

KATEDRA ZA
MENEĐMENT
OBDELOVALNIH
TEHNOLOGIJ

Univerza v Ljubljani
Fakulteta *za strojništvo*



Katedra za strojne elemente
in razvojna vrednotenja

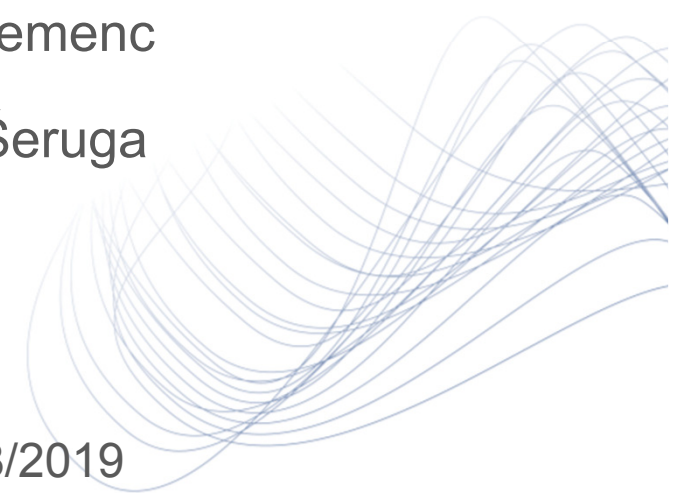
PROIZVODNI PROCESI

Konstruiranje za tehnoložnost

prof. dr. Jernej Klemenc

doc. dr. Domen Šeruga

Študijsko leto 2018/2019



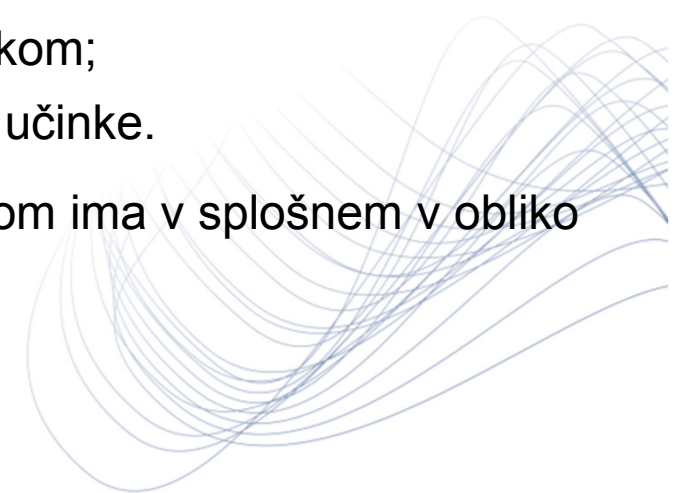


Idealnost izdelka

- Idealnost izdelka:

$$idealnost_izdelka = \frac{\textit{želeni_učinki}}{\textit{stroški + neželeni_učinki}}$$

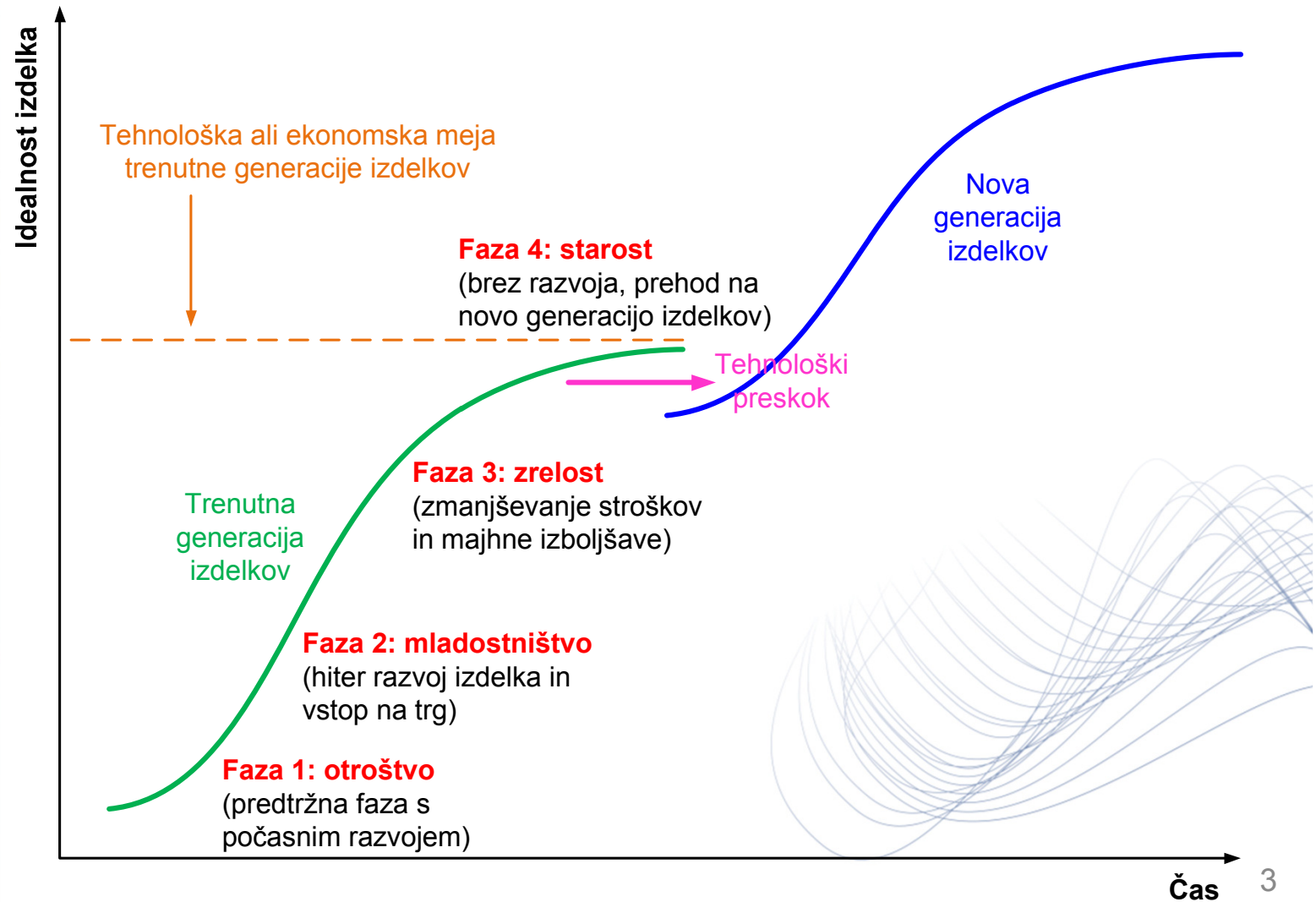
- Cilj razvoja izdelka z vsemi vključenimi aktivnostmi je doseči čim večjo idealnost izdelka.
- To je v skladu z zgornjo enačbo mogoče narediti na tri osnovne načine:
 - Izboljšati (povečati) zelene učinke;
 - Zmanjšati stroške v zvezi z izdelkom;
 - Zmanjšati (odstraniti?) neželene učinke.
- Krivulja rasti idealnosti izdelka s časom ima v splošnem v obliko črke S.





Idealnost izdelka

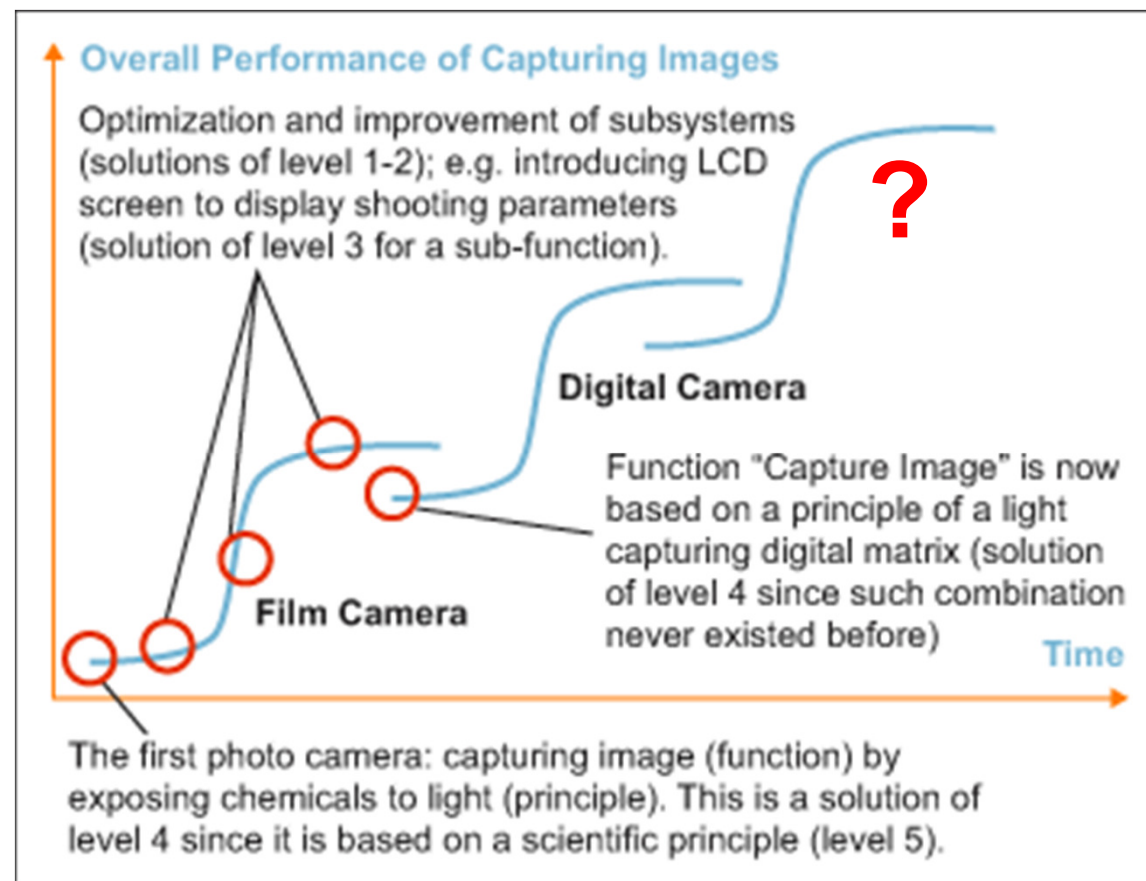
- S-krivulja rasti idealnosti izdelka:





Idealnost izdelka

- Konkretni primer S-krivulje rasti idealnosti izdelka (razvoj naprav za fotografiranje):



Vir: <https://triz-journal.com/differentiating-among-the-five-levels-of-solutions/>



Izdelki s funkcijo nosilnosti

- Pri veliki večini izdelkov, ki nimajo zgolj estetskega namena, je funkcija nosilnosti ena najpomembnejših lastnosti, ki jih v razvoju izdelka moramo zagotoviti, da ima izdelek uporabno vrednost.
- Funkcija nosilnosti pomeni, da se izdelek ne poruši, deformira ali izgubi kakšne druge lastnosti, v primeru obremenitev, ki sledijo iz uporabe izdelka.
- Primeri izdelkov s funkcijo nosilnosti:
 - Električno stikalo: osnovna funkcija je vklop/izklop električnih porabnikov; vendar se zaradi varnosti uporabnika tipka stikala ne sme porušiti v primeru udarne uporabe stikala.



Vir: www.tem.si



Vir: www.tripadvisor.co.uk



Izdelki s funkcijo nosilnosti

- Primeri izdelkov s funkcijo nosilnosti (nadaljevanje):
 - Osebno vozilo: osnovna funkcija osebnega vozila je prevoz potnikov in prtljage med dvema točkama. Vendar se zaradi varnosti uporabnika v primeru trka kabina vozila ne sme bistveno deformirati. Poleg tega mora vozilo zaradi zadovoljstva kupca imeti ustrezno dobo trajanja.



Vir: www.standard.net.au



Vir: www.gettyimages.com

- Mobilni telefon: osnovna funkcija mobilnega telefona je zagotavljanje avdio-vizualne komunikacije med ljudmi; vendar mora mobilnih zaradi zadovoljstva uporabnika imeti ustrezno odpornost na udarce in obrabo.



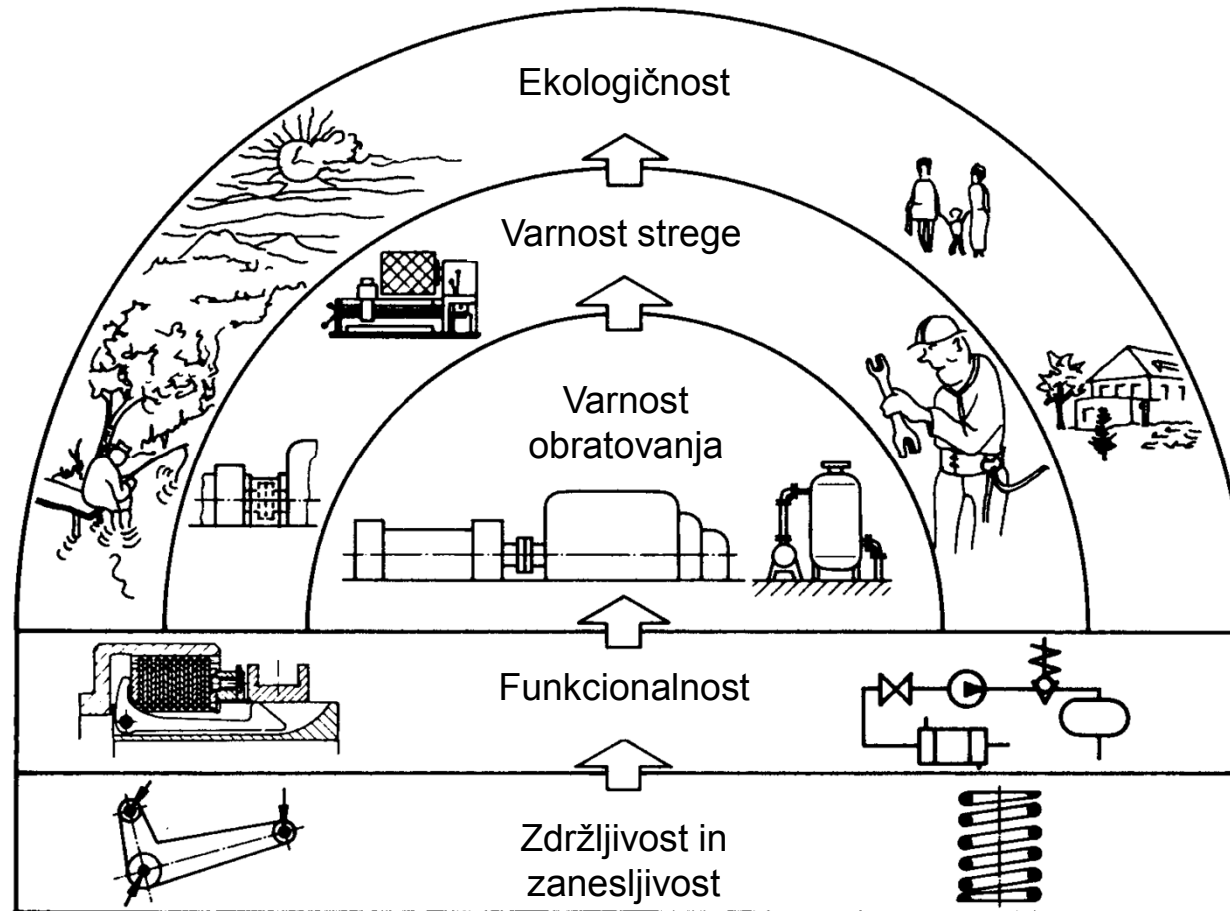
Izdelki s funkcijo nosilnosti

- Izdelki s funkcijo nosilnosti morajo biti oblikovani tako, da prenašajo obremenitve, ki nanje delujejo med uporabo.
- Izdelek lahko prenaša obremenitev v eni, dveh ali treh dimenzijah:
 - Prenos obremenitve v eni dimenziji: osna bremenitev palice; upogib in/ali vzvoj (torzija) nosilca.
 - Prenos obremenitve v dveh dimenzijah: osna obremenitev stene; prečna (upogibna) obremenitev plošče; membranska, upogibna in/ali vzvojna obremenitev lupine.
 - Prenos obremenitve v treh dimenzijah: hidrostatična obremenitev potopljenega telesa; centrifugalni pospešek krožečega telesa itn.
- Zunanja oblika izdelka je pogosto posledica obremenitve, ki jo mora izdelek prenašati. Vzrok za to je inženirski pristop k oblikovanju oziroma konstruiranju izdelkov.



Izdelki s funkcijo nosilnosti

- Inženirski pogled na konstruiranje izdelkov:



Vir: Pahl, Beitz: Konstruktionslehre. Springer Verlag, 2003.



Izdelki s funkcijo nosilnosti - konstruiranje

- Pri konstruiranju izdelkov s funkcijo nosilnosti gre v veliki večini primerov za reševanje dveh vrst nasprotij:
 - Tehniško nasprotje;
 - Fizikalno nasprotje;
- Tehniško nasprotje pomeni, da izboljšanje enega tehniškega parametra vodi k poslabšanju drugega tehniškega parametra.
- Matrika tehniških nasprotij iz nabora TRIZ konstrukcijskih postopkov kaže, kako je mogoče z uporabo 40 abstraktnih inovacijskih principov rešiti tehniška nasprotja med tehniškimi parametri.
- Pri tem je seveda potrebno konkretni problem prevesti na abstraktno raven, da lahko iščemo rešitve s pomočjo matrike nasprotij.
- Orodje za abstrakcijo konkretnega problema in konkretizacijo abstraktne rešitve se imenuje piramida TRIZ-a.

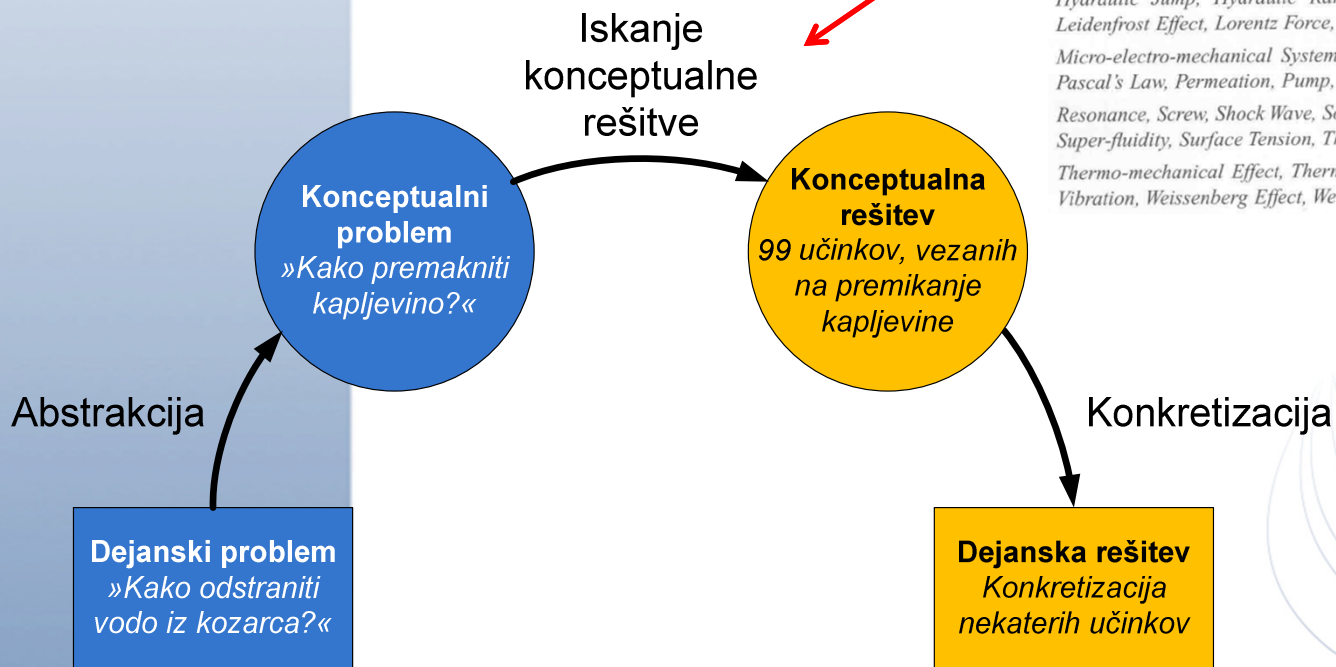


Izdelki s funkcijo nosilnosti - konstruiranje

- Piramida TRIZ-a s primerom:

99 znanstvenih učinkov za "premikanje kapljevine"
(povzeto po: Gadd K.: *TRIZ for Engineers*.
John Wiley and Sons, 2011, str. 33-34):

Absorption (physical), Acoustic Cavitation, Acoustic Vibration, Adsorption, Aerosol, Anti-bubble, Archimedes Screw, Archimedes' Principle (Buoyancy), Barus Effect, Bernoulli Effect, Boiling, Brownian Motion, Brownian Motor, Capillary Action, Capillary Condensation, Capillary Evaporation, Capillary Porous Material, Capillary Pressure, Capillary Wave Effect, Cavitation, Centrifugal Force, Chromatography, Coanda Effect, Condensation, Converse Piezoelectric Effect, Coriolis Force, Coulomb's Law, Cyclone Separation, Desiccant Material, Desiccation, Diamagnetism, Diffusion, Displacement, Distillation, Elasticity, Electric Field, Electrohydrodynamics, Electrolysis, Electro-osmosis, Electrophoresis, Electrostatic Induction, Electro-wetting, Evaporation, Explosion, Ferro-fluid, Ferromagnetism, Fluid Hammer, Foam, Foil (fluid mechanics), Forced Convection, Free Convection, Funnel Effect, Gravitation, Gravitational Convection (non heat), Hydraulic Jump, Hydraulic Ram, Inertia, Injector, Ionic Exchange, Jet Flow, Kaye Effect, Leidenfrost Effect, Lorentz Force, Magnetostriction, Marangoni Effect, Mechanocaloric Effect, Micro-electro-mechanical Systems, Mixed Convection, Nuclear Fission, Onnes Effect, Osmosis, Pascal's Law, Permeation, Pump, Ranque Effect, Rayleigh-Bénard Convection, Resonance, Screw, Shock Wave, Solvation, Sorption, Super Thermal Conductivity, Super-cavitation, Super-fluidity, Surface Tension, Thermal Expansion, Thermo-capillary Effect, Thermo-mechanical Effect, Thermo-phoresis, Turbulence, Ultrasonic Capillary Effect, Ultrasonic Vibration, Weissenberg Effect, Wetting, Wind





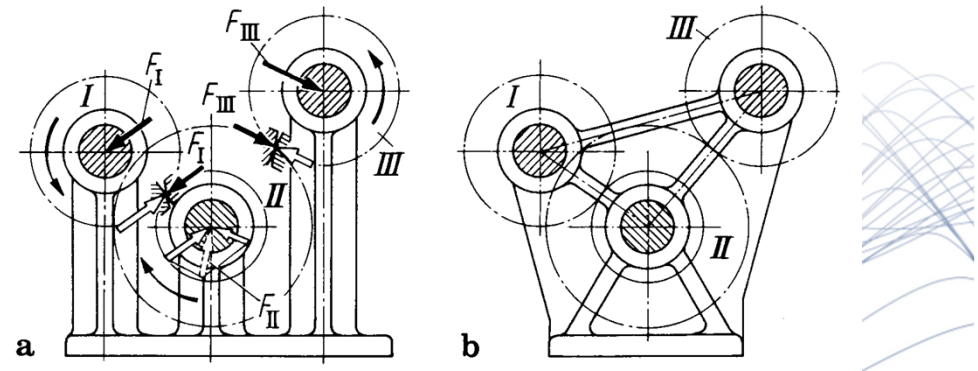
Izdelki s funkcijo nosilnosti - konstruiranje

- Fizikalno nasprotje pomeni, da izdelek ali tehniški sistem ne more imeti različne oblike ali funkcije ob istem času na istem mestu.
- V praksi si namreč pogosto želimo funkcij izdelka, ki si nasprotujejo v fizikalnem smislu.
- Primer fizikalnega nasprotja: če želimo okretno letalo, ki je sposobno leteti tudi z nizko hitrostjo, mora imeti letalo krila čim bolj pravokotna na trup; če naj bo to isto letalo tudi zelo hitro, mora imeti krila v obliki puščice.
- Principi reševanja fizikalnih nasprotij:
 - Ločitev v času: ena rešitev pri enem času, druga rešitev pri drugem času.
 - Ločitev v prostoru: ena rešitev na enem kraju, druga rešitev na drugem kraju.
 - Ločitev ob pogoju: različne rešitve na istem kraju ob istem času, ampak ob drugačnih pogojih.
 - Ločitev s sistemom: ločitev na hierarhičnem nivoju.



Izdelki s funkcijo nosilnosti - konstruiranje

- Ne glede na konstrukcijski problem, ki ga rešujemo, vedno (če je le mogoče) skušamo oblikovati izdelke tako, da je prenos obremenitve enoličen in čim bolj direkten.
- Enoličnost in direktnost prenosa obremenitve poenostavi trdnostno analizo izdelkov s funkcijo nosilnosti.
- Z upoštevanjem tega principa načeloma izboljšamo zanesljivost tehniških sistemov, ker se zmanjša možnost pojava nepredvidenih situacij med obratovanjem s stališča nosilnosti.



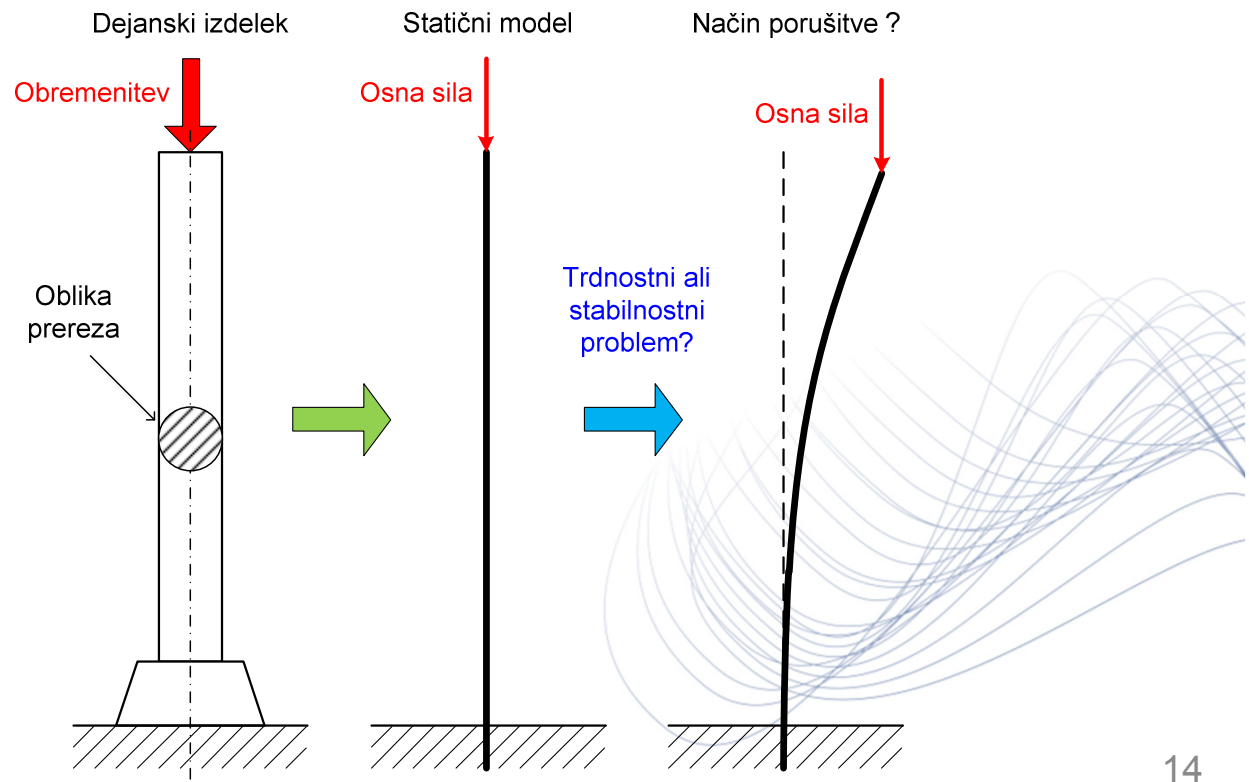
Vir: Steinhilper, Sauer:
Konstruktionselemente des
maschinenbaus – 8. Auflage.
Springer Vieweg, 2012

Bild 3. Lagerabstützung eines zweistufigen offenen Getriebes nach Leyer. **a** extrem falsch, lange Kraftleitungswege, hohe Biegeanteile, schlechte Gußgestaltung; **b** gute Lösung, Lagerkräfte direkt im Verbund aufgenommen, steife Abstützung mit vorwiegender Zug- und Druckbeanspruchung



Izdelki s funkcijo nosilnosti – osna sila

- Če ima izdelek podolgovato obliko in je obremenjen z natezno ali tlačno silo, tedaj je vsak del prečnega prereza izdelka obremenjen z enako napetostjo (t.j. silo na enoto površine).
- Oblika prereza in dejanska izvedba izdelka pa je odvisna od smeri delovanja sile (nateg ali tlak).





Izdelki s funkcijo nosilnosti – osna sila

- Če je takšen izdelek obremenjen z natezno silo, je zaradi izkoristka materiala in stroškov izdelave najprimernejši polni prerez.
- Če je ustrezna vrednost natezne sile vedno zagotovljena, se natezno silo lahko prenaša tudi preko vrvi, jeklenic ali kablov:



Vir: www.quora.com



Vir: www.asce.org

- Tipični primer nateznega nosilnega elementa z jeklenico so tudi žičniške naprave na smučiščih:
 - Različne izvedbe žičniških naprav so tudi posledica različnih konstrukcijskih rešitev za prenašanje obremenitev.
 - Prenos obremenitev je lahko enovit, ali deljen.



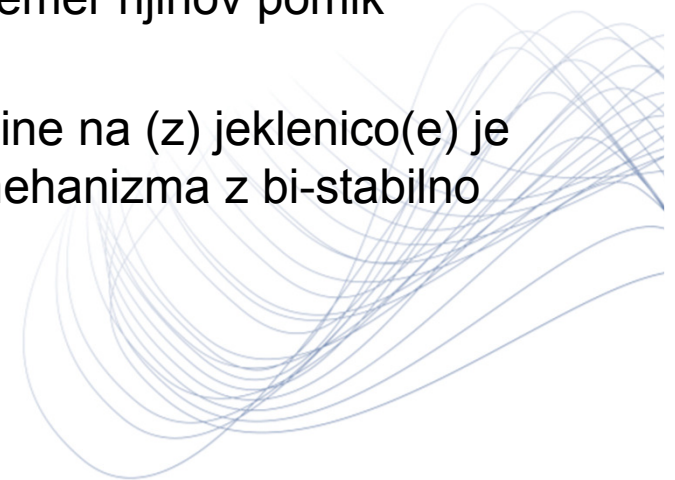
Izdelki s funkcijo nosilnosti – osna sila

- V primeru tlačne sile, se pri dolgih in vitkih nosilnih elementih lahko pojavi problem stabilnosti – uklon konstrukcijskega elementa.
- V primeru uklona gre za upogib konstrukcijskega elementa, zato so v tem primeru s stališča lahke gradnje najprimernejše votle oblike prereзов z velikim odporom proti upogibu.
- V splošnem gre pri uklonu konstrukcijskih elementov za stabilnostni, ne trdnostni problem.
- V primeru stabilnostnih problemov se pogosto lahko pojavi več stabilnostnih položajev konstrukcijskih elementov. Dejanski stabilni položaj je tako odvisen od obremenitve in načina uporabe.
- Primer uporabe principa stabilnosti za reševanje fizikalnega nasprotja pri hitrih žičniških napravah:
 - želja je imeti hiter transport potnikov, a dovolj časa za njihovo vkrcanje;



Izdelki s funkcijo nosilnosti – osna sila

- Primer uporabe principa stabilnosti za reševanje fizikalnega nasprotja pri hitrih žičniških napravah:
 - želja je imeti hiter transport potnikov, ki pa morajo imeti dovolj časa za vkrcanje;
 - fizikalno nasprotje je, da s stalnim priklopom sedežev ali kabine na vlečno vrv tega ni mogoče izvesti;
 - tehniška rešitev tega fizikalnega nasprotja je ločitev v času;
 - med transportom so sedeži ali kabina priključeni na hitro potujočo jeklenico, pri vkrcanju in izkrcanju pa se sedeže ali kabino odklopi od jeklenice, pri čemer njihov pomik prevzame alternativni pogon;
 - Priklop in odklop sedežev ali kabine na (z) jeklenico(e) je izveden s pomočjo vzmetnega mehanizma z bi-stabilno lego.





Izdelki s funkcijo nosilnosti – osna sila

- Primer bi-stabilnega priklonnega mehanizma na sedežnicah in gondolskih žičnicah:



Vir: www.es.123RF.com

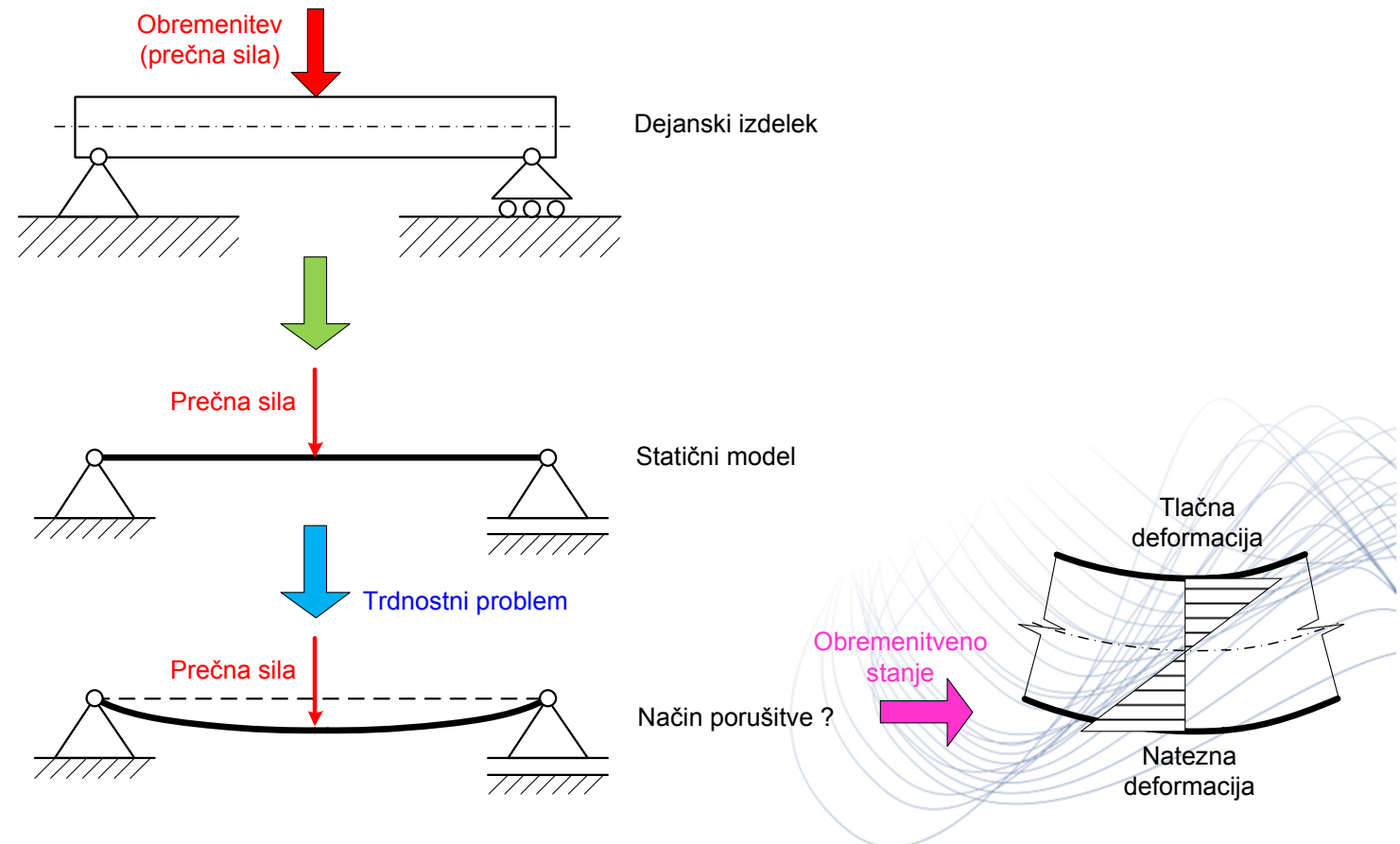


Vir: www.es.123RF.com



Izdelki s funkcijo nosilnosti – upogib

- Če je podolgovato telo med podporami obremenjeno s silo ali navorom, ki deluje v prečni smeri na vzdolžno os nosilca, se v takšnem izdelku pojavijo upogibne deformacije.





Izdelki s funkcijo nosilnosti – upogib

- Da preprečimo porušitev pri upogibno obremenjenih elementih, je potrebno material zagotoviti na mestih največjih deformacij, ker le-ta sovpadajo z mestom največjih obremenitev (napetosti) v materialu.
- Zadostna količina materiala na pravem mestu nosilnega prereza namreč znatno poveča odpornost konstrukcije na upogibne obremenitve.
- Zaradi tega so najprimernejši konstrukcijski elementi za prenašanje upogibnih obremenitev prerezi, ki imajo največ materiala na zunanjih mejah nosilnega prereza.
- Za upogib v eni ravnini so najprimernejši pokončno postavljeni I profili.
- Za upogib v dveh ravninah (in za preprečevanje uklona pri tlačno obremenjenih osnih elementih) so najprimernejše oblike prerezov škatlasti zaključeni prerezi.



Izdelki s funkcijo nosilnosti – upogib

- Primerjava vztrajnostnih momentov prereza $I_{\ddot{a}q}$ (ki definirajo odpornost konstrukcijskega elementa proti uklonu) za različne oblike prerezov z enako velikostjo površine prereza:

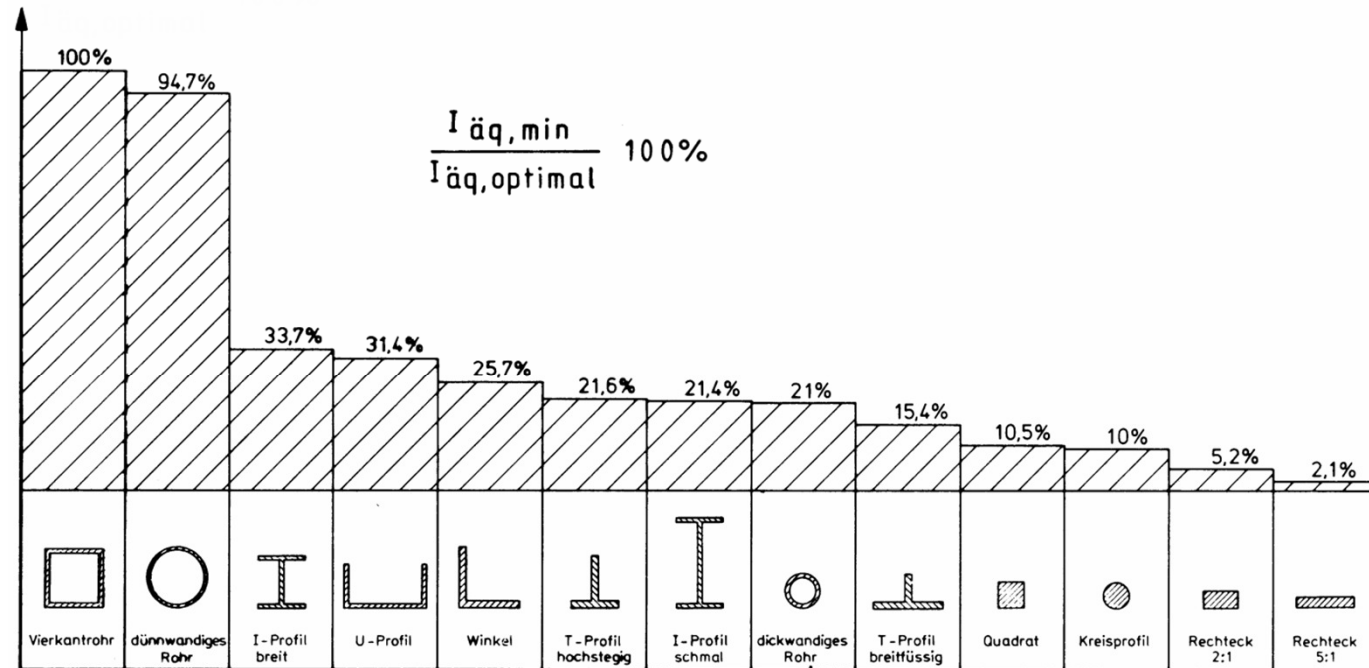


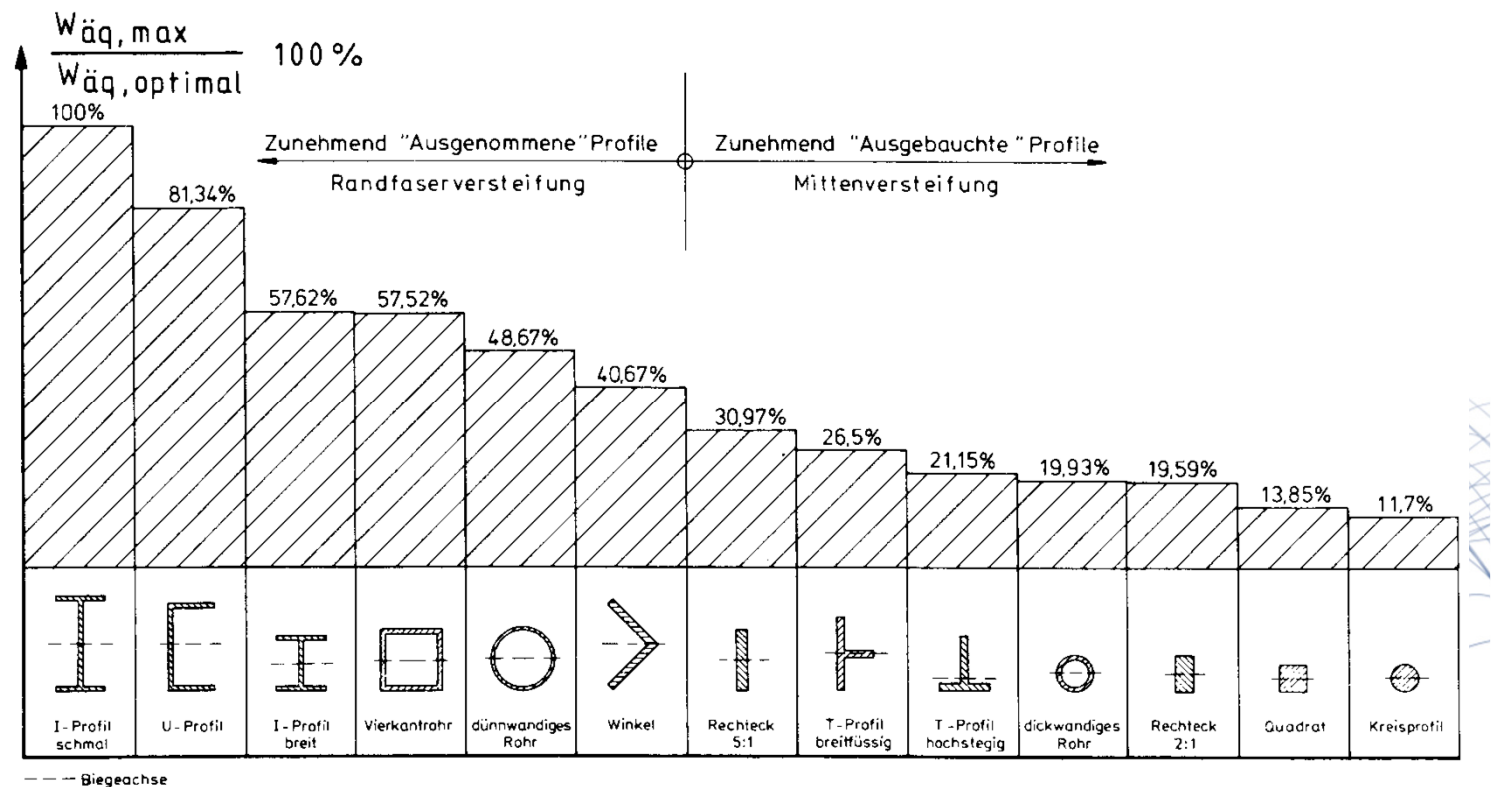
Bild 4.13. Relative Flächenträgheitsmomente gegen Biegung („relative Biegesteife“) für unterschiedliche Querschnittsformen mit gleicher Fläche

Vir: Steinhilper, Sauer: Konstruktionselemente des maschinenbaus – 8. Auflage. Springer Vieweg, 2012.



Izdelki s funkcijo nosilnosti – upogib

- Primerjava odpornostnih momentov prereza $W_{\ddot{a}q}$ (ki definirajo odpornost konstrukcijskega elementa proti upogibu zaradi prečne sile ali navora) za različne oblike prerezov z enako velikostjo površine prereza:

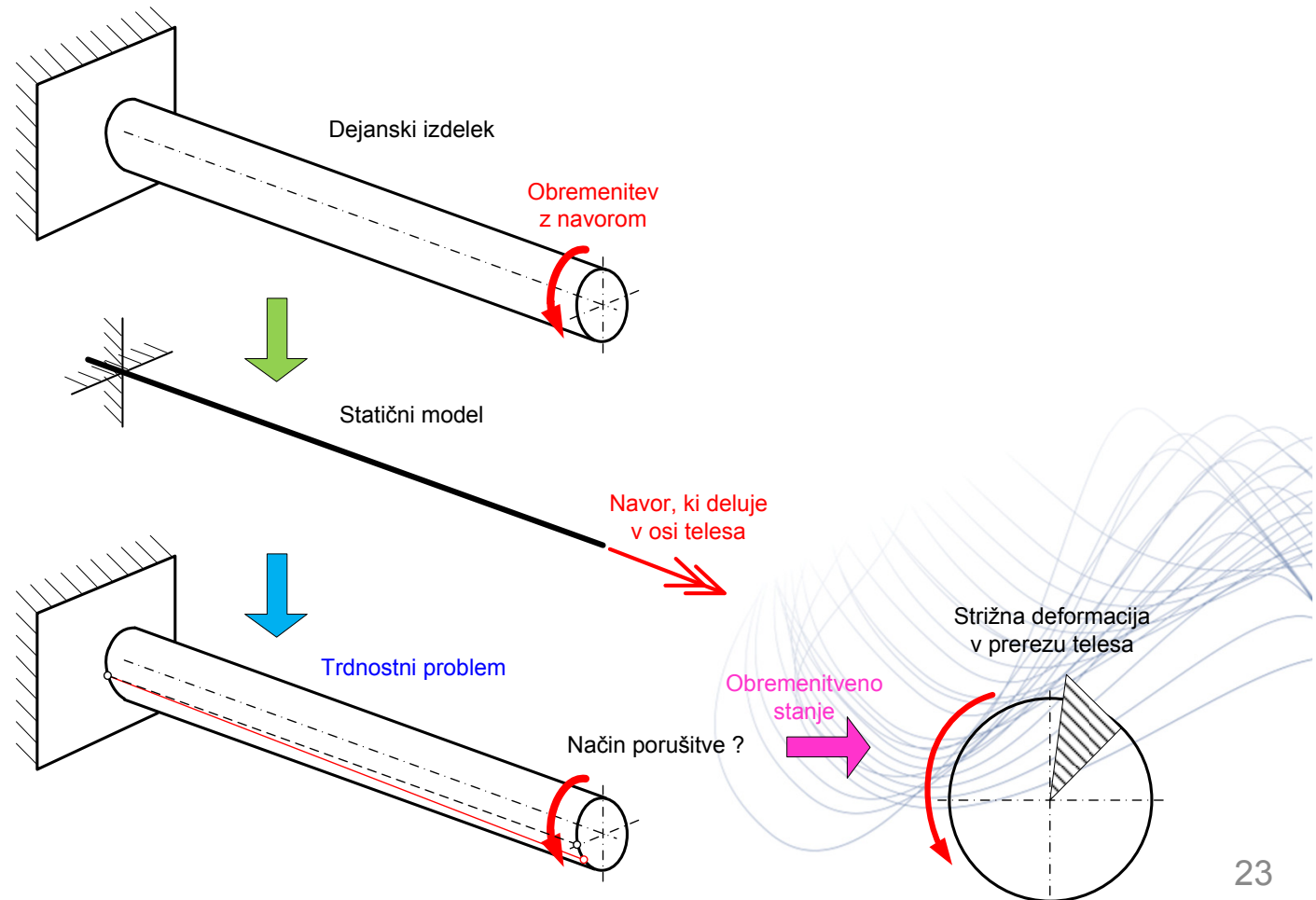


Vir: Steinhilper, Sauer: Konstruktionselemente des maschinenbaus – 8. Auflage. Springer Vieweg, 2012.



Izdelki s funkcijo nosilnosti – vzvoj

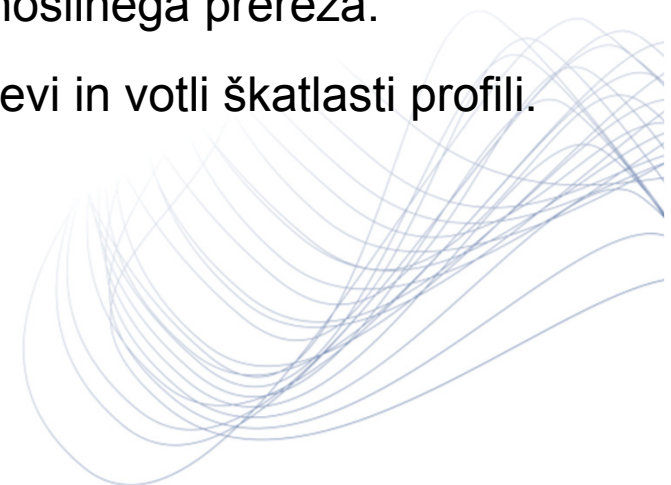
- Če je podolgovato telo obremenjeno z navorom, ki suka telo okoli vzdolžne osi nosilca, se v njem pojavijo strižne (vzvojne) deformacije v prerezu, ki je pravokoten na vzdolžno os telesa:





Izdelki s funkcijo nosilnosti – vzvoj

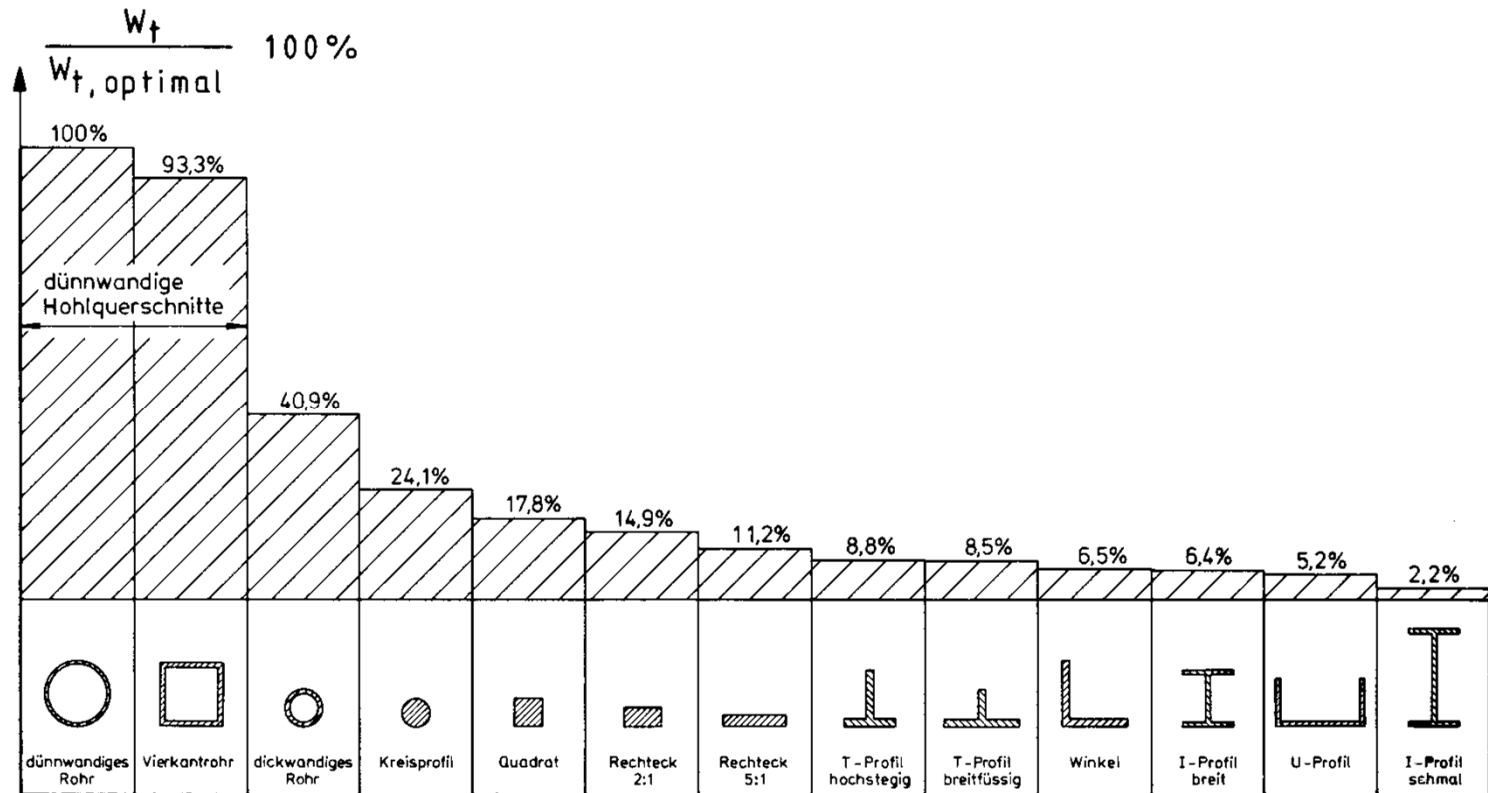
- Da preprečimo porušitev pri vzvojno obremenjenih elementih, je potrebno material zagotoviti na mestih največjih strižnih deformacij, ker le-ta sovpadajo z mestom največjih obremenitev (napetosti) v materialu.
- Podobno kot pri upogibnih obremenitvah zadostna količina materiala na pravem mestu nosilnega prereza znatno poveča odpornost konstrukcije na vzvojne obremenitve.
- Zaradi tega so najprimernejši konstrukcijski elementi za prenašanje vzvojnih obremenitev zaključeni votli prerezi, ki imajo največ materiala na zunanjih mejah nosilnega prereza.
- Primer takšnih prerezov so okrogle cevi in votli škatlasti profili.





Izdelki s funkcijo nosilnosti – vzvoj

- Primerjava torzijskih odpornostnih momentov prereza W_t (ki definirajo odpornost konstrukcijskega elementa proti vzvoju zaradi osno delujočega navora) za različne oblike prerezov z enako velikostjo površine prereza:



Vir: Steinhilper, Sauer: Konstruktionselemente des maschinenbaus – 8. Auflage. Springer Vieweg, 2012.



Izdelki s funkcijo nosilnosti – 2D elementi

- Dvo-dimenzionalni (2D) konstrukcijski elementi imajo dve dimenziji znatno večji od tretje dimenzije, ki navadno predstavlja debelino elementa.
- Obremenitvena stanja, ki se lahko pojavijo v 2D konstrukcijskih elementih (stene, plošče, lupine) so podobna, kot pri podolgovatih elementih:
 - osna natezna ali tlačna obremenitev;
 - upogibna obremenitev;
 - strižna obremenitev.
- Tudi v tem primeru lahko pride zaradi tlačnih deformacij do stabilnostnega problema (izbočitev sten ali lupin).
- 2D konstrukcijske elemente zato pogosto ojačimo s podpornimi rebri, ki bodisi povečajo odpornost konstrukcijskih elementov proti lokalnim izbočitvam, bodisi omogočijo prenašanje upogibnih in strižnih obremenitev pri manjši masi izdelka.

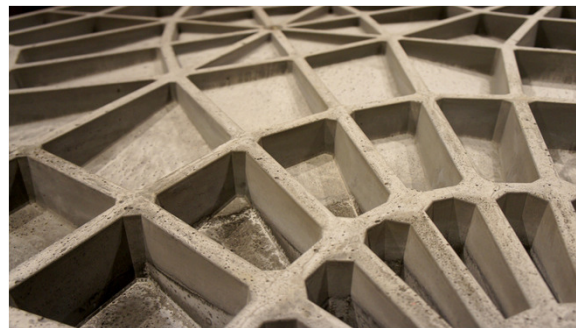


Izdelki s funkcijo nosilnosti – 2D elementi

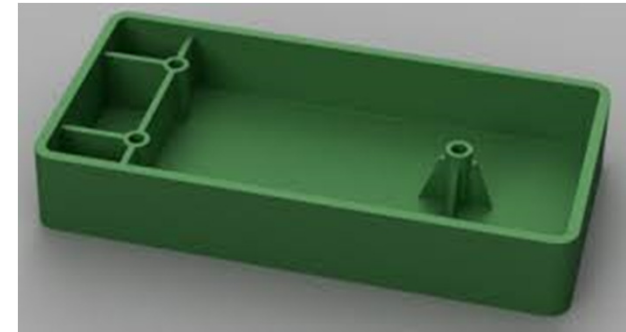
- Primeri ojačitvenih reber za 2D konstrukcijske elemente:



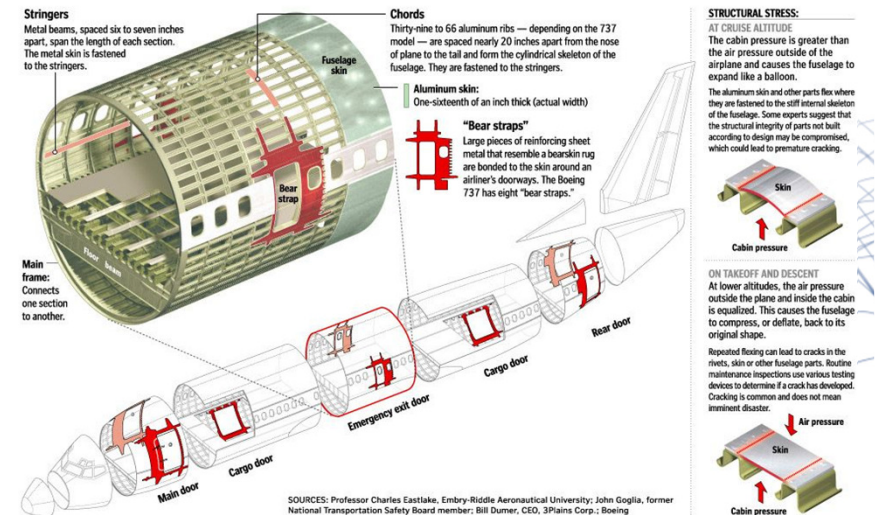
Vir: www.algorithmicbotany.org



Vir: www.block.arch.ethz.ch



Vir: www.fictiv.com



Vir: www.pinterest.com



Izdelki s funkcijo nosilnosti – 3D elementi

- Tri-dimenzionalni (3D) konstrukcijski elementi imajo podobno velike dimenzije v vseh (treh) smereh.
- Obremenitvena stanja, ki se lahko pojavijo v 3D konstrukcijskih elementih so bolj splošna:
 - osna natezna ali tlačna obremenitev;
 - strižna obremenitev.
- Ker so 3D telesa navadno polna telesa, v splošnem niso posebej učinkovita za prenašanje večjih obremenitev, če je zahtevana sorazmerno nizka masa izdelka.
- Nizka masa izdelka namreč direktno vpliva na ekološko primernost izdelka:
 - nizki izpusti toplogrednih plinov pri izdelavi in montaži izdelka;
 - nizki izpusti toplogrednih plinov pri transportu izdelka;
 - nizki izpusti toplogrednih plinov pri uporabi izdelka.

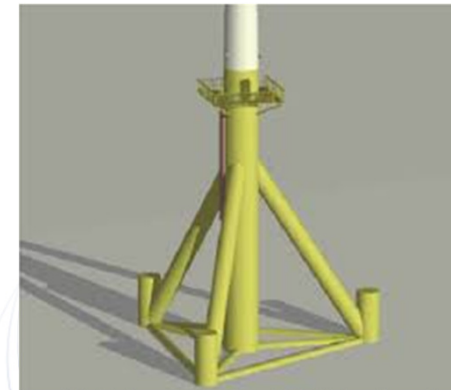


Izdelki s funkcijo nosilnosti – 3D elementi

- Zaradi prej opisanih razlogov pri razvoju izdelkov stremimo k temu, da tudi izdelke, ki imajo podobne velikosti dimenzij v vseh treh smereh oblikujemo na enega izmed naslednjih treh načinov:
 - kot kombinacijo enakih ali različnih podolgovatih konstrukcijskih elementov;
 - kot kombinacijo enakih ali različnih 2D konstrukcijskih elementov;
 - kot kombinacijo različnih podolgovatih in 2D konstrukcijskih elementov.



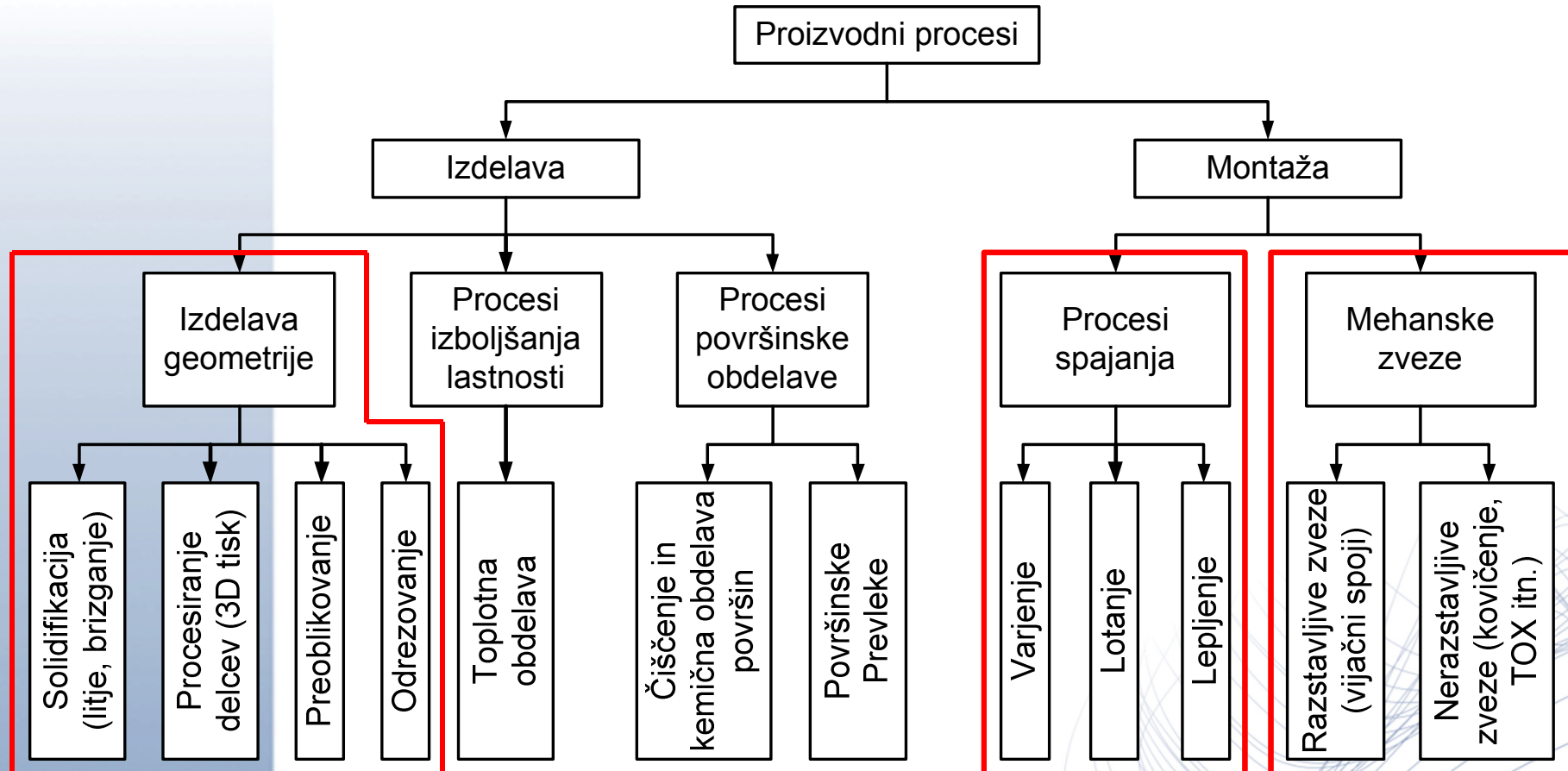
Vir: www.entrainmentjunction.com



Vir: Ashuri, Zaayer. Review of design concepts, methods and considerations of offshore wind turbines, 2007. URL=
www.researchgate.net



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije





Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – ulitki in brizgani izdelki

- S stališča porabe in odpadka materialov sta za velikoserijsko proizvodnjo najučinkovitejši tehnologiji litja (kovine) in brizganja (plastični materiali).
- Pravila oblikovanja, ki naj bi jih sledili pri obeh proizvodnih tehnologijah so naslednja:
 - uporaba enostavnih oblik;
 - izdelek naj bo oblikovan tako, da ga je mogoče vzeti iz orodja (če je le mogoče, naj bo orodje le dvodelno);
 - luknje v stenah pomenijo dodatna livna jedra (kovine) ali stranske pogone orodja (plastični materiali);
 - debelina sten naj bo čim bolj konstantna;
 - izogibati se je treba kopičenju materiala (stik reber s steno?);
 - večje zaokrožitve na prehodih geometrije;
 - upoštevanje livarskih/brizgalnih naklonov;
 - Izogibanje navznoter obrnjenih robov.



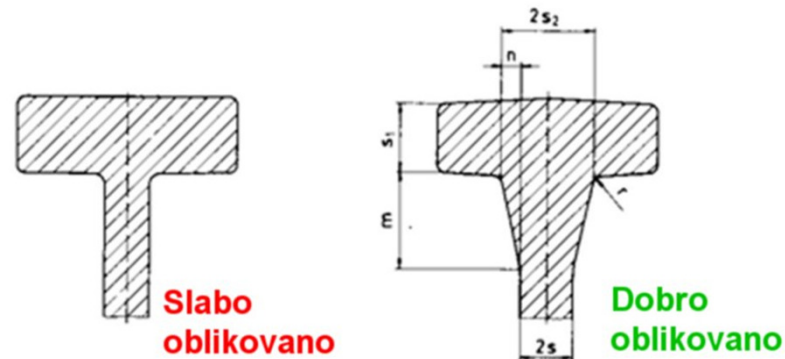
Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – ulitki in brizgani izdelki

- Minimalne debeline sten:
 - Siva litina, nodularna litina, temprana litina: $t > 3$ mm (peščena forma).
 - Aluminijske zlitine: $t > 3,5$ mm (peščena forma); $t > 3$ mm (litje v kokilo); $t > 0,8-3$ mm (tlačno litje).
- Dosegljiva natančnost:
 - Siva litina, nodularna litina, temprana litina: 1 mm (peščena forma).
 - Aluminijske zlitine: 0,8 mm (peščena forma); 0,2-0,3 mm (litje v kokilo); 0,03-0,1 mm (tlačno litje).
- Ekonomsko upravičeno minimalno število kosov:
 - Litje v kokilo: 200.
 - Tlačno litje: 500.
- Velikost serije pogojuje kompleksnost in zdržljivost orodja.
- Zaostale napetosti pogosto rezultirajo v izkrivljenem izdelku.



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – ulitki in brizgani izdelki

- Zunanja in notranja stena pri ulitkih ne smeta biti vzporedni, ampak je treba upoštevati pozitivne livarske naklone zato, da je ulitek mogoče odstraniti iz forme:



Vir: Steinhilper, Sauer:
Konstruktionselemente des
maschinenbaus – 8. Auflage.
Springer Vieweg, 2012.

- Vogale ulitkov in priključke reber je potrebno primerno oblikovati, da ne pride do prevelike debeline stene zaradi nevarnosti pojava lunkejev:

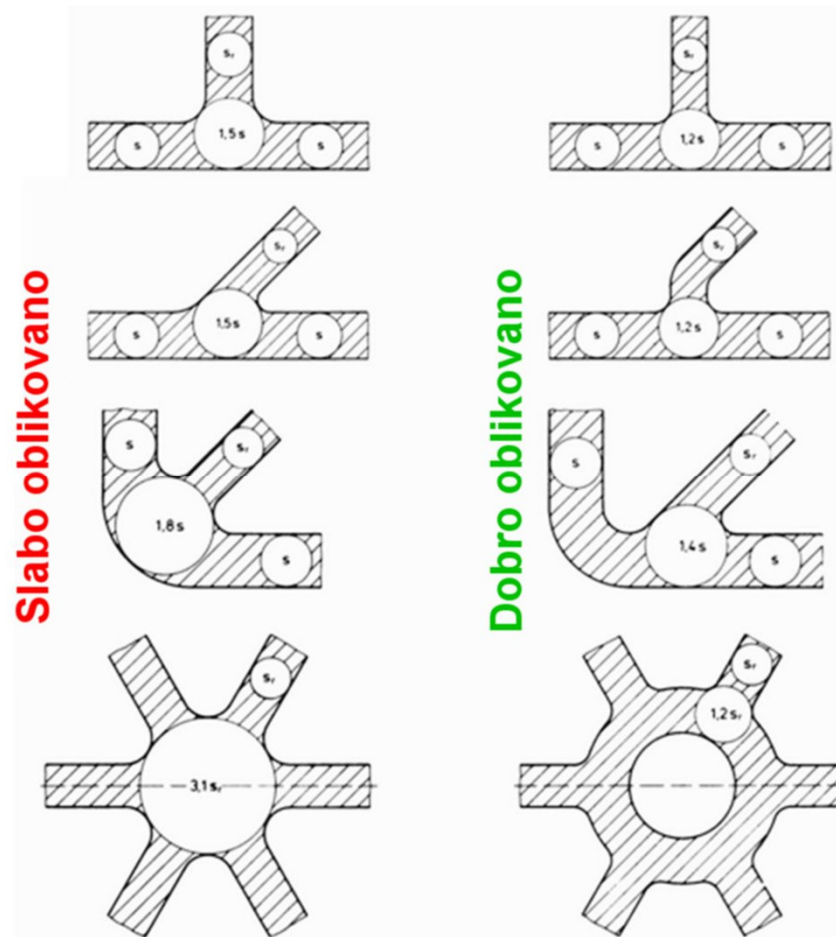


Vir: Steinhilper, Sauer:
Konstruktionselemente des
maschinenbaus – 8. Auflage.
Springer Vieweg, 2012.



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – ulitki in brizgani izdelki

- Kontrola debeline stene na geometrijskih prehodih:



Vir: Steinhilper, Sauer: Konstruktionselemente des
maschinenbaus – 8. Auflage. Springer Vieweg, 2012.



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – ulitki in brizgani izdelki

- Primeri dobrih in slabih oblikovnih rešitev:

Slabo oblikovano	Dobro oblikovano

Vir: Steinhilper, Sauer:
Konstruktionselemente des
maschinenbaus – 8. Auflage.
Springer Vieweg, 2012.



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – 3D tiskani izdelki (dodajne tehnologije)

- Dodajne tehnologije (3D tiskanje izdelkov) so trenutno najhitreje razvijajoče se področje proizvodnih tehnologij.
- Dodajne tehnologije omogočajo direktno izdelavo poljubne geometrije izdelka na osnovi 3D modela izdelka v računalniku.
- 3D tisk je že tehnologija sedanosti.
- Z dodajnimi tehnologijami je mogoče izdelovati kovinske, keramične ali plastične izdelka.
- Surovina je lahko v obliki praška (kovine) ali filamenta (plastični materiali).
- Tehnologije temeljijo na osnovi pretaljevanja, sintranja (kovine) ali lepljenja.
- Uporaba dodajnih tehnologij:
 - Za hitro prototipiranje;
 - Za izdelavo maloserijskih sestavnih delov in rezervnih delov.



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – 3D tiskani izdelki (dodajne tehnologije)

- Obstoječe in obetajoče tehnologije za 3D tisk:
 - Združevanje materiala v prašni kadi (ang. Powder bed fusion - PBF);
 - Modeliranje z odlaganjem stopljenega filameta (ang. Fused deposition modelling - FDM);
 - Direktno odlaganje stopljenega praškastega materiala (ang. Direct energy deposition - DED);
 - Foto-polimerizacija v kadi (ang. Vat photopolymerisation - VP);
 - Odlaganje curka materiala z naknadnim ciljnim strjevanjem brez trdilca (ang. Material jetting - MJ);
 - Modeliranje z odlaganjem po plasteh (ang. Laminated object manufacturing - LOM);
 - Odlaganje curka materiala z naknadnim ciljnim strjevanjem s trdilcem (ang. Binder jetting - BJ).
- Tabele in slike različnih dodajnih tehnologij so povzete po viru: *Gonzales D.S., Alvarez A.G.: Additive manufacturing feasibility study & technology demonstration. EDA AM State of the art & strategic report, EDA, 2018.*



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – 3D tiskani izdelki (dodajne tehnologije)

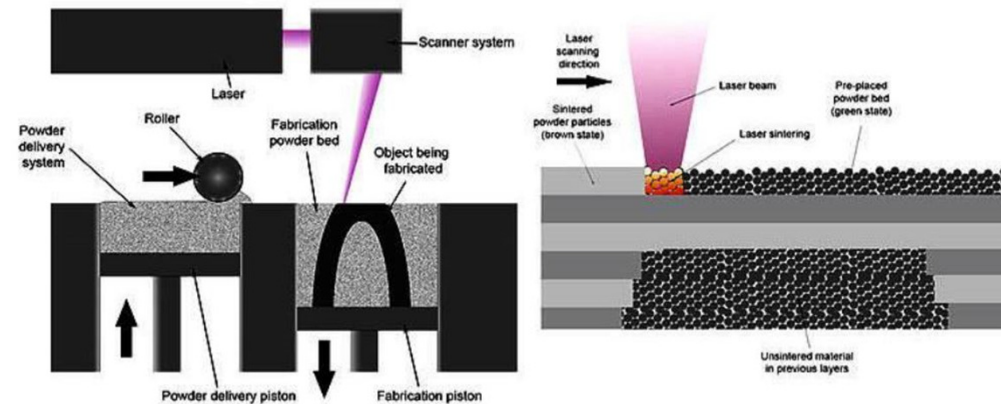
- Združevanje materiala v prašni kadi – PBF (Gonzales in Alvarez):

Technology group	Specific technology	Basic concept	Materials	Applications	Pros	Cons	Capabilities of representative machines
Powder Bed Fusion - PBF	Selective Laser Sintering (SLS)	A laser sinters the powder material layer by layer until creating finished 3D objects	- Polyamides - Polystyrenes - Thermoplastic elastomers	- Rapid prototyping - Customized products - Series of small products - Lightweight objects	- Highly detailed, strong and moderately large plastics parts - No support structures required - Moderate unused material recycling rate	- Rugged surface finish - Curvature of large parts	Example AM machine Min. layer thickness: 0.06 mm Building volume: 700 x 380 x 580 mm Standard accuracy: ± 0.2 mm
	Direct Metal Laser Sintering (DMLS)	A laser sinters the metal powder material layer by layer and creates a 3D metal object	- Inconel - Aluminium - Stainless steel - Titanium	- Medical implants and prostheses - Functional prototyping - Aerospace industry parts	- Functional and highly detailed, strong and large metal parts - High unused material recycling rate	- Great thermal stress - Requires strong support structures - Requires post-treatments	Example AM machine Min. layer thickness: 0.02 mm Building volume: 800 x 400 x 500 mm Standard accuracy: ± 0.2 mm
	Selective Laser Melting (SLM)	A laser fully melts the metal powder layer by layer and creates the final product	- Titanium - Cobalt chrome - Aluminium - Stainless steel - Nickel alloys	- Aerospace industry - Medical implants - Prototyping	- Functional and highly detailed, strong and large metal parts - Lower thermal tensions than DMLS	- Considerable thermal stress - Requires strong support structures - Requires post-production treatment	Example AM machine Min. layer thickness: 0.02 mm Building volume: 500 x 280 x 365 mm Standard accuracy: ± 0.2 mm
	Electron Beam Melting (EBM)	The metal powder layers are melted using an electron beam until the 3D object is manufactured	- Titanium alloys - Cobalt chrome - Nickel- based alloys	- Prototyping - Customized implants - Small series parts	- Functional and strong metal parts - Lower energy consumption compared with other powder-based techniques - More uniformity in the application of heat to the material	- Considerable thermal stress - Requires strong support structures - Requires post-production treatment - Lower scalability and production rate than other powder-based techs	Example AM machine Min. layer thickness: 0.05 mm Building volume: 200 x 200 x 380 mm Standard accuracy: ± 0.2 mm
	Multi-Jet Fusion (MJF)	Selected material of the powder bed layer is fused where a fusing agent is applied	- Nylon	- Rapid prototyping - Short- run production - Some functional components	- Functional and strong metal parts	- An emerging technology - Some characteristics are inferior to other sintering/melting processes	Example AM machine Min. layer thickness: 0.07 mm Building volume: 380 x 284 x 350 mm Standard accuracy: ± 0.2 mm



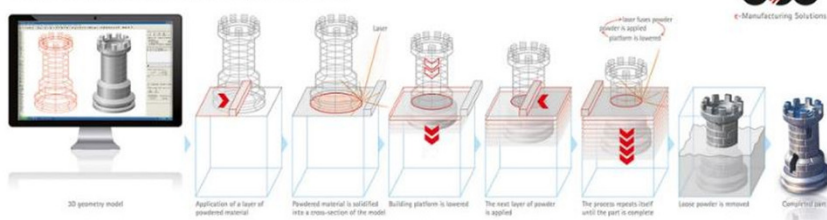
Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – 3D tiskani izdelki (dodajne tehnologije)

- Združevanje materiala v prašni kadi – PBF (Gonzales in Alvarez):



SLS Technology Operating Principle (Image by Materialgeezza under Creative Commons CC BY-SA 3.0 licence, via Wikimedia Commons)

General functional principle of laser-sintering

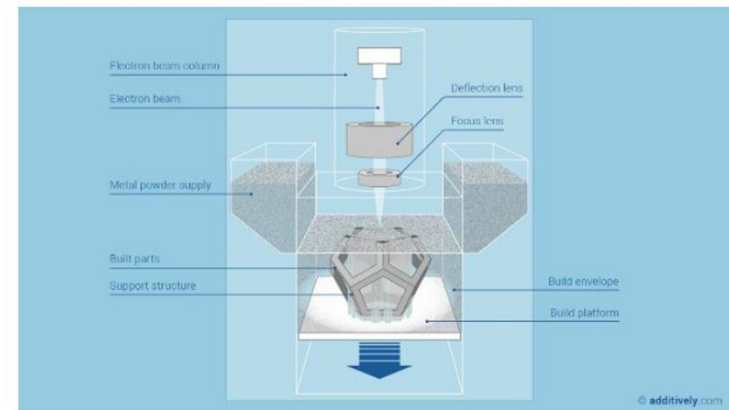
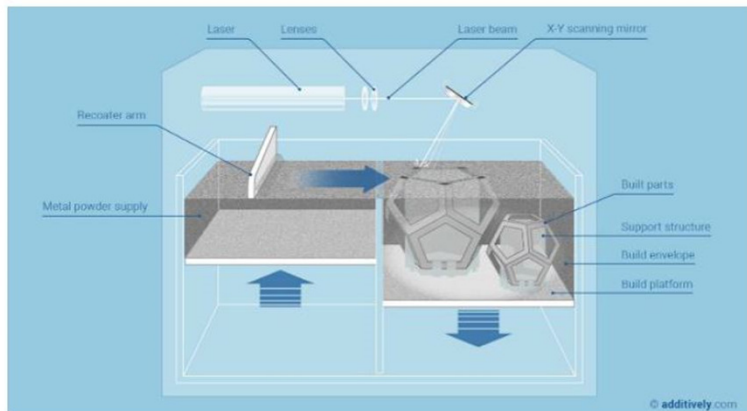


DMLS technology Operating Principle (image courtesy of EOS GmbH Electro Optical Systems)



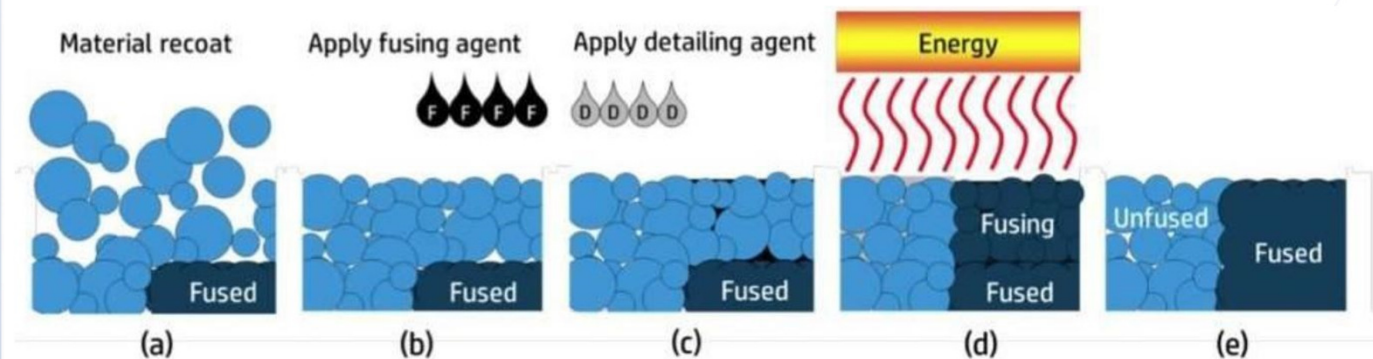
Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – 3D tiskani izdelki (dodajne tehnologije)

- Združevanje materiala v prašni kadi – PBF (Gonzales in Alvarez):



SLM Technology Operating Principle (image courtesy of www.additively.com)

EBM Technology Operating Principle (image courtesy of www.additively.com)



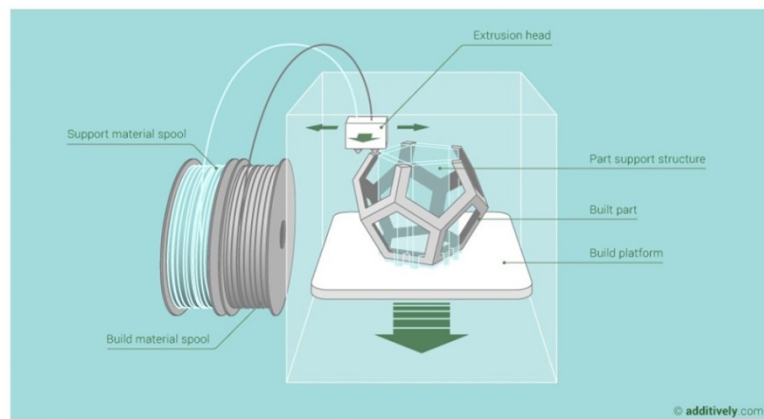
MJF Technology Operating Principle (image courtesy of HP Inc. via 3DPrint.com)



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – 3D tiskani izdelki (dodajne tehnologije)

- Modeliranje z odlaganjem stopljenega filameta – FDM (Gonzales in Alvarez):

Technology group	Specific technology	Basic concept	Materials	Applications	Pros	Cons	Capabilities of representative machines
Deposition Modelling	Fused Deposition Modelling (FDM)	Consecutive layers of melted plastic are extruded through a nozzle and deposited to create the final object	<ul style="list-style-type: none"> - ABS - Polycarbonate - Polystyrene - Polyamide - Polylactic acid 	<ul style="list-style-type: none"> - Rapid prototyping - Rapid manufacturing for short runs 	<ul style="list-style-type: none"> - Simple technology - Availability of a wide range of plastic materials - Suitable for some functional parts that are not going to suffer from mechanical stresses 	<ul style="list-style-type: none"> - Produced parts present anisotropy in the Z axis, with poor resistance to pulling tensions perpendicular to the layer's direction - Poor surface finish and tolerances - Requires support structures to prevent drooping 	Example AM machine Min. layer thickness: 0.178 mm Building volume: 914 x 610 x 914 mm Standard accuracy: ± 0.15 mm



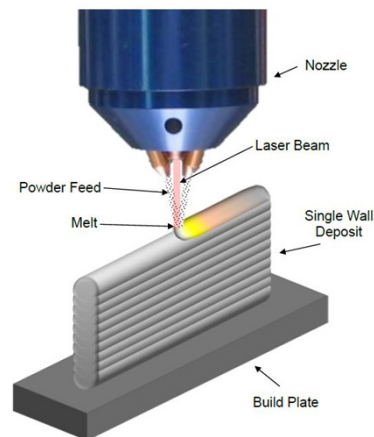
FDM Technology Operating Principle (image courtesy of www.additively.com)



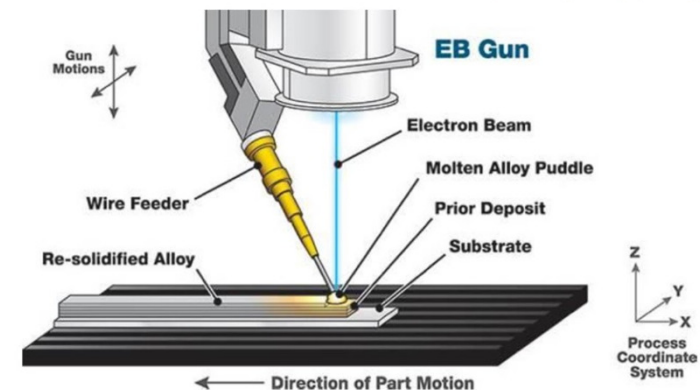
Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – 3D tiskani izdelki (dodajne tehnologije)

- Direktno odlaganje stopljenega praškastega materiala – DED (Gonzales in Alvarez):

Technology group	Specific technology	Basic concept	Materials	Applications	Pros	Cons	Capabilities of representative machines
Direct Energy Deposition	Laser Engineered Net Shape (LENS)	Metal powder is deposited then melted by laser generating the product layer by layer	- Stainless steel - Cobalt alloys - Nickel alloys - Titanium alloys	- Prototyping - Repairs - Short run manufacturing	- Best suited technology for repair or customization of large existing parts	- Poor surface finish and tolerances	Example AM machine Min. layer thickness: 0.025 mm Building volume: 900 x 1500 x 900 mm Standard accuracy: ± 0.25 mm
	Electron Beam Additive Manufacturing (EBAM)	An electron beam creates a molten puddle into which metal material is directly introduced, solidifying and conforming the layer	- Titanium - Tantalum - Stainless steel - Nickel-based alloys - Copper nickel alloys	- Repairs - Rapid prototyping - Medical implants - Short run manufacturing	- Best suited technology for repair or customization of large existing parts	- Poor surface finish and tolerances	Example AM machine Min. layer thickness: 0.1 mm Building volume: 5790 x 1220 x 1220 mm Standard accuracy: ± 0.05 mm



LENS Technology Operating Principle (image courtesy of RPM Innovations Inc.)



EBAM technology Operating Principle (image courtesy of Sciaky, Inc.)



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – 3D tiskani izdelki (dodajne tehnologije)

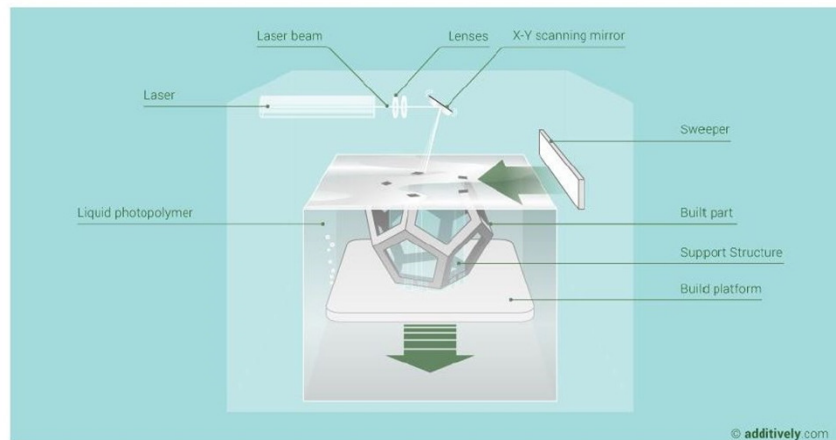
- Foto-polimerizacija v kadi – VP (Gonzales in Alvarez):

Technology group	Specific technology	Basic concept	Materials	Applications	Pros	Cons	Capabilities of representative machines
Vat Photopolymerisation	Stereolithography (SLA)	Successive layers of polymers are formed using an ultraviolet laser that solidifies a liquid resin	- Photopolymer resins	- High detail prototyping - Medical models - Industry models	- Suitable for detailed and realistic resin models - Variety of material properties including rigid, flexible, rubber-like, opaque, translucent and transparent - Easy removal of non-cured material	- Raw materials are sensitive to UV light - Not well suited for functional parts unless non-critical ones - Slower than other vat photopolymerization technologies	Example AM machine Min. layer thickness: 0.025 mm Building volume: 1500 x 750 x 500 mm Standard accuracy: ± 0.15 mm
	Digital Light Processing (DLP)	Successive layers of polymers are formed using a projector light that simultaneously solidifies an entire layer the liquid resin	- Photopolymer resins	- Prototyping - Patterns for injection moulding	- Suitable for detailed and realistic resin models - Variety of material properties including rigid, flexible, rubber-like, opaque, translucent and transparent - Faster than stereolithography - Easy removal of non-cured material	- Raw materials are sensitive to UV light - Currently less volume for production capacity than stereolithography - Not well suited for functional parts unless non-critical ones	Example AM machine Min. layer thickness: 0.05 mm Building volume: 260 x 160 x 190 mm Standard accuracy: ± 0.15 mm
	Continuous Digital Light Processing (CDLP)	A UV digital light projector solidifies a photopolymer resin solidify onto a platform that is continuously elevating	- Photopolymer resins	- High resolution prototyping - Customized medical devices	- Suitable for detailed and realistic resin models - Variety of material properties including rigid, flexible, rubber-like, opaque, translucent and transparent - Faster than other vat photopolymerization processes - Easy removal of non-cured material	- Raw materials are sensitive to UV light - Currently less volume for production capacity than stereolithography - Not well suited for functional parts unless non-critical ones	Example AM machine Min. layer thickness: (Pixels) 0.075 mm Building volume: 190 x 115 x 325 mm Standard accuracy: ± 0.05 mm

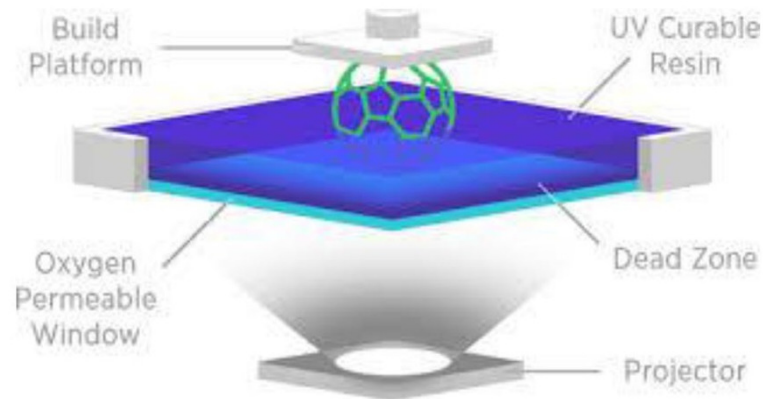


Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – 3D tiskani izdelki (dodajne tehnologije)

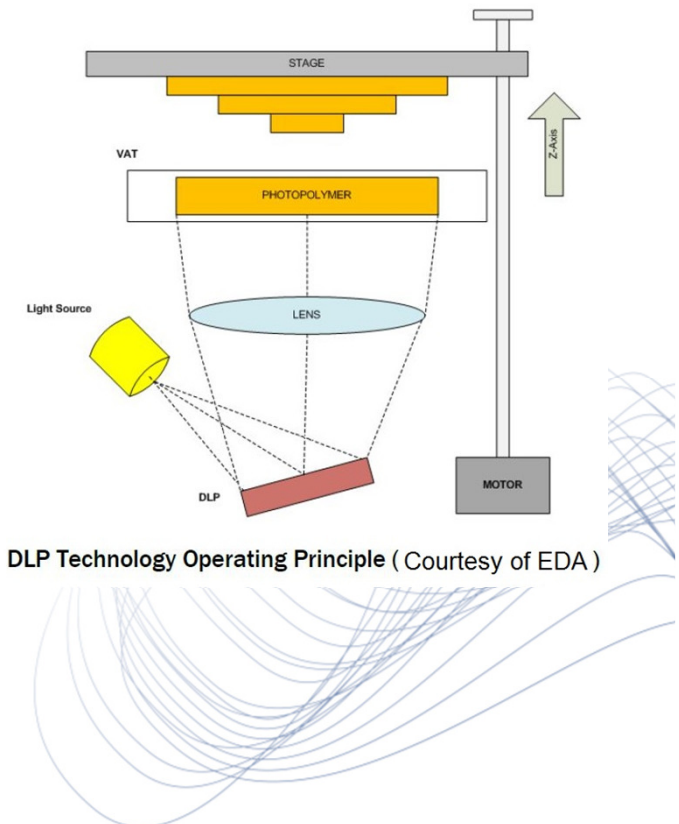
- Foto-polimerizacija v kadi – VP (Gonzales in Alvarez):



SLA Technology Operating Principle (image courtesy of www.additively.com)



CDLP technology Operating Principle (image courtesy of Carbon3D)



DLP Technology Operating Principle (Courtesy of EDA)



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – 3D tiskani izdelki (dodajne tehnologije)

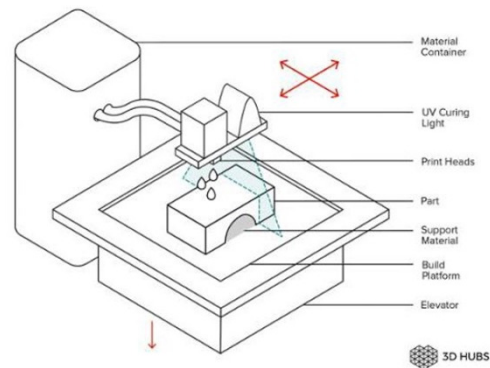
- Odlaganje curka materiala z naknadnim ciljnim strjevanjem brez trdilca – MJ (Gonzales in Alvarez):

Technology group	Specific technology	Basic concept	Materials	Applications	Pros	Cons	Capabilities of representative machines
Material Jetting	Material Jetting (MJ)	A nozzle deposits drops of liquid photopolymer that are solidified layer by layer by UV light to create the product	- Photosensitive resins	- Realistic prototypes - Casting patterns	- Suitable for detailed and realistic resin models - Variety of material properties including rigid, flexible, rubber-like, opaque, translucent and transparent - Different colours in the same part - Ease of handling	- Raw materials are sensitive to UV light - Not well suited for functional parts unless non-critical ones	Example AM machine Min. layer thickness: 0.014 mm Building volume: 490 x 390 x 200mm Standard accuracy: ± 0.025
	Nanoparticle jetting (NJ)	A machine jets a suspension of metal nanoparticles. High heat evaporates the liquid and the remaining metal particles are sintered	- Stainless steel	- High detail metal parts	- Suitable for functional and strong metal parts - Higher accuracy than powder bed fusion metal processes	- An emerging technology	Example AM machine Min. layer thickness: 0.002 mm Building volume: 500 x 250 x 250 mm Standard accuracy: Not available
	Drop on Demand (DoD)	Material droplets are deposited only where required using a nozzle that allows the flow to be interrupted. The material solidifies to form the product	- Wax compound	- Lost-wax casting - Mould making	- High precision technique for moulding and casting	- Practical applications are limited to moulding and casting - Volume of the produced parts is currently limited	Example AM machine Min. layer thickness: 0.007 mm Building volume: 150 x 150 x 50 mm Standard accuracy: ± 0.03 mm

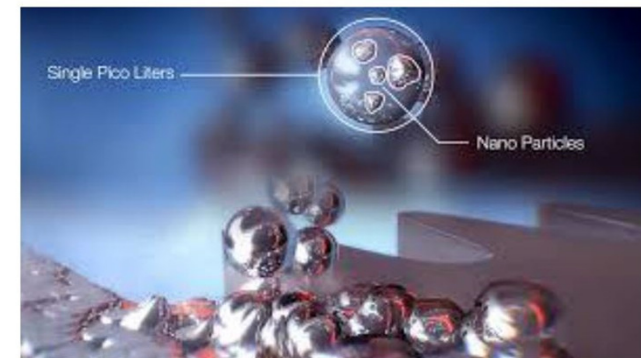


Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – 3D tiskani izdelki (dodajne tehnologije)

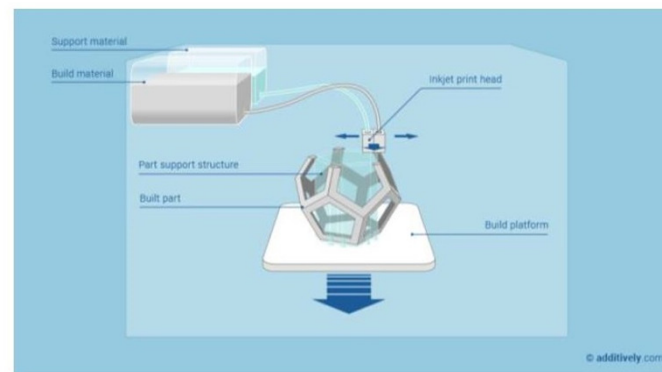
- Odlaganje curka materiala z naknadnim ciljnim strjevanjem brez trdilca – MJ (Gonzales in Alvarez):



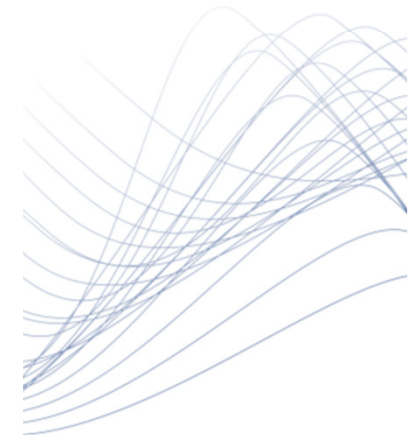
MJ Technology Operating Principle (image courtesy of www.3dhubs.com)



NJ technology Operating Principle (image courtesy of XJet Ltd.)



DoD Technology Operating Principle (image courtesy of www.additively.com)

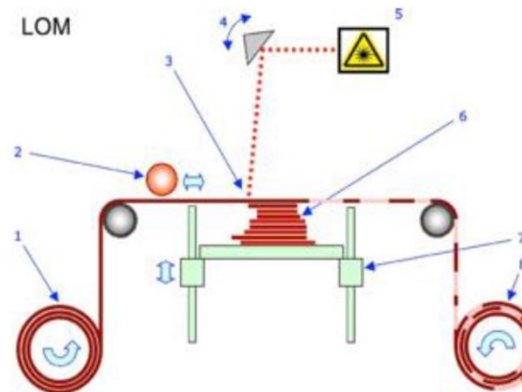




Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – 3D tiskani izdelki (dodajne tehnologije)

- Modeliranje z odlaganjem po plasteh – LOM (Gonzales in Alvarez):

Technology group	Specific technology	Basic concept	Materials	Applications	Pros	Cons	Capabilities of representative machines
Sheet Lamination	Laminated Object Manufacturing (LOM)	Sheets of material are cut in the desired shape with a laser or a blade and glued together to form the 3D object	- Paper - Composites - Plastic	- Large prototyping - Casting patterns	- This technology can manufacture large parts, especially suited for aesthetic purposes	- Not especially suitable for functional or complex parts, unless used with metal sheets (possible, but not typical)	Example AM machine Min. layer thickness: 0.100 mm Building volume: 762 x 610 x 610 mm Standard accuracy: ± 0.10 mm



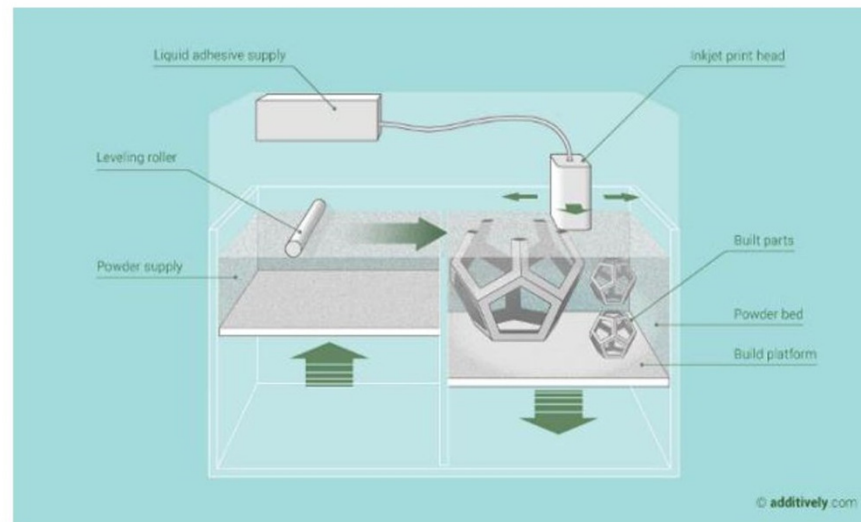
LOM Technology Operating Principle (Image by Laurens van Lieshout under Creative Commons CC BY-SA 3.0 licence, via Wikimedia Commons)



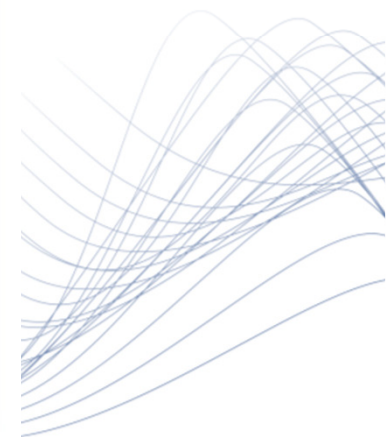
Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – 3D tiskani izdelki (dodajne tehnologije)

- Odlaganje curka materiala z naknadnim ciljnim strjevanjem s trdilcem – BJ (Gonzales in Alvarez):

Technology group	Specific technology	Basic concept	Materials	Applications	Pros	Cons	Capabilities of representative machines
Binder Jetting	Binder Jetting (BJ)	The powder material is bound with a binding agent deposited by a print head onto the successive layers	- Sandstone - Metal - Ceramics	- Models - Prototyping	- Multi-coloured technology for non-functional models	- Not suited for functional parts	Example AM machine Min. layer thickness: 0.09 mm Building volume: 250 x 381 x 200 mm Standard accuracy: ± 0.15 mm



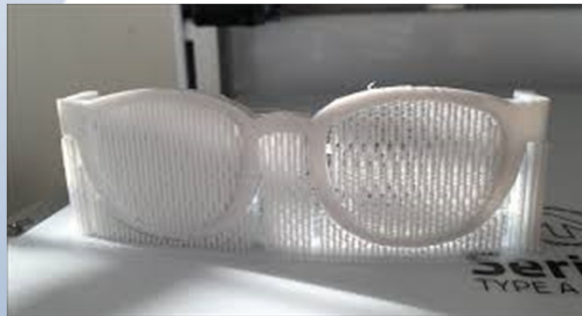
BJ Technology Operating Principle (image courtesy www.additively.com)





Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – 3D tiskani izdelki (dodajne tehnologije)

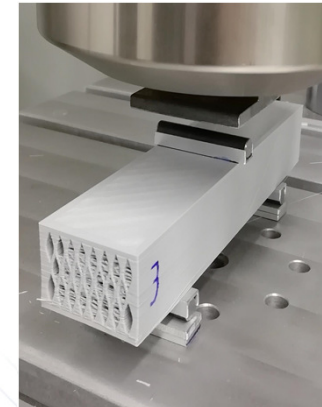
- Problemi, povezani z razvojem (kovinskih) izdelkov za 3D dodajne tehnologije:
 - Podpore za 3D tiskane izdelke zaradi načina izdelave (pretaljevanje, sintranje, lepljene). Za dokončanje izdelka je podpore potrebno odstraniti, razen, če so del izdelka.



Vir: www.medium.com



Vir: www.materialise.com



- Zaostale napetosti v materialu po izdelavi izdelka, ki povzročajo probleme pri postopkih montaže z varjenjem, pri naknadni mehanski obdelavi (sproščanje napetosti deformira geometrijo).
- Problemi, povezani s spajanjem 3D tiskanih izdelkov s konvencionalno izdelanimi elementi v t.i. hibridne strukture.



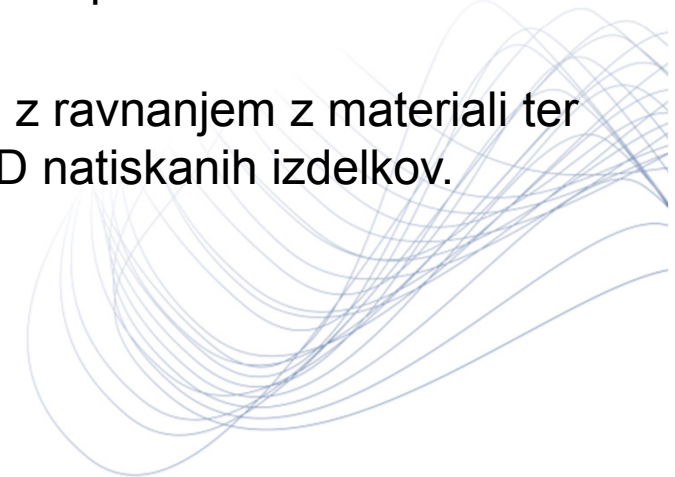
Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – 3D tiskani izdelki (dodajne tehnologije)

- Tehnološke omejitve, povezane z aplikacijo dodatnih tehnologij za serijsko proizvodnjo:
 - Omejena zmogljivost strojev za dodajne tehnologije glede na njihovo prostornino, hitrost, natančnost in kontrolo procesa.
 - Dostopnost surovin (praški, filamenti itn.) za dodajne tehnologije: relativno majhno število primernih materialov, visoka cena v primerjavi z drugimi polizdelki, dobavljivost, problemi, povezani z ravnanjem s temi materiali.
 - Visoki stroški dodatnih tehnologij: nabavni stroški in stroški inštalacije (dodajne tehnologije za kovinske materiale), stroški vzdrževanja, stroški izobraževanja osebja.
 - Omejena velikost serije zaradi: i.) linearnosti tehnologije, ki onemogoča ekonomijo obsega (ni orodja, glavna stroška sta potrošek energije in materiala); ii.) nizke produktivnosti (nekaj 10 cm³/h); iii.) omejene velikosti izdelkov.
 - Problemi, povezani s kvaliteto: znatne zaostale napetosti, poroznost, relativno nizka natančnost, nezadostna ponovljivost.



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – 3D tiskani izdelki (dodajne tehnologije)

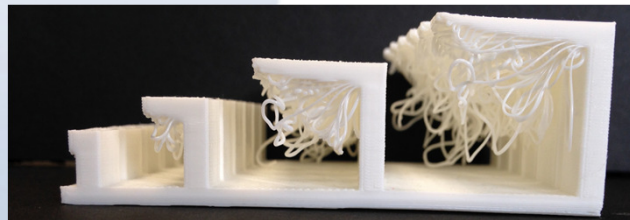
- Netehnološke omejitve, povezane z aplikacijo dodatnih tehnologij za serijsko proizvodnjo:
 - Znanja za ravnanje z opremo in konstruiranje izdelkov za dodajne tehnologije so relativno omejena.
 - Pomanjkljiva standardizacija: i.) za postopke konstruiranja; ii.) eksperimentalno določanje različnih parametrov izdelkov in procesov, povezanih z dodajnimi tehnologijami; iii.) poenotenje opreme; iv.) proizvodne variante/izvedbe.
 - Niso definirani postopki za ravnanje z materiali za dodajne tehnologije, čeprav gre lahko tudi za potencialno nevarne materiale (kovinski praški).
 - Zdravstvena tveganja, povezana z ravnanjem z materiali ter naknadno obdelavo/čiščenjem 3D natiskanih izdelkov.





Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – 3D tiskani izdelki in sintrani izdelki

- Pravila za oblikovanje 3D tiskanih izdelkov so podobna pravilom za oblikovanje sintranih izdelkov:



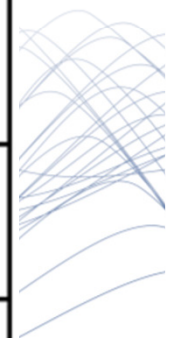
Failed Horizontal Overhangs

Vir: www.tge.readthedocs.io



Vir: www.rigid.ink

Slabo oblikovano	Dobro oblikovano





Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – preoblikovani izdelki

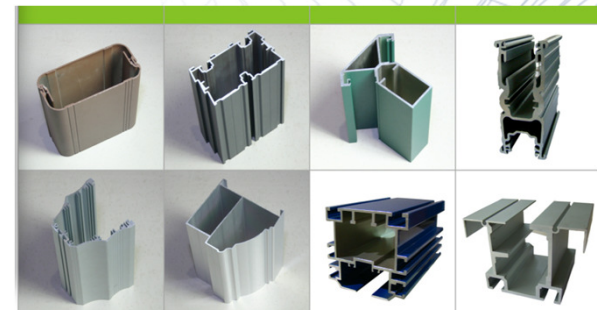
- Preoblikovani izdelki se pogosto uporabljajo za velikoserijske izdelke zaradi boljšega izkoristka materiala v primerjavi s tehnološkimi postopki odrezavanja.
- V posebnih primerih (prosto kovanje) se lahko postopki preoblikovanja uporabljajo tudi za izdelke individualne proizvodnje.
- Tipični tehnološki postopki preoblikovanja so:
 - hladno in vroče kovanje masivnih izdelkov;
 - kovaško valjanje;
 - preoblikovanje pločevine (valjanje, upogibanje, vtiskovanje, globoki vlek itn.);
 - hladno in vroče iztiskavanje izdelkov.



Vir: www.aichi-steel.co.jp



Vir: www.bima-shop.si

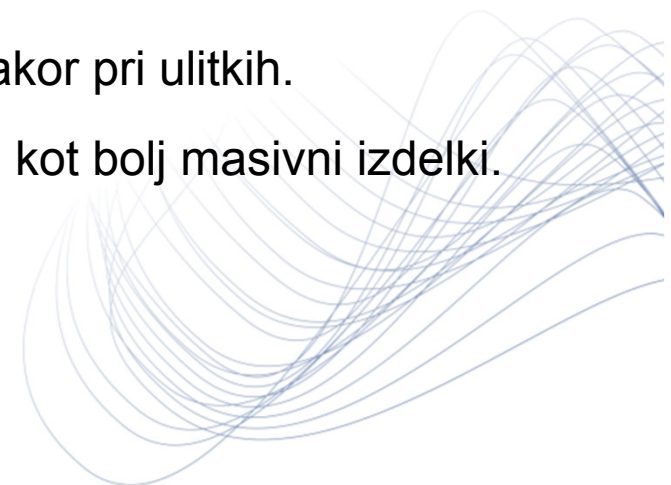


Vir: www.m.si.kx-heatsink.com



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – preoblikovani izdelki (kovanje)

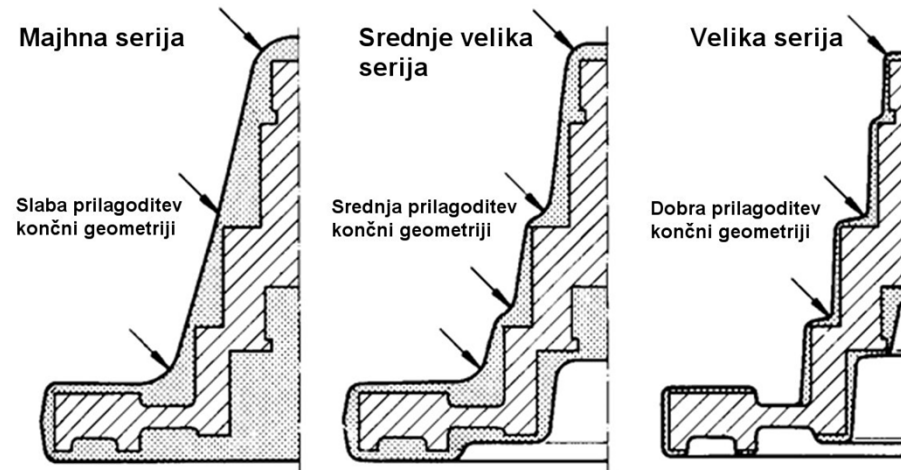
- Kovanje je možno v hladnem ali v toplem.
- Prednosti kovanja:
 - V primerjavi z ulitimi izdelki odkovki v principu nimajo lunke in por.
 - Dober izkoristek materiala.
 - Izboljšanje materialnih lastnosti (npr. višanje zdržljivosti izdelkov v primeru utrujanja).
 - Z dobro prilagoditvijo geometrije se zmanjšajo dodatni stroški za obdelavo.
- Pravila za oblikovanje so podobna kakor pri ulitkih.
- Za kovanje so ugodnejši bolj ploščati kot bolj masivni izdelki.





Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – preoblikovani izdelki (kovanje)

- Ekonomska upravičenost kovanja zapletenih oblik:

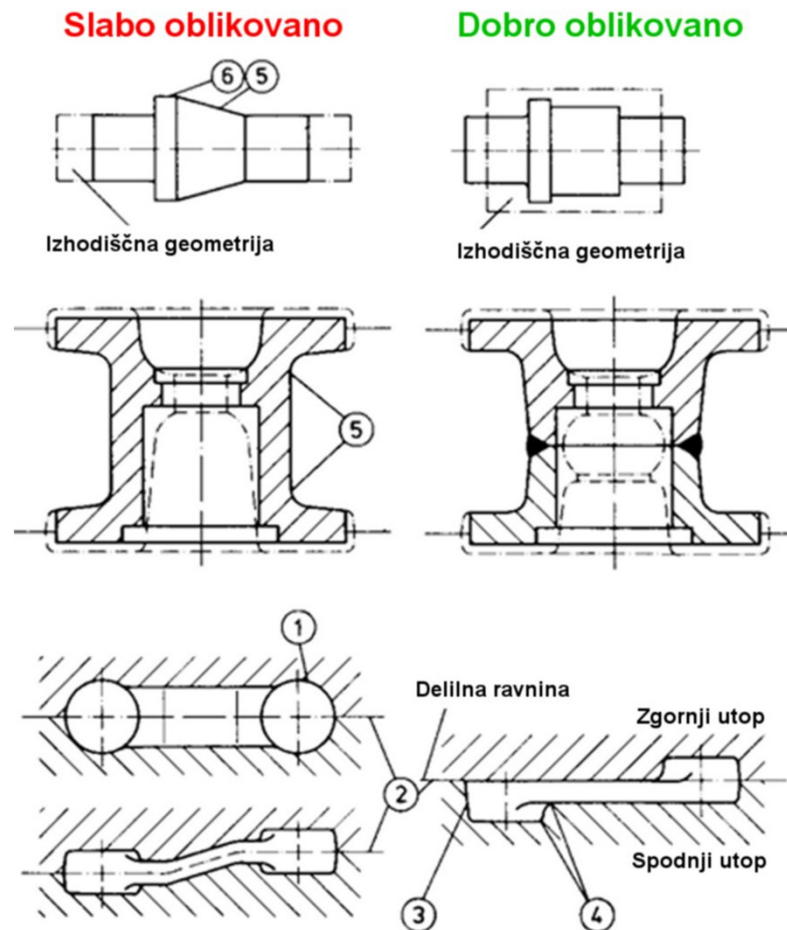


Vir: Steinhilper, Sauer: Konstruktionselemente des
maschinenbaus – 8. Auflage. Springer Vieweg, 2012.



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – preoblikovani izdelki (kovanje)

- Primeri primernih in neprimernih oblik za kovanje:



Vir: Steinhilper, Sauer: Konstruktionselemente des maschinenbaus – 8. Auflage. Springer Vieweg, 2012.



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – preoblikovani izdelki (pločevina)

- Preoblikovanje pločevine je možno v hladnem ali v toplem.
- Prednosti preoblikovanja pločevine:
 - možnost izdelave kompleksnih oblik, še posebej v kombinacijami z različnimi postopki spajanja.
 - z ustreznim oblikovanjem izdelka je mogoče doseči zelo dober izkoristek materiala.
 - z ustrezno prilagoditvijo geometrije se lahko močno zmanjšajo zahteve in stroški za mehansko obdelavo.
- Pri preoblikovanju pločevin je potrebno upoštevati naslednje:
 - izogibati se je treba razvejanih oblik (pol)izdelkov;
 - upoštevati je treba minimalne radije zaokrožitev, ki so odvisni od debeline in trdnosti pločevine;
 - luknje in preboji ne smejo biti na ali blizu vogalov;
 - Izogibati se je treba poševnih kontur na preoblikovanem delu pločevin;
 - vogali škatel morajo biti predhodno ustrezno izrezani;
 - pregib robov mora biti dovolj velik.



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – preoblikovani izdelki (kovanje)

- Primeri primernih in neprimernih oblik za preoblikovanje pločevine:

Slabo oblikovano	Dobro oblikovano

Vir: Steinhilper, Sauer:
Konstruktionselemente des
maschinenbaus – 8. Auflage.
Springer Vieweg, 2012.



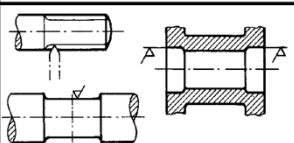
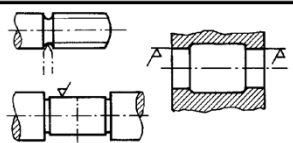
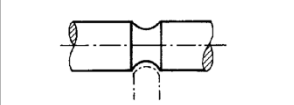
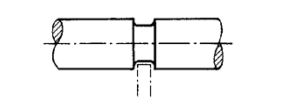
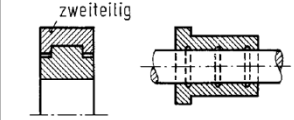
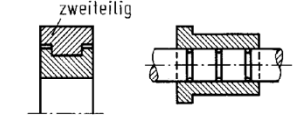
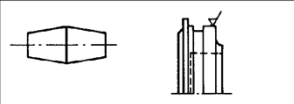
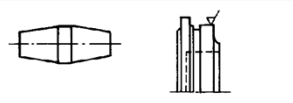

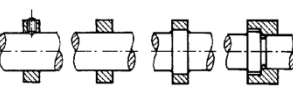
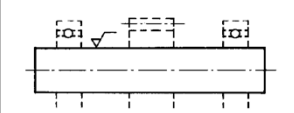
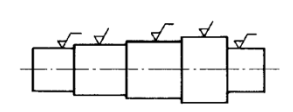
Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – procesu odrezavanja

- S stališča porabe materiala so procesi odrezovanja najmanj ekonomični tehnološki procesi.
- Ko je potrebna velika natančnost izdelave ali je potrebno zagotoviti ustrezno kvalitetne površine izdelka, pa so procesi odrezavanja pogosto edina možna proizvodna tehnologija.
- Izbor procesa odrezavanja je odvisen tudi od geometrijskih značilnosti izdelka:
 - osno-simetrične izdelke je najlažje izdelati s struženjem;
 - planarne ali proste površine z zahtevano natančnostjo je najlažje izdelati z rezkanjem;
 - okrogle luknje izdelujemo z vrtanjem;
 - luknje posebnih oblik izdelujemo z elektro-erozijo, žično elektro-erozijo, izrezom z vodnim curkom, pehanjem itn.
 - fine površine izdelujemo z brušenjem ali poliranjem.



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – procesi odrezavanja (struženje)

- Polizdelki so navadno v obliki okroglih ali več-kotnih palic.
- Ostri koti (zunanji vogali) so obdelani brez radija.
- Topi koti (notranji robovi) so izdelani z radijem, ki je odvisen od orodja.

Verf.	Gestaltungsrichtlinien	Ziel	Slabo oblikovano	Dobro oblikovano
We	Beachten des erforderlichen Werkzeugauslaufs.	Q		
We	Anstreben einfacher Formmeißel.	A		
We	Vermeiden von Nuten und engen Toleranzen bei Innenbearbeitung.	A Q		
We	Vorsehen ausreichender Spannmöglichkeiten.	Q		
Sp	Vermeiden großer Zerspanarbeiten, z.B. durch hohe Wellenbunde, besser aufgesetzte Buchsen.	A		
Sp	Anpassen der Bearbeitungslängen und -güten an Funktion.	A		

Vir: Pahl, Beitz: Konstruktionslehre. Springer Verlag, 2003.



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – procesi odrezavanja (rezkanje)

- Rezkanje se uporablja za obdelavo ravnih ali prostih površin.
- Geometrija izdelka mora ustrezati predvidenemu postopku rezkanja (planarno, kolutno ali palično rezkanje).

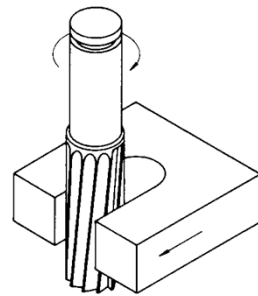
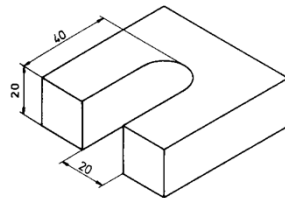


Bild 4.28. Fertigen einer stirnseitigen Nut mit rundem Nutgrund

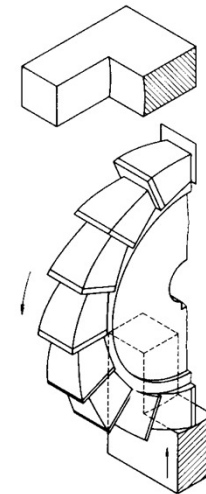
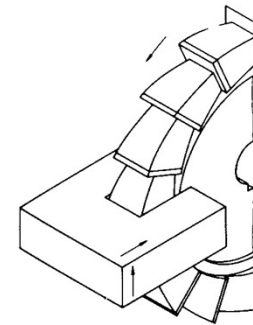
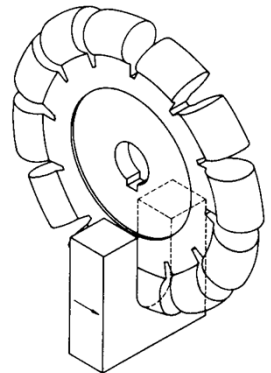
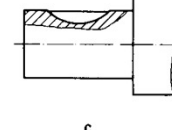
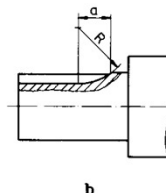
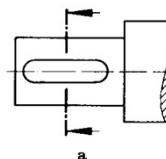


Bild 4.29. Fertigen einer stirnseitigen Rechtecknut

Palično rezkanje

Kolutno rezkanje



Vse slike so povzete po viru:
Steinhilfer, Sauer:
Konstruktionselemente des
maschinenbaus – 8. Auflage.
Springer Vieweg, 2012

Bild 4.30a–c. Wellennuten a Nut für rundstirnige Paßfeder (DIN 6885); b Nut für geradstirnige Paßfeder (DIN 6885) oder Keile (DIN 6883, 6884, 6886 und 6887); c Nut für Scheibenfeder (DIN 6888)



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – procesi odrezavanja (rezkanje)

- Primeri pravilnega in nepravilnega oblikovanja geometrije, ki naj bi bila izdelana z rezkarjem so prikazani spodaj:

Verf.	Gestaltungsrichtlinien	Ziel	Slabo oblikovano	Dobro oblikovano
We	Anstreben gerader Fräsflächen. Formfräser teuer; Abmessungen so wählen, dass Satzfräser einsetzbar.	A		
We	Vorsehen auslaufender Nuten bei Scheibenfräsern; Scheibenfräsen billiger als Fingerfräsen.	A Q		
We	Anpassen des Werkzeugauslaufs an Fräsdurchmesser; Vermeiden von langen Fräserwegen durch Zulassen von gewölbten Bearbeitungsflächen (z.B. Schlitzen)	A		
Sp	Anordnen von Flächen in gleicher Höhe und parallel zur Aufspannung.	A Q		

Vir: Pahl, Beitz: Konstruktionslehre. Springer Verlag, 2003.



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – procesu odrezavanja (vrtanje)

- Vrtanje se uporablja za izdelavo okroglih lukenj v najrazličnejših vrstah materialov.
- Predvidena geometrija okroglih lukenj v izdelku, ki naj bi jih izdelali s postopkom vrtanja, naj upošteva naslednje principe:
 - Čelo slepe luknje je težko zelo natančno izdelati.
 - Navojne izvrtine naj potekajo skozi celotno debelino stene, če je le mogoče.
 - Pri slepih navojnih izvrtinah je treba upoštevati iztek navojnega svedra.
 - Navojne izvrtine se na noben način ne uporabljajo za centriranje.
 - Pri vrtanju je treba zagotoviti obojestranski dotik orodja z obdelovancem skozi celoten proces vrtanja – izogibati se je treba vrtanju, ki ni pod pravim kotom na površino zaradi tveganja nepravilno izdelane luknje ali zloma svedra v luknji.

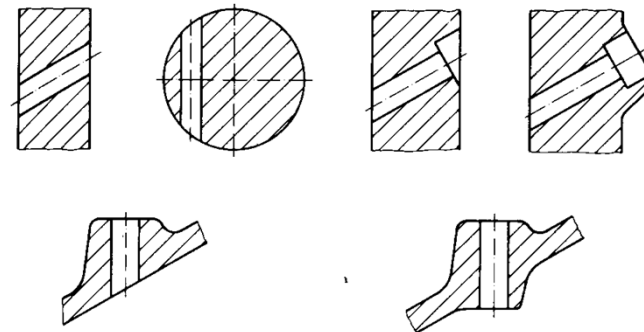


Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – procesi odrezavanja (vrtanje)

- Primeri pravilnega in nepravilnega oblikovanja geometrije, ki naj bi bila izdelana z rezkarjem so prikazani spodaj:

Verf.	Gestaltungsrichtlinien	Ziel	Slabo oblikovano	Dobro oblikovano
We Sp	Zulassen von Sacklöchern möglichst nur mit Bohrspitze.	A Q		
We Sp	Vorsehen von Ansatz- und Auslaufflächen bei Schräglöchern.	Q		
We	Anstreben durchgehender Bohrungen. Vermeiden von Sacklöchern.	A		

Vir: Pahl, Beitz: Konstruktionslehre. Springer Verlag, 2003.



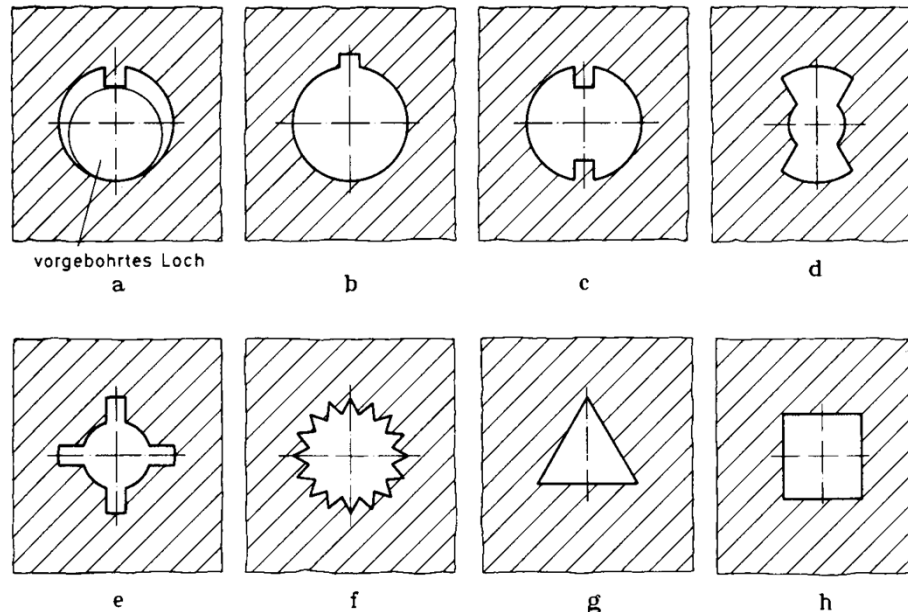
Vir: Steinhilper, Sauer: Konstruktionselemente des maschinenbaus – 8. Auflage. Springer Vieweg, 2012

Bild 4.32. Gestaltung von schräg zur Oberfläche laufenden Bohrungen



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – procesi odrezavanja (neokrogle luknje)

- V velikoserijski proizvodnji se neokrogle luknje izdeluje s pehalnim orodjem – izvlačilno iglo.
- V maloserijski ali individualni proizvodnji se neokrogle luknje izdeluje z elektro-erozijo (slepe luknje ali luknje s stopničasto konturo po globini) ter z žično elektro-erozijo ali vodnim curkom (skozi luknje s konstantnim prerezom po globini).

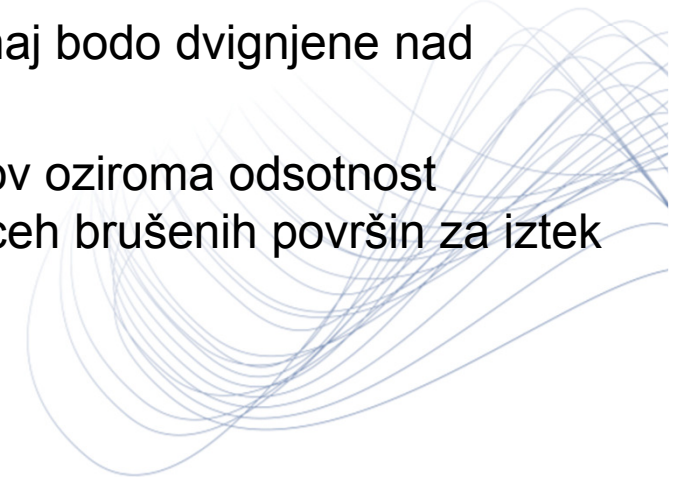


Vir: Steinhilper, Sauer: Konstruktionselemente des
maschinenbaus – 8. Auflage. Springer Vieweg, 2012



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – procesi odrezavanja (brušenje)

- Brušenje se uporablja za končno obdelavo površin na zahtevano hrapavost.
- Predvidena površin je odvisna od predvidenih postopkov brušenja: planarno brušenje, profilno brušenje, brušenje okroglih površin.
- Pri oblikovanju izdelka, katerega površine je treba brusiti, je potrebno upoštevati naslednje:
 - mehansko ali magnetno vpetje obdelovanca;
 - če je le mogoče naj bodo vsi radiji brušenih površin enaki;
 - površine, namenjene brušenju, naj bodo dvignjene nad okolico;
 - upoštevati je treba dodatek utorov oziroma odsotnost geometrijskih elementov na koncih brušenih površin za iztek brusnega orodja.





Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – procesi odrezavanja (brušenje)

- Primeri pravilnega in nepravilnega oblikovanja površin, ki naj bi bile izdelane z brušenjem so prikazani spodaj:

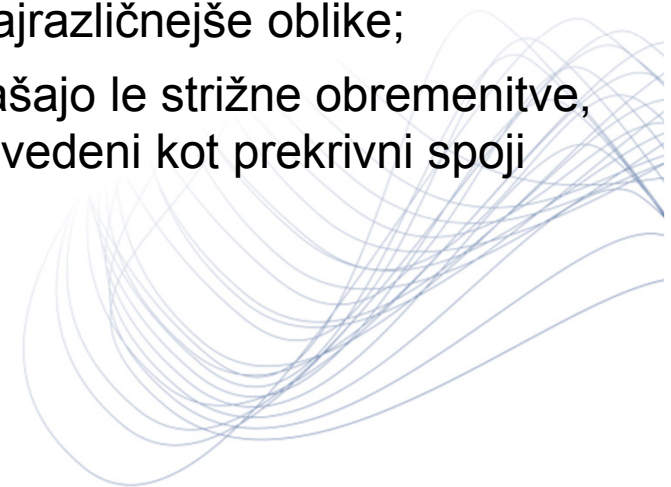
Verf.	Gestaltungsrichtlinien	Ziel	Slabo oblikovano	Dobro oblikovano
We	Vermeiden von Bundbegrenzungen.	Q A		
We	Vorsehen von Schleifscheibenauslauf.	Q		
We	Anstreben unbehinderten Schleifens durch zweckmäßigen Anordnung der Bearbeitungsflächen.	A Q		
We Sp	Bevorzugen gleicher Ausrundungsradien (wenn kein Auslauf möglich) und Neigungen an einem Werkstück.	A Q		

Vir: Pahl, Beitz: Konstruktionslehre. Springer Verlag, 2003.



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – procesi spajanja

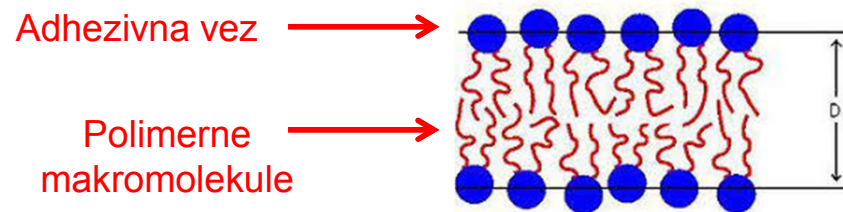
- S procesi spajanja združimo različne elemente ali komponente v neločljivo zvezo.
- Proces spajanja so lahko v vročem s pretalitvijo vseh materialov (varjenje), v topleni s pretalitvijo dodatnega materiala (lotanje) ali v hladnem (lepljenje). Pri lepljenju ne gre za fizikalno, ampak za kemično strjevanje dodatnega materiala (lepila).
- Geometrijo izdelkov je potrebno ustrezno oblikovati glede na izbrano tehnologijo spajanja:
 - varjeni spoji lahko prenašajo vse vrste obremenitev (normalne in strižne), zato so imajo lahko najrazličnejše oblike;
 - lotani in lepljeni spoji lahko prenašajo le strižne obremenitve, zato so v veliki večini primerov izvedeni kot prekrivni spoji osnovnih materialov.





Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – procesi spajanja (lepljeni spoji)

- Lepljeni spoji se uporabljajo za hladno ali toplo (epoksi lepila) spajanje osnovnih materialov. Lepila so v osnovi polimeri.
- Pri lepljenih spojih gre za kemično (adhezivno) vez med dodajnim materialom (lepilo) in osnovnim materialom:



- Z lepljenimi spoji lahko med seboj spajamo najrazličnejše materiale. Pogoji sta podobna elastični modula spajanih materialov (primer nekompatibilne kombinacije za lepljenje: jeklo – guma).
- Izbira lepila je pogojena s spajanimi materiali in željeno trdnostjo lepljenega spoja.
- Ker lepljeni spoji lahko dobro prenašajo le strižne obremenitve, je zelo pomembno oblikovanje lepljenih spojev.

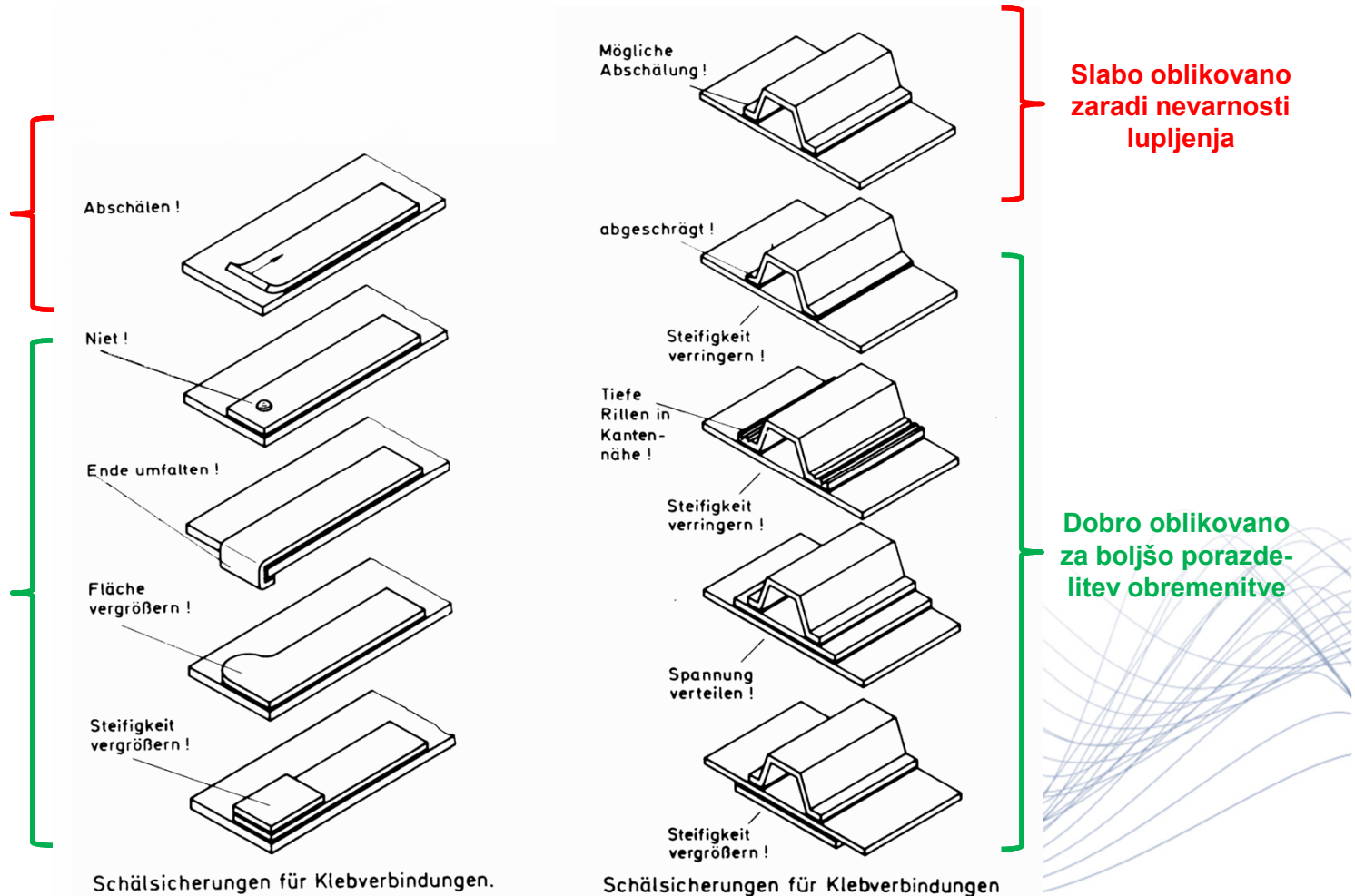


Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – procesi spajanja (lepljeni spoji)

- Pravila za oblikovanje lepljenih spojev:

Slabo oblikovano
zaradi nevarnosti
lupljenja

Dobro oblikovano
zaradi povečanja
robne togosti

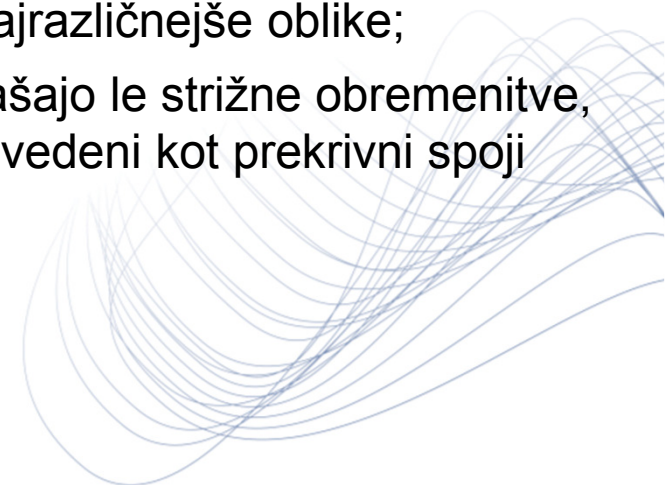


Vir: Steinhilper, Sauer: Konstruktionselemente des
maschinenbaus – 8. Auflage. Springer Vieweg, 2012



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – procesi spajanja

- S procesi spajanja združimo različne elemente ali komponente v neločljivo zvezo.
- Procesi spajanja so lahko v vročem s pretalitvijo vseh materialov (varjenje), v toplém s pretalitvijo dodatnega materiala (lotanje) ali v hladnem (lepljenje). Pri lepljenju ne gre za fizikalno, ampak za kemično strjevanje dodatnega materiala (lepila).
- Geometrijo izdelkov je potrebno ustrezno oblikovati glede na izbrano tehnologijo spajanja:
 - varjeni spoji lahko prenašajo vse vrste obremenitev (normalne in strižne), zato so imajo lahko najrazličnejše oblike;
 - lotani in lepljeni spoji lahko prenašajo le strižne obremenitve, zato so v veliki večini primerov izvedeni kot prekrivni spoji osnovnih materialov.





Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – procesi spajanja (lepljeni spoji)

- Pravila za oblikovanje lepljenih spojev:

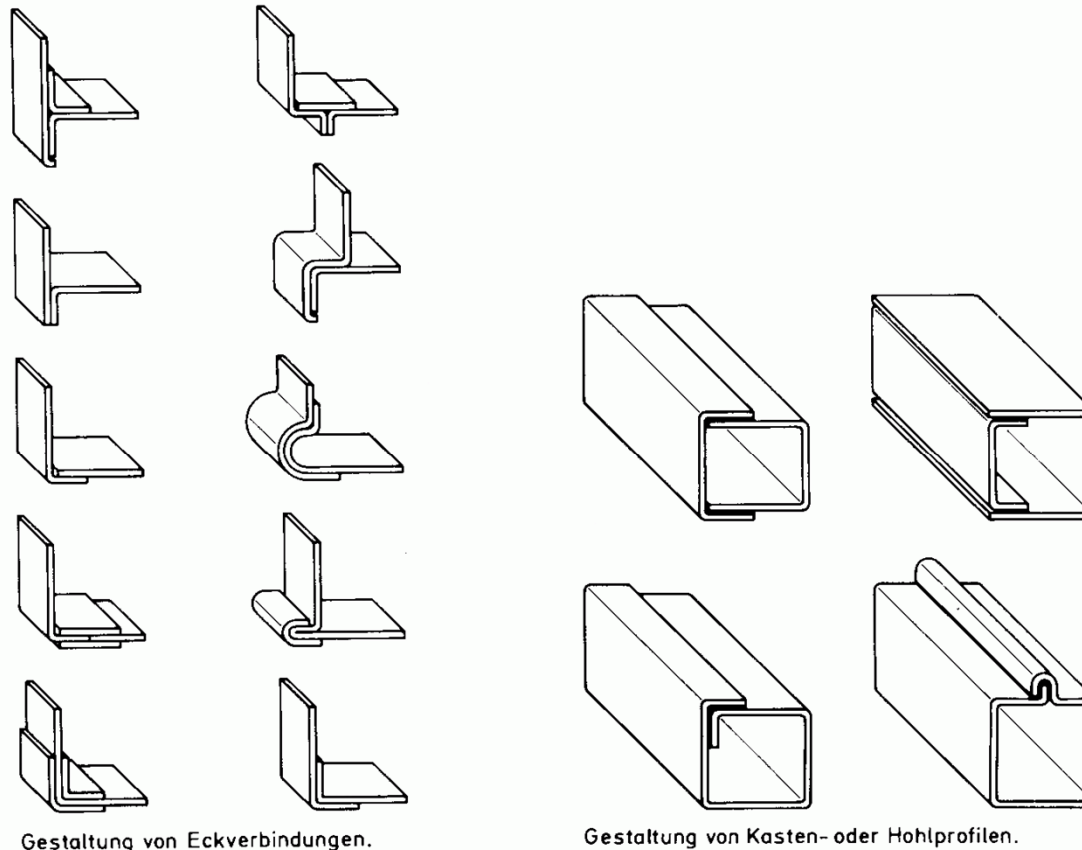


Bild 4.82. Gestaltung von Klebverbindungen

Vir: Steinhilper, Sauer: Konstruktionselemente des
maschinenbaus – 8. Auflage. Springer Vieweg, 2012



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – procesi spajanja (lepljeni spoji)

- Primeri lepljenih spojev in nosilnih struktur iz lesa:



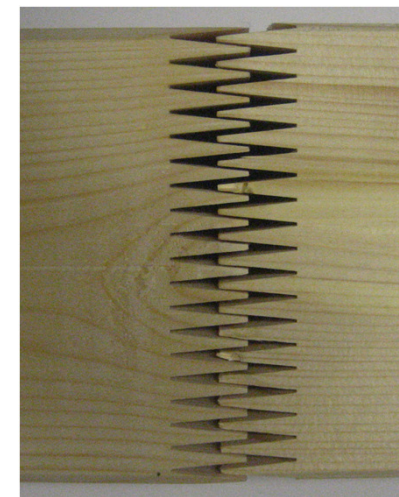
Vir: www.gradbenistvo.finance.si



Vir: www.haas-dom.si



Vir: www.mojmojster.net

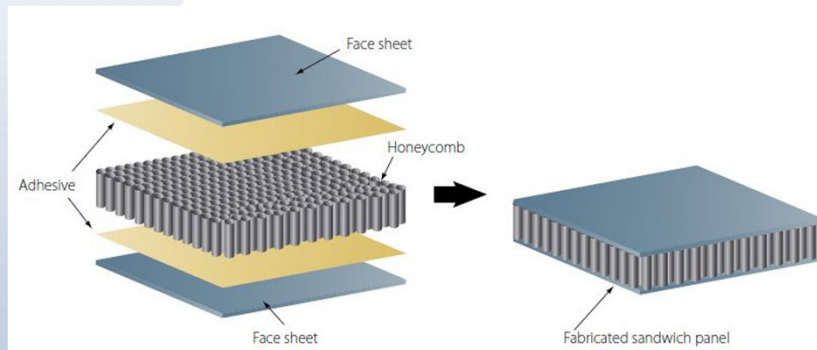


Vir: www.hrovat.net



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – procesi spajanja (lepljeni spoji)

- Sendvič strukture so primer lahkih in visoko trdnih nosilnih elementov v primeru upogibnih obremenitev:

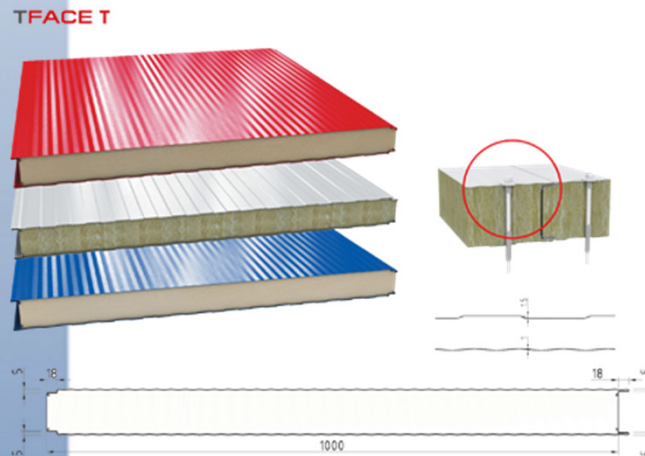


Vir: www.nu.custom-composite.com



Aluminijaste sendvič plošče

Vir: www.si.t-composites.net



Vir: www.plantec.co.rs

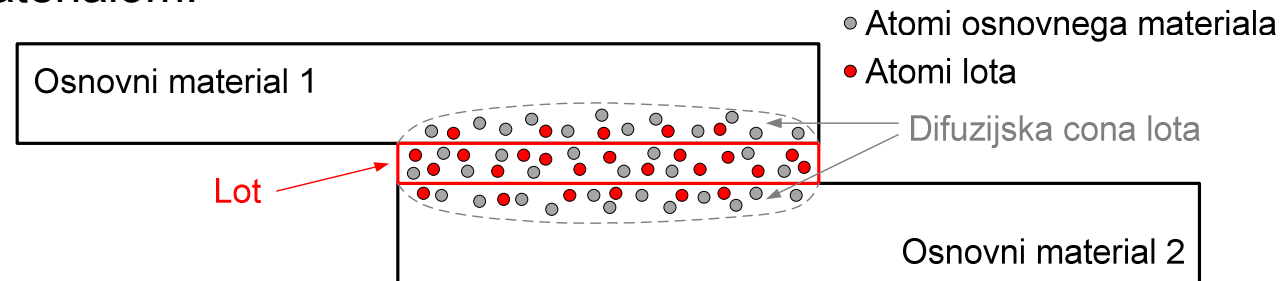


Vir: www.c-yacht.com



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – procesi spajanja (lotani spoji)

- Lotani spoji se uporabljajo za toplo spajanje osnovnih materialov. Dodajni material (lot) in osnovni materiali morajo biti kovine.
- Pri lotanih spojih gre za difuzijsko vez med dodajnim in osnovnim materialom:

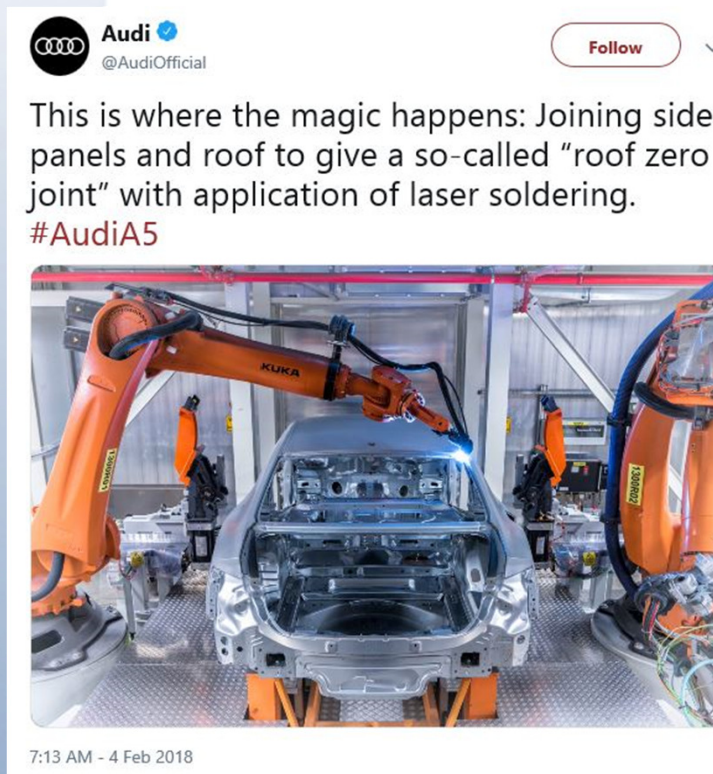


- Izbira lota je pogojena z želeno trdnostjo lotanega spoja:
 - mehki loti (svinec-kositrovi loti) se uporabljajo v elektrotehniki;
 - trdi loti (srebro, aluminij, baker) se uporabljajo za nosilne konstrukcije in strojne inštalacije.
- Ker lotani spoji lahko dobro prenašajo le strižne obremenitve, so pravila za oblikovanje lotanih spojev podobna kot pravila za oblikovanje lepljenih spojev.

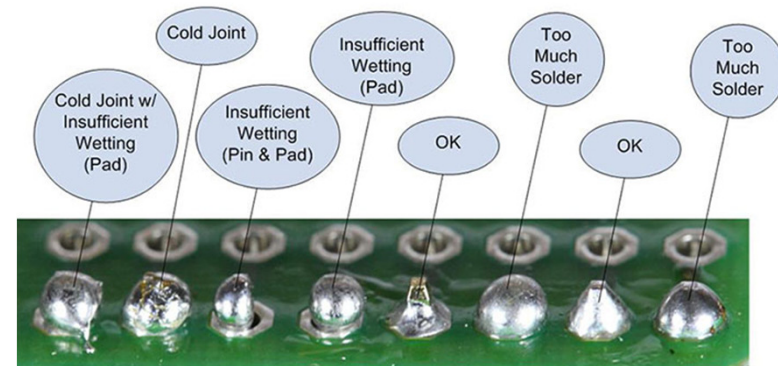


Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – procesi spajanja (lotani spoji)

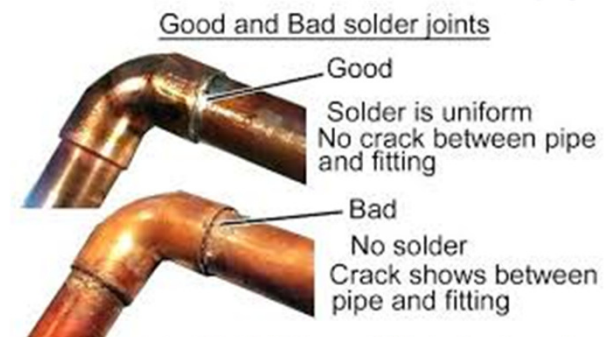
- Primeri lotanih spojev:



Vir: www.twitter.com



Vir: www.leadstec.com



Vir: www.ezoterikus.info



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – procesu spajanja (varjeni spoji)

- Varjeni spoji se uporabljajo za spajanje osnovnih materialov. S pretaljevanjem. Na zvarnem mestu pride tako do mešanja osnovnih in dodajnih materialov.
- Varimo lahko kovinske in plastične materiale. Pomembno je le, da je osnovni material enak dodajnemu materialu.
- Pri oblikovanju zvarnih spojev moramo upoštevati nekaj pravil:
 - zvari morajo biti dostopni za izdelavo;
 - izogibati se je treba kopičenja in prekrivanja zvarov;
 - varimo čim manjše število sestavnih delov;
 - zvari naj ne bodo v najbolj obremenjenih delih konstrukcije;
 - dolžina zvara naj ne bo predolga ali prekratka;
 - vedno najprej izdelamo glavne nosilne zware;
 - poskrbimo za ustrezní prenos obremenitev preko zvarov;
 - upoštevamo ergonomijo pri izvedbi zvarnih spojev;
 - zvari jeklenih polizdelkov so občutljivi na korozijo, zato predvidimo ustrezno zaščito zvarnih mest.



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – procesi spajanja (varjeni spoji)

- Nekaj osnovnih oblik zvarnih spojev je prikazanih spodaj:

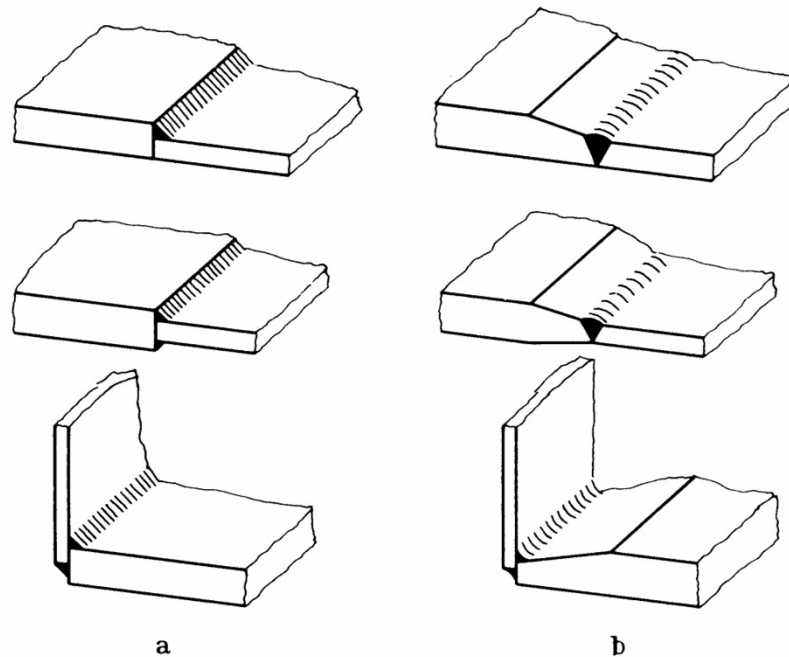


Bild 4.86a, b. Querschnittsübergänge an Schweißteilen **a** ungünstige Gestaltung;
b günstige Gestaltung

Vir: Steinhilper, Sauer: Konstruktionselemente des
maschinenbaus – 8. Auflage. Springer Vieweg, 2012



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – procesi spajanja (varjeni spoji)

- Primeri dobrih in slabih izvedb zvarnih spojev:

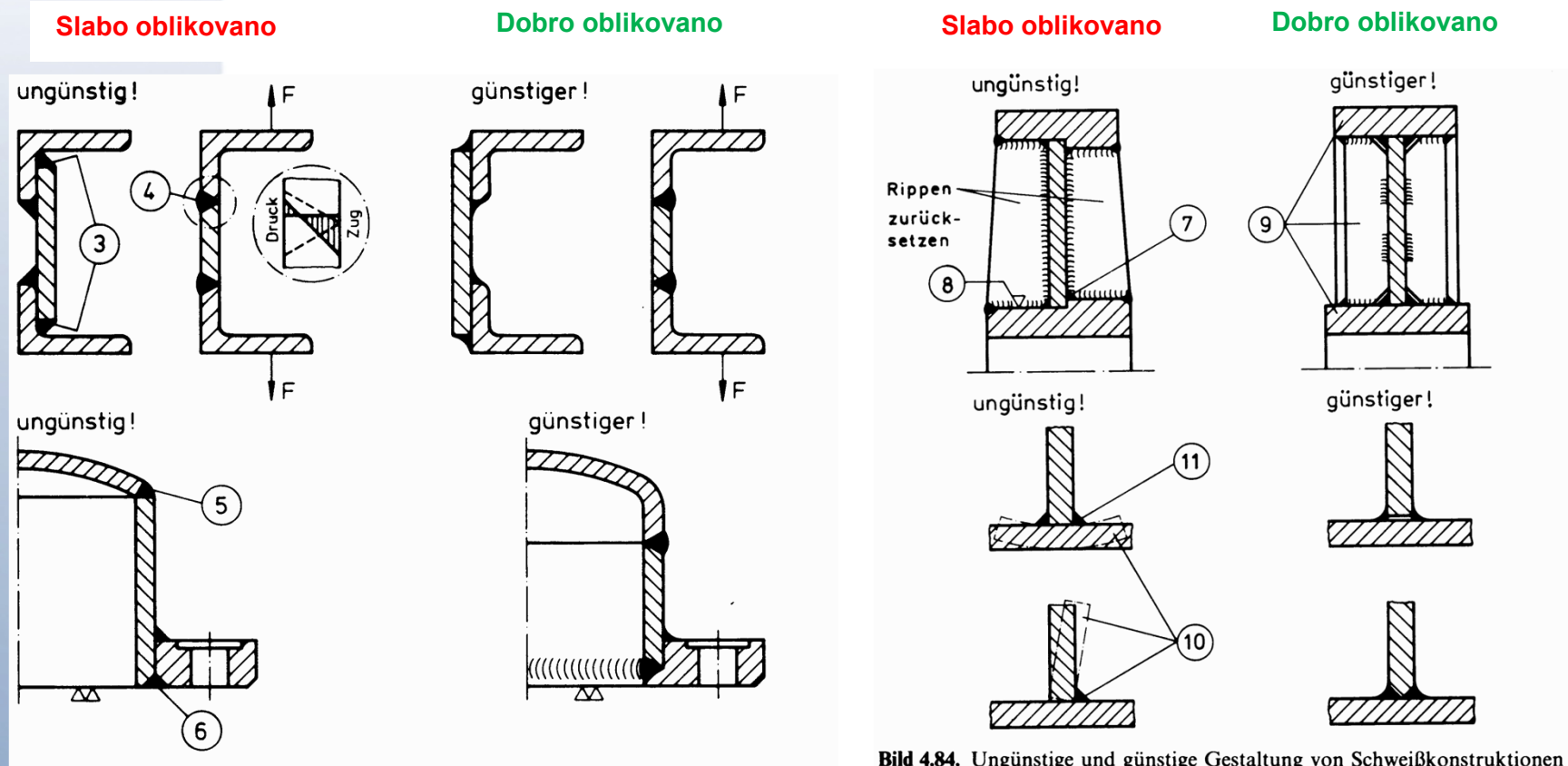


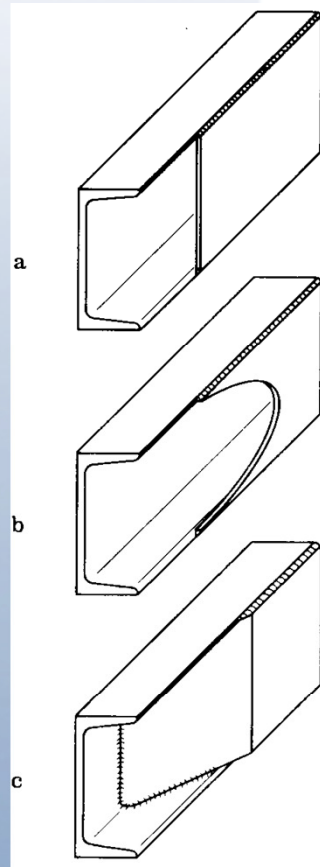
Bild 4.84. Ungünstige und günstige Gestaltung von Schweißkonstruktionen

Vir: Steinhilper, Sauer: Konstruktionselemente des maschinenbaus – 8. Auflage. Springer Vieweg, 2012



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – procesi spajanja (varjeni spoji)

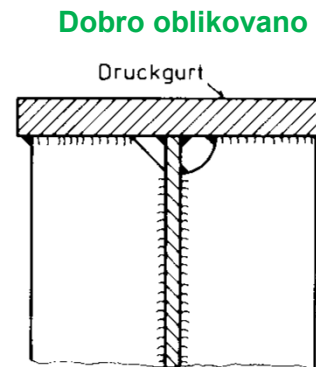
- Primeri dobrih in slabih izvedb zvarnih spojev:



Slabo oblikovano

Bolje oblikovano

Dobro oblikovano



Am Druckgurt eingeschweißte Aussteifung!

Bild 4.90. Aussteifungen und Querwände an T-Stößen

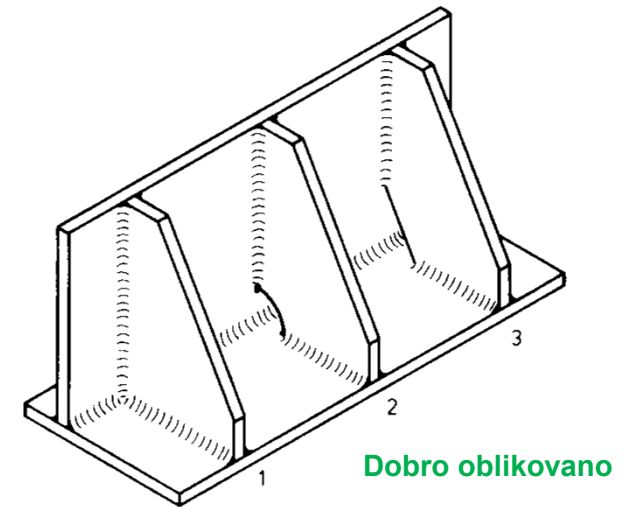


Bild 4.88a–c. Gestaltung des Überganges von einem offenen zu einem geschlossenen Querschnitt a schlecht; b ungünstig; c gut

Vir: Steinhilper, Sauer: Konstruktionselemente des maschinenbaus – 8. Auflage. Springer Vieweg, 2012



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – procesi spajanja (varjeni spoji)

- Primeri zvarjenih konstrukcij:



Vir: www.weldingschool.com



Vir: www.findworldsbeauty.com



Vir: www.lawrencefabric.com



Vir: www.dominox.si



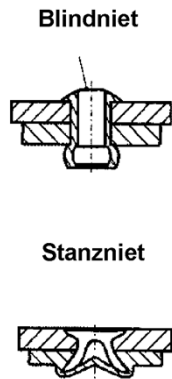
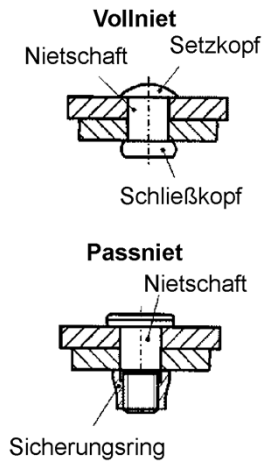
Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – mehanske zveze

- Mehanske zveze (vijačni spoji, kovičeni spoji) uporabljamo kot alternativo različnim vrstam neporušnih zvez (lepljenje, lotanje, varjenje).
- Mehanske zveze uporabljamo predvsem takrat, ko je zaradi različnih logističnih ali montažnih omejitev nepraktično izvajati ostale vrste spajanja.
- Mehanske zveze z vijačnimi spoji so razstavljive zveze. To pomeni, da je spojene elemente mogoče razstaviti brez porušitve osnovnega in/ali dodajnega materiala.
- Kovičene zveze so nerazstavljive zveze.
- Način prenosa obremenitev pri vijačnih zvezah in vroče-kovičenih zvezah je enak. S pomočjo vijaka ali kovice osnovni material različnih sestavnih delov tako močno stisnemo skupaj, da se obremenitev prenese s trenjem.
- Prilagodni vijaki in hladno-kovičene kovice nosijo z obliko.

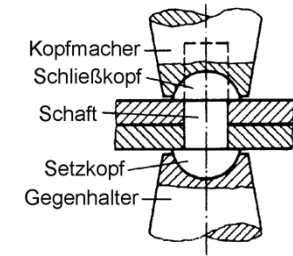
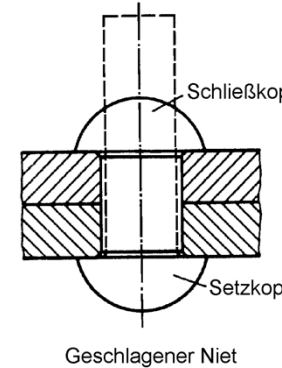
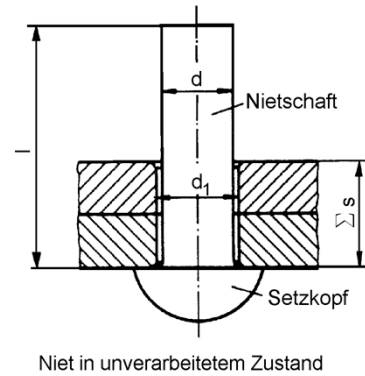


Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – mehanske zveze

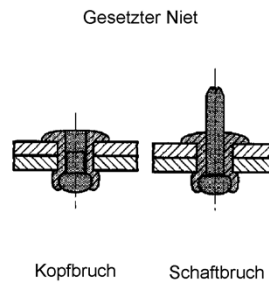
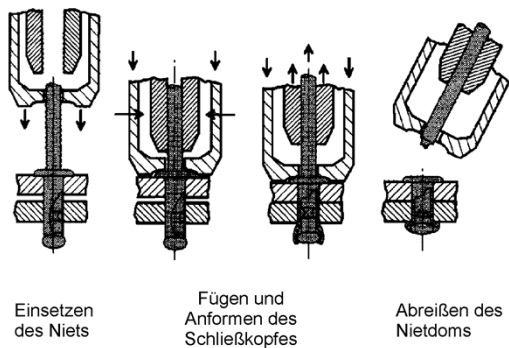
- Proces kovičenja in vrste kovic za različne namene:



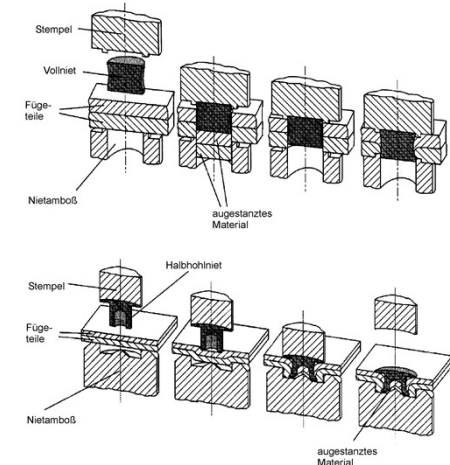
Vroče kovičenje kovic s polokroglo glavo



Hladno kovičenje slepih kovic



Kovičenje samoreznih kovic

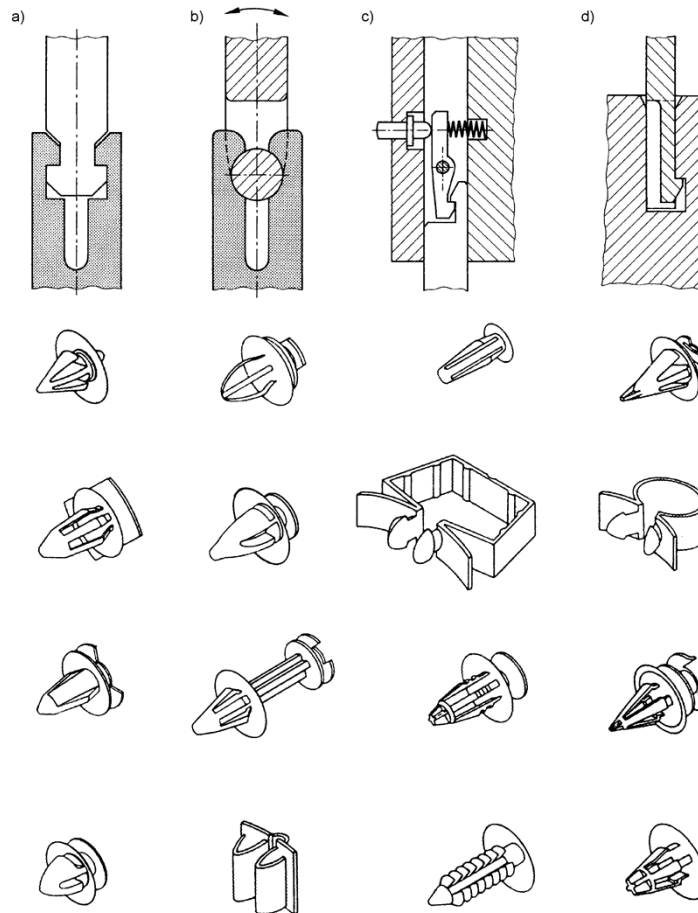


Vir: Steinhilper, Sauer: Konstruktionselemente des maschinenbaus – 8. Auflage. Springer Vieweg, 2012



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – mehanske zveze

- Tudi različne vrste zaskočk lahko uvrstimo med kovice:

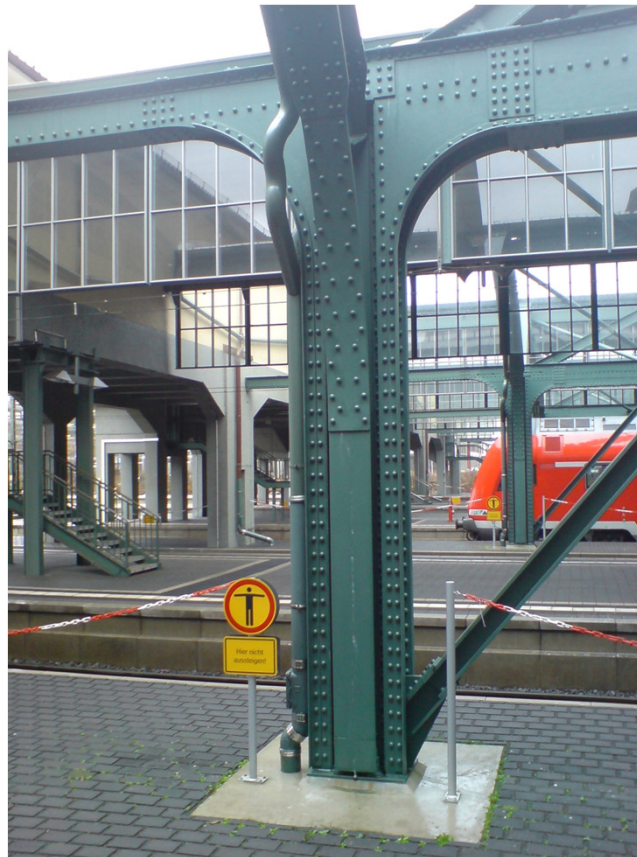


Vir: Steinhilper, Sauer: Konstruktionselemente des
maschinenbaus – 8. Auflage. Springer Vieweg, 2012



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – mehanske zveze

- Primeri izdelkov s kovičenimi spoji:



Vir: www.commonswikimedia.org



Vir: www.airfreshener.club



Vir: www.ertzperformance.com



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – mehanske zveze

- Različne vrste vijakov uporabljamo za različne namene:

Tabelle 1.1. Kopfschrauben

Bezeichnung	Ausführung	Nach Norm	Größe
Sechskantschrauben mit Schaft		DIN EN ISO 4014	M1,6 bis M160
Sechskantschrauben mit Schaft und metrischem Feingewinde		DIN EN ISO 8765	M8x1 bis M64x4
Sechskantschrauben mit Gewinde bis Kopf		DIN EN ISO 4017	M1,6 bis M64
Sechskantschrauben mit Gewinde bis Kopf und metrischem Feingewinde		DIN EN ISO 8676	M8x1 bis M64x4
Sechskantschrauben mit großen Schlüsselweiten		DIN 6914	M12 bis M36
Sechskantschrauben mit Zapfen und kleinem Sechskant		DIN 561	M6 bis M56

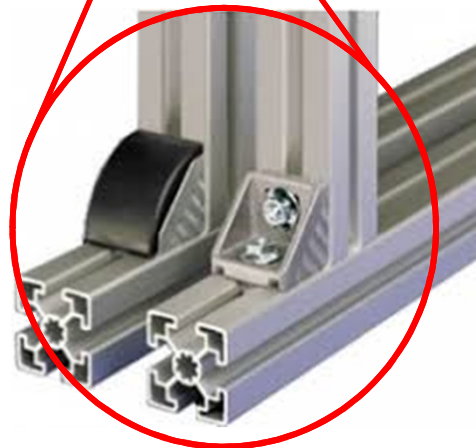
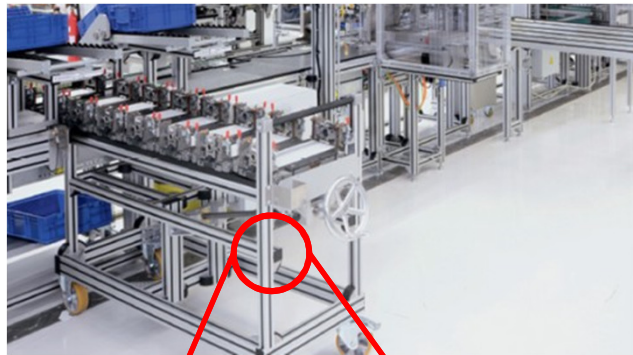
Sechskant-Passschrauben mit langem Gewindezapfen		DIN 609	M8 bis M52
Sechskantschrauben mit Sechskantmutter für Stahlkonstruktionen		DIN 7990	M12 bis M30
Zylinderschrauben mit Innensechskant		DIN EN ISO 4762	M1,6 bis M64
Zylinderschrauben mit Innensechskant – Niedriger Kopf, mit Schlüsselführung		DIN 6912	M4 bis M36
Zylinderschrauben mit Schlitz		DIN EN ISO 1207	M1,6 bis M10

Vir: Steinhilper, Sauer: Konstruktionselemente des maschinenbaus – 8. Auflage. Springer Vieweg, 2012



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – mehanske zveze

- Primeri izdelkov z vijaknimi zvezami:

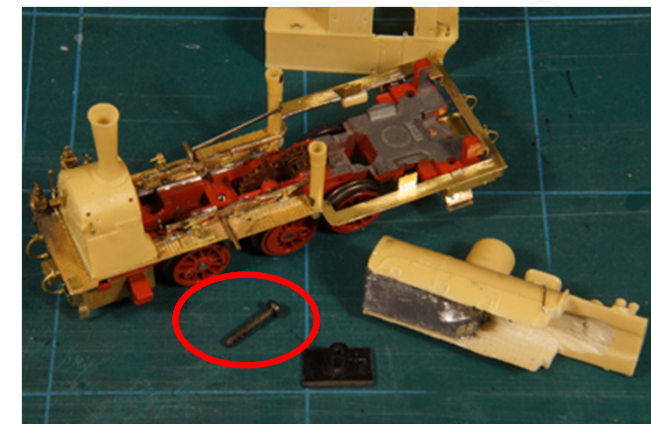


Vira:

- www.boschrexroth.com
- www.extrudedrisuran.blogspot.com



Vir: www.steelconstruction.info



Vir: www.modelrailroading.nl



Oblika izdelkov in proizvodne tehnologije – sklep

- Kompleksni izdelki vsebujejo veliko različnih sestavnih delov.
- Za različne sestavne dele se uporablja različne proizvodne tehnologije.
- Za sestavljanje se uporablja različne tipe in variacije materialnih spojev in mehanskih zvez.
- Izbira materiala, izbira proizvodnega procesa in izbira načina sestavljanja in montaže je bistveno odvisna od:
 - funkcionalnih zahtev izdelka;
 - zahtev glede mehanske, termične, kemične ipd. odpornosti izdelka;
 - zahtevanega nivoja avtomatizacije proizvodnega procesa;
 - notranjih in zunanjih logističnih omejitev;
 - estetskih zahtev izdelka;
 - ekonomskih omejitev.

