960.

**Kapitola 5 a 6:**

- [1] ALTRATEC Montagesysteme GmbH, dostupné na internete: <[www.altratec.net](http://www.altratec.net)>
- [2] ANDREASEN, M.M., KAHLER, S., LUND, T. Montagegerechte Konstruieren. Berlin, Springer Verlag, 1985. 191 s. ISBN 3-540-15434-5
- [3] ARCHER, L., B. The structure of design process, Royal Colledge of Art, Londýn 1968.
- [4] ARVIKA, dostupné na internete: <<http://www.arvika.de/www/index.htm>>
- [5] ASIMOW, M. Introduction to design, Pretience-Hall, New York, 1962
- [6] Autodesk, Inc., dostupné na internete: <[www.autodesk.com](http://www.autodesk.com)>
- [7] AV ENGINEERING, a.s, dostupné na internete: <<http://www.aveng.cz/>>
- [8] BÄBLER R., SCHMAUS, T. In *Team konstruieren*. In.: Industrie Anzeiger, ro4.87, 1987, s.8-10.
- [9] BICK, W. *Systematische Planung hybrider Montagesysteme unter besondere, Berücksichtigung der Ermittlung des optimalen Automatisierungsgrades*, dizertačná práca, Springer, 1991
- [10] Bosch Rexroth AG, dostupné na internete: <[www.boschrexroth.com](http://www.boschrexroth.com)>
- [11] BOOKER, P.J. *Written contribution appended to Conference on the Teaching of Engineering Design*, Booker P.J., Londýn, 1966
- [12] Boothroyd Dewhurst, Inc., dostupné na internete: <<http://www.dfma.com/>>
- [13] BULLINGER, H.J. *Systematische Monatgeplannung*, Hanser, Mníchov, 1986
- [14] CSICSERI, J. *Databáza priemyselných robotov pre podporu projektovania montáže*. [Diplomová práca], KTaM, Sjf TU v Košiciach, Košice, 2007
- [15] CVETKOVIĆ, S., BARAC, N. *Fleksibilitnost kao strategijska orjentacija u proiznodnji i logistici*, XXIX naučno stručni skup sa međunarodnim učešćem HIPNEF 2004. 19-21.V 2004 Vrnjačka Banja (511-516) ISBN 86-80587-31-1
- [16] CVETKOVIĆ, S., BARAC, N., MILOVANOVIĆ, G. *Implementation of operations strategy*, RaDMI 2004, Zlatibor 31.08-3.09 2004.(D-2) 2003.ISBN 86-83803-04-X
- [17] CVETKOVIĆ, S. *Modeliranje i upravljanje logističkim sistemom* "VIII međunarodna naučno-stručna konferencija MMA 2003, Novi Sad 2003- ISBN 86-85211-96-4
- [18] ČERNÝ, M. *Návrh montáže turbodúchadla*. Bakalárska práca MTF Trnava, 2010
- [19] ČISÁR, J. *Typové projekty ručných montážnych liniek*. [Diplomová práca], KTaM, Sjf TU v Košiciach, Košice, 2010
- [20] Dassault Systèmes HQ., dostupné na internete: <<http://www.3ds.com/>>
- [21] *Delcam – firemná stránka pre Českú republiku*, [online], [cit. 2010-5-6], Dostupné na internete: <http://www.delcam.cz>
- [22] *Delcam – firemná stránka*, [online], [cit. 2010-5-6], Dostupné na internete: <http://www.delcam.com>
- [23] DesignTech, dostupné na internete: <<http://www.designtech.cz/c/plm/plm/digitalni-tovarna-4-dil.htm>>
- [24] Deutsche MTM-Vereinigung e.V., dostupné na internete: <<https://www.dmtm.com/index/index.php>>
- [25] DEUTSCHLÄNDER, A. *Integrierte rechnerunterstützte Montageplannung*, dizertačná práca, Hanser, Mníchov, 1989.

- [26] EMODI, A. *Projekt montáže zubového čerpadla*. [Bakalárska práca], KTaM, Sjf TU v Košiciach, Košice, 2010
- [27] FABIAN, M., SPIŠÁK, E. *Navrhování a výroba s pomocí CA.. technologií*, 1. vyd., CCB Brno 2009,. ISBN 978-80-85825-65-7.
- [28] FABIAN, M. *CAD – úvod do povrchového modelovania - CATIA V5: povrchové modelovanie, CAM, CNC – frézovanie*, [CD-ROM], Sjf TU Košice,2009 - ISBN 9788055302904
- [29] FABIAN, M. *CAD - 3D modelovanie v CATIA V5: (objemy, povrchy, výkresy, aplikácie v praxi )*, 1. vyd., Sjf TU, Košice, 2008, 197 s., ISBN 978-80-553-0095-5.
- [30] FEDORKO, G., MADÁČ, K., MOLNÁR V. *Základy aplikácie Pro/Engineer v technickej konštrukcii*, 2. vyd. TU Košice, 2005. - 87 s. - ISBN 80-8073-288-4.
- [31] Festo AG & Co. KG, dostupné na internete: <<http://www.festo.com/net/startpage/>>
- [32] FIELDEN, G.B.R. *The Fielden report, Engineering Design, H.M. Stat office*, Londým 1963 'Engineering design' Report of a Committee appointed by the Council for Scientific and Industrial Research to consider the Present Standing of Mechanical Engineering Design, 1963 (as Chairman)
- [33] FMSsoft,[softvér], Bosch Rexroth AG, Linear motion and assembly technologies, dostupné na internete <[www.boschrexroth.com](http://www.boschrexroth.com)>
- [34] Fraunhofer inštitút (IPA) Štuttgart, dostupné na internete <[www.ipa.fhg.de](http://www.ipa.fhg.de)>
- [35] FRESE, E. *Projektorganisation*. In: *Handwörterbuch der Organisation*, 2. Aufl., hrsg. v. Erwin Grochla, Stuttgart 1980, Sp. 1960-1974
- [36] GREGOR, M. et al. *Digitálny podnik*. Slovenské centrum produktivity, Žilina, 2006. 148 s. ISBN 80-969391-5-7.
- [37] HABERFELLNER, R. Projektmanagement. In: *Handwörterbuch der Organisation*, 3. Aufl., hrsg. v. Erich Frese, Stuttgart 1992, Sp. 2090-2102
- [38] HORVÁTH, M., FABIAN, M. CAD a jednostopá vozidla. In: *IT CAD- dvouměsíčník o CAD, počítačové grafice a CA.. technologiích*, 2007, Vol. 17, no. 5 (2007), p. 34-36., ISSN 1802-0011
- [39] HUTMACHER D. *Einflussfaktoren auf Veränderungsprozesse*, Institut für Organisation und Personal, Bern, 2004 s.133
- [40] Institut für Arbeitswissenschaft, TU Darmstadt, dostupné na internete: <[http://www.arbeitswissenschaft.de/website/homepage/uebersicht/startseite\\_26/de/de\\_startseite\\_univer\\_1.php](http://www.arbeitswissenschaft.de/website/homepage/uebersicht/startseite_26/de/de_startseite_univer_1.php)>
- [41] IŽOL, P., FABIAN M. *CAD/CAM systémy v technologickom procese obrábania*, 1. vyd. TU v Košiciach, 2006, 119 s., ISBN 80-8073-489-5.
- [42] JONES, J.CH. *Design methods*, John Wiley and Sons, New York, 1982.
- [43] KLENKO, M. *Návrh a montáž akumulátorovej vrtáčky*. Bakalárska práca MTF Trnava, 2010
- [44] KOL. *Rozhodovacie a kontrolné procesy*, ES VŠE Bratislava, 1985.
- [45] KONOLD, P., REGER, H., HESSE, S. *Applied assembly technology*, Vierweg – Verlag,. Viedeň, 1996, s. 164, ISBN 3-528-038428
- [46] KOVÁČ, J., SVOBODA M., LÍŠKA O. *Automatizovaná a pružná montáž*, TU v Košiciach, 2000, ISBN 80-7099-504-1
- [47] KUKA, Roboter GmbH, dostupné na internete: <[www.kuka.com](http://www.kuka.com)>

- [48] KUŠNÍRIK, J. *Návrh C-rámu lisovacej jednotky a jeho pevnostná kontrola*. [Diplomová práca], KTaM, SjF TU v Košiciach, Košice, 2009
- [49] LEŠKOVÁ, J., SENDERSKÁ, K. Databáza technických prostriedkov pre ručnú montáž In: *Transfer inovácií : špecializovaná publikácia / vedecko-technické výstupy grantových úloh*. Košice: TU-SjF, 2004. č. 7 (2004), s. 54-57. ISBN 80-80-73-222-1
- [50] LEŠKOVÁ, J. *Databáza technických prostriedkov pre ručnú montáž a jej aplikácia v projektovaní*. [Diplomová práca], KTaM, SjF TU v Košiciach, Košice, 2004
- [51] LÖHR, H.G. *Eine Planungsmethode für automatische Montagesysteme*, dizertačná práca, Krauskopf, Mníchov, 1977
- [52] LOTTER, B., WIENDAHL, H.P. *Montage in der industriellen Produktion*, Springer, Berlin Heidelberg, New York, 2006, s.531, ISBN 13978-3-540-21413-7
- [53] MADAUSS, B.,J. *Handbuch Projektmanagement*, 6., überarb. und erw. Aufl., Stuttgart 2000, ISBN 3-7910-0694-0
- [54] MAREŠ, A., SENDERSKÁ, K. Posúdenie efektívnosti zavádzania nových verzií CAD systémov In: *Transfer inovácií: špecializovaná publikácia / vedecko-technické výstupy grantových úloh*. Košice : TU-SjF, č.8 (2005). 1 elektronický optický disk (CD-ROM), s.67-69, ISBN 80-8073-461-5
- [55] MAREŠ, A., KOVÁČ, J., SENDERSKÁ, K., FABIAN, M. Analýza pohybu rukou pri ručnej montáži pomocou datových rukavíc. In: *IT CAD: Dvuměsíčník o CAD, počítačové grafice a CA.. technologiích*. vol. 18, no. 3 (2008), p. 29-31. ISSN 1802-0011.
- [56] MAREŠ, A., SENDERSKÁ, K. Videoanalýza ako podporný nástroj pre analýzu a inováciu ručnej montáže. In: *Výrobné inžinierstvo*. roč. 5, č. 1 (2006), s. 37-40. ISSN 1335-7972.
- [57] MAREŠ, A., SENDERSKÁ, K. Virtuálna realita v projektovaní montážnych pracovísk. In: *Produktivita a inovácie*. roč. 8, č. 2 (2007), s. 17-18. ISSN 1335-5961.
- [58] MAREŠ, A., SENDERSKÁ, K., KOVÁČ, J. Aplikácia softvéru pre video analýzu montážnych operácií. In: *Acta Mechanica Slovaca*. roč. 10, č. 2-b pro-tech-ma (2006), s. 231-234. ISSN 1335-2393.
- [59] MAREŠ, A., KOVÁČ, J., SENDERSKÁ, K., LIBA, M., FABIAN, M. Datová rukavica intuitívny nástroj manipulácie objektov v CAD. In: *IT CAD : Dvuměsíčník o CAD, počítačové grafice a CA.. technologiích*. vol. 19, no. 4 (2009), p. 30-31. Internet: <<http://www.cad.cz>> ISSN 1802-0011.
- [60] MAREŠ, A. et al. Aplikácia ergonomickej analýzy vo virtuálnom prostredí CAD v pružných výrobných systémoch. In: *Doprava a logistika*. mimoriadne č. 5 (2008), s. 266-272. ISSN 1451-107X.
- [61] MAREŠ, A., SENDERSKÁ, K. Virtuálna realita v projektovaní montážnych pracovísk. In: *Produktivita a inovácie*. roč. 8, č. 2 (2007), s. 17-18. ISSN 1335-5961.
- [62] MAREŠ, A. et al. Aplikácia dátovej rukavice pri analýze pohybov rúk v ručnej montáži. In: *Ai Magazine Automotive industry magazine*. roč. 1, č. 2 (2008), s. 90-92. Internet: <[www.leaderpress.sk](http://www.leaderpress.sk)> ISSN 1337-7612.
- [63] MAREŠ, A., SENDERSKÁ, K. Snímanie videa montážnych operácií za účelom analýzy In: *Transfer inovácií : špecializovaná publikácia / vedecko-technické výstupy grantových úloh*, Košice: TU-SjF, č.8 (2005). 1 elektronický optický disk (CD-ROM). s. 38-39. ISBN 80-80-73-461-5
- [64] MAREŠ, A., SENDERSKÁ, K. CAD systémy v procesoch projektovania montáže. In: *Modelové hodnotenie efektívnosti investícií*. Trenčín – Fakulta sociálno-ekonomických vzťahov Trenčianskej univerzity Alexandra Dubčeka, 2004, ISBN 80-8075-026-2



- [65] MAREŠ, A., SENDERSKÁ, K. Virtuálna realita v projektovaní montážnych pracovísk In: *Transfer inovácií: špecializovaná publikácia / vedecko-technické výstupy grantových úloh*. Košice: TU-SjF, 2004, č. 7 (2004), s. 61-65. ISBN 80-8073-222-1.
- [66] MARTINEK, R. *Senzory v průmyslové praxi*, Technická literatura BEN Praha 2004, ISBN 80-7300-114-4
- [67] MERZ, K.P. *Entwicklung einer Methode zur Planung der Struktur automatisierter Montagesysteme*, RWTH, Aachen, dizertačná práca, 1987
- [68] METZGER, H. *Planung und Bewertung von Arbeitssystemen in der Montage*, Krasskopf, Mníchov, 1977
- [69] Microvision, Inc., dostupné na internete: <<http://www.microvision.com/>>
- [70] MOLNÁR, V., FEDORKO, G. *Catia - základy projektovania 2*. Košice : FBERG TU v Košiciach, 2007. 106 s. ISBN 978-80-8073-804-4
- [71] MONKOVÁ, K., MONKA P. Kreovanie 3D modelov digitalizáciou z reálnych plôch súčiastok In: *Výrobné inžinierstvo*. - ISSN 1335-7972. - roč. 4, č. 3 (2005), s. 42-44.
- [72] MPScalc V 4.0,[softvér], Bosch Rexroth AG, Linear motion and assembly technologies, 2009, dostupné na internete [www.boschrexroth.com](http://www.boschrexroth.com)
- [73] MTMtv-das Videportal für Industrial Engineers, dostupné na internete: <<http://www.mtmtv.info>>
- [74] MTpro [softvér], Bosch Rexroth AG, Linear motion and assembly technologies, dostupné na internete <[www.boschrexroth.com](http://www.boschrexroth.com)>
- [75] Muscle Car Parts, dostupné na internete : <<http://www.musclecarparts.biz/page/26>>
- [76] PAGE, J.K. *Contribution to building for people*, 1965 Conf. Rep., Ministry of Public Buildings and Works, London, 1966
- [77] PETERKA, J., POKORNÝ, P. *Počítačová podpora výrobných technológií I. Návody na cvičenia*. Trnava: AlumniPress,2009.
- [78] *PowerSHAPE – CAD Design and Modelling Software*, [online], [cit. 2010-15-6], Dostupné na internete: <http://www.powershape.com>
- [79] PTC Corporate Headquarters, dostupné na internete: < <http://www.ptc.com> >
- [80] RAMPERSAD, H.K. Concurrent design of product, process and robotic assembly system In.: *Assembly automation*, roč. 15, 1995, č.1, s. 21-28
- [81] REFA: *Methodenlehre des Arbeitsstudiums*, diel 3: Kostenrechnung, Arbeitsgestaltung, Hanser, Mníchov 1978.
- [82] Sdružení MTM pro Českou republiku a Slovenskou republiku, dostupné na internete: <<http://www.czechmtm.cz/>>
- [83] SENDERSKÁ, K. *Technické prostriedky pre ručnú montáž: Montážne stoly a ich komponenty*: Učebný text. Košice: TU, 2004. 1 elektronický optický disk (CD-ROM). ISBN 80-8073-090-3.
- [84] SENDERSKÁ, K., MAREŠ, A., FABIAN, M. Praktická aplikace ergonomických modulů CATIE při analýze ručního montážního pracoviště. In: *IT CAD: Dvuměsíčník o CAD, počítačové grafice a CA.. technologiích*. vol. 18, no. 2 (2008), p. 18-19. ISSN 1802-0011.
- [85] SENDERSKÁ, K., MAREŠ, A. Databáza priemyselných robotov In: *Transfer inovácií: Špecializovaná publikácia / vedecko-technické výstupy grantových úloh*. Košice: TU-SjF,.č. 10 (2007), s. 79-81. ISBN 978-80-8073-832-7

- [86] SENDERSKÁ, K., MAREŠ, A. Video analýza montážneho procesu. In: *Produktivita a inovácie*. roč. 9, č. 1 (2008), s. 12-13. ISSN 1335-5961.
- [87] SENDERSKÁ, K., MAREŠ, A. Video analýza ako podporný nástroj v montáži. In: *Ai Magazine : automotive industry magazine*. - ISSN 1337-7612. - Roč. 2, č. 1 (2009), s. 68.
- [88] SENDERSKÁ, K. Operácia lisovania v montážnych procesoch In: *Transfer inovácií: Špecializovaná publikácia / vedecko-technické výstupy grantových úloh*. Košice: TU-SjF, 2009, č. 13 (2009), s. 78-86. ISSN 1337-7094.
- [89] SENDERSKÁ, K. Projektovanie ručnej montáže v FMSsoft-e In: *Transfer inovácií: Špecializovaná publikácia / vedecko-technické výstupy grantových úloh*. Košice: TU-SjF, 2008, č. 12 (2008), s. 200-203. ISSN 1337-7094.
- [90] SENDERSKÁ, K. Špecifiká tvorby projektu montážneho pracoviska In: *Transfer inovácií: Špecializovaná publikácia / vedecko-technické výstupy grantových úloh*. Košice: TU-SjF, č. 11 (2008), s. 254-260. ISSN 1337-7094.
- [91] SENDERSKÁ, K. Prístupy a nástroje pre podporu hodnotenia konštrukcie výrobku z hľadiska montáže In: *Transfer inovácií: Špecializovaná publikácia / vedecko-technické výstupy grantových úloh*. Košice: TU-SjF, č. 9 (2006), s. 214-216. ISSN 80-8073-701-0
- [92] SCHIMKE, E.F. *Montageplanung : Methoden, Fallbeispiele, Praxiserfahrung*, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1991
- [93] SCHLICKSUPP, H. *Innovation, Kreativität und Ideenfindung*, Vogel Buchverlag, Würzburg 1992, s. 223 ISBN 3 8023 0650 3
- [94] SCHOLZ, W. *Modell zur datenbankgestützten Planung automatisierter Montageanlagen*, Hanser, Mníchov, 1989.
- [95] SCHUSTER, G. *Rechnerunterstütztes Planungssystem für die flexibel automatisierte Montage*, Springer, Mníchov, 1992.
- [96] SKARBINSKI, M., SKARBINSKI J. *Technologickosť konštrukcie strojov*. Alfa Bratislava, 1982.
- [97] Solme AB, dostupné na internete: <<http://www.avix.eu/en.html> >
- [98] SPIŠÁK, E., FABIAN, M. *Strojárske technológie s CAx podporou*, 1. vyd, elfa, Košice, 2010, ISBN 9788080861360
- [99] TMS CZECH, dostupné na internete: <http://www.tms-cz.com/cz/software.html>
- [100] UHRINEC, T. *Návrh a montáž súčiastky v programe PowerShape*. Bakalárska práca MTF Trnava, 2008
- [101] Ukážky prác v systéme CATIA V5, dostupné na internete: <<http://www.sjf.tuke.sk/ci/catia/pracecatia5.htm>>
- [102] *Užívateľský manuál pre PowerSHAPE*, [online], [cit. 2010-10-6], Dostupné na internete: <http://www.delcam.com/intlresp/downloadpshape4.asp>
- [103] VÁCLAV, Š., PETERKA, J., POKORNÝ, P. Objective method for assembly, In.: *Annals of DAAAM for 2007 & Proceedings*. Viedeň, 2007, ISSN 1726-9679
- [104] VÁCLAV, Š., PETERKA, J., POKORNÝ, P. The assembly as system. In: *Scientific Bulletin*. - ISSN 1224-3264. - Vol. XXI : 2 Vol / nadát. International Multidisciplinary Conference. 7th. Baia Mare, Romania, May 17-18, 2007 (2007). - Baia Mare (Rumunsko) : North University of Baia Mare, 2007, s. 717-724
- [105] VÁCLAV, Š. The grade of intelligence of assembly works. In: *Annals of MTeM for 2005 & Proceedings / nadát. International Conference Modern Technologies in*

- Manufacturing. 7th. Cluj-Napoca, 6th-8th October 2005. - Cluj-Napoca (Rumunsko) : Technical University of Cluj-Napoca, 2005. - ISBN 973-9087-83-3. - S. 407-410
- [106] VIRDZEK, P., FEDORKO, G. Model zhodnotenia zmien vo výrobnom procese z hľadiska produktivity. In: *Výrobné inžinierstvo*. roč. 4, č. 2 (2005),s.46-48., ISSN 1335-7972.
- [107] VDOVJAK, F. Tvorba 3D modelov zariadení pre one piece flow ručné montážne pracoviská. [Bakalárska práca], KTaM, SjF TU v Košiciach, Košice, 2010
- [108] WALTHER, J. *Montage grosvolumiger Produkte mit Industrierobotern*. Berlin: Springer Verlag, 1985. 125 s. ISBN 3-540-16027-2
- [109] WARNECKE, H.J. *Systematische Strukturplanung automatischer Montagesysteme für die Mittel-bis Großserienproduktion*, IPA, Stuttgart, 1979
- [110] WEBER Schraubautomaten GmbH, dostupné na internete:<<http://www.weber-online.com/>>
- [111] WIENDAHL, H.P., GERST, D., KEUNECKE, L. *Variantenbeherrschung in der Montage*, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 2004, s. 329. ISBN 3-540-14042-5
- [112] XANADU a.s., dostupné na internete: <<http://www.xanadu.cz/inventor>>
- [113] WHITNEY, D.E. *Mechanical Assemblies*. Oxford University Press, New York, 2004, ISBN 0-19-515782-6
- [114] ZAJAC, J. *On-line analýza ručnej montáže*. [Diplomová práca], KTaM, SjF TU v Košiciach, Košice, 2010
- [115] ZIEKLE, U. *Montagestrukturplanung für variantenreiche Serienprodukte*. Berlin.: Springer Verlag, 1995. 122s. ISBN 3-540-58937

## Príloha

### SEMESTRÁLNY PROJEKT

Náplňou semestrálneho projektu je vypracovanie komplexného montážneho postupu. Súčasťou projektu je namodelovanie montovanej súčiastky a montážneho pracoviska (linky) v programe PowerShape.

#### ZADANIE PROJEKTU

Navrhňte komplexný montážny postup pre ..... (vybranú montovanú súčiastku, minimálny počet dielov 12). Pri vypracovávaní zadania postupujte podľa týchto bodov:

1. Špecifikácia výrobku a výroby.
2. Návrhy na konštrukčné zlepšenie z hľadiska montáže (DFA).
3. Zhotovenie 3D modelu súčiastky, detonačného a zostavového výkresu.
4. Výrobné výkresy súčiastok.
5. Navrhnutie montážneho systému (Layout montážnej haly).
6. Návrh montážnych staníc.
7. Ekonomické zhodnotenie,.  
Záver.

#### OBSAHOVÁ NÁPLŇ JEDNOTLIVÝCH BODOV

##### 1. Špecifikácia výrobku a výroby (rozsah min 1 str.)

V tomto bode je potrebné objasniť základné informácie o výrobku a jeho montáži:

- základný opis výrobku a jeho využitie,
- ročný objem výroby,
- plánovaný počet rokov výroby,
- počet zmien.

##### 2. Návrhy na konštrukčné zlepšenie

Konštrukčné zlepšenia možno navrhnuť v týchto oblastiach:

- funkčné,
- výrobné,
- **montážne.**

Treba sa zamerať na montážne zlepšenia:

- obmedziť počet kusov,
- zjednodušiť orientovateľnosť súčiastok,
- zmenšiť počet spojovacích technológií, atď.

### 3. Zhotovenie 3D modelu súčiastky, detonačného a zostavového výkresu

Na modelovanie súčiastok je treba použiť program PowerShape. Treba namodelovať každú súčiastku samostatne (v novom súbore). Pri skladaní treba dbať na správne poradie väzieb na bezproblémové zhotovenie detonačného výkresu pomocou funkcie „Distance exploding“ alebo „Angular exploding“.

V tomto bode je požadované zhotoviť:

- 3D model montovanej súčiastky,
- 3D detonačný výkres,
- výkres zostavy so súpisom položiek,
- výrobné výkresy.

### 4. Výrobné výkresy súčiastok

V zmysle technického kreslenia jednoznačne nakresliť (nárýs, pôdorys, bokorys) a okótovať vybrané súčiastky (zvyčajne iba nenormalizované).

### 5. Navrhnutie montážneho systému

Treba sa rozhodnúť, aký typ montáže je pre daný výrobok najlepší, treba zohľadniť tieto faktory:

- ročný objem výroby a počet rokov výroby,
- zložitosť súčiastky a s tým spojenú zložitosť automatizácie.

Na zvolenie správneho montážneho systému je nutné navrhnuť minimálne dve alternatívy. K obidvom alternatívam treba vypracovať stručný opis a uviesť ich klady a zápory. V závere treba z nich určiť výhodnejšiu alternatívu.

### 6. Návrh montáže a montážneho pracoviska

Tu treba vypracovať technologický postup montáže vo forme tabuľky. Predloha tabuľky pozri tab. 1

Tab.1: Technologický postup montáže.

Technologický postup montáže			
Oper. č.	Elem. op.	Názov činnosti	Stroj
1	1.I		
	1.II		
2	2.I		
	2.II		
	2.III		
3.	3.I		

	3.II		
4.	4.I		

V prvom stĺpci tabuľky sa určuje číslo operácie. Číslo operácie sa zmení vždy pri zmene pracoviska, prípadne zmene stroja. V druhom stĺpci sa uvádzajú elementárne operácie. Elementárne operácie opisujú jednotlivé kroky montáže. V treťom stĺpci sa uvádzajú názvy činností a v poslednom stĺpci sa uvádza použitý stroj.

V tomto bode je potrebné tiež vyhotoviť 3D modely jednotlivých pracovísk a ich rozloženie v hale vo forme pôdorysu alebo prípadne v 3D.

## 7. Ekonomické zhodnotenie

Pod pojmom ekonomické zhodnotenie chápeme výpočet teoretických nákladov na montáž jedného kusa výrobku. Jednotlivé premenné je treba vypočítať alebo určiť.

Pri výpočtoch treba postupovať takto:

### Pracovný takt na 1 výrobok:

$$t_1 = \frac{p_s \times p_h \times p_d \times 3600}{r_{ob.výr.}} = \text{sek} \quad (1)$$

$p_s$  - počet zmien za deň

$p_h$  - počet pracovných hodín za zmenu

$p_d$  - počet pracovných dní v roku

$r_{ob.výr.}$  - ročný objem výroby

### Počet kusov na 1 hod výroby:

$$m_{1hod} = \frac{r_{ob.výr.}}{p_d \times 24} = \text{ks / hod} \quad (2)$$

### Výpočet nákladov:

Ročné náklady na plochu:

Celková plocha:  $C_p = \text{m}^2$

$1 \text{ m}^2 = \text{Eur/mesiac}$

$$R_p = C_p \times 1 \text{ m}^2 \times 12 = \text{Eur} \quad (3)$$

### Ročné náklady na energiu:

Celkový príkon elektrických zariadení  $P_c = \text{kW/hod}$

Cena za 1 kW/hod  $C_{1 \text{ kW/hod}} = \text{Sk}$

Počet pracovných hodín za rok  $Ph_{rok} = \text{(záleží od počtu zmien)}$

$$R_e = P_c \times Ph_{rok} \times C_{1kW/h} = \text{Eur} \quad (4)$$

**Ročné náklady na údržbu:**

Ročné náklady na údržbu predstavujú cca 10% ceny techniky :

Celková cena techniky  $C_t =$  eur

$$R_m = C_t \times 0.1 = \text{eur} \quad (5)$$

**Hodinové náklady na pracovníkov:**

Tab.1: Hodinové náklady na pracovníkov.

Pracovníci	Počet	Mzda za 1 hod [eur /hod]	Mesačná mzda [eur]	Ročná mzda [eur]	Σ Ročnej mzdy [eur]
obsluha					
riadiaci prac.					
zásobovač					
upratovačka					
<b>SPOLU</b>					

Celkové náklady na pracovníkov  $N_p =$  eur

**Ročné náklady na dopravu:**

Priemerná cena dopravy za jednu hodinu  $N_{Dhod} =$  eur

$$N_D = N_{Dhod} \times p_s \times p_h \times p_d = \text{Eur} \quad (6)$$

$p_s$  - počet zmien za deň

$p_h$  - počet pracovných hodín za zmenu

$p_d$  - počet pracovných dní v roku

**Celkové náklady za 1 rok:**

$$N_c = R_p + R_e + R_m + N_p + N_D \quad (7)$$

$$N_c = \text{eur}$$

**Montážne náklady na 1 kus:**

$$N = \frac{N_c}{P_{ob.výr.}} = \text{eur} \quad (8)$$

**Záver**

Stručne zhrnúť vypracovanie projektu, poukázať na prínosy a zaznamenať dosiahnutý výsledok vo forme ceny za jeden kus.

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE  
MATERIÁLOVOTECHNOLOGICKÁ FAKULTA V TRNAVE  
KATEDRA OBRÁBANIA A MONTÁŽE

TECHNOLÓGIA MONTÁŽE A CAA SYSTÉMY  
(semestrálny projekt)

**PRÍKLAD VZOROVÉHO ZADANIA**

Rok:

Ročník:

Študijná skupina:

Meno:



## NÁVRH MONTÁŽE ZDVIHÁKA

### Zadanie projektu:

#### Úvod

1. Špecifikácia výrobku a výroby.
2. Návrhy na konštrukčné zlepšenie.
3. Zhotovenie 3D modelu súčiastky a detonačného výkresu (alebo zostavového výkresu).
4. Navrhnutie montážneho systému.
5. Návrh montáže a montážneho pracoviska.
6. Ekonomické zhodnotenie.

#### Záver

### 1. Špecifikácia výrobku a výroby:

Výrobok je nožnicový zdvihák s nosnou skrutkou. Tento princíp sa používa v širokej škále zdvíhacích zariadení od prenosných zdvihákov až po zdvíhacie plošiny. Mnou montovaný zdvihák patrí do kategórie prenosných zdvihákov.

Základom konštrukcie týchto zdvihákov je nožnicový mechanizmus a skrutka, ktorá vyvoláva zdvíhaciu silu. Poznáme dva základné varianty:

- jednoduchá súmerná konštrukcia,
- nesúmerná konštrukcia.

Na skrutku je privedená sila pomocou ručnej páky, ale v dnešnej dobe už existujú zdviháky s elektrickým pohonom. Zaistenie mechanizmu proti padnutiu bremena je dané samozvernou skrutkou, teda skrutkovicového mechanizmu. Bremeno sa spúšťa otáčaním kľuky v opačnom smere ako pri zdvíhaní.

#### Základné parametre:

- nosnosť zdviháka 1000 Kg,
- maximálny zdvih zdviháka 200mm,
- váha zdviháka 3,25 kg,
- ročný objem výroby je 450 000 kusov,
- počet zmien 3.

### Zloženie výrobku:

Zdvihač sa skladá z 27 častí. Základné časti sú prevažne plochého typu. Zobrazenie jednotlivých častí je uvedené v bode 3.

### Požiadavky zákazníka:

Žiada sa vypracovanie ponuky na montáž zdviháka v ročnej produkcii 450 000 ks počas 10 rokov výroby.

## 2. Návrhy na konštrukčné zlepšenie

Ako konštrukčné zlepšenie navrhujem:

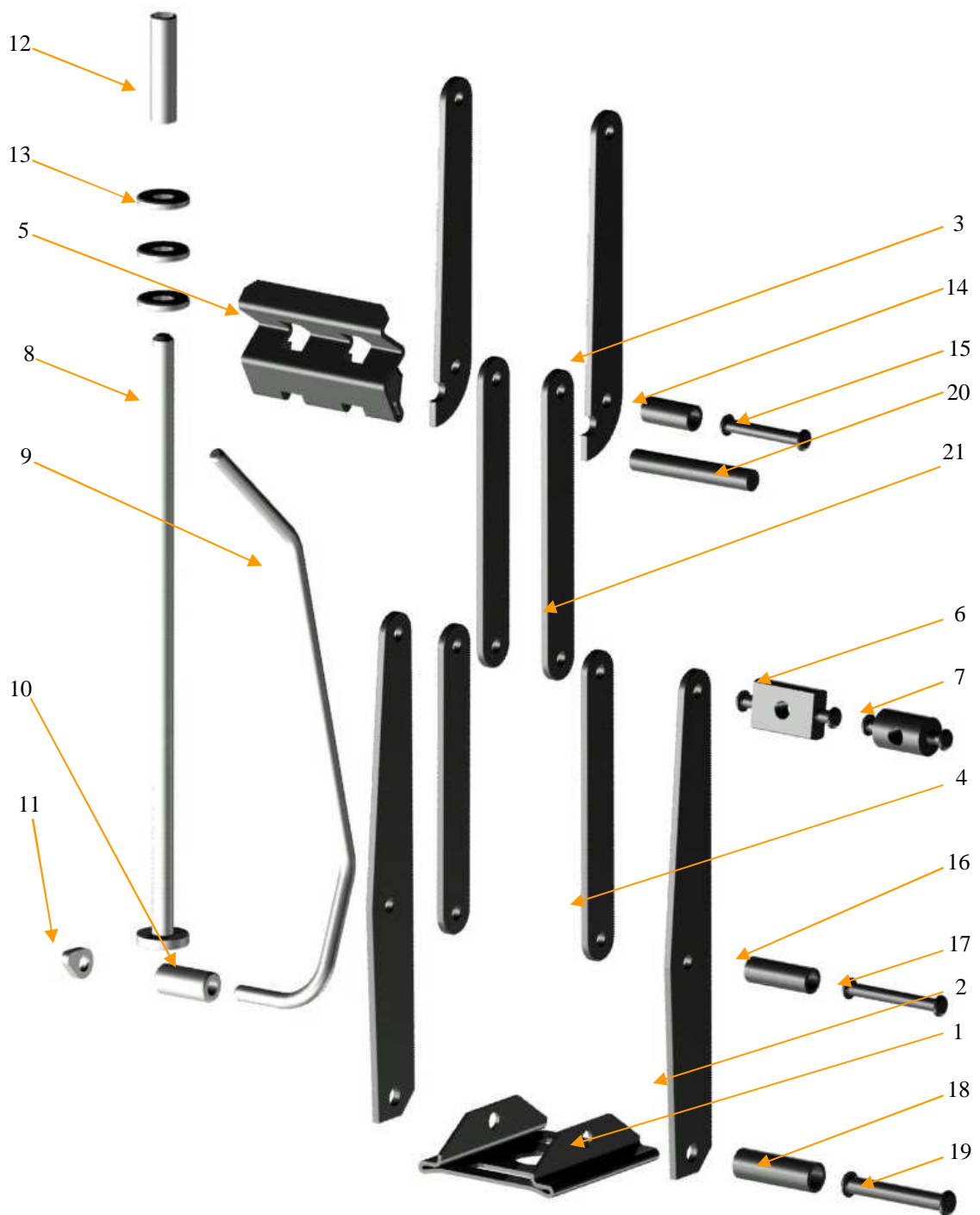
- Zmenu dĺžok ramien zdviháka z rovnoramennej konštrukcie na konštrukciu a x b.
- Použitím U výtvarku namiesto dvoch totožných ramien sa znížil počet súčiastok o štyri kusy. U výtvarok dosiahol aj lepšiu pevnosť pri menšej hmotnosti, čo umožnilo znížiť ceny materiálu. Výroba U profilov je síce zložitejšia (na nástroje), ale pracujeme s plechom s menšou hrúbkou, čo umožní použiť zariadenia s menšou silou, teda aj zariadenia s nižšou cenou.
- Použitie špeciálnych stupňovitých nitov (nit s dvoma prierezmi), nám umožnia zredukovať počet súčiastok o tri vymedzovacie rúrky. Tieto nity prevezmú funkcie vymedzovacích rúrok spolu s U výtvarkom.

## 3. Zhotovenie 3D modelu súčiastky a detonačného výkresu (alebo zostavového výkresu)

Na zhotovenie 3D modelu sme použili program Autodesk Inventor. Jednotlivé súčiastky som zhotovil samostatne a následne som ich zmontoval pomocou Assembly modelu.



*Obr. 1 Ručné zdvíhacie zariadenie [model 3D Inventor]*



**Obr. 2** Detonačný výkres [model 3D Invertor]

1. opierka na zem,

2. výstrižok 1,

3. výstrižok 2,

4. výstrižok 3,

5. opierka na lem,

6. opora skrutky,

7. opora skrutky so závitom,

8. nosná skrutka,

9. kľuka,

10. uchytenie kľuky,

11. vymedzovač pohybu 1,

12. poistná rúrka,

13. podložka,

14. vymedzovacia rúrka,

15. nit 1,

16. vymedzovacia rúrka 2,

17. nit 2,

18. vymedzovacia,

19. nit 3,

20. čap,

21. výstrižok 4.

Súpis položiek:

21	výstrižok 4			2	
20	čap			1	
19	nit 3			1	
18	vymedzovacia			1	
17	nit2			1	
16	vymedzovacia rúrka 2			1	
15	nit 1			1	
14	vymedzovacia rúrka			1	
13	podložka			3	
12	poistná rúka			1	
11	vymedzovač pohybu 1			1	
10	uchytenie kľuky			1	
9	kľuka			1	
8	nosná skrutka			1	
7	opora skrutky so závitom			1	
6	opora skrutky			1	
5	opierka na lem			1	
4	výstrižok 3			2	
3	výstrižok 2			2	
2	výstrižok 1			2	
1	opierka na zem			1	
č. p.	NÁZOV-ROZMER	VÝKRES- NORMA	MATERIÁL	MN	Hm. kg

**4. Navrhnutie montážneho systému**

Základom úspechu montáže je vypracovať viaceré postupy na zmontovanie daného výrobku. Pri jednotlivých návrhoch sa musí dbať na potrebné vybavenie danej prevádzky tak, aby sa montáž za daných podmienok zbytočne neskomplicovala, a tým aj nepredražila.

Uvažoval som o 2 postupoch montáže ručného zdvíhacieho zariadenia, pričom prvý postup bude realizovaný čisto ručnou montážou a druhý postup bude realizovaný automatizovanou linkou.

### **Alternatíva 1.: Ručná montáž:**

Tato alternatíva sa vyznačuje najmä nízkymi počiatočnými nákladmi. Jednotlivé montážne operácie sú vykonávané na stolových pracoviskách okrem operácie zvarovania, tá sa vykonáva v ochrannom boxe. Preprava montovanej súčiastky medzi jednotlivými pracoviskami je zabezpečená pomocou valčekového dopravníka. Tento dopravník plní zároveň aj funkciu medzioperačného zásobníka. Vysokozdvížne vozíky by zabezpečovali doplňovanie jednotlivých dielov a spojovacieho materiálu na pracoviská.

Jednotlivé pracoviská sú vybavené nástrojmi, prístrojmi a strojmi určenými na konkrétnu operáciu. Stroje sú nehybné, ostávajú na pracoviskách. Jednotlivé stoly sú samostatné jednotky, ktoré sa navzájom neovplyvňujú, a to z dôvodu dostatočných medzioperačných zásobníkov. Tento postup nemá vynútený rytmus.

#### **Výhody:**

- menšie počiatočné náklady,
- možnosť ľahko zmeniť typ vyrábaného výrobku,
- voľnejší pracovný rytmus,
- pri poruche jedného pracoviska alebo neprítomnosti pracovníka nemusí stať celá výroba (ide o krátkodobú neprítomnosť alebo poruchu).

#### **Nevýhody:**

- vyššie náklady na mzdy,
- vyššia nepodarkovosť,
- nižšia produktivita práce.

### **Alternatíva 2.: Automatizovaná linka:**

Táto linka by bola plne automatizovaná, a tým by sa potreba pracovníkov obmedzila iba na nevyhnutnú obsluhu a údržbu strojov (1 pracovník na 3-8 strojov) a na konečné balenie výrobkov. Montáž je zabezpečovaná počítačovo riadenými robotmi a funkciu dopravníka plní kroková linka s medzioperačným zásobníkom. Zásobníky jednotlivých dielov sú zásobované pomocou vysokozdvížných vozíkov.

#### **Výhody:**

- vysoká produktivita ,
- vysoká presnosť a kvalita montáže,
- menší počet zamestnancov.

#### **Nevýhody:**

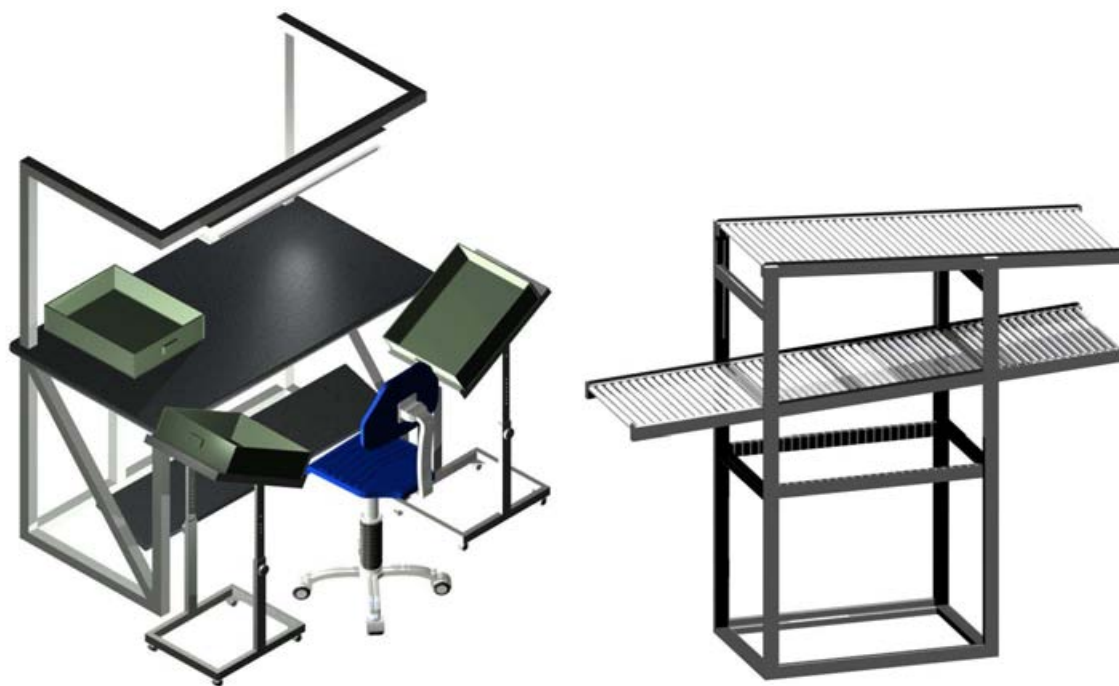
- vysoké počiatočné náklady,
- komplikovanosť linky,

- potreba väčších priestorov.

Z týchto dvoch alternatív som si zvolil alternatívu 1, ktorá je vhodnejšia na daný typ montovanej súčiastky z dôvodu jej zložitosti na priestorové postavenie. Konštrukcia alternatívy 2 je príliš zložitá, a tým aj ekonomicky náročnejšia, čo by sa výrazne premietlo do celkovej ceny výrobku, keďže ročný objem výroby je iba 450 000 kusov.

## 5. Návrh montáže a montážneho pracoviska

Ako pracovisko na ručnú montáž som navrhol montážny stôl, ktorého vybavenie sa bude meniť podľa požiadaviek na konkrétnu operáciu. Stôl pozostáva z nosnej konštrukcie a pracovnej dosky. Pracovisko ďalej tvorí ergonomické sedadlo, prepravka na súčiastky, stojany na prepravky, osvetlenie, nastaviteľná podložka pod nohy. Tieto časti sú súčasťou každého pracoviska.



*Obr. 3 Ručné montážne pracovisko (montážny stôl) a medzioperačná doprava (valčekový dopravník)*

### Návrh technologického postupu montáže:

Ručné zdvíhacie zariadenie som zmontoval pomocou 10 operácií, ktoré sú uvedené v technologickom postupe (tabuľka 1).

Tab.1: Technologický postup montáže.

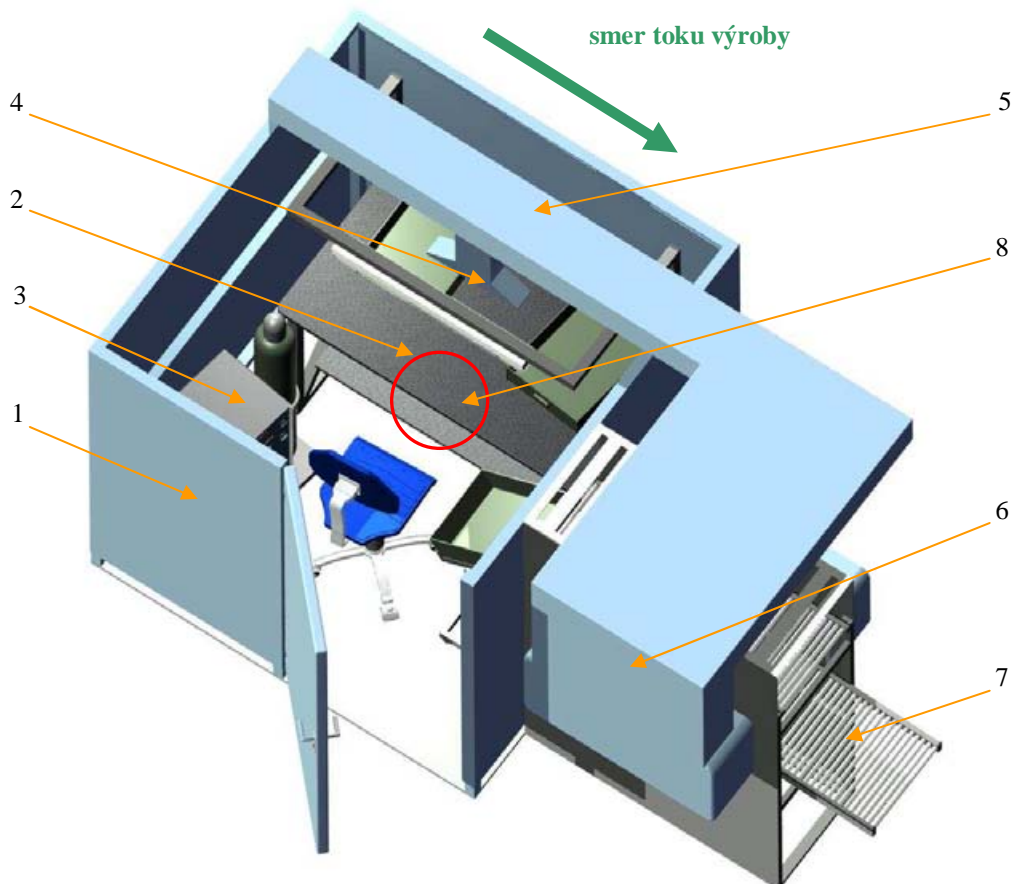
Technologický postup montáže			
Oper. č.	Elem. op.	Názov činnosti	Stroj
1	1.I	vkladanie do šablóny	MAG-211
	1.II	zváranie čapu	
2	2.I	vkladanie do šablóny	T-150
	2.II	ustálenie šablóny v prípravku	
	2.III	znitovanie nitu 1	
3.	3.I	vkladanie do šablóny	L-250
	3.II	zlisovanie opierky na lem auta	
4.	4.I	vkladanie do šablóny	T-150
	4.II	znitovanie opory skrutky	
5.	5.I	vkladanie do šablóny	T-150
	5.II	znitovanie opory skrutky so závitom	
6.	6.I	vkladanie do šablóny	T-150
	6.II	ustálenie šablóny v prípravku	
	6.III	znitovanie nitu 2	
7.	7.I	vkladanie do šablóny	T-150
	7.II	ustálenie šablóny v prípravku	
	7.III	znitovanie nitu 3	
8.	8.I	ustálenie uchytenia kľuky v prípravku	MAG-211
	8.II	zváranie uchytenia kľuky	
9.	9.I	vloženie kľuky do uchytenia	MAG-211
	9.II	zaváranie vymedzovača pohybu kľuky	
10.	10.I	konečné zmontovanie	

**Zobrazenie jednotlivých pracovísk:**

Podľa typu operácii som rozdelil jednotlivé pracoviská do štyroch skupín:

1. zväracie pracovisko (zvärací box),
2. nitovacie pracovisko a lisovacie pracovisko,
3. pracovisko na konečné zmontovanie,
4. baliace pracovisko.

### Zváraacie pracovisko (zváračí box)



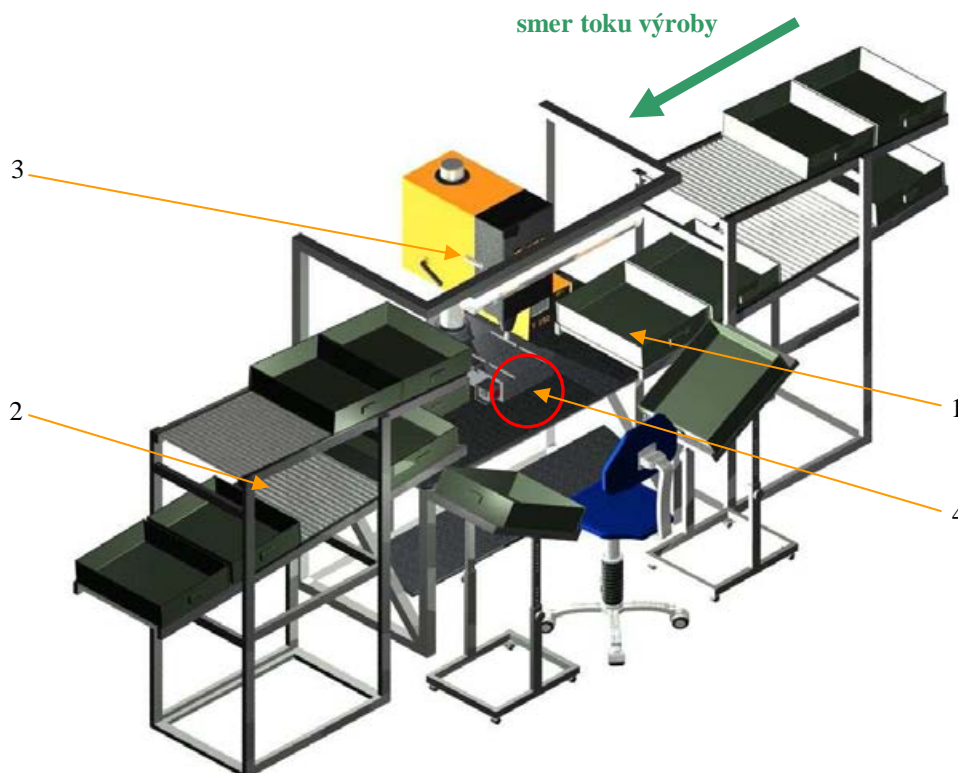
**Obr. 4** Zváraacie pracovisko(zváračí box) [model 3D Invertor]

- |                                    |                                  |
|------------------------------------|----------------------------------|
| 1. ochranný box,                   | 5. ventilácia,                   |
| 2. montážny stôl s príslušenstvom, | 6. chladiace zariadenie,         |
| 3. zváračí agregát MAG-211,        | 7. valčekový dopravník s krytmi, |
| 4. odsávač škodlivých plynov,      | 8. pozícia prípravku.            |

Ako zváraacie pracovisko som navrhol zváračí box, ktorý zamedzuje šíreniu škodlivého žiarenia do okolia (montážnej haly). Je vyhotovený z nehorľavého materiálu (oceľové profily a plech). Vybavenie zváračieho boxu tvorí stolové pracovisko, zváračí agregát MAG-211, prípravok na fixovanie a ustálenie jednotlivých súčiastok počas zvarovania (mení sa podľa operácie montáže), odsávač škodlivých plynov, ktoré vznikajú pri zvaraní, valčekový dopravník s ochrannými krytmi a chladiacim zariadením, ktoré je napojené na ventiláciu. Na tomto type pracoviska sa po zmene prípravku realizujú tri operácie. Takéto pracoviska sú v montážnej hale štyri.



## Nitovacie a lisovacie pracovisko



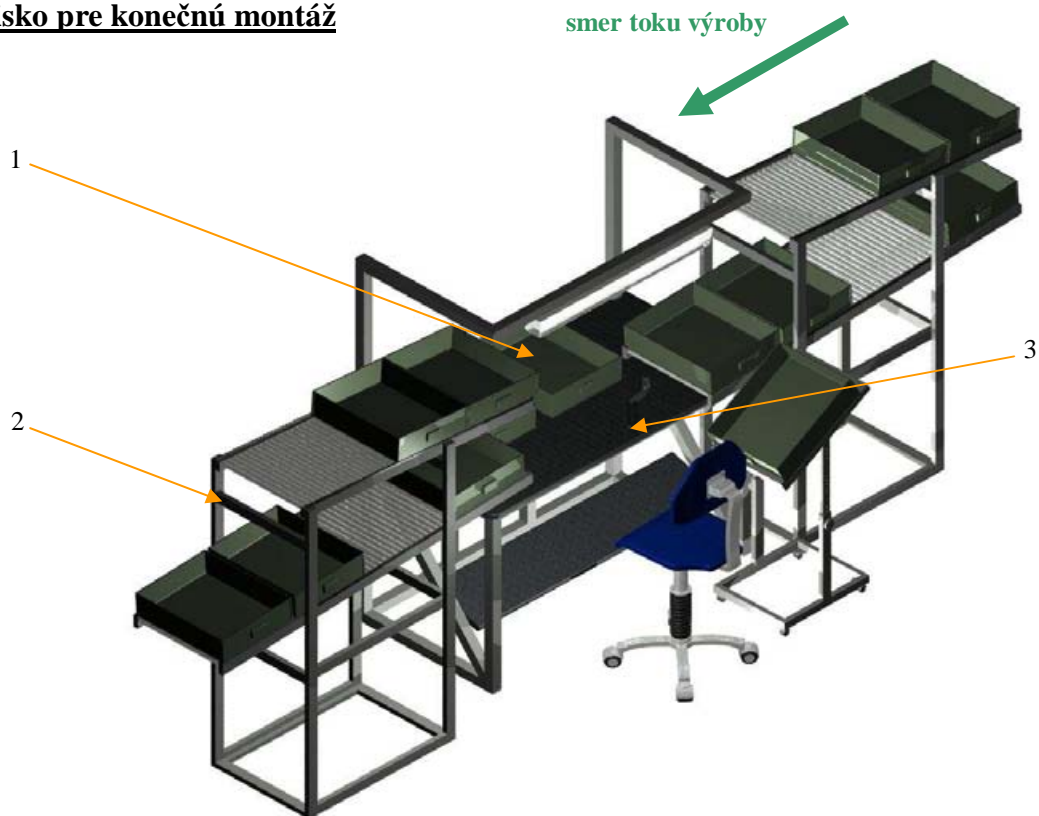
**Obr. 5** Nitovacie pracovisko [model 3D Invertor]

- |                                    |   |
|------------------------------------|---|
| 1. montážny stôl s príslušenstvom, | 3. nitovacia jednotka T-150,<br>lisovacia jednotka L-250, |
| 2. valčekový dopravník,            | 4. pozícia prípravku.                                     |

Nitovacie pracovisko tvorí montážny stôl s príslušenstvom, valčekový dopravník, nitovacia jednotka s prípravkom na fixovanie a ustálenie výrobku pri nitovaní. Tento prípravok sa mení podľa operácie montáže. V procese montáže ručného zdvíhacieho zariadenia sa toto pracovisko objavuje najčastejšie. Na tomto type pracoviska sa po zmene prípravku realizuje päť operácií a v montážnej hale sa nachádza desaťkrát.

Toto pracovisko je obdobné ako pracovisko na nitovanie, jediná odlišnosť je v použitom stroji. Stroj je lisovacia jednotka L-250. Na pracovisku sa realizuje iba jedna operácia. V montážnej hale sa nachádzajú dve takéto pracoviská.

**Pracovisko pre konečnú montáž**

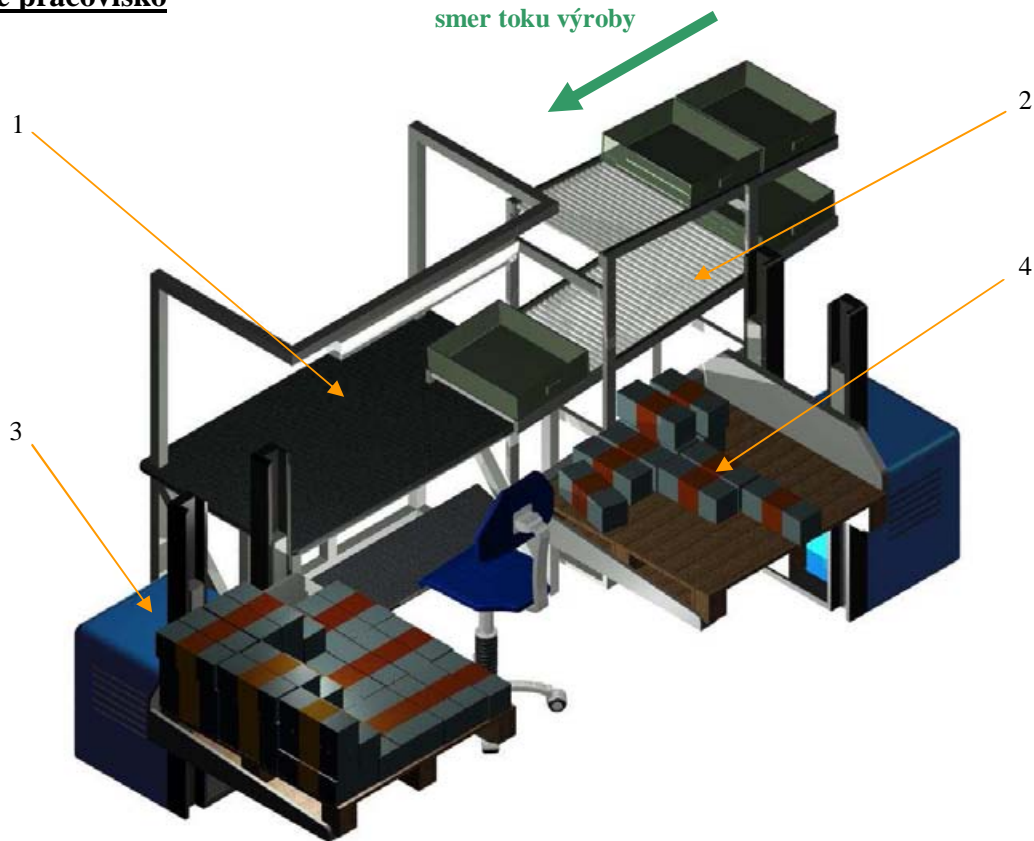


**Obr. 6** Pracovisko konečnej montáže [model 3D Invector]

1. montážny stôl s príslušenstvom,
2. valčekový dopravník,
3. kliešte na zaisťovanie skrutky.

Na tomto pracovisku sa nenachádza žiadny stroj, montuje sa ručne pomocou kliešti. Toto pracovisko je posledné, na ktorom prebieha montáž. Na jeho výstupe je už finálny výrobok. Pracovisko sa skladá z montážneho stola s príslušenstvom a z valčekového dopravníka. K vybaveniu patria kliešte na zaisťovanie skrutky. Takéto pracovisko sa nachádza v montážnej hale dvakrát.

### Baliace pracovisko



*Obr. 7 Baliace pracovisko [model 3D Invector]*

- 1. baliaci stôl, 2. valčekový dopravník,*
- 3. zdvíhacie zariadenie, 4. obaly.*

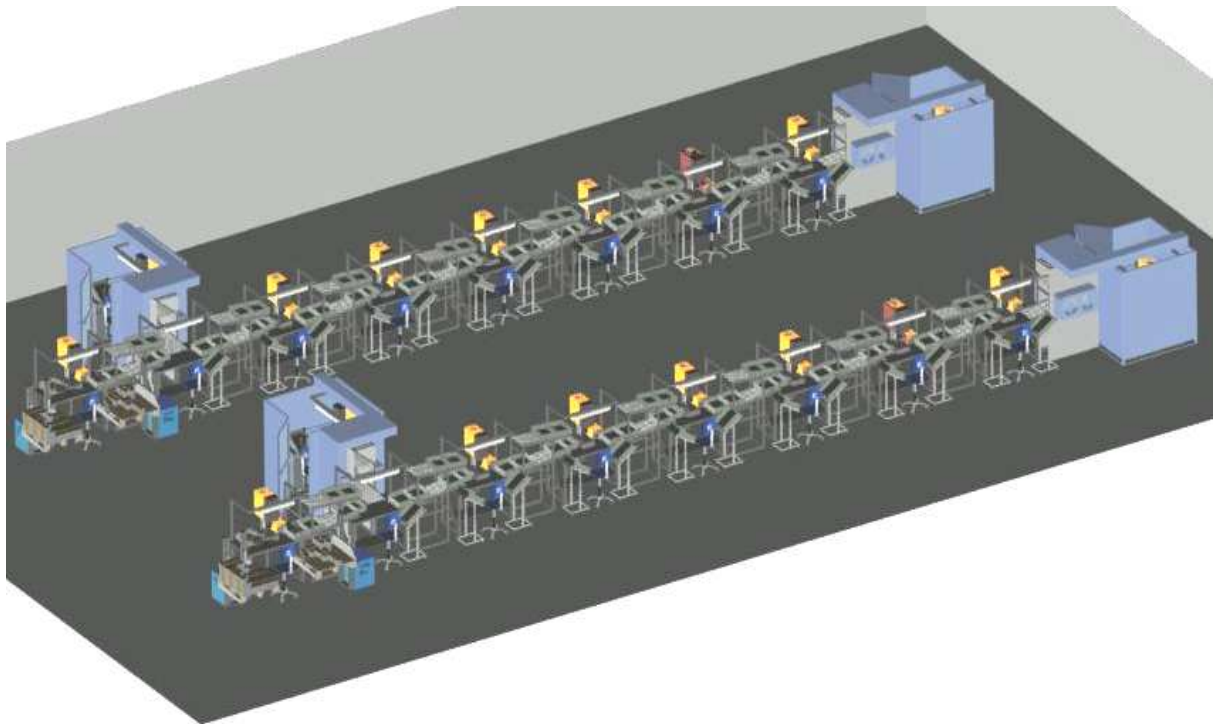
Toto pracovisko zabezpečuje balenie výrobku do ochranných obalov. Súčasťou pracoviska je baliaci stôl, valčekový dopravník, zdvíhacie zariadenie na nastavovanie výšky palety. Pracovisko je vybavené dvoma zdvíhacími zariadeniami. Jedno je určené na zdvíhanie palety s prázdnyimi obalmi a druhé na zdvíhanie už zabalených výrobkov Baliace pracoviská sa nachádzajú v hale dva krát.

### Návrh montážnej haly

Aby bola montáž čo najefektívnejšia, musí sa dbať na správne umiestnenie jednotlivých pracovísk. Jednotlivé pracoviská treba umiestniť tak, aby vzdialenosti medzi operáciami boli čo najmenšie, tým ušetríme čas, ktorý sa dá využiť na zvýšenie produkcie alebo zlepšenie kvality. Vhodným rozložením pracovísk sa dá získať aj priestor, ktorý sa dá potom efektívnejšie využiť.

Pri návrhu bolo použité radové rozloženie pracovísk. Výrobný tok medzi jednotlivými pracoviskami je zabezpečený valčekovými dopravníkmi. Navrhnutá dvojica identických liniek zohľadňuje požadovaný objem výroby.

Pracoviská sú usporiadané takto: Ako prvé pracovisko je zvärací box, potom nitovacie pracovisko, lisovacie pracovisko, ďalej sú za sebou štyri nitovacie pracoviská, pracovisko na konečné zmontovanie, k tomuto pracovisku je pridružený aj zvärací box a ako posledné pracovisko je pracovisko určené na balenie. Okolo pracovísk je značný priestor, a to z dôvodu, aby pri každom pracovníkovi bolo možné vytvoriť určitú zásobu súčiastok potrebných pre konkrétne pracovisko.



*Obr. 8 Rozloženie pracovísk a strojov v hale [model 3D Inventor]*

## 6. Ekonomické zhodnotenie:

### Ročný objem výroby

Jedným zo základných faktorov, ktoré je treba zohľadniť pri posudzovaní hospodárnosti montáže, je ročný plánovaný objem výroby. Ročný objem výroby ručného zdvíhacieho zariadenia som zvolil 450000 kusov. Pri výpočte budem vychádzať z 250 pracovných dní v roku. Navrhol som trojzmennú prevádzku. Pracovníci majú pravo na ½ hodinovú prestávku na jedlo.

**Pracovní takt na 1 výrobok:**

$$t_1 = \frac{p_s \times p_h \times p_d \times 3600}{r_{ob.výr.}} = \frac{3 \times 7,5 \times 250 \times 3600}{450000} = 45sek \quad (1)$$

$P_s$  - počet zmien za deň,

$P_h$  - počet pracovných hodín za zmenu,

$P_d$  - počet pracovných dní v roku,

$P_{ob.výr.}$  - ročný objem výroby.

**Počet kusov na 1 hod výroby:**

$$m_{1hod} = \frac{r_{ob.výr.}}{p_d \times 24} = \frac{450000}{250 \times 24} = 75ks / hod \quad (2)$$

**Výpočet nákladov:**

Ročné náklady na plochu:

Celková plocha:  $C_p = 350 \text{ m}^2$

$1 \text{ m}^2 = 6,64 \text{ EUR/mesiac}$

$$R_p = C_p \times 1700 \times 12 = 350 \times 200 \times 12 = 27888EUR \quad (3)$$

**Ročné náklady na energiu:**

Celkový príkon elektrických zariadení  $P_c = 30 \text{ kW/hod}$

Cena za 1 kW/hod 0,30 EUR

Počet pracovných hodín za rok  $Ph_{rok} = 6000 \text{ hod}$

$$R_e = P_c \times Ph_{rok} \times 8 = 30 \times 6000 \times 0,30 = 54000EUR \quad (4)$$

**Ročné náklady na údržbu:**

Ročné náklady na výrobu predstavujú cca 10% ceny techniky :

Celková cena techniky  $C_t = 400000$

$$R_m = C_t \times 0.1 = 400000 \times 0.1 = 40000EUR \quad (5)$$

**Hodinové náklady na pracovníkov:**

Tab.1: Hodinové náklady na pracovníkov

Pracovník	Počet	Mzda za 1 hod [EUR/hod]	Mesačná mzda [EUR]	Ročná mzda [EUR]	Σ Ročnej mzdy [EUR]
<b>obsluha</b>	66	4,00	640	7680	506880
<b>riadiaci prac.</b>	3	7,00	1120	13440	40320
<b>zásobovač</b>	3	4,00	640	7680	23040
<b>upratovačka</b>	2	3,30	528	6336	12672
<b>SPOLU</b>	<b>74</b>	<b>18,30</b>	<b>528</b>	<b>1075200</b>	<b>582612</b>

Celkové náklady na pracovníkov  $N_p = 582612$  EUR

**Ročné náklady na dopravu:**

Priemerná cena dopravy za jednu hodinu  $N_{Dhod} = 0,30$  EUR

$$N_D = N_{Dhod} \times p_s \times p_h \times p_d = 0,30 \times 3 \times 8 \times 250 = 1800 \text{ EUR} \quad (6)$$

$p_s$  - počet zmien za deň,

$p_h$  - počet pracovných hodín za zmenu,

$p_d$  - počet pracovných dní v roku.

**Celkové náklady za 1 rok:**

$$\begin{aligned} N_c &= R_p + R_e + R_m + N_p + N_D \\ N_c &= 27888 + 54000 + 40000 + 582612 + 1800 \\ N_c &= 706300 \text{ EUR} \end{aligned} \quad (7)$$

**Montážne náklady na 1 kus:**

$$N = \frac{N_c}{p_{ob.vyř.}} = \frac{706300}{450000} = 1,57 \text{ EUR} \quad (8)$$

**Záver**

V práci som mal za úlohu navrhnúť montáž zdvíhacieho zariadenia. Najväčšiu pozornosť som venoval návrhu montážneho systému ručného zdvíhacieho zariadenia, kde som sa pomocou nadobudnutých teoretických vedomostí snažil čo najlepšie optimalizovať montážny systém. Najväčším problémom pri montovaní zdvíhacieho zariadenia bolo zabezpečiť presnú polohu jednotlivých súčiastok a montážnych celkov tak, aby bolo možné aplikovať jednotlivé operácie montáže. Aj to bol jeden s dôvodov, prečo som sa rozhodol riešiť montáž zdvíhacieho zariadenia pomocou ručnej montáže. Pomocou tohto riešenia sme dokázali zmontovať danú súčiastku za cenu 1,57 EURA.

**OBSAH**

<b>1.</b>	<b>ZÁKLADNE POJMY.....</b>	<b>5</b>
1.1	HISTORICKÝ VÝVOJ MONTÁŽE.....	5
1.2	ZÁKLADNÉ POJMY V MONTÁŽI .....	8
<b>2.</b>	<b>MONTÁŽ AKO SYSTÉM .....</b>	<b>15</b>
2.1	MONTÁŽ Z HĽADISKA SYSTÉMOVÉHO PRÍSTUPU.....	15
2.2	MONTÁŽ AKO TECHNOLOGIA.....	17
2.3	MONTÁŽ PODĽA NORMY DIN.....	19
<b>3.</b>	<b>TECHNOLOGICKOSŤ KONŠTRUKCIE VÝROBKU Z HĽADISKA MONTÁŽE.....</b>	<b>21</b>
3.1	TECHNOLOGICKOSŤ KONŠTRUKCIE.....	21
3.2	PREHĽAD VŠEOBECNÝCH METÓD POUŽÍVANÝCH V MONTÁŽI.....	23
3.3	PREHĽAD ŠPECIALIZOVANÝCH METÓD POUŽÍVANÝCH V MONTÁŽI.....	29
3.3.1	Racionalizačné metódy.....	32
3.3.2	Iné metódy.....	35
3.3.3	Špecializované metódy DFA.....	43
3.4	ROZHODUJÚCE VLASTNOSTI VÝROBKU Z HĽADISKA DFA.....	53
3.4.1	Funkčný princíp.....	53
3.4.2	Kombinačná metóda hľadania funkčného princípu.....	54
3.4.3	Štruktúra konštrukcie.....	62
3.4.4	Počet možných montážnych postupov.....	63
3.4.5	Výťažnosť montáže.....	64
3.4.6	Statická určitosť alebo preurčitosť konštrukcie.....	66
3.4.7	Počet súčiastok.....	70
3.4.8	Vlastnosti súčiastok z hľadiska orientácie.....	71
3.4.9	Vlastnosti konštrukcie z hľadiska montážnej manipulácie.....	77
3.4.10	Vlastnosti súčiastok z hľadiska montážnej manipulácie.....	79
3.4.11	Rozmerové vlastnosti konštrukcie.....	81
3.4.12	Materiál súčiastok.....	83
3.4.13	Pravidlá DFA a príklady ich využitia.....	83
3.4.14	Bilancia dosiahnutých výsledkov.....	85
<b>4.</b>	<b>MONTÁŽNE TECHNOLOGIE.....</b>	<b>87</b>
4.1	KLASIFIKÁCIA MONTÁŽNYCH TECHNOLOGIÍ.....	87
4.2	MONTÁŽNE SPOJE.....	87
4.2.1	Klasifikácia spojov.....	88
4.2.2	Rozoberateľné spoje.....	90
4.2.2.1	Skrutkové spoje.....	90
4.2.2.2	Zaťaženie skrutkového spoja.....	93
4.2.2.3	Metódy uťahovania.....	93
4.2.2.4	Sadanie skrutkového spoja.....	96
4.2.2.5	Uvoľňovanie skrutkového spoja.....	96
4.2.2.6	Nové konštrukcie skrutkových spojov.....	98
4.2.2.7	Realizácia skrutkového spoja.....	100
4.2.3	Pružné (elastické) spoje.....	102
4.2.3.1	Pružné trecie spoje.....	103
4.2.3.2	Pružné tvarové spoj.....	108
4.2.4	Nerozoberateľné spoje.....	109
4.2.4.1	Nitové spoje.....	109
4.2.4.2	Tvarované (plastické) spoje.....	113

4.2.4.3	Zvárané spoje.....	114
4.2.4.3.1	<u>Prehľad zvaracích metód</u> .....	115
4.2.4.4	Spájkované spoje.....	116
4.2.4.4.1	<u>Spájky</u> .....	117
4.2.4.4.2	<u>Spájkovacie techniky</u> .....	117
4.2.4.4.3	<u>Konštrukcia spájkových spojov</u> .....	118
4.2.4.4.4	<u>Zásady konštruovania spájkovaných spojov</u> .....	120
4.2.4.5	Lepené spoje.....	121
4.2.4.5.1	<u>Rozdelenie lepidiel</u> .....	121
4.2.4.5.2	<u>Technologický postup lepenia</u> .....	122
4.2.4.5.3	<u>Zásady konštruovania lepených spojov</u> .....	123
4.2.4.6	Tmelené spoje.....	123
4.2.4.6.1	<u>Príklady tmelených spojov</u> .....	124
<b>5.</b>	<b>POČÍTAČOVÁ PODPORA PROJEKTOVANIA MONTÁŽNYCH TECHNOLÓGIÍ, PRACOVÍSK A SYSTÉMOV</b> .....	<b>126</b>
5.1	PROJEKTOVANIE MONTÁŽE.....	126
5.1.1	Typy problémov a úloh v projektovaní.....	127
5.1.2	Definícia projektu.....	129
5.1.3	Projektovanie montážnych pracovísk.....	130
5.1.4	Metódy projektovania montážnych pracovísk a systémov.....	131
5.2	POČÍTAČOVÁ PODPORA PROJEKTOVANIA MONTÁŽNYCH SYSTÉMOV..	135
5.2.1	CATIA.....	137
5.2.2	DELMIA.....	145
5.2.3	INVENTOR.....	148
5.2.4	PROENGINEER.....	152
5.2.5	POWERSHAPE.....	154
5.2.5.1	<i>Assembly modul</i> .....	158
5.2.5.2	<i>Použitie základných funkcií</i> .....	162
5.2.5.3	<i>Praktické použitie programu PowerShape vo výučbe montáže (bakalárske práce)</i> ...168	
<b>6.</b>	<b>ŠPECIÁLNE PROGRAMY A NÁSTROJE</b> .....	<b>173</b>
6.1	DFA ANALÝZA.....	173
6.2	VIDEOANALÝZA MONTÁŽNEHO PRACOVISKA.....	176
6.3	MTM ANALÝZA.....	179
6.4	DATABÁZY A ICH APLIKÁCIA V PROJEKTOVANÍ MONTÁŽNYCH PROCESOV.....	181
6.5	DATABÁZY DIELCOV A NORMALIZOVANÝCH SÚČIASTOK.....	181
6.6	3D MODELY TECHNICKÝCH ZARIADENÍ NA INTERNETE.....	182
6.7	ON-LINE GENEROVANIE MODELOV NA INTERNETE.....	183
6.8	ŠPECIÁLNE PROGRAMY A NADSTAVBY.....	184
6.9	DATABÁZY AKO SÚČASŤ CAD SYSTÉMU.....	191
6.10	DATABÁZY Z VLASTNÉHO VÝVOJA.....	192
6.11	TVORBA VLASTNÝCH 3D MODELOV.....	194
6.12	ZDROJE ÚDAJOV PRE TVORBU 3D MODELOV TECHNICKÝCH ZARIADENÍ.....	198
6.13	RUČNÉ MONTÁŽNE PRACOVISKÁ.....	198
6.14	DOPRAVNÉ SYSTÉMY A VOZIDLÁ.....	201
6.15	ZARIADENIA NA AUTOMATICKÚ ORIENTÁCIU.....	205
6.16	PRIEMYSELNÉ ROBOTY A MANIPULÁTORY.....	207
6.17	TECHNOLOGICKÉ JEDNOTKY, NÁSTROJE A NÁRADIE.....	209
6.18	SNÍMAČE A RIADIACE SYSTÉMY.....	211



ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

KAPITOLA 1 AŽ 4.....	214
KAPITOLA 5 a 6.....	222
PRÍLOHA.....	228
Záver.....	246
Obsah.....	247

## EDÍCIA VYSOKOŠKOLSKÝCH SKRÍPT

---

Autori: Ing. Štefan Václav, PhD.,  
Ing. Katarína Senderská,  
Ing. Martin Benovič,

Názov: Technológia montáže CAA  
Technology Assembly and Computer Aided Assembly

Miesto vydania: Trnava  
Vydavateľ: AlumniPress  
Rok vydania: 2011  
Vydanie: prvé  
Rozsah : 249 strán  
Edičné číslo: 1/AP/2011

ISBN 978-80-8096-141-1  
EAN 9788080961411

zverejnené na <https://is.stuba.sk>