

Univerzitetna založba  
Univerze v Mariboru

učbenik

# Konstruiranje strojev in naprav

Janez  
**Kramberger**

Stanislav  
**Pehan**

Srečko  
**Glodež**





Univerza v Mariboru

---

Fakulteta za strojništvo

# Konstruiranje strojev in naprav

Učbenik

Avtorji

**Janez Kramberger**

**Stanislav Pehan**

**Srečko Glodež**

Julij 2023

<b>Naslov</b> <i>Title</i>	<b>Konstruiranje strojev in naprav</b> <i>Design of Machinery and Devices</i>	
<b>Podnaslov</b> <i>Subtitle</i>	<b>Učbenik</b> <i>Textbook</i>	
<b>Avtorji</b> <i>Authors</i>	Janez Kramberger (Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo)  Stanislav Pehan (Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo)	Srečko Glodež (Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo)
<b>Recenzija</b> <i>Review</i>	Gorazd Fajdiga (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta)	Jože Flašker (Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo)
<b>Lektoriranje</b> <i>Language editing</i>	Mojca Blažej Cirej (TAIA INT d.o.o.)	
<b>Tehnična urednika</b> <i>Technical editors</i>	Janez Kramberger (Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo)	Jan Perša (Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba)
<b>Oblikovanje ovitka</b> <i>Cover designer</i>	Jan Perša (Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba)	
<b>Grafika na ovitku</b> <i>Cover graphics</i>	Kramberger, Pehan, Glodež, 2023	<b>Grafične priloge</b> <i>Graphic material</i> Kramberger, Pehan, Glodež, 2023
<b>Založnik</b> <i>Published by</i>	<b>Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba</b> Slomškov trg 15, 2000 Maribor, Slovenija <a href="https://press.um.si">https://press.um.si</a> , <a href="mailto:zalozba@um.si">zalozba@um.si</a>	
<b>Izdajatelj</b> <i>Issued by</i>	<b>Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo</b> Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenija <a href="https://um.fs.si">https://um.fs.si</a> , <a href="mailto:fs@um.si">fs@um.si</a>	
<b>Izdaja</b> <i>Edition</i>	Prva izdaja	<b>Izdano</b> <i>Published at</i> Maribor, julij 2023
<b>Vrsta publikacije</b> <i>Publication type</i>	E-knjiga dostopna za študente Univerze v Mariboru, Fakultete za strojništvo	
<b>Dostopno na</b> <i>Available at</i>	<a href="https://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/795">https://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/795</a>	

<p>CIP - Kataložni zapis o publikaciji Univerzitetna knjižnica Maribor</p> <p>621.8(075.8)(0.034.2)</p> <p>KRAMBERGER, Janez, 1963- Konstruiranje strojev in naprav [Elektronski vir] : učbenik / avtorji Janez Kramberger, Stanislav Pehan, Srečko Glodež. - 1. izd. - E- učbenik. - Maribor : Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba, 2023</p> <p>Način dostopa (URL) : <a href="https://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/795">https://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/795</a> ISBN 978-961-286-760-7 (Web, Pdf) doi: 10.18690/um.fs.3.2023 COBISS.SI-ID 159021315</p>
---

© **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** 978-961-286-760-7 (pdf)

**DOI** <https://doi.org/10.18690/um.fs.3.2023>

**Cena**  
*Price* Brezplačni izvod

**Odgovorna oseba založnika**  
*For publisher* prof. dr. Zdravko Kačič,  
rektor Univerze v Mariboru

**Citiranje**  
*Attribution* Kramberger, J., Pehan, S., Glodež, S. (2023). *Konstruiranje strojev in naprav: učbenik*. Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba. doi: 10.18690/um.fs.3.2023

---

# KAZALO

---

<b>PREDGOVOR</b>	1
<b>1 UVOD</b>	3
<b>1.1 Stopnje konstruiranja</b>	6
1.1.1 Načrtovanje	6
1.1.2 Koncipiranje	7
1.1.3 Snovanje	9
1.1.4 Razdelava	9
<b>1.2 Dejavniki pri konstruiranju</b>	9
<b>1.3 Pristop sinteze k snovanju konstrukcijske izvedbe</b>	11
<b>1.4 Življenjski cikel stroja</b>	11
<b>1.5 Gospodarski vidik</b>	12
<b>1.6 Razvojni proces v življenjskem ciklu stroja</b>	13
<b>1.7 Skupinsko delo pri načrtovanju strojev</b>	14
<b>1.8 Razvoj in konstruiranje</b>	15
<b>2 TEHNIČNI PREDPISI IN STANDARDI</b>	17
<b>2.1 Splošno o tehnični zakonodaji</b>	17
<b>2.2 Evropska tehnična zakonodaja novega pristopa</b>	20
<b>2.3 Standardizacija in standardi</b>	22
2.3.1 Definicije in pojmi v standardizaciji	23
2.3.2 Vrste standardov	24
2.3.3 Harmonizirani evropski standardi	25
2.3.4 Postopki ugotavljanja skladnosti	28
<b>2.4 Zakonodaja o strojih</b>	29
2.4.1 Direktiva o strojih in Pravilnik o varnosti strojev	30
<b>2.5 Zakonodaja o varstvu okolja</b>	33
<b>2.6 Energetska zakonodaja</b>	34
2.6.1 Energijsko označevanje	35
<b>2.7 Ekodizajn in okoljska trajnost</b>	36
<b>3 ČLOVEK IN DELOVNO OKOLJE</b>	37
<b>3.1 Delovno okolje</b>	37
<b>3.2 Ergonomija</b>	39
3.2.1 Antropološke lastnosti človeka	40

<b>4</b>	<b>NEVARNOSTI IN TVEGANJA PRI UPORABI STROJEV</b>	49
4.1	Nevarnost in tveganje	49
4.2	Nevarnosti v delovnem okolju	50
4.2.1	Stohastične in deterministične nevarnosti	54
4.3	Analiza nevarnosti in tveganj	57
4.3.1	Namen analize nevarnosti	58
4.3.2	Izvedba analize nevarnosti	59
4.4	Ocenjevanje tveganj za stroje	62
4.4.1	Elementa tveganja	63
4.4.2	Matrika tveganja	65
4.4.3	Ocena tveganj z uporabo grafikona tveganja	65
4.5	Ocena tveganja	66
4.5.1	Zmanjševanje tveganja	70
4.5.2	Zmanjševanje tveganja z dopolnilnimi ukrepi	73
4.6	Praktični primer ocenjevanja tveganja	74
4.7	Tehnična dokumentacija za stroje	76
4.7.1	Vsebina in sestava tehnične dokumentacije	76
4.7.2	Dokumentacija o oceni tveganja in zmanjšanju tveganja	77
4.7.3	Navodilo za uporabo	77
<b>5</b>	<b>VARNOSTNA TEHNIKA STROJEV</b>	79
5.1	Koncepti varnostne tehnike strojev	80
5.2	Osnovni ukrepi konstruktorjev	81
5.2.1	Konstruktorski ukrepi za odpravo stohastičnih nevarnosti	81
5.2.2	Konstruktorski ukrepi za odpravo determinističnih nevarnosti	83
5.3	Metode varovanja strojev	86
5.4	Varovala	87
5.4.1	Izbira varoval	87
5.4.2	Ostali dejavniki pri načrtovanju varoval	93
5.4.3	Senzorske naprave za zaporna varovala	94
5.5	Varovalne naprave	95
5.5.1	Mehanske zaznavalne naprave	96
5.5.2	Optoelektronske varovalne naprave	97
5.5.3	Varovalne krmilne naprave za zagon in zaustavitev	101
5.6	Varnostne razdalje pri mehanskem varovanju strojev	104
<b>6</b>	<b>STROJI IN VPLIV NA OKOLJE</b>	107
6.1	Hrup strojev	107
6.1.1	Vpliv hrupa na človeka	107
6.1.2	Konstruktorski ukrepi za zmanjšanje hrupa	109
6.2	Vibracije strojev	114

6.2.1	Konstruktivski ukrepi za zmanjšanje vibracij	114
	<b>LITERATURA</b>	119
	<b>DODATEK 1: IZRAZI IN DEFINICIJE</b>	123
	<b>DODATEK 2: SEZNAM NAJPOMEMBNEJŠIH STANDARDOV ZA STROJE</b>	125
	<b>DODATEK 3: ES-IZJAVA O SKLADNOSTI</b>	133





---

# PREDGOVOR

---

Konstruiranje strojev in naprav je osrednji del dejavnosti strojegradnje, s katero se srečujejo diplomanti strojništva v inženirski praksi. Današnji stroji in naprave so vse bolj kompleksni. Njihov razvoj je povezan z vse večjimi zahtevami po varnosti in zanesljivosti. Konstruktorji strojev in naprav morajo tako poleg osnovnega tehničnega znanja s področja strojništva tudi pravilno razumeti, obravnavati in ustrezno vključevati tehniško zakonodajo, s poudarkom na upoštevanju varnosti za uporabnike strojev. Namen tega učbenika je na poenostavljen način pojasniti metode, s katerimi je mogoče izpolniti zahteve glede varnosti strojev, ki jih postavljata evropska in slovenska zakonodaja na tem področju. Zaradi vse večje kompleksnosti strojev se povečuje število tehničnih predpisov, standardov in dobrih praks, katerih skupen cilj je zagotoviti ustrezno raven varnosti. V učbeniku so obširneje pojasnjena osnovna načela, povezana z varovalnimi tehnikami strojev, s katerimi zagotavljamo ustrezno zaščito uporabnikov in okolja pred nevarnostmi pri uporabi strojev. Prikazani so tako osnovni, kakor tudi zapleteni in tehnično naprednejši sistemi varovanja strojev. Učbenik je lahko za načrtovalce in proizvajalce strojev tudi pripomoček pri strokovno pravilnem konstruiranju in upoštevanju zahtev za stroje, ki izhajajo iz tehničnih predpisov. V njem smo si prizadevali podati konstruktorjem dovolj osnovnih informacij, ki jih potrebujejo pri izpolnjevanju številnih zahtev, s katerimi se soočajo pri načrtovanju strojev.

S posebnim zadovoljstvom se zahvaljujemo recenzentoma in lektorici za trud pri pregledu učbenika. Prav tako se vnaprej zahvaljujemo bralcem in uporabnikom, ki lahko s svojimi morebitnimi pripombami in predlogi prispevajo k njegovi še večji uporabni vrednosti.

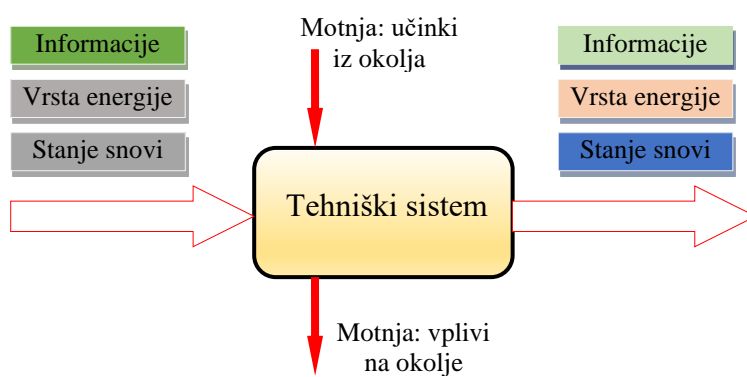


---

# 1 UVOD

---

V splošnem strojništvu pogosto srečujemo tri izraze: stroj, naprava, aparat. Da bi lahko razložili njihov pomen, je treba najprej razložiti pojem *tehniški sistem* (slika 1.1). Čeprav so tehniški sistemi v splošnem sposobni obdelati vse tri osnovne veličine (informacije, energijo, stanje snovi), je za določen tehniški sistem pogosto primarno le eno področje. Na tej osnovi potem definiramo, ali je določen tehniški sistem stroj, naprava ali aparat.



**Slika 1.1:** Tehniški sistem

**Stroj** je tehniški sistem, katerega primarna funkcija je spreminjanje energije. Tipični predstavniki strojev so motorna vozila. Njihovi motorji pretvarjajo kemijsko energijo goriva v mehansko delo, ki se porabi za premagovanje kotalnega upora koles, zračnega upora vozila, upora strmine in delo, ki je potrebno za pospeševanje vozila. Avtomobili so torej stroji, ki primarno pretvarjajo kemijsko energijo vozila v delo za premagovanje različnih uporov. Seveda so avtomobili uporabni le takrat, če imajo tudi sisteme za upravljanje, kot sta krmilni in zavorni sistem, vendar zaradi tega avtomobil še ni tehniški sistem, ki bi pretvarjal informacije, saj so te le sekundarnega pomena.

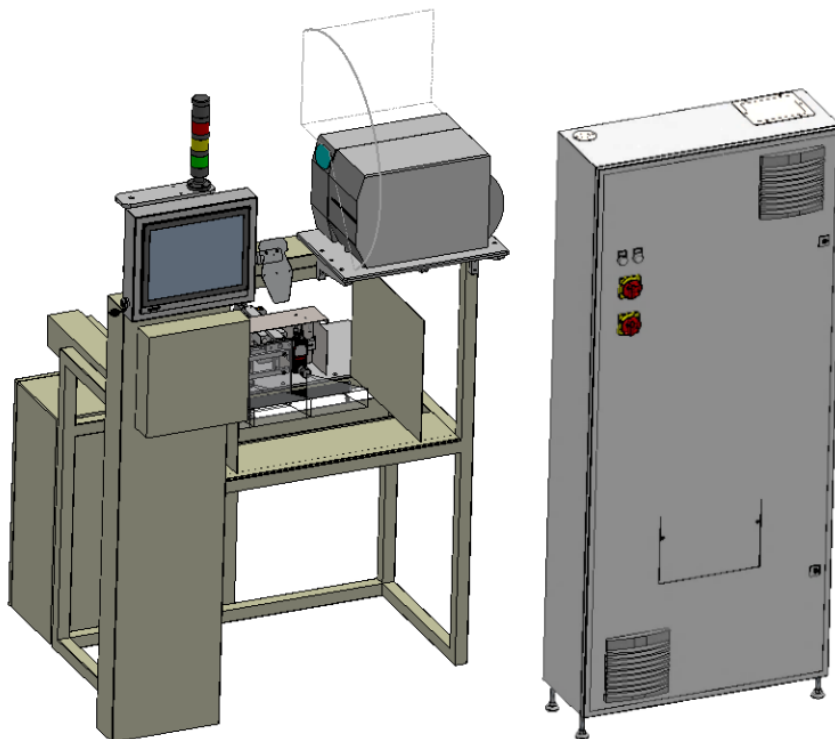
**Naprava** je tehniški sistem, katerega primarna funkcija je pretvarjanje informacij. Takšna tehniška sistema sta na primer telefon in televizija. Za svoje delovanje oba potrebujeta tudi električno energijo, ki jo na koncu sicer v veliki meri pretvorita v toploto, vendar to ni njun primarni proces, ki poteka v teh tehniških sistemih. Primarni proces pri teh napravah je očitno pretvarjanje elektromagnetnega valovanja v zvok ali sliko.

**Aparat** je tehniški sistem, ki pretvarja predvsem stanje snovi. Z aparati kuhamo kavo (kavni avtomat), z njimi lahko pripravljamo sadne napitke (multipraktik), se z njimi brijemo (brivski aparat) itd. Seveda tudi aparati za svoje delovanje potrebujejo energijo in jih je treba krmiliti, toda aparati predvsem nekaj naredijo s snovjo, s katero so v stiku.

Meje med stroji, napravami in aparati niso vedno povsem jasne in nedvoumne, kar je predvsem posledica tradicije poimenovanja, pa tudi prekrivanja posameznih funkcij. Tako na primer štedilnik nekateri štejejo med naprave, drugi pa med aparate, čeprav z njim primarno kuhamo in pečemo, a se včasih tudi grejemo in družimo okoli njega.

V tem učbeniku se osredotočamo predvsem na konstruiranje strojev in le v manjši meri na naprave in aparate. V strojništvu predstavlja konstruiranje strojev eno od glavnih področij strojništva. Konstruiranje strojev lahko opredelimo kot postopek določanja zasnove stroja in njegovih sestavnih delov. Stroj lahko opredelimo kot sistem elementov, ki so med seboj povezani tako, da prenašajo gibanje in energijo na vnaprej določen in nadzorovan način, ali povedano še preprosteje, kot sistem za nadzor sil in gibanja. V splošnem ločimo *pogonske stroje* (motorji z notranjim zgorevanjem, elektromotorji itd.) in *delovne stroje* (obdelovalni stroji, preoblikovalni stroji, gozdarski stroji, kmetijski stroji itd.). V nasprotju s strojem, kjer je vedno prisotno določeno gibanje, je naprava skupek povezanih delov ali komponent, ki za opravljanje svoje osnovne funkcije (pretvarjanje energije) ne potrebuje gibljivih delov. Naprava je navadno večji predmet, sestavljen iz več sestavnih delov, ki omogoča, olajša oz. opravlja neko delo (npr. hladilna naprava, kontrolna naprava, merilna naprava, namakalna naprava, klimatska naprava, športna naprava itd.). Tipičen primer naprave je računalnik, ki je zasnovan z namenom, da brez težav izračuna eno ali več računskih funkcij. Pametni telefon je naprava, ki skupaj z osnovno funkcijo klicanja omogoča še ustvarjanje in pošiljanje, shranjevanje informacij, namestitve aplikacij itd. Kot je torej navedeno, je razlika med strojem in napravo včasih nejasna in težko prepoznavna [1, 2].

V širšem smislu se pri inženirskem projektiranju strojev ukvarjamo z načrtovanjem in izdelavo strojev, ki delujejo funkcionalno, varno in zanesljivo. Konstruiranje stroja lahko razumemo tudi kot določanje oblike in konstrukcije stroja kot predmeta, ki je zasnovan in izdelan tako, da opravlja neko namensko funkcijo. Spoznali smo že, da je stroj na splošno sestavljen iz gibljivih delov in opravlja določeno funkcijo, pri tem pa porablja moč in pretvarja energijo. Omenili smo že, da je tipičen primer stroja v strojništvu vozilo. Primer sodobnega stroja je na sliki 1.2, ki prikazuje polavtomatski stroj za pakiranje zloženk farmacevtskih izdelkov v večjo kartonsko škatlo. Po končanem pakiranju stroj natisne etiketo, ki se nalepi na kartonsko škatlo [3].



**Slika 1.2:** Stroj za pakiranje farmacevtskih izdelkov v kartonske škatle [3]

Kot primer naprave je na sliki 1.3 prikazana dvizna naprava za transport kovaških surovcev na kovaški liniji. Za dvigovanje bremena sta uporabljena dva hidravlična valja, ki sta pritrjena na ogrodje naprave. Hidravlična valja premikata posodo, v katero se nalagajo kovaški surovci in dvigajo v drčo [4].

# KONSTRUIRANJE STROJEV IN NAPRAV: UČBENIK

JANEZ KRAMBERGER, STANISLAV PEHAN, SREČKO GLODEŽ

Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Maribor, Slovenija  
janez.kramberger@um.si, stanislav.pehan@um.si, srecko.glodez@um.si

Janez Kramberger je redni profesor na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru. Poučuje na vseh treh stopnjah študija. Je strokovnjak na področju konstruiranja, utrujanja materialov, mehanike loma, dimenzioniranja strojnih delov in konstrukcij ter varnosti in zanesljivosti tehniških sistemov. Njegovo raziskovalno delo vključuje sodobne metode inženirskih simulacij in eksperimentalnih raziskav. Ima dobre raziskovalne rezultate in vzpostavljeno mednarodno sodelovanje. Zelo uspešno sodeluje z industrijo doma in v tujini. Rezultate svojega dela objavlja v nacionalnih in mednarodnih znanstvenih in strokovnih revijah ter sodeluje na mednarodnih konferencah. Pri Inženirski zbornici Slovenije je opravil strokovni izpit za pooblaščenega inženirja s področja strojništva.

DOI

[https://doi.org/  
10.18690/um.fs.3.2023](https://doi.org/10.18690/um.fs.3.2023)

ISBN

978-961-286-760-7

**Ključne besede:**

konstruiranje,  
stroji in naprave,  
tehniški predpisi in  
standardi,  
delovno okolje,  
ergonomija,  
nevarnosti in tveganja,  
varnostna tehnika



Univerzitetna založba  
Univerze v Mariboru



Univerza v Mariboru

---

Fakulteta za strojništvo