

Stanislav Pehan  
Srečko Glodež  
Janez Kramberger



# OSNOVE KONSTRUIRANJA

Univerzitetni učbenik



Univerzitetna založba  
Univerze v Mariboru





Univerza v Mariboru

---

Fakulteta za strojništvo

# **Osnove konstruiranja**

Univerzitetni učbenik

Avtorji:

**Stanislav Pehan**

**Srečko Glodež**

**Janez Kramberger**

Maribor, junij 2021

<b>Naslov</b> <i>Title</i>	<b>Osnove konstruiranja</b> <i>Basics of Mechanical Design</i>	<b>Podnaslov</b> <i>Subtitle</i>	<b>Univerzitetni učbenik</b> <i>Textbook</i>
<b>Avtorji</b> <i>Authors</i>	Stanislav Pehan (Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo)		Srečko Glodež (Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo)
	Janez Kramberger (Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo)		
<b>Recenzija</b> <i>Review</i>	Jože Flašker (Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo)		Gorazd Fajdiga (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta)
<b>Jezikovni pregled</b> <i>Language edeting</i>	Nataša Belšak		
<b>Tehnična urednika</b> <i>Technical editor</i>	Srečko Glodež (Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo)		Jan Perša (Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba)
<b>Oblikovanje ovitka</b> <i>Cover designer</i>	Jani Humar (Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo)		
<b>Grafike na ovitku</b> <i>Cover graphics</i>	Moderna kočija avtor Jani Humar, 2021	<b>Grafične priloge</b> <i>Graphic material</i>	Avtorji

**Založnik**  
*Published by* **Univerza v Mariboru**  
**Univerzitetna založba**  
Slomškov trg 15, 2000 Maribor, Slovenija  
<https://press.um.si>, [zalozba@um.si](mailto:zalozba@um.si)

**Izdajatelj**  
*Co-published by* **Univerza v Mariboru**  
**Fakulteta za strojništvo**  
Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenija  
<https://www.fgpa.um.si>, [fgpa@um.si](mailto:fgpa@um.si)

<b>Izdaja</b> <i>Edition</i>	Prva izdaja	<b>Izdano</b> <i>Published at</i>	Maribor, junij 2021
<b>Tisk</b> <i>Printed by</i>	Univerza v Mariboru Fakulteta za strojništvo	<b>Naklada</b> <i>Number of coipes</i>	Tisk po naročilu
<b>Dostopno na</b> <i>Available at</i>	<a href="https://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/582">https://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/582</a>		

CIP - Kataložni zapis o publikaciji  
Univerzitetna knjižnica Maribor

621 (075.8)

PEHAN, Stanislav  
Osnove konstruiranja : univerzitetni učbenik /  
avtorji Stanislav Pehan, Srečko Glodež, Janez  
Kramberger. - 1. izd. - Maribor : Univerza v  
Mariboru, Univerzitetna založba, 2021

ISBN 978-961-286-489-7  
doi: 10.18690/978-961-286-489-7  
COBISS.SI-ID 68250371

**Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba**  
*/ University of Maribor, University Press*

Vse pravice pridržane. Brez pisnega dovoljenja založnika je prepovedano reproduciranje, distribuiranje, predelava ali druga uporaba tega dela ali njegovih delov v kakršnemkoli obsegu ali postopku, vključno s fotokopiranjem, tiskanjem ali shranjevanjem v elektronski obliki. / *All rights reserved. No part of this book may be reprinted or reproduced or utilized in any form or by any electronic, mechanical, or other means, now known or hereafter invented, including photocopying and recording, or in any information storage or retrieval system, without permission in writing from the publisher.*

**ISBN** 978-961-286-489-7 (mehka vezava) **DOI** <https://doi.org/10.18690/978-961-286-489-7>

**Cena**  
*Price* 10,50 € **Odgovorna oseba založnika**  
*For publisher* prof. dr. Zdravko Kačič,  
rektor Univerze v Mariboru

**Citiranje**  
*Attribution* Pehan, S., Glodež, S. in Kramberger, J. (2021). *Osnove konstruiranja: Učbenik*. Maribor: Univerzitetna založba. doi: 10.18690/978-961-286-489-7

---

# KAZALO

---

<b>PREDGOVOR</b>	1
<b>1 UVOD</b>	3
<b>1.1 Sistematsko razvojno delo</b>	6
1.1.1 Koraki sistematskega razvojnega dela	7
1.1.2 Vprašanja in koristi sistematskega razvoja izdelkov	9
1.1.3 Vpliv okolice na sistematsko razvojno delo	10
1.1.4 Vpliv raznih orodij na sistematsko razvojno delo	11
1.1.5 Osnovne značilnosti sodobnih strojev in naprav	12
<b>1.2 Znanje in razvojno delo</b>	13
<b>1.3 Smiselno delo</b>	15
1.3.1 Atributi smiselnega dela v podjetju	16
1.3.2 Atributi smiselnega dela v procesu razvoja	17
1.3.3 Načrtovanje smiselnega dela	18
<b>1.4 Racionalizacija v podjetju</b>	19
<b>1.5 Kibernetški sistem</b>	20
<b>1.6 Razvoj kot organizacijska enota</b>	22
1.6.1 Linearni razvoj	24
1.6.2 Ciklični razvoj	25
1.6.3 Primerjava linearnega in cikličnega razvoja	26
1.6.4 Simultani razvoj v podjetju	27
<b>1.7 Specifikacija in funkcija izdelka</b>	28
<b>1.8 Črna skrinjica</b>	30
<b>2 PROCES KONSTRUIRANJA</b>	33
<b>2.1 Načrtovanje</b>	36
<b>2.2 Koncipiranje</b>	39
2.2.1 Izdelava zahtevnika	41
2.2.2 Metode za iskanje konceptov	43
2.2.3 Kombiniranje delnih funkcij v skupni tehniški sistem	64
2.2.4 Vrednotenje konceptnih variant in skica izbranega koncepta	67
<b>2.3 Snovanje</b>	69
2.3.1 Osnovna načela snovanja	74
2.3.2 Konstrukcijski principi snovanja	80
<b>2.4 Razdelava</b>	98
2.4.1 Vrste tehniških risb	99
2.4.2 Tolerance in ujemi	102
2.4.3 Označevanje kakovosti površin	120

<b>3</b>	<b>SPLOŠNE SMERNICE ZA KONSTRUIRANJE</b>	123
3.1	Industrijsko oblikovanje izdelkov	123
3.2	Konstruiranje za proizvodnjo	128
3.3	Konstruiranje za pogoje montaže	131
3.4	Konstruiranje za pogoje varnega obratovanja	141
3.5	Konstruiranje za pogoje zanesljivega obratovanja	144
3.6	Konstruiranje za zmanjšanje vibracij in hrupa	146
3.6.1	Splošno o hrupu	146
3.6.2	Ukrepi za zmanjšanje hrupa	152
3.7	Konstruiranje za pogoje reciklaže	171
3.8	Konstruiranje za pogoje ergonomije	176
<b>4</b>	<b>KONSTRUKCIJSKI MATERIALI</b>	179
4.1	Kovine	183
4.1.1	Jekla	183
4.1.2	Železove zlitine	192
4.1.3	Titanove zlitine	196
4.1.4	Aluminijeve zlitine	196
4.1.5	Magnezijeve zlitine	197
4.1.6	Bakrove zlitine	198
4.2	Polimeri	199
4.3	Kompoziti	201
4.4	Keramika	202
<b>5</b>	<b>ORODJA PRI KONSTRUIRANJU</b>	203
5.1	3D-modeliranje	211
5.2	3D-skeniranje	213
5.3	3D-tiskanje	214
<b>6</b>	<b>TEHNIČNA ZAKONODAJA PRI KONSTRUIRANJU</b>	217
6.1	Splošno o tehnični zakonodaji	217
6.2	Standardizacija in standardi	219
6.2.1	Definicije in pojmi v standardizaciji	220
6.2.2	Vrste standardov	221
6.3	Evropska tehnična zakonodaja novega pristopa	222
6.3.1	Usklajeni evropski standardi	224
6.3.2	Postopki ugotavljanja skladnosti	225
6.4	Zakonodaja o strojih	226
6.5	Zakonodaja o varstvu okolja	228
6.6	Energetska zakonodaja	229
6.6.1	Energijsko označevanje	230
	<b>LITERATURA</b>	231

---

# PREDGOVOR

---

Knjiga je namenjena predvsem študentom strojništva, pa tudi vsem drugim, ki bi radi ustvarjali nove stvari, a hkrati ne spregledali koristnih izkušenj, ki so se skozi čas nabrale v našem prostoru. Čeprav se zdi, da nam bodo danes računalniki pomagali rešiti sleherni problem, je resničnost taka, da računalnik naredi le tisto, kar mu ukaže človek. Da lahko uporabljamo ta napredna orodja, moramo biti danes še toliko bolj učeni in veščiji njihove uporabe. Morda bo marsikdo presenečen, ker knjiga ne vsebuje le načelnih vodil, kako kaj narediti, ampak se pogosto dotakne človekovega razmišljanja, kako neko idejo, ki se rodi v glavi konstruktorja, opremiti z dovolj informacijami, da jo bodo lahko razumeli tudi drugi, kar je pravzaprav bistvo ustvarjanja.

Čeprav je eden od smislov življenja uživati ob ustvarjanju novega, je ob pogledu na živi svet okoli nas vsakomur jasno, da smo ljudje s svojim umovanjem še zelo daleč od živih mojstrov, ki jih najdemo povsod po našem planetu. Bodoče generacije se bodo morale še veliko učiti, da bodo zgradbe, stroje, naprave in druge stvari, ki nam lajšajo življenje, naredile še veliko bolj prijazne za človeka in tudi za okolje. V knjigi navedeni napotki konstruktorju so zgolj grobe izkušnje, do katerih se je človek dokopal v dolgih stoletjih svoje zgodovine.

Ne glede na pomisleke, da morda naše ustvarjalno delo na dolgi rok ni vedno najbolj koristno, pa se vendarle splača potruditi, da naše izdelke naredimo kar najboljše in upoštevamo tisto, kar smo se kot civilizacija naučili do sedaj. Torej uporabimo izkušnje, stopimo na ramena zgodovine in delajmo, kot so znali naši predhodniki ali še bolje, in seveda glejmo naprej.

Maribor, junij 2021

Avtorji





---

# 1 UVOD

---

Proces razvijanja novega izdelka je kompleksen proces, ki se običajno začne na povsem abstraktnem nivoju, potem pa se sistematsko odvija po bolj ali manj znanih korakih do nedvoumno specificirane dokumentacije, ki zagotavlja enoličen proizvod.

Na začetku razvojnega dela je treba razumeti konkreten problem, videti neko potrebo ali se zavedati določene težave. To večkrat ni enostavno, saj so problemi, potrebe in težave zelo relativne in v veliki meri odvisne od sposobnosti človeka, ki se loteva razvojnega dela. Veliko stvari je odvisnih tudi od reda v družbi, ki je običajno opredeljen z različnimi zakoni, predpisi in standardi. Na dodatno relativnost tega, kaj naj bi človeka pripravilo do ustvarjalnega dela, pa vplivajo še mnogi drugi dejavniki v ožji ali širši družbi. Vsi ti dejavniki v nekem trenutku povzročijo, da v določenem okolju dozori misel, kako nujno bi bilo treba rešiti določen problem, kako zadovoljiti potrebo po nečem ali kako odpraviti določeno težavo. Po tem spoznanju se začne razvoj novega izdelka ali nove storitve.

V zgodnji fazi razvoja, ko se ideja o nečem novem šele poraja, se vse dogajanje odvija v mislih strategov, vizionarjev ali poslovnežev. Če slednji opazijo določeno težavo, problem ali potrebo in se naposled odločijo, da želijo zadevo razrešiti, steče postopek razvoja novega izdelka ali storitve. Sprva je treba dobro pojasniti problem, ki ga nameravamo reševati in razumeti zahteve, ki jih bo pri tem treba izpolniti. Čeprav si na tej stopnji običajno postavimo ambiciozne, a dosegljive cilje, je treba zavestno razmišljati tudi o možnosti, da problem morda ne bo rešen v celoti.

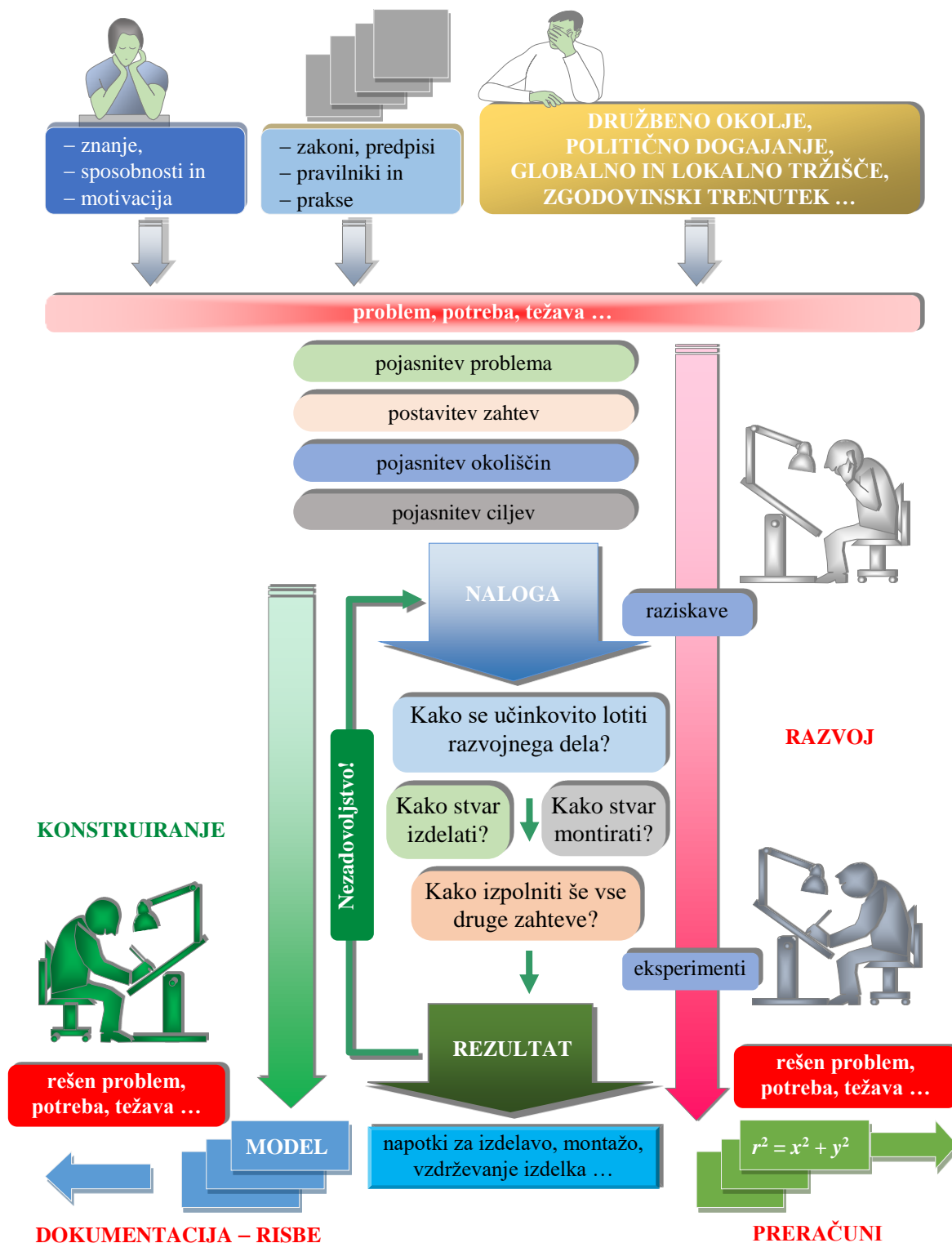
Vse zgoraj navedene aktivnosti, ki utemeljujejo razloge za novo ustvarjalno delo, so sicer del razvoja, ne pa tudi konstruiranja v ožjem pomenu besede. Proces konstruiranja se namreč začne takrat, ko imamo zanesljive odgovore o tem, da je razvoj smiseln. Tako se lahko strokovnjaki (konstruktorji) osredotočijo na iskanje čim boljše konstrukcijske variante za razrešitev določenega problema. Težnja konstruktorja je izdelati uporabno in dobro tehnično dokumentacijo, ki bo omogočila postavitve učinkovite tehnologije in kasnejšo izdelavo izdelka. Konstruiranje je konkreten proces, ki mora dati uporabne dokumente, zato mora konstruktor poznati izkušnje drugih, ki so se ukvarjali s podobnimi problemi. Pri svojem delu mora konstruktor upoštevati tudi določene zakonitosti (predpise) in načela. Vsekakor je preprosteje upoštevati zakonitosti, saj so le-te jasno določene (npr. napetost zaradi zunanje obremenitve mora biti manjša od trdnosti materiala) in jih konstruktor mora upoštevati. Težje je upoštevati načela, saj so slednja le splošne smernice, ki jih lahko konstruktor upošteva v večji ali manjši meri. Vsekakor pa lahka vsak na videz sicer dober izdelek ali storitev še izboljšamo, kar je pravzaprav bistvo upoštevanja načel. Konstruktor je z vsemi zakonitostmi in načeli praviloma dobro seznanjen in jih uporablja, da naredi tehnično dokumentacijo, po kateri bo možno narediti izdelek ali razviti storitev, ki bosta vsaj deloma rešila določen problem, zadovoljila določeno potrebo ali odpravila določeno težavo.

Da bo konstruktor zanesljivo opravil svoje delo, bo morda treba narediti še kakšne eksperimente ali druge raziskave, kar je spet predmet razvoja. Tako pridobljene informacije in dognanja so potem uporabni tudi pri reševanju drugih (podobnih) problemov na obravnavanem področju.

## **Razvoj in konstruiranje**

Proces razvoja novega izdelka je shematsko prikazan na sliki 1.1. Ko v okviru tega procesa govorimo o konstruiranju v ožjem pomenu besede, se le-to nanaša predvsem na izdelavo tehniške dokumentacije (tehniških risb), ki je osnova za kasnejšo izdelavo izdelka. Gledano širše pa lahko pod pojmom

konstruiranje poleg izdelave tehniške dokumentacije razumemo tudi druge aktivnosti, kot na primer določevanje trdnosti uporabljenih materialov, analiziranje nastopajočih obremenitev, vrednotenje obratovalnih pogojev, določevanje zanesljivosti obratovanja itd. Gledano s tega vidika je včasih težko dosledno razločevati razvoj in konstruiranje. V splošnem velja načelo, da predstavljajo zgodnje faze konstruiranja razvoj novih idej in pravzaprav razvoj kot tak, poznejše faze konstruiranja pa se osredotočajo na izdelavo tehniške dokumentacije (tehniških risb).



Slika 1.1: Proces razvoja novega izdelka

Definicijo konstruiranja so skušali postaviti že mnogi avtorji. V nadaljevanju so navedene le tiste, ki se v strokovni literaturi največkrat pojavljajo.

### Definicija 1

Konstruiranje je ustvarjalni proces, pri katerem rešujemo nalogo, ki je po tehnični plati povezana z določeno človekovo potrebo. Na osnovi abstraktne predstave skonstruiramo izdelek, ki je funkcionalen, primeren za proizvodnjo in je tudi dovolj vzdržljiv, da ga lahko uporabljamo.

### Definicija 2

Proces konstruiranja pomeni, da postavljeno tehnično nalogo rešimo čim bolj racionalno in pri tem uporabimo postopke in metode, ki nas v čim krajšem času sistematično vodijo od ideje do konkretne uporabne rešitve.

### Definicija 3

Konstruiranje je proces ustvarjanja novih tehničnih dobrin, ki so koristne za človeško družbo. Ta proces omogoča uresničitev zamisli oziroma idej, in sicer tako, da lahko človek naredi model izdelka, ki ga lahko predstavi drugim. V procesu konstruiranja se uporabljajo različna naravoslovna znanja in sistemska orodja, pa tudi izkušnje in eksperimentiranje.

### Definicija 4

Konstruiranje je ustvarjalni proces dela, s katerim iščemo optimalno rešitev. Za osnovo jemljemo človekove potrebe. Potem si ustvarjamo abstraktne vizije rešitve, ki jih postopoma razvijamo do dokumentiranega modela. V procesu konstruiranja igra primarno vlogo funkcionalnost izdelka, pomembne pa so tudi izdelovalnost, vzdržljivost in sprejemljivost za uporabo.

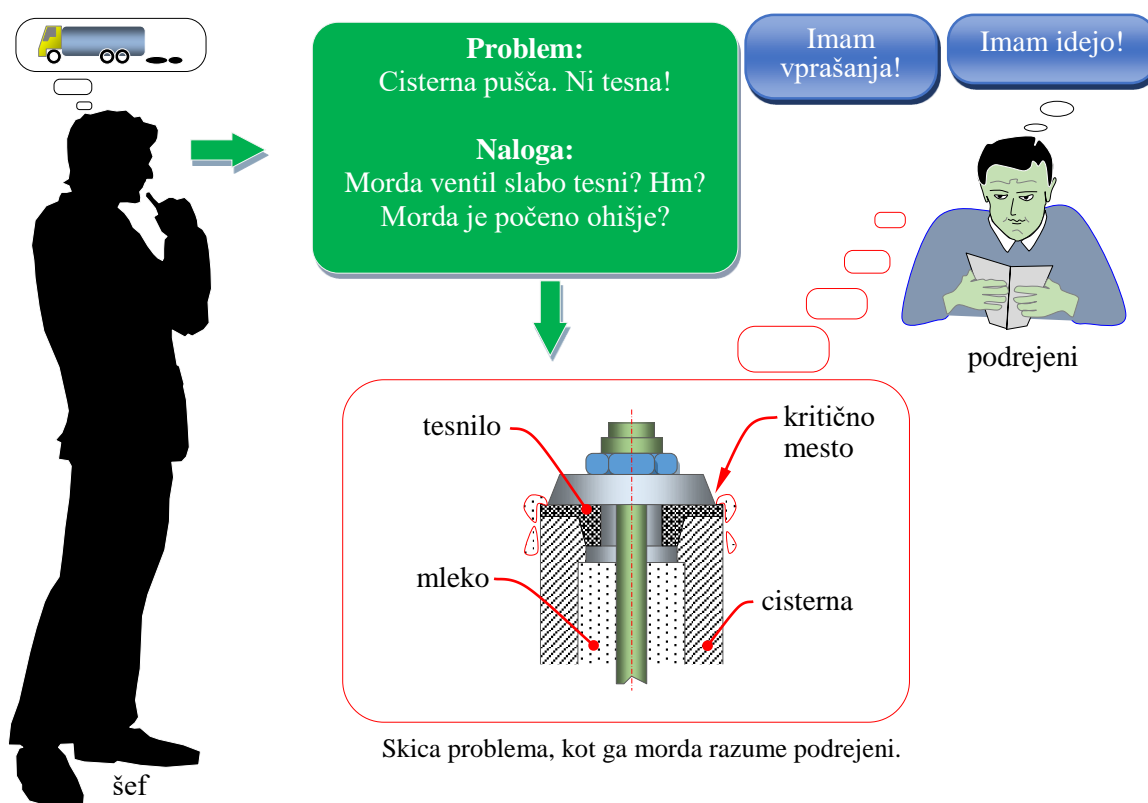
Vse štiri definicije konstruiranja navajajo določene trditve, katerih pomen je podrobno opisan in razložen v preglednici 1.1.

**Preglednica 1.1:** Pomen trditev v definicijah konstruiranja

<b>Trditev</b>	<b>Pomen</b>
To je ustvarjalni proces.	To pomeni, da je razvoj zaporedje povezanih aktivnosti, ki na osnovi postavljenih ciljev in robnih pogojev postopoma preoblikujejo idejo v opredmeteno rešitev.
Zadovoljuje človeške potrebe.	Človeške potrebe so relativne. Odvisne so od okolja in časa, kjer živimo. Postavljajo jih gibanja v družbi. Nekatere potrebe se zdijo realne, druge so očitno zgolj navidezne. Nekatere potrebe so življenjsko nujne, druge so povzročene umetno.
Začne se z abstraktno vizijo.	Na začetku je ideja zgolj abstraktna v možganih izumitelja. Kasneje postopoma prehaja v realne modele, ki jih lahko razumejo tudi drugi ljudje.
Rezultat je uporaben izdelek ali proces.	Funkcionalnost je primarna lastnost izdelka, ki je plod konstrukcijskega oziroma razvojnega procesa. Funkcionalnost pomeni, da lahko osnovne zahteve, ki so podane z nalogo, enolično izpolnimo.
Izdelek je vzdržljiv.	To pomeni, da mora biti konstrukcijska rešitev sposobna prenesti določene mehanske, kemične, toplotne, električne in druge obremenitve, ki so podane z robnimi pogoji obratovanja izdelka. Izdelek mora trajati določeno dobo uporabnosti.
Izdelek je moč izdelati z razumnimi tehnologijami.	Izdelek, kot si ga je zamislil njegov konstruktor, je moč narediti z razpoložljivimi tehnologijami, materiali in sredstvi.
Izdelek je sprejemljiv za uporabnika.	Trg mora biti pripravljen na nov izdelek. Izdelek mora biti varen za uporabo. Za igrače mora na primer veljati, da ne smejo vsebovati snovi, ki so strupene. Konstruktor mora razmišljati o udobnosti uporabe, kar pomeni, da mora izdelek ustrezati ergonomskim zahtevam. Upoštevana morajo biti merila estetike. Standardi, predpisi in zakoni, ki veljajo na nekem področju, morajo biti upoštevani pri gradnji stroja ali naprave.

## 1.1 SISTEMATSKO RAZVOJNO DELO

Ustvarjanje kompleksnih izdelkov običajno ni stvar posameznika, temveč skupine ljudi, ki imajo različne sposobnosti in tudi različne odgovornosti. Za uspešno razvojno delo je pomembno, da je komunikacija med vsemi sodelujočimi na razvojnem projektu odprta, pri čemer se mora vsak zavedati svojih pristojnosti in tudi odgovornosti. Slednje se sicer bistveno razlikujejo med nadrejenimi in podrejenimi, zato je pomembno, da so vsi sodelujoči v razvojnem procesu dovolj dobro seznanjeni z delom, ki ga je treba opraviti. Avtoriteta nadrejenih je seveda pomembna, vendar mora biti izvajana na podlagi primerne komunikacije s podrejenimi. Značilen primer dobro postavljene razvojne naloge je prikazan na sliki 1.2. Čeprav nadrejeni morda sploh ni pojasnil vseh okoliščin o nastalem problemu, so komunikacijske poti odprte in podrejeni se bo hitro dokopal do pravih informacij. Dobra komunikacija pa seveda ni zadosten pogoj za dobro opravljeno delo. Upoštevati je treba, da so ljudje med seboj zelo različni in da dojemajo stvari vsak na svoj način. Najbolj pomemben trenutek vsake naloge je zagotovo njen začetek, saj si vsak sodelujoči že na začetku ustvari stališče do dela, ki ga čaka. Če nam je zadano delo simpatično in smo prepričani, da ga bomo zmogli opraviti, se ga bomo lotili s pozitivno energijo, kar običajno vodi do uspešnega zaključka.



**Slika 1.2:** Dober način podajanja razvojne naloge

V praksi pa so pogosti tudi primeri (slika 1.3), ko nadrejeni od svojih podrejenih zahteva rešitev naloge ob pomankanju pomembnih podatkov. Pri tem nadrejeni običajno nastopa še s svojo avtoriteto in daje vtis nedostopnosti, zato podrejeni ne upajo postaviti ustreznih vprašanj, da bi dobili primerne in potrebne odgovore. Ob pomanjkljivih informacijah, slabi komunikaciji in nepopolnih napotkih za delo pa je skoraj nemogoče pričakovati, da bo razvojno delo dobro opravljeno. Rezultat kakršne koli faze konstruiranja, ki bo sledil slabo podani razvojni nalogi, bo zato napačen in verjetno neuporaben.

Odločilno za uspeh je vsekakor medsebojno zaupanje, ki ga ni moč pridobiti z agresivnim pristopom, temveč je posledica dobrih izkušenj, ki si jih človek postopoma pridobi pri vzajemnem odnosu z drugimi. Pri komunikaciji in nasploh pri sodelovanju vseh sodelujočih mora vladati medsebojno zaupanje, ki temelji na dobrih človeških lastnostih in tudi na strokovnem znanju. Odlično strokovno znanje mora biti lastnost predvsem vodilnih (nadrejenih) in tistih, ki rešujejo razvojne naloge.

# OSNOVE KONSTRUIRANJA: UNIVERZITETNI UČBENIK

STANISLAV PEHAN, SREČKO GLODEŽ IN JANEZ KRAMBERGER

Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Maribor, Slovenija.

E-pošta: stanislav.pehan@um.si, srecko.glodez@um.si, janez.kramberger@um.si

**Povzetek** V učbeniku so predstavljene teoretične osnove konstruiranja strojnih delov in elementov konstrukcij, ki so na posameznih mestih dopolnjene z nekaterimi praktičnimi primeri. Na začetku so pojasnjeni nekateri osnovni pojmi pri konstruiranju, v nadaljevanju pa so podrobno obravnavane posamezne stopnje konstruiranja (načrtovanje, koncipiranje, snovanje in razdelava), ki skupaj s splošnimi smernicami za konstruiranje in konstrukcijskimi materiali predstavljajo osrednji del učbenika. Na koncu so na kratko predstavljena še orodja pri konstruiranju in tehnična zakonodaja na področju konstruiranja. Učbenik je v osnovi namenjen študentom strojništva pri predmetih *Osnove konstruiranje in Metodika konstruiranja*, uporaben pa je tudi pri predmetih sorodnih vsebin. Ker je v učbeniku precej praktičnih zgledov, predstavlja koristen pripomoček tudi konstruktorjem pri konstruiranju v vsakdanji tehniški praksi.

**Ključne besede:**

konstruiranje,  
tehniška  
dokumentacija,  
inženirska  
gradiva,  
orodja pri  
konstruiranju,  
tehnična  
zakonodaja



Univerza v Mariboru

Fakulteta za strojništvo



Cena: 10,50 €