

# **OPIŠUJEMO SUSTAVE**

Priručnik za državno natjecanje i smotru

Zagreb, 2014.

## SADRŽAJ

UVOD	1
KAKO JE JEDAN SLONIĆ UPOZNAO SUSTAV	2
Rješenje slonićeva problema	2
Što se sloniću zapravo događalo?	2
Dijagram uzroka i posljedica	4
Cjeloviti prikaz slonićeve situacije	8
CJELINE OPISA SUSTAVA	10
Što je sustav?	10
Elementi sustava	10
Relacije u sustavu	14
Funkcija sustava	16
Cilj analize sustava	17
Što čini cjeloviti opis sustava?	18
PROCESI U SUSTAVIMA	20
Što je proces?	20
Kibernetička poluga	21
Povratna veza i petlja	21
Osnovni proces: uravnotežujući proces s kašnjenjem	22
Osnovni proces: granice rasta	25
Osnovni proces: prebacivanje tereta	26
Osnovni proces: erozija ciljeva	28
Primjer: Newtonove jednačbe gibanja	29
Primjer: Stanovništvo otoka	30

---

## **PREDGOVOR**

Priručnik je namijenjen učenicama i učenicima srednjih škola koji se pripremaju za sudjelovanje na Državnom natjecanju i smotri „Opisujemo sustave“. Priručnik sadrži opis i primjere osnovnih cjelina koje sadrži kvalitetna analiza nekog sustava, a upravo je dobra analiza temelj sudjelovanja na Državnom natjecanju i smotri. Tekst je napisan na osnovi postojeće, većinom inozemne literature kao i na osnovi iskustva skupljenog tijekom prethodnih godina održavanja ovog natjecanja i smotre.

Naravno, nadamo se kako će priručnik poslužiti i profesoricama i profesorima, mentorima učeničkih radova, za jasniji uvid u to što se traži na Državnom natjecanju i smotri, kao i općenito za jasniji uvid u osnove znanosti o sustavima. Naposljetku, nadamo se kako će priručnik poslužiti svima koji žele razumjeti osnove znanosti o sustavima.

Velik je broj učenica, učenika i mentora, kao i suradnika u organizaciji, do sada bio uključen u ovo natjecanje. Svima zahvaljujemo na uloženom trudu, konstruktivnim diskusijama odnosno inovativnom i motivirajućem sudjelovanju. Neovisno o tome, ako u tekstu primijetite greške, one su odgovornost isključivo autora ovog teksta.

Zagreb, IX. 2014.

Autori

---



## UVOD

*Ne možete razumjeti sustav dok ga ne pokušate promijeniti.*

Niklas Luhmann

Avanture nestašnog slonića Billibonka, autor P. Ramsey zapisao je u nekoliko zanimljivih priča. U jednoj od njih, priči o Billibonku i velikom svrabu, Billibonka zasvrbi koža. Za slonove to nije ništa čudno, to im se često događa i zapravo odavno već imaju razvijene načine kako se rješavaju svraba, npr., mogu se počesati trljanjem o koru nekog drveta. Nadalje, svraba se mogu riješiti tako da im ptice čiste kožu od nametnika koji izazivaju svrab. Ova suradnja ptica i slonova vrlo je interesantna i korisna, kako slonovima, tako i pticama. Slonovima zato jer uklanja uzrok svraba, a pticama zato jer imaju besplatne obroke na leđima slonova. Za razliku od ostalih slonova, slonić Billibonk bio je vrlo nestrpljiv pa nije čekao da mu ptice pojedu uzročnike svraba. Naprotiv, kad ga je zasvrbjelo, on se počeo češati o koru obližnjeg drveća.

Iz njemu nepoznatog razloga, jedini rezultat toga bio je da ga je sljedeći dan koža još više svrbjela! Budući da svrab nije nestao, on se još jače i dulje češao o koru stabla što je opet dovelo do novog povećanja svraba na što se slonić Billibonk još jače i dulje češao o koru drveća, a to je za posljedicu imalo još jači svrab. I tako više dana za redom.

Kad je svrab postao neizdrživ, sloniću nije preostalo drugo nego da počne razmišljati i tražiti uzrok svraba.

Priču o Billibonku nećemo prepričavati, već ćemo samo navesti koje je rješenje našao te njegovo rješenje iskoristiti u sljedećim poglavljima za predočavanje osnova razmatranja sustava.

## KAKO JE JEDAN SLONIĆ UPOZNAO SUSTAV

### Rješenje slonićeva problema

Češući se o koru stabla slonić je tresao i deblo i cijelu krošnju! Ptice, koje smo prethodno naveli kao važne pratitelje slonova, gnijezda su imala upravo u krošnjama drveća koje je Billibonk tresao dok se češao. Malo pomalo, sve veći broj ptica napuštao je svoja gnijezda jer nisu mogle izdržati trešnju stabla. Te su ptice radile gnijezda na drugom drveću, bližem drugim krdima slonova, među kojim su srećom bili samo razumni slonovi koji su znali da je zbog svraba najbolje – malo pričekati! Pričekati da ptice pojedu uzročnike svraba. Potjerane ptice više nisu bile vezane uz hranu na leđima Billibonka, nego su se hranile na leđima slonova čije je krdo bilo blizu.

Dakle, početno je slonić bio dio procesa u kojemu na njegovim leđima nastaju nametnici, ali ih ptice dovoljnom brzinom tamane zbog čega slonića nikad previše ne svrbi. Zbog nestrpljivosti, uklonio je ptice iz tog procesa i ostali su samo nametnici bez prirodnog neprijatelja. Naravno, nakon što je slonić shvatio razloge svraba, počeo se pažljivije ponašati prema pticama tako da su se one opet vratile na stabla blizu Billibonkova krda – i gostile se nametnicima na njegovim leđima.

### Što se sloniću zapravo događalo?

Razmotrimo opisanu situaciju malo drugačije, sa stajališta sustava. Ukratko, trebamo izdvojiti elemente sustava, opisati ih i pravilno povezati uzročno-posljedičnim vezama, tj. relacijama. Nakon toga slijedi analiza sustava, „prepričavanje“ procesa uočenih u sustavu kao niza djelovanja jednih elemenata na druge.

Prije nego li nastavimo, naglasimo kako razmatramo samo jedan sustav kojeg je slonić dio, sustav vezan uz svrab. Slonić je ujedno dio i drugih sustava, npr. svog krda, jednog životnog staništa i dr., ali njih sad ne opisujemo.

Elementi razmatranog sustava su ponašanje slonića, struganje kore, ptice, nametnici i svrab. Ponašanje slonića je skupni naziv za sve radnje slonića koje izravno djeluju na ptice. Ponašanje iskazujemo u rasponu od lošega do dobrog. Reći ćemo kako je ponašanje bolje što je slonić pažljiviji prema pticama. Dakle, ponašanje je bolje što je veći udio radnji koje koriste ili ne smetaju ptice u skupu svih radnji koje ulaze u ponašanje slonića. Naravno, u skupu svih radnji koje ulaze u ponašanje slonića su i one koje smetaju ptice. Odnosno, ponašanje je to gore što je slonić manje pažljiv prema pticama te što je veći udio njegovih radnji koje smetaju ptice u skupu svih radnji koje ulaze u ponašanje slonića. Struganje kore je jedna od radnji koju slonić provodi kad ga svrbi. Razlikovat ćemo različita struganja po njihovom ukupnom intenzitetu kojim mjerimo trajanje i jačinu struganja. Ptice su vrsta životinja koja leti, živi u blizini slonova i kao najvažnije – hrani se nametnicima na koži slonova. Kod ptica pratimo broj ptica. Naravno, ima i drugih ptica, jer se ne hrane sve samo nametnicima sa slonova, ali nas te druge ovdje ne zanimaju. Nametnici su male životinje koje se zavlače u pore na koži slonova te svojim pomicanjem i hranjenjem izazivaju svrab slonova. Slično kao što pratimo broj ptica, tako pratimo i broj nametnika. Budući da su nametnici mali, većim dijelom oku nevidljivi, zamišljamo njihovo prebrojavanje tako što iskazujemo otprilike koliko ih ima po slonu, ili po jedinici površine slonove kože. Svrab je pojava koja se javlja kod slonova kao posljedica življenja nametnika. Navedene elemente mogli smo i drugačije opisati i mjeriti. Umjesto struganja kore mogli smo kao element navesti samo drveće. No, odabir elemenata nije sasvim proizvoljan nego je vezan i uz odabir veza između elemenata pa ćemo se na više mogućnosti odabira elemenata vratiti nakon razmatranja relacija u sljedećem odjeljku. Neovisno o tome kako elemente uvodimo i opisujemo te kako zamišljamo njihovo mjerenje,

moramo navesti opis i zamišljeni način mjerenja samog elementa zbog cjelovitosti i jednoznačnosti daljnjeg razmatranja. Mjerenje se ne odnosi samo na npr. mjerenje duljine ili mase, nego podrazumijevamo šire značenje– procjenjivanje iznosa navedenog elementa, a dovoljna je samo i mogućnost te procjene. Uočimo, izdvojeni elementi međusobno su vrlo različiti. Neki su živa bića, neki su procesi. Općenito, kao elementi u opisu nekog sustava mogu se javiti i predmeti i pojave.

Što se relacija tiče, njih je nešto više nego samih elemenata. Ponašanje slonića može biti takvo da ne pazi na ptice dok tresu njihova gnijezda, ili takvo da pazi na ptice pa ne tresu njihova gnijezda (i omogućava im da se hrane nametnicima na njegovim leđima). Struganje djeluje na slonove opuštajuće i jedno je od posljedica činjenice što postoji drveće u blizini krda slonova. Drveće, osim svojom korom, djeluje na slonove i krošnjom koja daje hlad, a na ptice kao izvor materijala i lokacija gnijezda. Samo struganje kore djeluje negativno na ptice jer im tresu gnijezda. Ptice djeluju na nametnike tako što ih jedu. Nametnici djeluju na slonića tako što mu izazivaju svrab. Nametnici djeluju i na ptice jer ptice napuštaju mjesta na kojima nema nametnika i odlaze na mjesta gdje ima nametnika. Naposljetku, svrab djeluje na slonića. Kad je svrab prejak, izluđuje slonića i time znatno utječe na njegovo ponašanje.

Kao elemente tako smo i relacije mogli drugačije navesti i opisati. Te su mogućnosti vezane. Umjesto elementa „struganje kore“ mogli smo kao element navesti „drveće“. Tada bi relacija između elementa „ponašanje slonića“ i „drveće“ bila opisana kao struganje kore, a relacija između elementa „drveće“ i „ptice“ kao trešnja gnijezda ptica, ili kao kvaliteta staništa. Naravno, što je više trešnje gnijezda, to je manja kvaliteta staništa. Kako to ptice mjere, ne znamo, ali je razumljivo da će se maknuti iz gnijezda u krošnjama koje slonovi previše tresu.

Naposljetku, sami nazivi elemenata nisu precizirani. Dakle, umjesto elemenata „ponašanje slonića“ i drugih mogli smo navoditi elemente kao A, B, ... ili kao 1. element, 2. element, ili drugačije. Naravno, prikazi su jednostavniji ako je oznaka elementa razumljivija pa nastojimo elemente nazivati riječima koje ih u što većoj mjeri opisuju. Pritom nastojimo ne ići u drugu krajnost, u kojoj je naziv elementa velik broj riječi ili cijela rečenica koja ga opisuje. Tako je nekoga moglo zasmetati što smo jedan element nazvali „ptice“ iako smo mislili na vrlo mali broj ptica, možda samo jednu vrstu ptica. Naravno, mogli smo element nazvati „ptice koje se hrane nametnicima na slonovima“ ali bi to bilo nezgrapno. Kao zlatnu sredinu odabrali smo kratki naziv elementa, koji djelomično upućuje na stvarno stanje, a sve potrebne značajke tog elementa navedene su posebno, u definiciji. Zaključno, nazive elemenata i njihove relacije možemo nazivati na različite načine, ali procesi, koji se odvijaju u sustavu i koje pratimo kao utjecaje jednih elemenata na druge, ne smiju ovisiti o samim nazivima.

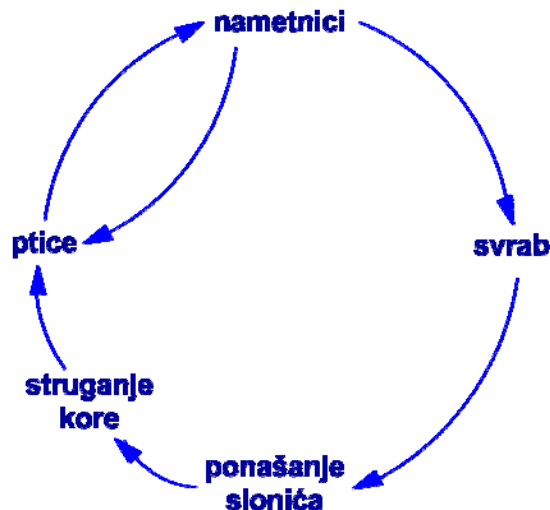
Postoje li dodatne relacije u sustavu? Npr., između ponašanja slonića i nametnika? Između ptica i ponašanja slonića? Naravno! Zapravo, najčešće postoje sve zamislive relacije između svih elemenata u sustavu. Naravno, nećemo ih automatski sve navesti, pobrojati po svim kombinacijama elemenata, nego ćemo navesti samo one značajnije, one relacije koje su po trajanju, po intenzitetu ili nekom drugom svojstvu, značajne za procese koje razmatramo u sustavu. Kako znamo koje su relacije značajne toliko da ih treba uključiti u opis, a koje nisu? Na ovo pitanje odgovoriti ćemo naknadno.

Slično kao za broj relacija, razmotrimo broj elemenata. Jesu li navedeni elementi ujedno i svi potrebni elementi? Ili, jesu li neki od navedenih elemenata suvišni? Recimo, zašto je svrab naveden kao element? On je samo posljedica gibanja nametnika. Čim postoje nametnici javlja se i svrab. Što je više nametnika veći je i svrab. Naposljetku, zašto je element ponašanje slonića, a ne on sam? Na pitanja o uključivanju svraba i ponašanja slonića u elemente potpuno ćemo odgovoriti nakon provedene analize sustava. Zapravo smo sigurni kako ćete, dok pročitate analizu, već sami odgovoriti na njih.

## Dijagram uzroka i posljedica

Nabrajanje elemenata i njihovo povezivanje relacijama vrlo je korisno potkrijepiti i grafički. Toliko je korisno da to smatramo neizostavnim dijelom analize sustava. Opisivani sustav prikazan je na slici 1.

Elementi sustava navedeni su riječima. Popis riječi na grafičkom prikazu podudara se s popisom elemenata. Relacije su predstavljene strjelicama. Relacija veže dva elementa tako da je promjena jednog elementa uzrok, a promjena drugog elementa posljedica relacije. Vrh strjelice nalazi se uz posljedicu. Npr., jedna strjelica polazi od svraba prema ponašanju slonića i označava kako je svrab uzrok ponašanja slonića.



**Slika 1.** Prikaz elemenata i relacija za sustav iz priče o sloniću Billibonku.

S druge strane, ptice su s nametnicima vezane dvjema strjelicama. To označava složenu vezu dvaju elemenata tako što jedan element djeluje na drugi, a drugi djeluje povratno na prvi. U ovom slučaju, ptice jedu nametnike, a nametnici privlače ptice. Ove relacije djeluju vrlo slično. Je li stvarno riječ o dvjema različitim relacijama, ili je zapravo riječ o jednoj jedinoj relaciji koju smo samo opisali dvjema izjavama? Po potrebi u ovoj, kao i u sličnim situacijama koje se javljaju u drugim sustavima, treba više puta razmotriti svaku relaciju kako bismo bili sigurni da nema preklapanja između njih. Također, trebamo razmotriti javlja li se i obratni slučaj u kojemu smo više stvarnih, bitno različitih relacija proglasili za jednu relaciju i označili grafički kao jednu strjelicu jer to treba izbjeći.

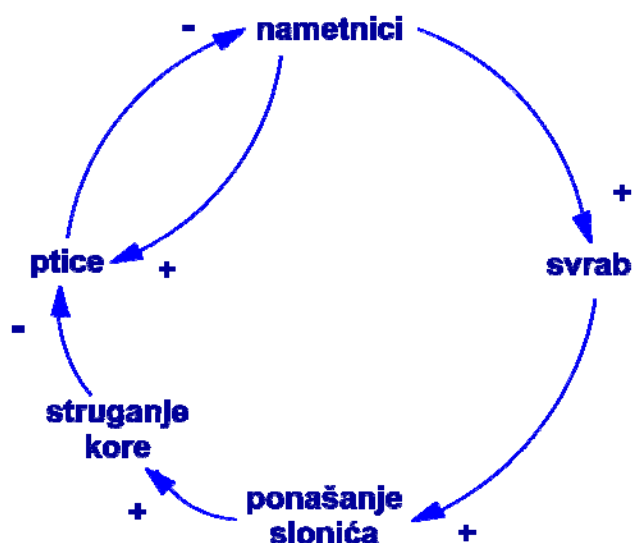
Kombinacija dviju relacija između dva elementa, kakva se javlja između ptica i nametnika na slici 1., česta je pojava u opisima sustava i ima dalekosežne posljedice. Zbog toga je i posebno imenovana. Riječ je o petlji povratne veze, kraće: o petlji. Petlja je svaki niz relacija i elemenata sa svojstvom da ako krenemo od jednog elementa, slijedeći relacije dolazimo opet do tog elementa. Istaknuta petlja zapravo je po broju elemenata i relacija najjednostavnija petlja. Petlje mogu uključivati više elemenata. Uostalom, cjelokupni prikaz na slici 1 je jedna petlja s 4 elementa: ponašanje slonića utječe na ptice koje djeluju na nametnike koji uzrokuju svrab što uvjetuje ponašanje slonića. Petlje zorno pokazuju kako djelovanje jednog elementa utječe na niz drugih elemenata sustava, naposljetku i na sam polazno uočeni element. Svojim ponašanjem, slončić djeluje na svoju okolinu iz koje je ovdje izdvojen jedan element: ptice. Možda je Billibonk radio nestašluke i na drugim dijelovima svoje okoline (npr. možda je surlu napunio vodom pa prskao životinje koje to smeta, možda je otpuhivao mrave dok nose hranu, možda se naguravao s vršnjacima), ali za sam svrab to nije bitno zbog čega pripadne procese i njima zahvaćene elemente ne navodimo.



Vratimo se na prikaz slike 1. Za potpuno predočavanje situacije potrebno je još navesti karakter relacije. Karakter može biti povećavajući ili smanjujući. Karakter relacije određujemo prateći kakve su male promjene relacijom vezanih elemenata. Razmotrimo karaktere relacija na primjeru relacije između nametnika i svraba. Ako se broj nametnika poveća, povećat će se jačina svraba. Takvu relaciju nazivamo povećavajućom ili pozitivnom. S druge strane, razmotrimo karaktere dviju relacija koje vežu ptice i nametnike. Ako se broj ptica poveća, onda će se broj nametnika smanjiti, dakle ta relacija je smanjujuća. Kraće ju nazivamo negativnom. Druga relacija između ptica i nametnika prikazuje kako veći broj nametnika privlači nove ptice. Dakle, ako se poveća broj nametnika, povećat će se i broj ptica. Ta je relacija povećavajuća, tj. pozitivna. Relacija između ponašanja slonića i struganja je smanjujuća jer bolje ponašanje slonića znači manje struganja o koru drveća. Naposljetku, relacija između svraba i ponašanja slonića je smanjujuća jer povećanjem svraba ponašanje slonića je gore. Pritom smo koristili prethodne opise elemenata koji nam omogućuju povezivanje promjena. Prikaz sa slike 1., upotpunjen karakterom relacija, dan je na slici 2. Budući je riječ o čestom načinu prikazivanja elemenata i relacija, tzv. vizualizaciji nekog sustava, korisnoj podlozi za analizu procesa u sustavima, takav se prikaz posebno naziva - to je dijagram uzroka i posljedica.

U dijagramu uzroka i posljedica na slici 2. povećavajući karakter označen je znakom „plus“, +, a smanjujući znakom „minus“, -. Označavanje karaktera može biti i drugačije. Npr., jedne se relacije mogu crtati punom linijom, a druge iscrtkanom ili se relacije mogu prikazivati kao pune linije različitih boja. Naravno, potrebno je uz dijagram navesti što se od navedenoga odnosi na pojedini karakter i toga se stalno pridržavati. Strjelice mogu sadržavati dodatne znakove koji se odnose na svojstva relacije koju strjelica predstavlja. O čemu god pritom bila riječ, potrebno je objasniti značenje upotrijebljenih znakova. U nekim dijelovima teksta tako ćemo na strjelicama posebno označiti je li vremenski raspon u kojemu se ostvaruju promjene elemenata vezanih pripadnom relacijom znatno veće od vremenskih raspona ostalih relacija. Drugim riječima: označit ćemo postoji li kašnjenje.

Strjelice koje predstavljaju relacije ne moramo skicirati kao zakrivljene linije. Možemo ih povlačiti kao vektore, dakle ravne i orijentirane dužine, kao izlomljene linije ili nekako drugačije. Ne moramo ih skicirati primjenom računalnog programa, možemo ih povlačiti prostoručno. U prikazu moramo samo paziti na jednoznačnost relacija, dakle moramo izbjeći preklapanje linija. Možda će nekomе djelovati suhoparno i ograničavajuće, ali dijagram je



**Slika 2.** Dijagram uzroka i posljedica za sustav iz priče o sloniću Billibonku. Znak + označava povećavajući, a znak – smanjujući karakter relacije.

svrsishodniji što su strjelice šturije skicirane. Dakle, smjernica je izrade dijagrama što manje odvlačiti pažnju od onoga što je bitno za analizu sustava. Slika 3. prikazuje različite ispravne dijagrame, jednakovrijedne dijagramu prikazanome na slici 2. To su samo neki od prihvatljivih oblika. Kako je vidljivo, oblik i veličina vrhova strjelica nisu precizirani, bitno je samo da su uočljivi. Koliko su međusobno neki elementu udaljeni, nije određeno sve dok ih se može razlikovati. Raspored elemenata na dijagramu nije bitan. Dakle, nametnici mogu biti dolje, a ponašanje slonića gore na dijagramu. Bilo koji od tih elemenata može biti desno, ili lijevo, a i ostala dva mogu mijenjati svoju poziciju u odnosu na druge elemente. Kod ovih dijagrama, relativno jednostavnih zbog manjeg broja elemenata, ne dolazi do izražaja mogućnost međusobnog presijecanja nekih strjelica. To je poželjno izbjegavati, ali ako nije moguće izbjeći – neka se strjelice presijecaju. Strjelice mogu biti međusobno različite – neke izlomljene, neke ravne, neke zakrivljene, međusobno različitog oblika vrhova, ali je bitno da je karakter relacije na svima jednako označen. Ako su zakrivljene nebitno je na koju su stranu ispupčene, jesu li valovite ili ne. Također je nebitno počinju li i završavaju strjelice od istog ruba riječi koja predstavlja element, npr. jesu li početak ili završetak strjelice na gornjem lijevom rubu naziva elementa, ili na donjem desnom ili u sredini, a također nije bitno počinju li strjelice iz iste ili različitih pozicija. Ako koristite znakove + i – za označavanje karaktera relacije nije bitno koje su veličine ti znakovi: mogu biti pisani jednakom veličinom slova kao i nazivi elemenata, ali i ne moraju. Bitno je samo da su uočljivi i da su odvojeni od drugih cjelina zbog kojih bi mogli biti teže uočljivi ili neuočljivi.

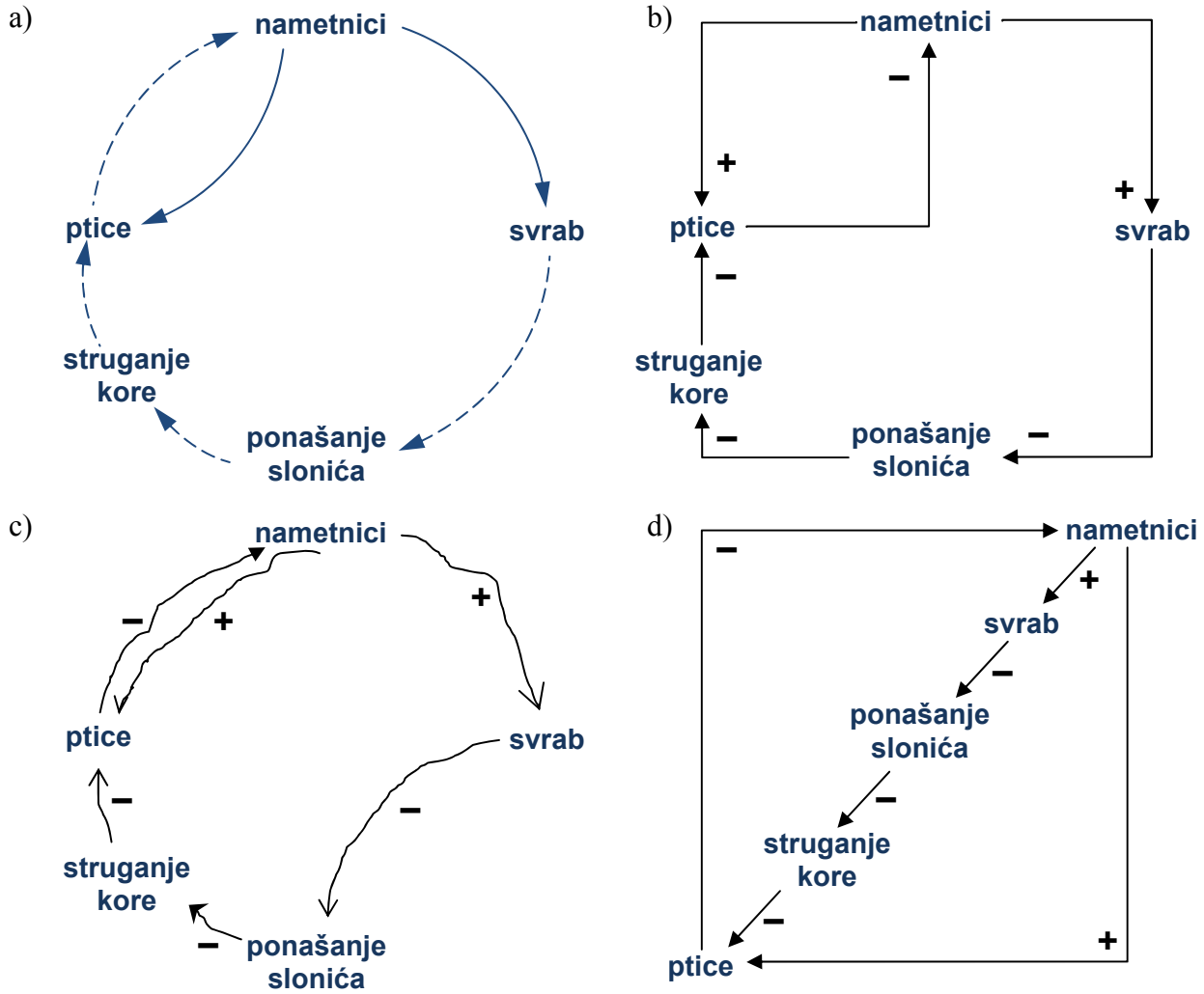
Znači, dijagram uzroka i posljedica jednog te istog sustava može prividno izgledati toliko različit da na prvi pogled nije uopće jasno kako je riječ o dva dijagrama jednog te istog sustava! Svejedno je koji ćete od ispravnih oblika dijagrama uzroka i posljedica sami koristiti. Radi jednostavnosti u daljnjim primjerima prikazivat ćemo samo jedan oblik dijagrama uzroka i posljedica, a podrazumijevati kako su razni oblici ispravni.

Na slici 4. su dijagrami za koje je jasno kako ih treba izbjegavati: dijagram na slici 4.a je neodređen (iz njega nije jasno koji element utječe na ponašanje slonića), a dijagram na slici 4.b je nejasan i odvlači pažnju dijelovima nebitnim za analizu sustava.

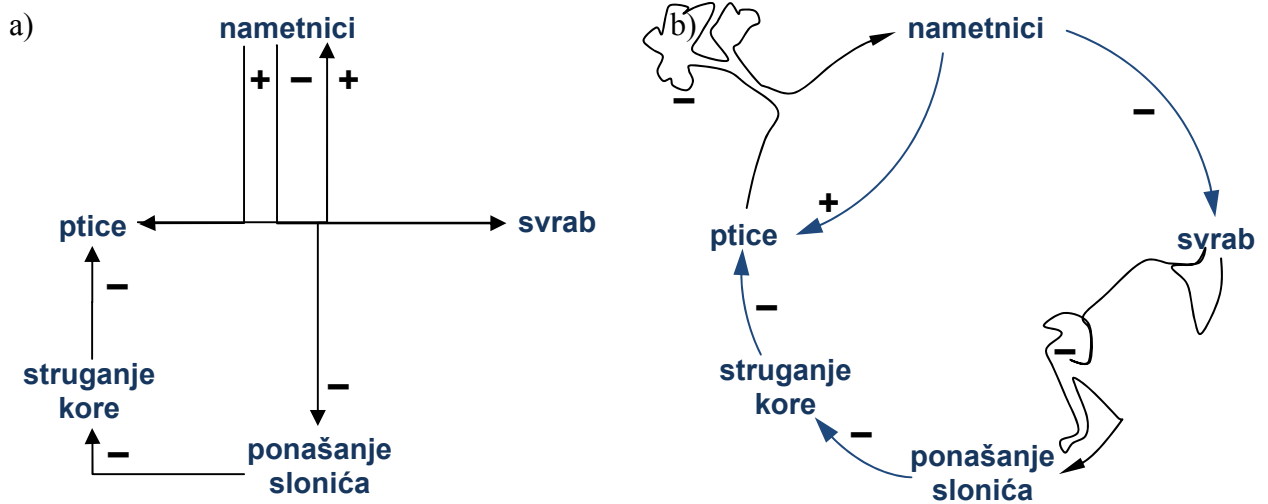
Ako je dijagram uzroka i posljedica korektno i potpuno postavljen, onda iz njega možemo uočiti procese koji se u opisivanom sustavu odvijaju. Npr. ako je ponašanje slonića bolje, bit će više ptica, a manje nametnika pa će svrab biti slabiji. Obratno, ako je ponašanje slonića gore, bit će manje ptica pa će biti više nametnika i više svraba. Pojedini elementi ne mogu rasti ili smanjivati se preko mjere i postati ili neograničeno veliki ili zanemarivo maleni. Jedno od svojstava sustava je i stabilnost.

To znači kako u sustavu u pravilu postoji više relacija različitih karaktera. Relacije se sukobljavaju i razrješavaju unutar sustava, odnosno relacije različitog karaktera stabiliziraju sustav. Razmotrimo to na primjeru prethodno uočene petlje između ptica i nametnika. Zamislimo da ptice jedu sve više i više nametnika i na kraju ih pojedu toliko da ih više gotovo nema. Kao rezultat nastupit će glad ptica jer više neće biti dovoljno nametnika za sve ptice.

Zbog toga će doći do smanjenja broja ptica, npr. tako što će dio ptica otići tražiti druga staništa nametnika, dakle druga krda slonova. To će smanjiti broj pojedenih nametnika pa će se oni tijekom vremena opet namnožiti. A to će opet privući dodatne ptice. Neovisno o tome što se petlja riječima opisuje kao slijed jedne relacije nakon druge, trebamo biti svjesni kako se u stvarnosti obje relacije petlje odvijaju istovremeno. Dakle, ako u nekom trenutku ptice smanje broj nametnika ispod granice na kojoj je prirast nametnika dovoljan za ishranu postojećeg broja ptica, onda se u istom sljedećem trenutku smanjuje i broj ptica i nametnika. Time se u kratkom vremenu stabiliziraju brojnosti populacije ptica i nametnika.



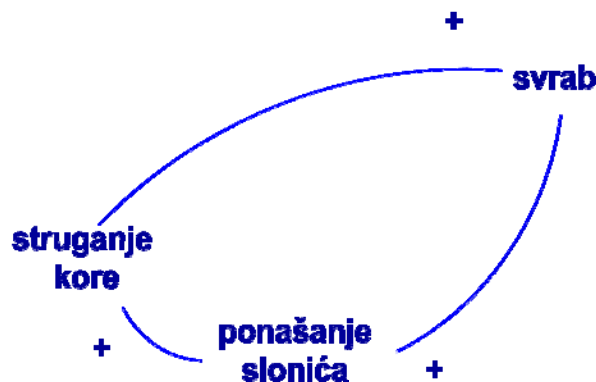
**Slika 3.** Primjeri ispravnih dijagrama uzroka i posljedica sustava slonića Billibonka: a) pune linije označavaju povećavajući, a iscrtkane smanjujući utjecaj; b), c) i d) znak + označava povećavajući, a znak - smanjujući karakter relacije.



**Slika 4.** Dijagrami uzroka i posljedica: a) neodređeni i b) nejasni dijagram.

Razmotrimo proces prikazan većom petljom. On je također stabiliziran u što se uvjeravamo ako pratimo posljedice zamišljene male promjene u nekom elementu. Zašto je došlo do nepodnošljivog svraba slonića ako je njegovo ponašanje dio većeg sustava koji se sam stabilizira? Slonić ima slobodnu volju slijedom koje njegovo ponašanje može iskočiti iz granica prihvatljivosti sustava. To ne znači da se sustav raspada i nestaje, nego da promjene u elementima postaju toliko značajne da je u cjeloviti opis sustava potrebno uključiti i neke procese i dodatne elemente koji su prethodno bili zanemarivi. Dakle, koliko god neki sustav tijekom vremena odudara od svog predviđenog stanja, on će se stabilizirati intenziviranjem dodatnih procesa među dodatnim elementima. Druga je stvar hoće li to odgovarati svim elementima, ili neće što je u nizu sustava češći slučaj.

Potpunosti radi, prikazimo na slici 5. kako je Billibonku svijet izgledao dok je svrab nastojao ukloniti struganjem o koru drveća. Sve relacije označavaju povećavajuće procese!



**Slika 5.** Dijagram uzroka i posljedica za sustav iz priče o sloniću Billibonku, prije nego što je slonić počeo razmišljati. Znak + označava povećavajući, a znak – smanjujući karakter relacije.

Uočimo, ako su sve relacije u dijagramu povećavajuće, dijagram se odnosi na nestabilno stanje sustava. Iznosi elemenata, različita ponašanja i brojevi vrsta, intenziteti pojava i sl., rastu bez granica. Naravno, to se sve događa u dijagramu koji se odnosi na određeni sustav, a svaki je sustav pojednostavljenje stvarnog života. Kako se odvijaju povećavajući procesi, postaju značajni i drugi procesi koji su početno bili zanemarivi. Npr., razmišljanje je proces koji je kod slonića početno bio zanemariv, jer je on bezbrižno radio što je htio. Tek kad su ga posljedice njegovih djela dovele do neizdrživog stanja (rječnikom sustava: kad je sustav postao jako nestabilan) počeo je razmišljati (rječnikom sustava: pojavio se novi proces koji je prethodno bio zanemariv) što je riješilo problem svraba (poslužimo se i opet rječnikom sustava: sustav se stabilizirao).

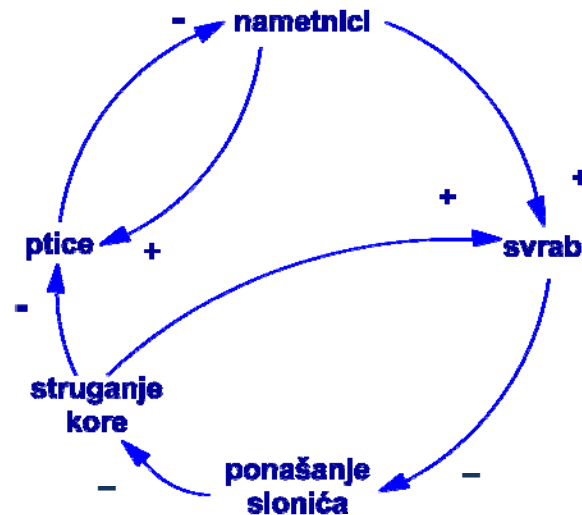
Ako povećavajuće relacije nazivamo pozitivnima, a smanjujuće negativnima, znači li to kako su povećavajuće dobre a smanjujuće loše? Ne! Kod sustava pozitivno i negativno ne znači isto kao npr. pozitivno i negativno kod ocjena. Pozitivno može u nekom sustavu biti dobro, a u nekom drugom loše, slično i negativno. Primjeri navedenoga javljaju se gotovo u svakom opisu sustava, a izdvojene jednostavnije situacije opisane su u poglavlju o povratnim vezama.

### Cjeloviti prikaz slonićeve situacije

Prikažimo, zaključno, na slici 6. cjeloviti dijagram koji obuhvaća i početnu i završnu situaciju.

I dalje se taj dijagram odnosi na pojednostavljenu situaciju u kojoj zanemarujemo mnoge procese. Npr., različite životinje love ptice i time utječu na njihov broj neovisno o lošem ponašanju slonića ili prirast nametnika ne ovisi samo o pticama, već ovisi i o nizu drugih elemenata kao što su npr. klimatski uvjeti. Samo drveće raste, novo nastaje, a postojeće

nestaje npr. u oluji ili požaru. Navedene procese zanemarujemo jer smatramo kako nisu značajni u vremenskom rasponu u kojemu razmatramo sustav bitan za slonićev problem. Za



**Slika 6.** Dijagram uzroka i posljedica za cjelokupnu priču o sloniću Billibonku.

Znak + označava povećavajući, a znak – smanjujući karakter relacije.

dugoročnije praćenje cijelog krda slonova potrebno je uključiti niz relativno sporo promjenjivih elemenata i pripadnih relacija.

Još je nešto bitno shvatiti: kad bi jedino značenje pristupa sustava bilo navođenje elemenata, ili skiciranje relacija između elemenata poput onoga na slici 2., cijeli pristup sustava bio bi nepotreban! Velika vrijednost uvođenja razmatranja sustava je u tome što doprinosi rješavanju problema. Razmatranje sustava omogućuje nam lakši prijelaz iz situacije prikazane na slici 2. do situacije prikazane na slici 6. Kako to provodimo? Za svaki pojedini element potrebno je razmotriti cjelovitost njegovih relacija s drugim elementima sustava. Svakako je jednostavnije razmatrati jedan po jedan element slijedeći uređeni prikaz nego razmatrati istovremeno sve elemente u mislima. Cjeloviti dijagram uzroka i posljedica, kakav je za sustav slonića Billibonka prikazan na slici 6., obuhvaća i situaciju u kojoj slonić trpi jaki svrab i situaciju u kojoj slonić nema problema sa svrabom. Na temelju intenziteta pojedinih relacija preciziramo koja je situacija trenutno ostvarena u sustavu.

Dijagrami uzroka i posljedica, poput onoga na slici 5., nemaju ni početka niti kraja. Mi smo analizu počinjali s ponašanjem slonića, ali to ne znači kako je taj element početni. Mogli smo, npr. analizu procesa u sustavu započeti s pticama. Mogli smo započeti analizu bilo kojim drugim elementom, dakle s nametnicima ili svrabom. Što ćemo odabrati kao početni element ne utječe ni na popis svih elemenata i relacija, niti na procese koje opisujemo u sustavu. Početni element odabiremo tako da na najjednostavniji način, uz najmanji uvod opišemo ono što je bitno za sustav. Ponašanje slonića smatramo elementom koji se može promijeniti (iako, naravno, često puta je najteže mijenjati ponašanje) i čija je promjena nužna ako želimo sustav dovesti u trajnije, željeno stanje i to je razlog zašto u opisima krećemo u pravilu od slonića i njegovog ponašanja.

Svime do sada napisanim zapravo smo premašili opseg polazne priče o Billibonku! To je zato jer smo istovremeno i opisivali Billibonkov sustav i opisivali sam način opisivanja sustava. U sljedećem poglavlju zato navodimo koje cjeline treba uključivati opis nekog sustava kako bismo dobili jezgrovit, a potpun opis sustava. Nakon toga, u daljnjim poglavljima, razmotrit ćemo pojedine cjeline uz primjere.

## CJELINE OPISA SUSTAVA

### Što je sustav?

**Sustav** je cjelina sastavljena od elemenata koji međudjeluju relacijama, a u svojoj okolini ima određenu funkciju ili više njih.

Na prvi je pogled navedena definicija sustava vrlo ograničavajuća i djeluje kao da sustave treba pomno tražiti ako se ijednoga želi naći. Zapravo su sustavi brojni, nalaze se stalno i svuda oko nas, a svatko od nas istovremeno je dio više sustava. Npr. škola je jedan sustav. Samo razredno odjeljenje jedan je sustav. Kao i sportsko društvo. Kazalište, bolnica, tvornica i prijevozničko poduzeće daljnji su primjeri sustava. Nadalje, grad, županija i država također su sustavi. Otok, planina, rijeka i šuma također su primjeri sustava. A što onda nije sustav?

### Elementi sustava

Samo navođenje imenica ne znači kako je u pitanju sustav. U skladu s definicijom, ako za neku cjelinu tvrdimo kako je sustav, potrebno je izdvojiti njene elemente, navesti relacije, dakle veze između elemenata unutar sustava itd. Jedna te ista cjelina može biti sustav razmatran samostalno, ali i element nekog većeg sustava. Elementi ne moraju biti najmanje, nedjeljive cjeline nekog sustava, nego cjeline koje su dio sustava, a mogu i same biti sastavljene od više manjih cjelina.

Na samom početku analize sustava uočava se kako je teško, gotovo pa i nemoguće, odmah napisati i definirati elemente. To je zato što je većina cjelina, koje u analizi sustava proglašavamo elementima sustava, nepoznatog opsega i nejasnog značenja. Te značajke preciziraju se u pravilu tek daljnjim provođenjem analize sustava. No, s nečim moramo započeti analizu! Zato se uvode pomoćni pojmovi koji u analizi sustava prethode elementima, a nazivamo ih **varijable**. Varijable su pojmovi koje vežemo uz analizirani sustav. Kao riječi to su različite imenice, glagoli i dr. koje smatramo povezanima s analiziranim sustavom te ih zapisujemo na početku analize sustava. Pritom vezu varijable i sustava ne moramo definirati, dovoljno je smatrati kako ona postoji. Broj varijabli nije određen. Smjernica rada je zapisati što više varijabli prije određivanja elemenata. Najčešće prilikom zapisivanja varijabli napišemo jednu veliku listu varijabli. Nakon zapisivanja varijabli nastavljamo s analizom sustava tako što postavljamo relacije između varijabli i nastojimo ih definirati. U takvom pristupu u pravilu se lista varijabli značajno mijenja. Neke varijable brišemo kao nebitne, a za druge uočavamo kako su istoznačnice, ili kako im je značenje u razmatranom sustavu toliko blisko da ih je nepotrebno razlikovati te ih spajamo u jednu. Naravno, može se pokazati kako je lista bila nepotpuna, neovisno o tome koliko je varijabli sadržavala. Dakle, polaznu listu varijabli možemo i proširiti. Rezultat svih navedenih promjena liste varijabli je lista manjeg broja varijabli za koje smo sigurni kako su nam bitne u analizi, kako se ne preklapaju po značenju za sustav te kako su važne za sustav. Pritom moramo biti u stanju razlikovati bar dvije razine važnosti takvih varijabli za sustav. Varijable za koje je sve navedeno ispunjeno su **elementi** sustava. Razmotrimo nadalje navedena svojstva elemenata.

Elementi sustava slonića Billibonka navedeni su u prethodnom poglavlju, ali da smo taj sustav analizirali od početka u listu varijabli vjerojatno bismo uključili sunčevo zračenje, kišu i oblake, divlje životinje poput lavova ili krokodila, različite grupacije ljudi poput domorodaca, turista ili nadzornika u nacionalnim parkovima, rijeku ili jezero odnosno količinu vode u njima, ... naravno uz slonove, nametnike i svrab. Zapravo nam se čini kako ne bismo u polaznu listu varijabli uključili drveće! I dodatno nam se čini kako bismo u polaznoj listi varijabli naveli slonove, a ne ponašanje slonića! Ponašanje slonića, kao varijabla koju smatramo bitnom i proglašavamo elementom, primjer je varijable koju je teško na početku izdvojiti i koja se izdvaja nakon nekoliko „pročešljavanja“ liste i postavljanja relacija unutar

sustava. Dakle, postavimo listu varijabli, promijenimo listu varijabli i ono što preostane proglasimo elementima, dodajemo relacije između njih ... i ustanovimo kako se opet trebamo vratiti na listu varijabli, koju opet mijenjamo... i tako po potrebi više puta. Netko će reći kako elemente izdvajamo iterativno, netko će reći kako su ovdje česte greške. Kako god opisivali taj postupak, mi još nismo naišli na analizu sustava u kojoj je od prve sastavljena lista varijabli završila bez promjena kao lista elemenata. Zapravo nas fascinira to naizgled nezgrapno baratanje s varijablama. Naime, svaka promjena liste varijabli, trenutna (dakle, prije nego smo išta proglasili elementom) ili naknadna (dakle, nakon što smo povezujući elemente relacijama ustanovili manjkavost elemenata), dokaz je povećanog razumijevanja sustava koji analiziramo! I stvarno djeluje fascinantno kad usporedimo početnu listu varijabli sa zaključnim prikazom elemenata te postanemo svjesni pritom ostvarenog misaonog napretka u razumijevanju analiziranog sustava.

Nakon što neke varijable proglasimo elementima, sljedeći je korak definirati, ili bar opisati te elemente (napomenimo kako se definicija traži na natjecanju, dok je za smotru prihvatljiv opis). To je potrebno kako bismo sami sebi, a onda i drugima, razjasnili što podrazumijevamo pod pojedinim elementom. Značenje definicije elementa postaje vidljivo kad se krene povezivati elemente relacijama. Nedefinirani elementi, ili elementi koje smo definirali tako da ne obuhvatimo potrebna značenja elemenata, vode do nepotrebnih relacije i pogrešnih procesa koje možemo uočiti u sustavu.

Razmotrimo definiciju elemenata sustava slonića Billibonka. Element „ponašanje slonića“ definiran je kao „skupni naziv za radnje slonića prema svojoj okolini“. Dakle „ponašanje slonića“ jedna je od radnji slonića, a od svih radnji odnosi se samo na one usmjerene prema okolini. Postoje, naravno, radnje slonića koje se ne odnose na njegovu okolinu nego na njega samoga, npr. kupanje, pranje zubi, trčanje, spavanje itd. S jedne strane, dakle, u definiciji elementa moramo navesti širu grupu, veću cjelinu kojoj element pripada, a s druge strane u definiciji moramo navesti specifičnu razliku definiranog elementa u odnosu na ostale elemente šire grupe. U definiciji ponašanja šira grupa su radnje, a specifična razlika je „usmjerenost prema okolini“ jer postoje i radnje koje nisu usmjerene prema okolini, a neke od njih smo i spomenuli-

Kod definiranja treba naći zlatnu sredinu jer definicija ne smije biti ni preopćenita, ni prespecifična. Primjer preopćenite definicije je kad bismo ponašanje slonića definirali kao radnje slonića dok je budan. Ovakva definicija obuhvaćala bi i niz radnji slonića koje uobičajeno ne povezujemo s ponašanjem. To bi sve kompliciralo analizu sustava, posebno određivanje relacija. Primjer prespecifične definicije je definiranje ponašanja slonića kao radnje pri kojoj se slonić prekomjerno češe o koru drveta nakon ručka. Svakako to ulazi u ponašanje slonića, ali isključuje i druge radnje slonića koje ulaze u njegovo ponašanje. Naravno, od cjelokupnog ponašanja slonića nama će biti značajno ono koje se odnosi na ptice.

U državnom natjecanju i smotri definicija se traži u natjecateljskom dijelu dok se u smotri traži opis. Opis elementa ne mora obuhvaćati širi pojam nego samo specifičnost elementa. Nisu prihvatljive izjave drugačije strukture za definicije odnosno opise elemenata. Npr. nije prihvatljivo „ponašanje slonića“ opisati izjavom poput „ponašanje slonića bitno je za ovaj sustav jer značajno utječe na ostale elemente“ ili „ponašanje slonića bitno je svojstvo koje je teško mjeriti“.

Razmotrimo svojstvo elemenata da imaju bar dvije razine važnosti za sustav. To znači kako elementi mogu na različite načine djelovati unutar sustava, dakle, na različite načine djelovati izdvojenim relacijama na druge elemente sustava. Drugačije rečeno, razlikovanje važnosti znači kako možemo mjeriti izdvojenu karakteristiku elementa koja je bitna za sustav. Npr. svojstva ptica u sustavu slonića Billibonka svakako su veličina tijela, boja perja, niz svojstava njihovog pjeva i dr., ali za analizirani sustav to nisu bitna svojstva. Bitno svojstvo je broj ptica

koje se hrane nametnicima na leđima slonova. Radi kratkoće naziv elementa je „ptice“, a u njegovoj definiciji je navedeno da je broj ptica važno svojstvo koje može biti različitih iznosa. Naravno, navedeno o važnosti svojstava ptica vrijedi samo za ovaj sustav. U nekom drugom sustavu može, naprotiv, biti nebitno koliko je ptica i čime se hrane, a biti bitno kakve im je boje perje. Mjerenje, u različitim primjerima, može stvarno značiti uspoređivanje s jedinicom mjerenja kako je uvedeno u fizici, ali može značiti i prebrojavanje, može značiti i procjenjivanje razine svojstva. Pritom možemo imati manji broj razina svojstava. Npr. mjerimo li ponašanje na dvije razine to mogu biti „dobro“ i „loše“ ponašanje, mjerimo li ponašanje na tri razine to mogu biti „loše“, „neizraženo“ i „dobro“, na pet razina ponašanje može biti „izrazito loše“, „loše“, „dobro“, „vrlo dobro“ i „izvrsno“. Nazivi ovih razina nisu propisani pa umjesto „neizraženo“ možemo pisati „srednje“ ili nešto drugo. Također, razine možemo označavati slovima ili brojkama, npr. razine A, B i C odnosno razine od 1 do 5, a značenje razina treba navesti.

Izdvajanje mjerljivog svojstva elementa ne znači kako moramo navesti potankosti samog mjerenja. Potkrijepimo navedeno primjerom elementa „ponašanje slonića“. Ono je uvedeno kao omjer radnji koje ne štete pticama i svih radnji koje ulaze u ponašanje slonića (dakle i onih štetnih za ptice). No, mjerenje tog svojstva podrazumijeva kako se tijekom dovoljno dugog vremena prati ponašanje slonića (bilo da ga se kamerom snima pa poslije analizira, bilo da je u blizini slonića skriven čovjek motritelj koji prati njegovo ponašanje ili sl.). Kad se u praćenju ponašanja izbroji dovoljan broj radnji koje ulaze u ponašanje slonića, onda se među njima prebroje radnje koje nisu štetne za slonića. Broj radnji koje nisu štetne podijeli se brojem svih radnji koje ulaze u ponašanje i tako konačno dobijemo iznos elementa „ponašanje slonića“. Naravno kako nije potrebno zapisati sve potankosti takvog mjerenja, no, potrebno je imati u vidu da izdvojeno svojstvo mora biti mjerljivo. Dakle, mjerenje „ponašanja slonića“ kao broj misli slonića o pticama nije prihvatljivo mjerenje jer ne možemo zamisliti način mjerenja i klasifikacije misli slonova.

Nigdje zapravo nije propisano da ponašanje slonića moramo mjeriti i iskazivati kao racionalni broj između 0 i 1. Mogli smo ponašanje slonića mjeriti manjim brojem kategorija. Da smo ponašanje slonića mjerili u tri kategorije, mogle su to biti kategorije „nedovoljno“, „prihvatljivo“ i „izvrsno“. Kategorija „nedovoljno“ značila bi kako je udio radnji koje nisu štetne, a koje ulaze u ponašanje slonića, npr. manji od jedne trećine-ili kako se takve radnje javljaju sporadično. Slično bismo opisali i druge dvije kategorije. Naravno, nismo se morali odlučiti za tri kategorije, mogli smo se odlučiti za dvije, četiri, pet, ..., sedamnaest, ... kategorija, ali prije odluke o broju kategorija dobro je znati smjernice navedene u daljnjem tekstu.

Prema do sada navedenom, mnoštvo je proizvoljnosti kod mjerenja izdvojenog svojstva elementa. Postoje li **smjernice** određivanja mjerenja? Npr., smjernice o tome treba li mjerljivo svojstvo biti iskazano bročano u nekom rasponu, ili jednom od manjeg broja kategorija?

Jedna smjernica za mjerenje ukazuje na to kako je poželjno odabrati što **jednostavnije** mjerenje. Dakle, izbjegavati mjerenja koja uključuju previše glomazne opreme, previše ljudi, puno transformacija i preračunavanja polaznih veličina i sl. Uočimo, jednostavnost se, izravno navedena ili ne, javljala u više koraka u analizi sustava: od velike liste varijabli dolazimo do jednostavnije liste elemenata, nebitne relacije isključujemo i time opet doprinosimo jednostavnosti dijagrama uzroka i posljedica, dijagram treba biti što jednostavnijeg izgleda itd. Zapravo u svakom koraku analize sustava valja težiti jednostavnosti. Naravno, ne smije se pritom ići u drugu krajnost pa neki element ili relaciju izbaciti kako bi se dodatno pojednostavnio dijagram uzroka i posljedica jer se time gubi ispravnost analize.



Druga smjernica za mjerenje upućuje na to kako mjerenje treba biti **dovoljno precizno**, dakle treba izbjegavati mjerenja bilo nedostatne, bilo pretjerane preciznosti. Razmotrimo prvo primjer za brojčano mjerenje što znači nedostatna, a što pretjerana preciznost. Ako ponašanje slonića mjerimo brojčano, ali tako da dobiveni broj zaokružimo kako bi iznosio ili 0, ili 0,5 ili 1 onda je brojčano mjerenje nedostatne preciznosti i nepotrebno je. U tom slučaju zapravo mjerimo ponašanje slonića pomoću tri kategorije. S druge strane, neka je u jednom promatranju slonića opaženo 10 radnji korisnih za ptice i 20 radnji štetnih za ptice. Tada je iznos elementa „ponašanje slonića“ jednak  $10/(10 + 20) = 0,33333...$  No, pisanje svih decimala vodilo bi na pretjeranu preciznost. Dovoljno se zadržati na manjem broju decimala, npr. samo na jednoj i za navedeni slučaj navesti kako je iznos elementa „ponašanje slonića“ jednak 0,3. Koliki je optimalni broj decimala nije unaprijed propisano, nego se mijenja od jednog do drugog razmatranog sustava. Dakle, i broj decimala iskazivanja brojčanog mjerenja nekog elementa sustava ovisi o razumijevanju procesa u sustavima.

Razmotrimo što znači smjernica o dovoljnoj preciznosti pri mjerenju nekog elementa u kategorijama. Npr., ako opazimo da jedna vrsta ponašanja slonića loše djeluje na ptice i tjera ih, a druga vrsta ponašanja dobro djeluje na ptice i privlači ih, ali da treća vrsta ponašanja ne djeluje vidljivo na promjenu broja ptica, onda je optimalan broj kategorija za mjerenje elementa „ponašanje slonića“ tri. Dakle, da smo za takvu situaciju odabrali dvije kategorije to bi vodilo nedostatnoj preciznosti mjerenja. S druge strane, ta smjernica znači kako nema smisla propisivati preveliki broj kategorija, npr. 17, jer su razlike između njih premale za jednoznačno mjerenje ponašanja. Pri prevelikom broju kategorija različiti bi ljudi jedan te isti skup ponašanja pridružili različitim kategorijama. Preciznost koja slijedi iz razvrstavanja ponašanja slonića u jednu od 17 kategorija (uočimo, veća je od preciznosti koju postižemo u brojčanom mjerenju pri zaokruživanju rezultata na jednu decimalu) je samo prividna i nije utemeljena na objektivnim razlikama.

Razmatranje smjernice o dovoljnoj preciznosti uključuje i dvije relativno zahtjevnije napomene koje sad navodimo.

Prva se napomena odnosi na sam pojam preciznosti. Znamo li što je to? Preciznost je svojstvo rezultata mjerenja koje se odnosi na rasipanje rezultata ponovljenih mjerenja neke veličine u istim uvjetima. Preciznost treba razlikovati od točnosti. Točnost znači kako srednja vrijednost rezultata mjerenja neke veličine odgovara njenoj stvarnoj vrijednosti. Razmotrimo sljedeći primjer. Neka je jedno jutro u sustavu slonića Billbonka broj ptica iznosio 59. Neke ptice u nekom trenutku možemo vidjeti, neke ne možemo jer ih zaklanja lišće, grmovi, tijela slonova, ... Te se ptice stalno kreću, neke lete, neke su na slonovima, neke u gnijezdu, neke uz vodu rijeke ili jezera, neke skakuću po tlu tražeći hranu i sl. Prebrojavajući ptice može se dogoditi da neke brojimo dvaput, a neke uopće ne brojimo. Ako bi više promatrača istovremeno prebrojavalo ptice dobili bi različite brojeve, npr. 60, 58 i 59. Srednja vrijednost mjerenja je 59, a rasipanje 1. Rasipanja rezultata mjerenja (ovdje: prebrojavanja ptica) relativno su mala i govorimo kako je mjerenje dovoljno precizno. Budući je i srednja vrijednost mjerenja broja ptica jednaka 59, reći ćemo kako je mjerenje i točno. No, mogli su promatrači prebrojavanjem ptica dobiti brojeve 42, 80 i 55. Formalno izračunata srednja vrijednost mjerenja opet iznosi 59, ali rasipanje rezultata mjerenja relativno je veliko te ćemo reći kako je mjerenje nedostatne preciznosti, tj. neprecizno. Tada, zapravo nećemo navoditi srednju vrijednost mjerenja kao karakteristiku rezultata. Dakle, nećemo govoriti o točnosti rezultata iako je srednja vrijednost navedenih mjerenja točna (zato je navedeno kako je odgovarajuća srednja vrijednost samo formalno izračunata)! A što da su promatrači prebrojavanjem došli do brojeva ptica jednakih 40, 41 i 39? Za takvo ćemo mjerenje reći kako je dovoljno precizno, ali kako nije točno! Dakle, preciznost prethodi točnosti. Ako je mjerenje dovoljno precizno, smisljeno je razmatrati njegovu točnost, ali ako mjerenje nije dovoljno

precizno, nema smisla govoriti o njegovoj točnosti. Naravno, smjernice o točnosti nema jer kod točnosti nema mogućnosti odabiranja mjerenja koje je dovoljno točno, ali ne više od toga!

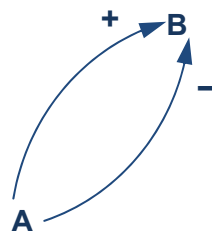
Druga napomena odnosi se na usporedbu mjerenja uz brojčani iskaz odnosno kategoriziranje. Naime, svako brojčano mjerenje dovoljne preciznosti istovjetno je kategoriziranju s odgovarajućim brojem kategorija. Prethodni primjer iskazivanja mjerenja elementa „ponašanje slonića“ kao decimalnog broja između 0 i 1 s jednom decimalom po broju različitih iznosa odgovara mjerenju pomoću 10 kategorija.

## Relacije u sustavu

Relacije su veze između elemenata unutar sustava. Razlikujemo povećavajuće ili smanjujuće. Daljnja svojstva relacija ne preciziramo općenito. Po potrebi možete ih uvesti ako smatrate da su u nekoj analizi sustava potrebne. Čim je neka relacija naznačena, npr. grafički kao strijelica u dijagramu uzroka i posljedica, podrazumijeva se kako je bitna za analizirani sustav. To znači da se navedenu relaciju koristi za opis bar jednog procesa u sustavu.

Relacije povezuju promjene dvaju elemenata. Te promjene mogu biti brze ili polagane, u velikom ili malom udjelu. Korisno je odrediti, ili barem nastojati odrediti ili procijeniti kakve su promjene. Općenito sve kombinacije relacija mogu dovesti do znatnih promjena u sustavu. Npr., povećavanje svraba kod slonića Billibonka utjecalo je na njegovo ponašanje relativno sporo. Promjene su išle iz dana u dan i u prvih nekoliko dana nisu bile znatne pa se slonić nije pretjerano o tome brinuo. Dakle, nije suštinski promijenio svoje ponašanje. Suštinsku promjenu nazivamo i kvalitativnom. Ona podrazumijeva promjenu ponašanja u cjelini, promjenu vrste radnje i sl. Za razliku od kvalitativne promjene, kvantitativna promjena podrazumijeva promjenu iznosa neke veličine bez promjene njene vrste. Kod Billibonka, sve više češanja značilo je kvantitativnu promjenu ponašanja dok je prestanak češanja i čekanje neka ptice pojedju nametnike značilo kvalitativnu promjenu. Polagane promjene i promjene u malom udjelu izrazito su bitne. Naime, te promjene narastaju relativno polagano, tijekom relativno dugog vremena zbog čega ih je teško uočiti, a isto tako teško i ispraviti. Brze promjene se lakše uočava nego li polagane promjene, a promjene u velikom udjelu lakše nego promjene u malom udjelu. Prisjetimo se Billibonka: bilo je potrebno nekoliko dana za uočavanje razloga velikog svraba. Iako nismo posebno naveli, razumljivo je kako je bilo potrebno još nekoliko dana da se svrab smanji, čak i kad je slonić kvalitativno promijenio ponašanje.

Pri postavljanju relacija u analizi sustava može se javiti jedna zbunjujuća situacija: element koji je uzrok djeluje i povećavajućom i smanjujućom relacijom na element koji je posljedica. Slika 7. prikazuje takvu situaciju. A i B su proizvoljni elementi sustava.



**Slika 7.** Prikaz u kojemu je element A uzrok i povećavajuće i smanjujuće relacije prema elementu B. Znak + označava povećavajući, a znak – smanjujući karakter relacije.

Takva situacija označava grešku u razmatranju. Bar jedan od elemenata, ili element A ili element B krivo je postavljen. Je li riječ o pogrešnoj definiciji, preklapanju više elemenata ili nečem drugom općenito nije moguće reći, ali sve od navedenoga može biti razlog pogreške. Na ovu situaciju može se često naići, npr. kod analize sustava slonića Billibonka. Neka

element A označava drveće, a element B ptice. Drveće štiti ptice (od vremenskih uvjeta poput prejakog Sunca i vjetra, kao i od napada zvijeri poput hijena) što upućuje na povećavajuću relaciju između A i B. No, ako se drveće stalno trese onda ptice napuštaju njegovu krošnju što upućuje na smanjujuću relaciju između drveća i broja ptica! Zašto tu situaciju smatramo pogreškom kad karakteri relacija slijede stvarne, smislene procese? Zapravo, s relacijama nije ništa pogrešno, ali pojava ovakve kombinacije relacija ukazuje na pogrešku u postavljanju, definiranju ili opisivanju, elemenata. Je li pogrešno postavljen element A, ili B, ili oba ne može se općenito reći nego je potrebno detaljnije analizirati svaki od njih.

U sustavu slonića Billibonka ta je situacija uklonjena uzimanjem u obzir nekoliko činjenica. Kao prvo, uzimamo kako je broj drveta dostupnih pticama stalan zbog relativno kratkog vremenskog raspona promatranog sustava. Dodatno, smatramo kako su veličine njihovih krošnji stalne u istom vremenskom rasponu. Dakle, veličina staništa za ptice je stalna tijekom promatranja sustava, tj. ne mijenja se broj gnijezda koje ptice mogu napraviti u krošnjama drveća a da si međusobno ne smetaju. Kao drugo, za element A ne odabiremo drveće koje mjerimo brojem drveta nego struganje kore koje mjerimo učestalošću i intenzitetom struganja. Takvim postavljanjem elemenata isključena je povećavajuća relacija te je ostala smanjujuća relacija između elemenata A i B, kao što je i prikazivano na slikama 2., ... 6. Ova situacija, dakle, pokazuje pogrešku u postavljanju elemenata tek nakon što pristupimo sljedećoj cjelini analize sustava, a to je postavljanje relacija. Uočimo, zbunjujuća i pogrešno identificirana situacija odnosi se na dvije relacije između dva elementa pri čemu je u obje relacije isti element njihov uzrok. Naprotiv, situacija u kojoj su dva elementa vezana dvjema relacijama, a svaki je element uzrok točno jedne relacije nije pogrešna, to je ranije spomenuta povratna veza.

Situacija prikazana na slici 7. nastupa i pri pogrešno shvaćenju relaciji. Podsjetimo se, karakter relacije povezuje promjene na oba elementa vezana relacijom, a ne samo promjene na jednom. Relativno česta početnička pogreška je ona u kojoj se upravo radi obratno: relacija se smatra povećavajućom (pa joj se pripisuje znak +) ako povećava element posljedicu, a smanjujućom (pa joj se pripisuje znak -) ako smanjuje element koji je posljedica pri čemu se ne uzima u obzir promjena elementa koji je uzrok relacije. Uočimo kako uz takvu pogrešku svaka relacija može biti prikazana kao dvije relacije na slici 7.

Ako neka relacija opisuje dugotrajnije djelovanje polaganijih promjena, ili promjena u manjim udjelima, njene su posljedice uočljive na drugim elementima u znatno kasnijim trenucima. Dakle, promjena se prostire kroz cijeli sustav, ali zbog polaganog narastanja govorimo kako kasni, ili kako se javlja s odgodom. **Kašnjenje**, odnosno **odgoda** promjena izrazito je često i izrazito bitno za razumijevanje procesa u sustavu.

Do sada nismo razmatrali kako su vezani sami apsolutni iznosi promjena elemenata vezanih relacijom. Jesu li te promjene proporcionalne, ili nisu? Proporcionalnost znači kako je promjena elementa koji je posljedica u nekoj relaciji proporcionalna promjeni elementa koji je u toj relaciji uzrok. Proporcionalnost znači, formalnije napisano, kako je omjer tih promjena konstanta. Ta konstanta se naziva konstanta proporcionalnosti. To je samo idealizacija jer u nizu relacija promjene nisu proporcionalne nego su vezane na složeniji način. Npr., promjena posljedice može biti jednaka kvadratu promjene uzroka, ili vezana nekom složenom matematičkom formom s promjenom uzroka. Neovisno o formalnom zapisu relacije, pokazuje se kako se pri relativno malim promjenama u pravilu javlja proporcionalnost promjena. U ovom priručniku, ako nije drugačije navedeno, podrazumijevamo proporcionalnost promjena, kako pri kvantitativnim tako pri kvalitativnim promjenama.

## Funkcija sustava

Potrebno je odrediti i **funkciju** sustava u okolini. Okolina je spomenuta samo „usput“, ali je vrlo bitna za sustav. To ne znači kako je i nju potrebno odrediti, precizno definirati, ali svakako pomaže razumijevanju koja je okolina sustava pogodnija za bolje određivanje njegove funkcije.

U navedenoj definiciji sustava nigdje se izravno ne spominje tijekom vremena, promjene unutar sustava ili njegove okoline, modifikacije sustava, samo nastajanje i nestajanje sustava. No, sve se navedene promjene podrazumijevaju te je prilikom određivanja nekog sustava potrebno imati na umu njegov vremenski okvir, tj. u kojem vremenskom rasponu razmatramo sustav kao i u kojem razdoblju razmatramo sustav.

Potkrijepimo navedeno primjerima. Razmatramo li **rijeku kao sustav**, njena funkcija može biti navodnjavanje nekog područja, dobavljanje pitke vode, dobavljanje vode kao sirovine, omogućavanje prijevoza, osiguravanje energije, odnošenje otpadnih tvari. Ako je funkcija **navodnjavanje**, voda iz rijeke koristi se za natapanje poljoprivrednog tla i uzgoj različitih biljaka, poljoprivrednih kultura. Rijeka većeg protoka omogućit će navodnjavanje veće količine biljaka, a rijeka manjeg protoka manje količine biljaka. Budući da različite biljke, poljoprivredne kulture, trebaju različitu količinu vode za svoj rast onda veličina protoka/rijeke djelomično određuje koje će se poljoprivredne kulture uzgajati u njenoj blizini (određuje djelomično jer drugim dijelom to određuju klimatski uvjeti, a trećim potrebe samog stanovništva).

Ako je funkcija rijeke **dobavljanje pitke vode** onda se voda iz rijeke koristi za potrebe lokalnog stanovništva. U današnje vrijeme, zahvaljujući vodovodima, pojam lokalnog stanovništva može uključivati stanovništvo koje živi relativno daleko od same rijeke. Pitka voda se u pravilu ne uzima izravno iz samog toka rijeke nego iz bunara ili crpilišta koja su napajana vodom iz rijeke. Kako bi voda bila pitka, potrebno ju je pročistiti što se može u dovoljnoj mjeri odviti spontano dok voda iz rijeke kroz tlo prolazi do bunara ili crpilišta, a katkad ju je potrebno pročistiti dodatnim mjerama

Ako je funkcija rijeke dobavljanje vode kao sirovine, tada se voda podrazumijeva dijelom industrijskog procesa kojemu je voda potrebna, npr. voda je potrebna kao reaktant u nizu kemijskih reakcija u kemijskoj industriji, potrebna je za hlađenje drugih procesa poput hlađenja reaktora nuklearne elektrane ili za hlađenje obrađivanih predmeta u metaloprerađivačkoj industriji.

Ako je funkcija rijeke **omogućavanje prijevoza**, riječ je npr. o prijevozu ljudi rijekom u putničkim brodovima, prijevozu roba brodovima i teglenicama. Navedeni prijevoz može biti na manjem dijelu rijeke, ili na većem dijelu rijeke, npr. po cijeloj rijeci. Rijeku kojom mogu ploviti brodovi nazivamo plovnom. Neka rijeka može samo jednim dijelom toka biti plovna, a drugim dijelom ne. Kakvi će po vrsti, veličini i broju biti brodovi koji plovo rijekom jednim dijelom ovisi o samom toku rijeke, a drugim dijelom o potrebama ljudi. Ljudi mogu rijeku koristiti za prijevoz između mjesta gdje rade i mjesta gdje žive, ali mogu i turistički ploviti rijekom i razgledavati je. Prijevoz robe može biti npr. prijevoz rude iz luke na ušću rijeke do luke na rijeci pokraj koje je tvornica kojoj treba navedena ruda. Kad govorimo o prijevozu, svakako treba spomenuti i prijevoz drugih tvari, bilo kao rasutog tereta ili kao kontejnerski prijevoz. Sve navedeno podrazumijeva određena svojstva toka rijeke, samih gradova – luka koje se koriste za pristajanje brodova, potreba lokalnog stanovništva i uklapanja toka rijeke u transportne pravce dalekih odredišta.

Ako je funkcija rijeke **osiguravanje energije**, to može biti ostvareno u različitim iznosima iskorištavane energije. Npr., može biti u pitanju pokretanje manjeg mlina vodom koja protječe kroz manji rukavac iskopan uz rijeku, ili može biti u pitanju velika hidroelektrana na rijeci; s

impozantnom branom i pripadnim akumulacijskim jezerom. U rasponu od osiguravanja energije za velike hidroelektrane do osiguravanja energije za pokretanje manjeg mlina, niz je razlika u samim rijekama i njihovoj okolini, dakle i mnoštvo međusobno vrlo različitih sustava koji su svi nastali na istoj funkciji rijeke kao izvora energije. Kao posebnost unutar ove kategorije navodimo zanimljivost riječne skele. Riječne skele koriste rijeku za prijevoz, kao i za osiguravanje energije potrebne pri prijelazu rijeke, ali zapravo rijeka djeluje bitno drugačije nego li u prethodnim primjerima. Uz sve navedeno rijeka je za skelu i prepreka. Skela je slična mostu kao načinu prelaženja rijeka ako ih gledamo kao dio okoline koji je prepreka transportu.

Naposljetku, rijeke koje služe za **odnošenje otpadnih tvari** omogućuju život u mjestima uz rijeku ili rad tvornica uz rijeku. Ako ne želimo da se rijeka trajno i preko mjere onečišćuje, potrebno je osigurati i sustave za pročišćavanje otpadnih voda koji su onda ujedno elementi većeg promatranog sustava.

Granice između navedenih funkcija nisu oštre. Tako je u današnje vrijeme uzgoj biljaka na plantažama industrijski proces pa je voda za navodnjavanje ujedno i sirovina u industrijskom procesu. Zatim, voda za privatne potrebe kućanstva uključuje vodu koja ne mora biti pitka pa po načinu korištenja odgovara vodi kao industrijskoj sirovini.

U prethodnim primjerima funkcija rijeke podrazumijevala je uključenost ljudi. No, sustavi ne moraju uključivati ljude. Npr., rijeka može navodnjavati prirodno stanište samoniklog bilja i osiguravati pitku vodu životinjskim populacijama u područjima nenaseljenim ljudima.

Prema do sada navedenom, rijeke su mirne i korisne, no, gledane kao dio većih sustava, rijeke mogu biti prepreke. U dijelu godine mogu izazivati poplave, a u dijelu godine mogu presušiti ili biti premalog vodostaja te ne osiguravaju dovoljno pitke vode ni energije kao što ni ne omogućuju prijevoz.

U navedenim primjerima, kao i u mnoštvu navedenih, rijeke su nam ili sustavi ili elementi većih sustava. Pristupamo im jednako, definicijom navedenom na početku ovog poglavlja, a završavamo s uočavanjem i opisom složenih, međusobno povezanih pojava i procesa.

Navedene funkcije i djelovanja rijeke istovremeno su prisutne. u velikom broju slučajeva. Možemo li pristupiti rijeci kao sustavu samo jedne funkcije? Kako cjelovito analizirati samo jednu funkciju rijeke, a zanemariti ostale funkcije i djelovanja rijeke, a riječ je o situaciji koja je pravilo, a ne izuzetak!

## **Cilj analize sustava**

Kod analiziranja nekog sustava moramo postaviti **cilj analize**. Moramo znati zašto analiziramo neki sustav, što tom analizom želimo postići. Postavljeni cilj određuje koje ćemo funkcije nekog sustava razmatrati pa tako i određuje koliko ćemo ih analizirati. Razmotrimo detaljnije pitanje o broju razmatranih funkcija nekog sustava. Vratimo se primjeru sustava rijeke. Zapravo, nigdje nije propisano kako rijeku moramo svesti samo na jednu funkciju, ili naprotiv, kako moramo uzeti u obzir sve funkcije rijeke istovremeno. Ako želimo cjelovito opisati djelovanje rijeke, uključit ćemo sve funkcije rijeke kao sustava i sva djelovanja rijeke kao elementa okoline. Zaista, korištenje rijeke za omogućavanje prijevoza ili za odstranjivanje otpadnih tvari utječe na korištenje rijeke kao izvora pitke vode. Dakle, ako nas zanima osiguravanje pitkosti vode iz rijeke potrebno je razmotriti ostale navedene funkcije. Blisko vezana uz cilj analize je i **razina analize**. Razina analize je mjera značajnosti nekog elementa. Razina može biti gruba i finija. Gruba analiza podrazumijeva postupak u kojem neku cjelinu proglašavamo elementom pa ne analiziramo njenu strukturu, a finija kada neku cjelinu ne proglašavamo elementom nego je analiziramo, npr. kao sustav određenih elemenata. Razmotrimo primjer rijeke – ako analiziramo rijeku kao izvor pitke vode, razina opisa bit će

takva da ćemo promet rijekom razmatrati kao element. S druge strane, ako analiziramo rijeku zbog omogućavanja prijevoza onda ćemo pitkost vode proglasiti elementom, a svojstva prometa rijekom razmotriti finije, kao više elemenata.

Sustave analiziramo zato što želimo jasnije izdvojiti određenu funkciju, utjecaj te opaženo djelovanje. Ako analiziramo uočeni problem koji želimo riješiti, pronaći uzroke problema i na njih prikladno djelovati, onda ćemo nastojati zadržati što manji broj elemenata i relacija.–Ne analiziramo sustav zato što želimo grafički predočiti njegovu kompliciranost, ili biti fascinirani neizmjerom velikim brojem vezanih elemenata koje možemo dovesti u relacije, ili onemogućiti bilo kakvo smisljeno razmatranje procesa u sustavu.

Odabir funkcija sustava vrlo je bitan. Funkcije je vrlo zahtjevno pravilno odabrati i postići svojevrsnu zlatnu sredinu tako da ne isključimo bitne funkcije, a ne uključimo nebitne. Zahtjevnost odabira funkcija razlažemo na manje korake tako što prvo moramo odrediti cilj analize i prema njemu postavljamo razinu analize. Sjetimo se kako je slonić Billibonk tražio i našao zlatnu sredinu opisa svojeg sustava. U početku je stabla (slika 3.) sveo na hrapavu koru o koju se može ostrugati. Dakle, sveo je stabla na jednu funkciju i zadržao se na grubljoj razini. Naknadna analiza pokazala je kako je potrebna finija razina analize elementa stabala. Uočeno je da se stabla sastoje od debala i krošnja kao različitih elemenata koji osiguravaju različite funkcije drveća. Krošnja osigurava stanište za ptice. Funkcija stabala koja omogućuje češanja slonića, pokazalo se, utječe negativno na funkciju drveća kao staništa ptica. Dakle, funkcije stabala o kojima govorimo upućuju na to da drveće razmatramo kao sustav koji ima dvije funkcije u svojoj okolini. Budući da nam nije cilj razmotriti stabla kao sustav, razmatramo element stabala u sustavu slonića Billibonka na finijoj razini kao cjelinu određenog djelovanja u svojoj okolini. To djelovanje su funkcije ako razmatramo stabla kao samostalnu cjelinu, a relacije kad postavimo drveće kao element većeg sustava. Primijetimo kako nastojimo ne razmotriti drveće kao sustav jer bismo u tom slučaju trebali definirati njegove elemente, navesti relacije između njih i dr. u skladu s definicijom sustava. To je dobra vježba analize sustava koju Vam preporučamo provesti, ali čije bi nas provođenje ovdje odvelo predaleko od polaznih pitanja vezanih uz broj funkcija, cilj i razinu analize.

Dakle, prije same analize sustava moramo postaviti cilj analize. Zapravo postavljeni cilj određuje kako će izgledati sustav, što će mu biti elementi i funkcije prema okolini. Prisjetimo se kako trebamo odrediti i vremenski raspon i promatrano razdoblje za analizu sustava. Uočimo, prije analize sustava moramo odrediti (ili dobiti kao zadano od drugih ljudi) više toga što nije sustav, ali utječe na analizu. Prisjetimo se kako analizu započinjemo sastavljanjem liste varijabli pri čemu je za očekivati kako će znatan broj varijabli na polaznoj listi s nje nestati dok dođemo do elemenata sustava, kako će se u daljnjem tekstu vidjeti, i polazno postavljeni cilj katkad treba naknadno mijenjati, npr. precizirati. Također, u pravilu se i elemente često mijenja tijekom analize. Zar je analiza sustava tako ispremiješana, nejasna, i bez ikakvih oslonaca? Znači li to kako je analiza sustava proizvoljno, višestruko premetanje polazne nejasnoće Nije! Analiza sustava je vidljiva posljedica misaonih procesa koje nam je nemoguće drugačije opisati. Ti misaoni procesi su ono što želimo da usvojite, razvijete i primjenjujete. Riječ je o jednoj fascinantnoj činjenici kako primjenom znanja, razmišljanja i ponešto volje polaznu, nejasnu situaciju koja je u pravilu veliki problem, pretvaramo u elemente vezane relacijama tako da je gotovo samo po sebi jasno što su uzroci polaznog problema i kako ga umanjiti ili ukloniti.

### **Što čini cjeloviti opis sustava?**

Navedimo kratko, bez primjera i popratnih misli, korake analize sustava:

1. postaviti cilj analize

2. izdvojiti elemente
  - ispisati varijable
  - razmotriti nedostajuće, odnosno ponavljajuće varijable
  - definirati ili opisati elemente
  - procijeniti mogućnost mjerenja elemenata
3. povezati elemente relacijama
  - utvrditi karakter relacije
  - razmotriti potpunost relacija
  - razmotriti obostranost i dvovrsnost relacija
4. izdvojiti procese
  - izdvojiti povratne veze i petlje
  - izdvojiti temeljne i karakteristične tokove
  - izdvojiti elemente na koje se može znatno utjecati

Prve tri točke, s njihovim smjericama razmotrili smo u prethodnim odjeljcima. Ako se te točke pažljivo provedu onda je njihov rezultat jedan jasan, jezgrovit i cjelovit, ispravan prikaz sustava. Time je onda postignuta podloga za praćenje procesa u sustavu. Procesu su ono zbog čega se postavlja cilj analize, ono što sadrži problem, a često puta i njegovo rješenje. Dakle, prve tri točke su priprema za 4. točku, a nju razmatramo u posebnom poglavlju.

## PROCESI U SUSTAVIMA

### Što je proces?

Proces je skup vezanih postupaka kojima se polazne veličine mijenjaju u završne. Riječ je o široko primjenjivoj definiciji koja u različitim područjima poprima specifičnije izričaje. Npr., u poslovanju proces obuhvaća obavljanje usluge za korisnika, a u proizvodnji izradu proizvoda iz sirovina ili predproizvoda, odnosno izradu veće cjeline iz komponenti. Proces može označavati pretvorbu reaktanata u produkte u kemiji, promjene pojedinačnih organizama ili većih populacija u biologiji itd. Fotosinteza, kataliza, odrastanje, učenje, treniranje, izrada mrežnih stranica, pisanje seminarskog rada, dogovaranje, izrada makete, ... samo su neki od vrlo brojnih primjera procesa. Trajanje procesa može biti različito pa postoje kratkotrajni, tj. vrlo brzi procesi, a postoje i dugotrajni, tj. vrlo spori procesi. Procesu mogu uključivati različit broj ljudi, imati različite troškove, obuhvaćati različite stvarne ili virtualne prostore, itd.

No, što su procesi u sustavima? U pristupu sustavu procesi su vezane promjene elemenata sustava. Ova definicija procesa nije posebna definicija koja isključuje prethodno navedenu definiciju ili primjere iz različitih područja. Ona samo precizira kako su polazne i završne veličine neki od elemenata sustava dok su vezane promjene ono što u sustavima već znamo kao vezane relacije.

Procese u sustavima vrlo je prikladno pratiti dijagramom uzroka i posljedica pa ćemo to nadalje obilato koristiti. Budući da je broj elemenata u dijagramu stalan, a mijenjaju se iznosi njihovih mjenjenih ili procjenjivanih karakteristika, procese pratimo kao vezane promjene iznosa mjerljivih karakteristika elemenata. Mnogo je vrsta procesa u sustavima. Međutim, postoje procesi koji uključuju relativno malen broj elemenata i relacija, a relativno se često pojavljuju u analizama sustava. Takvi se procesi relativno često opisuju i koriste u analizi sustava, a relativno ih je lako uočiti zbog manjeg broja elemenata i relacija. Nazivamo ih **osnovnim procesima**.

Osnovni procesi, kako su navedeni u knjizi „Peta disciplina“ autora P. Sengea su sljedećih osam procesa: uravnotežujući proces s kašnjenjem, granice rasta, prebacivanje tereta, erozija ciljeva, eskalacija, uspjeh uspješnima, tragedija općeg dobra i rješenja koja promašuju.

Neke od osnovnih procesa razmotrit ćemo detaljnije u sljedećim odjeljcima. Pritom treba imati na umu kako dijagrami koji se odnose na te procese mogu imati relacije drugačijeg karaktera ovisno o tome kako definiramo pojedini element. Dijagrami osnovnih procesa vrlo su slični. Podsjećamo kako se karakteri relacije mogu mijenjati redefiniranjem elemenata- te dodatno podsjećamo kako su osnovni procesi često samo dio cjelovitog sustava koji uključuje i dodatne elemente i relacije. Zbog svega toga osnovne procese ne možemo imenovati samo na temelju dijagrama uzroka i posljedica analiziranog sustava nego razumijevanjem relacija i njima vezanih elemenata. U ovisnosti o tome nadopunjuju li se ili isključuju relacije možemo tek pravilno imenovati neki proces i time potvrditi razumijevanje analiziranog dijela sustava.

Prije samih osnovnih procesa, razmotrimo dvije specifične pojave u sustavima: kibernetičku polugu i povratne veze. Kibernetička poluga je relacija koja ima dodatno značenje u sustavima. Povratne veze, i općenito petlje, procesi su vrlo jednostavne strukture, a vrlo dalekosežnih posljedica za sustav.



## Kibernetička poluga

Analiza sustava često završava time što se navedu procesi koji postoje u sustavu. Svakako je to vrijedna razina razumijevanja sustava. Na taj se način mogu analizirati eko-sustavi, klimatski sustavi i drugi sustavi u kojima ne djeluju ljudi. Također, možemo analizirati sustave koji uključuju ljude, ali da ne postoji mogućnost svjesne promjene nekog dijela sustava, jednog ili više elemenata i relacija, u skladu s postavljenim ciljem, npr. postizanja određene situacije u sustavu.

No, još je vrijednije ako se u sustavu uoče elementi i relacije na koje možemo djelovati i svjesno ih mijenjati u nekom rasponu. Izrazito je korisno ako takvi elementi postoje. Takve elemente nazivamo **kibernetičke poluge**. To su uobičajeni elementi koji su u nekim relacijama unutar sustava uzroci, a u drugima posljedice. No, ono što ih čini kibernetičkim polugama je svojstvo koje omogućuju željene promjene nekih elemenata u sustavu. Npr., kod slonića Billibonka, ptice su kibernetička poluga. Zaista, broj ptica, a to je iznos elementa ptice, utječe izravno na broj nametnika, a taj element naposljetku utječe na ponašanje slonića. Dakle, slonić ne može izravno mijenjati broj nametnika (npr. otpuhivati ih ili na druge načine uklanjati sa svoje kože), ali može mijenjati broj ptica koje mijenjaju broj nametnika. Kako bismo upotpunili analizu sustava moramo navesti kako je element struganje stabla kibernetička poluga za broj ptica. Kao što u primjeni „obične“ poluge mi zapravo mičemo polugu, a ona miče (podigne) teški teret, tako u primjeni kibernetičke poluge mi djelujemo na polugu, a ona dalje djeluje na neke ostale elemente. U priči o Billibonku slikovito je prikazano kako slonić shvaća djelovanje ptica i namjerno utječe na njihov broj tako da količinu nametnika i intenzitet svraba dovede na željenu razinu. Znači li to i kako je svrab kibernetička poluga nametnicima za utjecanje na ponašanje slonića? Ne! Ne znači jer nametnici ne mogu utjecati voljno na svrab budući da je svrab jednoznačna posljedica broja nametnika.

## Povratna veza i petlja

Povratna veza proces je u sustavima koji se ostvaruje dvjema relacijama između dva elementa. Relacije mogu biti obje povećavajuće, ili obje smanjujuće ili jedna povećavajuća, a druga smanjujuća.

Riječ je o procesu koji se često javlja u analizi sustava, a zbog djelovanja na oba vezana elementa izrazito je bitan. Naime, povratna veza označava kako promjena elementa uzrokuje, uz ostale daljnje promjene, i djeluje na promjene tog istog elementa. Ako povećanje jednog elementa u povratnoj vezi vodi prema daljnjem povećavanju tog elementa, riječ je o pozitivnoj povratnoj vezi. Pozitivnost povratne veze nije povezana sa željenošću, dobrotom ili drugim vrijednosnim sudovima o toj povratnoj vezi. Dakle, pozitivnost niti podrazumijeva niti isključuje takve sudove. Zapravo je pozitivna povratna veza opasnost za sustav. Pozitivna povratna veza u sustavu u pravilu je jako neželjena i nastoji ju se izbjeći. Takva povratna veza slikovito se naziva eksplozijom, jer dovodi do neograničenog rasta mjerljive karakteristike elementa. Prije ili kasnije pozitivna povratna veza dovodi do raspada nekih relacija, odnosno strukture cijelog sustava. Nestaje početna struktura. Uz više ili manje gubitaka sustav će se stabilizirati i nakon raspadanja tako da će se pojaviti prethodno zanemarivi elementi i relacije. Što će preostati od elemenata polazno vezanih u pozitivnu povratnu vezu i njihovih relacija, ne može se općenito reći. Pozitivna povratna veza naziva se i destabilizirajuća veza.

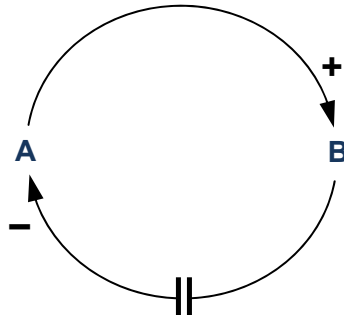
Pozitivna povratna veza ostvaruje se bilo s dvije povećavajuće relacije, bilo s dvije smanjujuće relacije. Treći slučaj povratne veze, u kojemu je jedna relacija povećavajuća a druga smanjujuća, naziva se negativna povratna veza i smatra se stabilizirajućim faktorom u sustavima. Zato se naziva i stabilizirajuća veza. U pravilu je to željena struktura. Njeno je svojstvo kako početna promjena jednog elementa u povratnoj vezi pokreće proces koji vodi

smanjenju te iste veličine tog elementa. Dakle, vodi poništavanju početne promjene u elementu. Ovo je jednako primjenjivo za oba elementa vezana negativnom povratnom vezom.

### Osnovni proces: uravnotežujući proces s kašnjenjem

Dijagram uzroka i posljedica uravnotežujućeg procesa s kašnjenjem prikazan je na slici 8.

Proces uključuje elemente A i B vezane povratnom vezom stabilizirajućeg karaktera. Novi element u dijagramu je oznaka za kašnjenje. Kao i za ostale elemente dijagrama i oznaka za kašnjenje može izgledati sasvim drugačije, npr. prekid valovitom linijom, križić na strjelici, krug na strjelici itd. Bitno je navesti kako uvedeno označava kašnjenje.



**Slika 8.** Dijagram uzroka i posljedica uravnotežujućeg procesa s kašnjenjem. Znak + označava povećavajući, a znak – smanjujući karakter relacije. Znak II označava kašnjenje.

Kašnjenje je karakteristika relacije koja se odnosi na trajanje njenog ostvarenja i relativnog je karaktera. Trajanje ostvarenja i kašnjenje su različiti pojmovi pa jednim primjerom oslikajmo njihovo značenje. Ako se element A, prikazan na slici 8. promijeni, potrebno je određeno vrijeme kako bi se promijenio element B. To vrijeme je trajanje ostvarenja relacije. U sustavu u kojemu imamo više relacija, trajanja njihovih ostvarenja najčešće će se razlikovati. Za neku relaciju ćemo reći kako kasni, tj. kako opisuje kašnjenje, ako je trajanje njenog ostvarenja znatno veće od trajanja ostvarenja drugih relacija u sustavu.

Primjer kašnjenja nalazimo u sustavu slonića Billibonka. Relacija kojoj pripisujemo kašnjenje je relacija između struganja kore i ptica. Nakon što se smanji struganje kore potrebno je nekoliko dana da to ptice primijete te počnu to smatrati trajnom promjenom i počnu se vraćati na ta stabla. Naravno, neće se sve ptice vratiti istodobno na drveće nego će i taj povratak trajati nekoliko dana. Kad se skupi više ptica, naravno, one će pojesti više nametnika zbog čega će se smanjiti svrab. Ostvarenje relacije između struganja kore i ptica traje znatno više od trajanja ostvarenja ostalih relacija. Ne znamo točna trajanja ostvarenja svih relacija, ali navedenim općim razmatranjem zaključujemo kako u sustavu postoji jedna relacija s kašnjenjem te preciziramo koja je to.

Zašto povratnu vezu s kašnjenjem smatramo osnovnim procesom, a općenitiji slučaj stabilizirajuća povratna vezom (bilo u njoj kašnjenja, ili ne) ne smatramo? Stabilizirajuća povratna veza bez kašnjenja se stabilizira u relativno kratkom vremenu. Ako se u nekom trenutku zbog vanjskih utjecaja promijeni jedan element u stabilizirajućoj povratnoj vezi bez kašnjenja, onda se u relativno kratkom vremenu i on i drugi element u toj povratnoj vezi promijene do iznosa koji se odnose na novo stabilizirano stanje. Dakle, iznose elementa u povratnoj vezi bez kašnjenja u nekom sustavu u pravilu smatramo ujednačenim, uravnoteženim, zanemarivih iznosa promjena i zanemarivih trajanja promjena. Naprotiv, kod stabilizirajuće povratne veze s kašnjenjem u pravilu se događa premašaj promjene nekog elementa. Ako mijenjamo jedan od dva elementa u takvoj povratnoj vezi, često ćemo biti u situaciji da ga mijenjamo sve dok promjena drugog elementa u toj petlji ne bude jasno

vidljiva. Zbog kašnjenja, do trenutka kad je promjena drugog elementa vidljiva u pravilu je početno mijenjani element promijenjen previše, pa je povratna veza opet destabilizirana „na drugu stranu“. Pojednostavljeno, kod stabilizirajuće povratne veze s kašnjenjem, često puta se iznosi elemenata mijenjaju iz jedne krajnosti u drugu. Takva se situacija često poistovjećuje s njihalom. Ako njihalo miruje u vertikalnom položaju smatramo kako je u stabilnoj ravnoteži u kojoj će ostati dok ga nešto ne poremeti. Ako ga pomaknemo iz tog položaja ono će se početi njihati: iz nekog otklona će se njihati do vertikalnog položaja stabilne ravnoteže, ali tamo neće stati! Naprotiv, odmaknut će se od ravnoteže na drugu stranu. Njihanje će naposljetku prestati, ali ne zato što je njihalo samo od sebe naglo stalo u vertikalnom položaju, nego zato što se zbog različitih trenja otkloni njihala od ravnotežnog položaja malo pomalo, stalno smanjuju. U prenesenom značenju, efektom njihala oslikavamo pojave u društvu koje više puta prelaze iz jedne krajnosti u drugu.

U dijagramu na slici 8. navedeni su opći elementi A i B. Zbog kašnjenja sama petlja nije simetrična pa je jasno kako niti značenja elemenata A i B nisu jednakovrijedna. Konkretno, u ovakvom osnovnom procesu podrazumijeva se kako je element A onaj na kojega želimo utjecati, kako je element B ono svojstvo ili sredstvo kojima želimo utjecati na element A. Nadalje, uzimamo kako je relacija kojoj je A uzrok, a B posljedica načina dobivanja informacija o trenutnom stanju elementa A, dok je relacija kojoj je B uzrok, a A posljedica (dakle: relacija s kašnjenjem) način kojim mijenjamo element A. U takvom opisu, relacija kojoj je B uzrok, a A posljedica naziva se i korektivna akcija.

Dakle, izmjerimo iznos elementa A. Ako iznos odstupa od željenoga, osmislimo i poduzmемо korektivne akcije za njegovu promjenu, ali zbog kašnjenja promjena nastupa kad se element A već promijenio. Ako razumijemo sve procese, onda ćemo promjenu dodatno prilagoditi tako da uza sva kašnjenja izbjegnemo efekt njihala, tj. premašivanja u vidu uzastopnih promjena iznosa elementa A iz jedne u drugu krajnost. Ako ne razumijemo sve procese, onda ćemo imati efekt njihala.

Ilustrirajmo ovaj proces pomoću tri situacije: jedne koja je česta u kućanstvima, druge vezane uz prodaju kuća i treće koja je osobne prirode. U kućanstvu, zamislimo puštanje tople vode u kadu. Voda u slavinu dolazi iz grane za hladnu vodu i grane za vruću vodu koja je spojena na plinski bojler. Kako bismo dobili toplu vodu moramo pustiti i hladnu i vruću vodu neka se miješaju u određenom omjeru. No, kad prvi put pustimo vruću i hladnu vodu, voda koja će poteći bit će hladna! Razlog je taj što je potrebno određeno vrijeme da se voda u bojleru dovoljno zagrije, a prva vruća voda se ohladi prolaskom kroz cijev između bojlera i slavine. Dakle, nakon što pustimo vruću vodu, treba pričekati, a to čekanje označava kašnjenje! Dok se čeka na toplu vodu, netko može nestrpljivo dodatno povećati protok vruće vode i tako više puta. No, zbog toga će naposljetku voda iz slavine biti prevruća. Razumljivo, jer miješanjem manje količine hladne vode i veće količine vruće vode ukupno će voda biti vruća. Budući da se željelo pustiti toplu vodu, onda ni vruća voda nije željena, zato treba smanjiti dotok vruće vode, i postupak ponoviti više puta. Kod zatvaranja slavina, potrebno je neko vrijeme da se temperatura vode dovoljno smanji i vruću vodu zamijeni voda manje temperature. Dakle, opet se javlja kašnjenje, a zbog tog kašnjenja, i nestrpljivosti, često se protok vruće vode smanji više nego li je potrebno za dobivanje tople vode. Dakle, na kraju će poteći voda hladnija od one koju želimo. Sve u svemu, zbog kašnjenja, ako nismo strpljivi i prečesto mijenjamo protoke kroz slavinu za vruću vodu, nećemo postići željenu temperaturu vode nego ćemo ići iz krajnosti u krajnost. Voda iz slavine najveći dio vremena bit će ili prevruća ili prehladna. Jednom kad se prilagodimo tom kašnjenju, tj. na trajanje čekanja da se temperatura vode uskladi s time koliko su otvorene slavine za vruću i hladnu vodu, pustit ćemo vruće i hladne vode točno onoliko koliko je potrebno da bez navedenih krajnosti postignemo traženu temperaturu vode. Povežimo ovaj opis s dijagramom na slici 8. Element A je voda koja izlazi

iz slavine. Njeno mjerljivo svojstvo je njena temperatura. Možemo ju mjeriti u fizikalnoj jedinici, ali možemo ju mjeriti u kategorijama (npr. hladna, mlaka i vruća). Element B je udio vruće vode u ukupnoj količini vode iz slavine. Njegov je iznos broj između 0 i 1. Ako se pušta samo hladna voda onda element B iznosi 0, a ako je otvorena samo slavina za vruću vodu iznosi 1. Prema opisu situacije, nakon otvaranja slavina (dakle: postavljanja elementa B na određeni iznos) s kašnjenjem će se promijeniti temperatura vode (dakle: iznos elementa A).

Kao drugi primjer ovog procesa navedimo gradnju kuća. Ako u nekom razdoblju poraste potražnja za novoizgrađenim kućama javit će se veći broj tvrtki koje će graditi kuće. Gradnja kuća će potrajati i nakon što ih kupi većina ljudi zainteresiranih za nove kuće te će zato biti veći broj novoizgrađenih kuća koje se neće moći prodati. Naposljetku će se prestati graditi nove kuće dok se ne proda relativno veliki broj već prethodno sagrađenih, a još neprodanih kuća. Povežimo opisanu situaciju s dijagramom na slici 8. Element A nazovimo kuća. Svojstvo elementa A koje mjerimo je broj izgrađenih kuća u prodaji. Element B je omjer broja prodanih kuća i ukupnog broja kuća za prodaju (ako nam je to predugačak naziv elementa B možemo ga nazvati i kraće, npr. prodane kuće). Raspon iznosa elementa B je od 0 do 1. Kad je element B jako malog iznosa, onda se smanjuje proizvodnja, a time i element A. Kašnjenje se javlja upravo u relaciji u kojoj je B uzrok jer nakon što se ustanovi određeni udio neprodanih kuća potrebno je relativno puno vremena dok se tome ne prilagodi element A, bilo da ga treba povećati ili smanjiti. Recimo, neka je u nekom trenutku B prevelikog iznosa pa treba smanjiti element A. No, sigurno je tada dio kuća u izgradnji i neovisno o tome što treba smanjiti A, njihova će se izgradnja završiti, a to će dodatno povećavati element A tijekom sljedećeg razdoblja! Ovdje usklađivanje može trajati godinama i dovesti do višestrukih znatnih odstupanja broja kuća od traženog, bilo da se govori o premalim iznosima ili prevelikim.

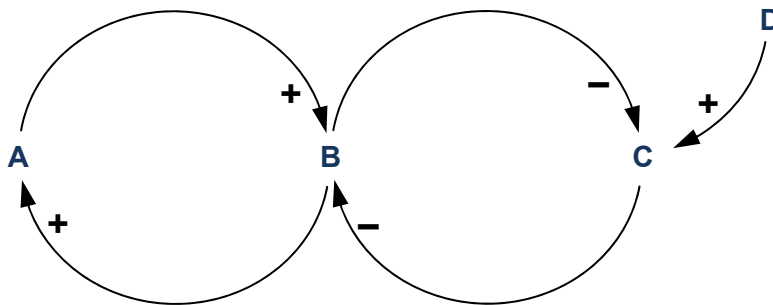
Kao treći primjer razmotrimo čestu situaciju da ljude u društvu počne „pratiti neki glas“. Zamislimo osobu koja je marljiva, ali koja je iz tko zna kojih razloga jednom zapamćena u društvu kao lijena. Tijekom dužeg vremena o dotičnoj će se osobi govoriti kao o lijenoj osobi iako će osoba nadalje dokazivati marljivost u poslovima koje obavlja. Prema oznakama iz dijagrama na slici 8, element B vezan je uz marljivost osobe (npr. broj zadaća koje osoba obavi u kratkom vremenu) a element A je stav društva o toj osobi (npr. marljivost iskazana u kategorijama „mala“, „srednja“ i „velika“). Početak ovog primjera pokazuje da je društvu bez dobrog poznavanja osobe nju kategoriziralo kao osobu male marljivosti (drugim riječima: lijenu osobu). To je stav kojeg osoba B postaje svjesna u relativno kratkom vremenu (na slici 8. to je relacija kojoj je A uzrok i toj relaciji ne pripisujemo kašnjenje), ali koji ne može promijeniti u kratkom vremenu. Dakle, tijekom duljeg vremena osoba će uočavati kako ju društvo smatra lijenom iako će marljivo obavljati svoje zadaće. Kašnjenje je jako veliko, vezano je uz promjenu stava društva o osobi što je relativno spori proces (uočimo: promjena stava a na početno formiranje stava!) a to u praksi znači kako osoba, koju se jednom počne smatrati lijenom, treba tijekom duljeg vremena biti velike marljivosti ako želi promijeniti stav društva o sebi.

Uz osnovni proces na koji se odnosi slika 8., postoji jedan sličan proces. To je proces u kojem se kašnjenje javlja u relaciji u kojoj je A uzrok, a B posljedica, pri čemu je i nadalje element A onaj koji želimo promijeniti, iako ne izaziva toliko neželjenih posljedica. Radi jednostavnosti i njega ćemo ubrajati u ovakav osnovni proces.

Uravnotežujući proces s kašnjenjem kao osnovni proces uključuje samo dva elementa i dvije relacije. Naravno, u različitim sustavima umjesto takve povratne veze možemo imati stabilizirajuću petlju u kojoj je više elemenata povezano, npr. 3, 4, .... pri čemu bar jednoj od relacija pripisujemo kašnjenje. Također, povratna veza prikazana na slici 8. može biti samo dio većeg sustava u kojemu su i element A i element B dodatnim relacijama vezani s više drugih elemenata.

## Osnovni proces: granice rasta

U ovom procesu polazište je pozitivna povratna veza. Već je u ranijem tekstu navedeno kako ona dovodi do rasta elemenata, ali i kako taj rast nije neograničen nego nekako mora prestati. Osnovni proces granice rasta najjednostavniji je primjer proširenja pojačavajuće povratne veze elementima i relacijama koje osiguravaju stabiliziranje sustava, tj. zaustavljanje rasta. U njemu je ograničenje rasta postignuto dodatnom povratnom vezom u kojoj pritom polazna i dodatna povratna veza dijele jedan element. Pripadni je dijagram uzroka i posljedica prikazan na slici 9. Elementi A i B proizvoljni su elementi vezani pozitivnom povratnom vezom. Element C vezan je na element B s kojim čini povećavajuću povratnu vezu. Element C uobičajeno se naziva usporavajućim, jer njegovo uključivanje u cjelokupni sustav dovodi u konačnici do zaustavljanja rasta elemenata A i B. Element D je granični uvjet.



**Slika 9.** Dijagram uzroka i posljedica osnovnog procesa granice rasta. Znak + označava povećavajući, a znak – smanjujući karakter relacije.

Općenito, ako se u analizi sustava uoči pozitivna povratna veza, zasigurno će ju trebati nadopuniti i time analizu sustava proširiti, tako da se zaključno sustav stabilizira i pozitivna povratna veza nadjača relacijama koje ograničuju rast. Proces granice rasta samo je jedan od mogućih načina stabilizacije sustava te zato što se često javlja, uključen je u osnovne procese.

Razmotrimo dva primjera ovog osnovnog procesa: jedan je opet vezan uz kućanstvo, a drugi uz veća područja. U prvom primjeru, neka se element B odnosi na vrijeme koje provedete u igranju računalnih igrica. Neke se element A odnosi na rezultate (bodove, postignute razine i dr.) u igranju tih igrica. Tada, što više vremena posvećujete igricama, više se rezultata postiže, što je povećavajuća relacija kojoj je B uzrok a A posljedica. No, bolji rezultati u igricama stvaraju dodatnu zainteresiranost i privlačnost igrica (npr. jer omogućuju dolazak do viših i zanimljivijih razina igre) što dovodi do daljnjeg povećavanja vremena igranja. To je upravo povećavajuća relacija kojoj je A uzrok a B posljedica. No, nisu igrice jedino čime se bavite. Određeno vrijeme bavite se sportom pa neka je to vrijeme mjereno elementom C. Što više vremena posvećujete igricama manje vremena ostaje za bavljenje sportom, a to je smanjujuća relacija kojoj je B uzroka a C posljedica. S druge strane, ako povećate trajanje bavljenja sportom ostaje vam manje vremena za igrice što je smanjujuća relacija kojoj je C uzrok a B posljedica. Ovu relaciju možemo razmotriti i uz drugačiju promjenu elementa C: što je manje trajanje bavljenja sportom (manji element C) više vremena ostaje za igranje igrica (veći je element B). No, vrijeme bavljenja sportom vezano je dodatno uz ciljeve koje smo si postavili, rezultate koje želimo postići i sl. Svi takvi ciljevi, uvjeti, dodatno postavljeni zahtjevi, težnje i sl. označimo kao element D, tzv. granični uvjet. Njime je određeno koliko vremena se trebamo baviti sportom. Ako postavimo veće ciljeve (veći je iznos elementa D) potrebno je više vremena posvetiti sportu (veći element C) pa je relacija između D i C povećavajuća. Je li element C stvarno usporavajući u smislu da zaustavlja rast elemenata A i B? Da! Zbog graničnog uvjeta (element D) element C ne može se smanjiti ispod određenog iznosa. Dakle, koliko god povećavanje elementa B traži daljnje smanjenje elementa C, on se ne može

smanjiti ispod određenog iznosa. Zbog relacija kojoj je C uzroka, a B posljedica to znači da element B ne može rasti iznad određenog iznosa.

Uočimo, element D je na dijagramu na slici 9. prikazan kao element koji nije posljedica ni jednog drugog prikazanog elementa. Naravno da je to samo pojednostavljenje jer postoje dodatne relacije između elementa D i drugih elemenata u sustavu (koji ne moraju biti samo elementi A, B ili C nego i neki neprikazani). Zbog simetrije mogli smo ovaj primjer opisati tako da se desna petlja dijagrama na slici 9. odnosi na igrice, a lijeva na bavljenje sportom.

U drugom primjeru razmotrimo povećavanje grada izgradnjom novih kuća i zgrada. Grad ima područja na kojima se može relativno lagano širiti (dakle: izgradnja je relativno jednostavna, a onda i manjih cijena) nakon čega dolaze područja na koja se grad teže širi (dakle: izgradnja je složenija, a onda i većih cijena). Grad može nastati u ravnici i gradnja novih stambenih objekata je jeftinija, a time i širenje grada lakše dok se ne ispuni cijela ravnica. Grad se može širiti i van ravnice na obližnje obronke, po brdovitom području, ali gradnja u takvim područjima je zahtjevnija što vodi većoj cijeni stambenih objekata jednom kad ih se izgradi. Ravnica može uključivati rječice, potoke ili jezera koja treba preusmjeriti ili zatrpati ako se i na tim lokacijama želi graditi stambene objekte, ali je tada njihova cijena veća zbog dodatnih radova. Prema dijagramu na slici 9., neka se elementi A i B odnose na gradnju, dok se C na specifičan način odnosi na raspoloživi prostor, a D na granične uvjete. A je broj (izgrađenih) stambenih objekata, a B je broj stambenih objekata u gradnji. Veći broj izgrađenih objekata znači i veći broj stanovnika zbog kojih se u gradu osnivaju dodatni sadržaji, npr. grade se škole i vrtići, bolnice, sportske dvorane, kino dvorane, prodajni centri, ... Zbog njih grad postaje privlačniji za daljnje doseljavanje što u konačnici dovodi do nastavka izgradnje. Neke je C cijena izgrađenog stambenog objekta. Možemo C mjeriti i kao cijenu „kvadrata stana“. Što je više objekata u izgradnji, manja će biti cijena objekta što je smanjujuća relacija kojoj je B uzrok a C posljedica. S druge strane, manja cijena kvadrata stana omogućuje većem broju ljudi kupnju stana i doprinosi gradnji većeg broja stambenih objekata, a to je smanjujuća relacija kojoj je C uzrok a B posljedica. Uočimo, ovu smo relaciju mogli opisati polazeći od povećavanja cijene kvadrata zbog čega bi se smanjio broj kupaca stanova, a onda i smanjila izgradnja novih stanova. No, svi se ti objekti grade na određenom zemljištu, bilo u ravnici ili van nje što utječe na troškove pri gradnji stambenih objekata, a oni doprinose zaključnoj cijeni kvadrata stana. Element D je veličina grada. Dok je na raspolaganju dio ravnice za gradnju stambenih objekata, element C je manjeg iznosa. Kad se grad poveća tako da ispuni ravnicu i zahvati okolna područja na kojima je teže (a onda i skuplje) graditi stambene objekte, raste C. Rast cijene, elementa C, naposljetku dovodi do zaustavljanja rasta elemenata A i B.

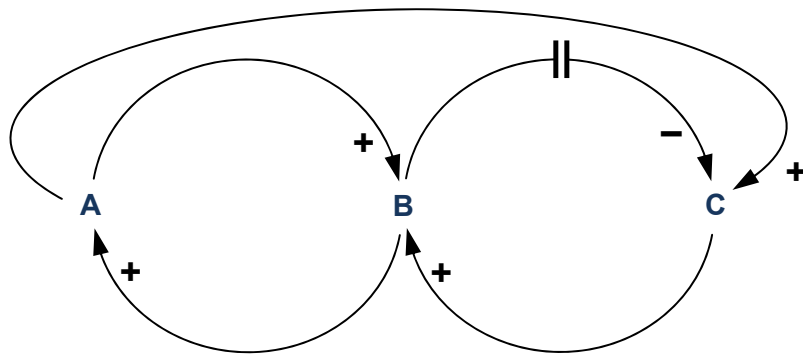
### **Osnovni proces: prebacivanje tereta**

Ovaj proces također se sastoji od pozitivne i negativne povratne veze. Jedan element zajednički je za obje povratne veze. Na dijagramu uzroka i posljedica ovog procesa, slika 10., pozitivna povratna veza veže elemente A i B, a negativna povratna veza elemente B i C. Dodatno, postoji relacija između elemenata A i C. Ta relacija vrlo je bitna jer povećava važnost petlje u kojoj je element A, a smanjuje važnost petlje u kojoj je element C.

Teret u ovom procesu najčešće nije stvarni teret određene mase. Najčešće teret, slikovito, znači problem kojeg treba riješiti ulaganjem vrlo velikog napora.

Kao primjer procesa prebacivanja tereta razmotrimo baratanje troškovima. Zamislimo osobu koja je dužna određenu svotu novaca. Vraćanje duga smatramo dijelom ukupnog troška te osobe. Mogući su različiti načini baratanja dugom, a jedan od njih je i način u kojemu se dug vraća dizanjem novog kredita. No, to vodi u začarani krug u kojemu se rate podignutog kredita (dakle, dodatno povećani dug) vraćaju novcem dobivenim od još jednog podignutog kredita itd. S druge strane, dug opterećuje svakodnevni život osobe najčešće tako što smanjuje

svotu kojom osoba raspolaže za različite potrebe, npr. kupnju novog namještaja, obnavljanje odjeće, prehranu, putovanja, plaćanja tečajeva za dodatno obrazovanje itd. Obratno, što su veće svote koje osoba troši za različite potrebe veći su i troškovi. Ovu relaciju između potreba i troškova možemo iskazati i ovako: što su manje potrebe i aktivnosti neke osobe, manji su i



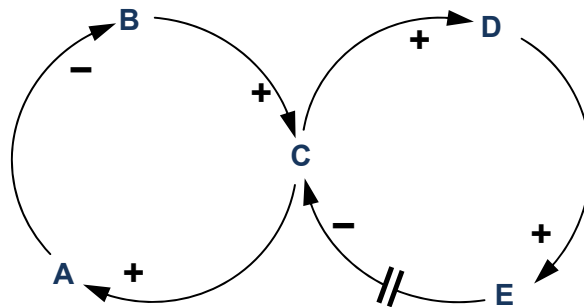
**Slika 10.** Dijagram uzroka i posljedica procesa prebacivanja tereta. Znak + označava povećavajući, a znak – smanjujući karakter relacije. Znak || označava kašnjenje.

popratni troškovi. Prema oznakama na dijagramu sa slike 10., neka se element B odnosi na ukupne troškove osobe, element A na podignute kredite, a element C na svotu raspoloživu za bavljenje drugim aktivnostima i ispunjavanje drugih potreba. Začarani krug vraćanja dugova podizanjem dodatnih kredita predstavljen je pozitivnom povratnom vezom između A i B. Troškovi vezani uz ostali život predstavljeni su negativnom povratnom vezom između B i C. Manje aktivnosti znači manju svotu za njih tj. manji element C a to smanjuje troškove tj. B. Obratno, ako se povećaju aktivnosti a onda i svota za njihovo obavljanje (raste element C) rastu i ukupni troškovi tj. element B. Neposredno nakon podizanja kredita, kratkotrajno se poveća iznos novčanih sredstava kojima osoba barata. To može izravno povećati aktivnosti osobe. Ako do toga dođe riječ je o štetnom djelovanju, u ovom slučaju ostvarenju relacije između A i C. Zaista, uz relativno velika trenutno prisutna sredstva veća je vjerojatnost da će osoba i živjeti jednako (dakle: favorizirati petlju s elementima A i B, tj. vraćati dugove dodatnim zaduživanjem) nego što će shvatiti potrebu za znatnom promjenom ponašanja (dakle: favorizirati petlju s elementima B i C).

No, gdje se u ovom primjeru nalazi prebacivanje tereta? Što je uopće teret u ovom primjeru? Teret je sam dug koji treba vratiti. Prebacivanje tereta su petlje. Petlja s elementima A i B predstavlja jedan, vrlo loš način baratanja teretom, tj. vraćanja duga, a to je daljnje zaduživanje. U toj petlji, početni teret (dug) prebačen je na teret kredita (tj. probleme dobivanja daljnjih kredita). To je obično i petlja u kojoj se promjene elemenata ostvaruju brže. Od dvije petlje ovog osnovnog procesa ova se naziva simptomskom petljom. Element B je simptom problema, a element A simptomsko rješenje. Kako bi se naglasilo da je to samo prividno, kratkotrajno, zapravo loše rješenje, obično se navodi kao simptomsko „rješenje“. Stvarno rješenje postiže se kroz petlju s elementima B i C. Ta se petlja naziva fundamentalnom petljom, a element C fundamentalnim rješenjem. U ovoj petlji, početni teret je dug. Prebacivanje tereta znači kako je kasnije teret postao napor koji je potrebno uložiti za promjenu načina življenja koja je potrebna kako bi se smanjio iznos elementa C. Relacije u toj petlji ostvaruju se sporije od relacija u simptomskoj petlji te zato u petlji s elementima B i C naznačujemo kašnjenje. U dijagramu na slici 10. kašnjenje je u smanjujućoj relaciji kojoj je uzrok element B, a posljedica element C. U navedenom primjeru to znači kako povećavanje dugova vodi na smanjenje aktivnosti, ali uz određeno kašnjenje, s određenom vremenskom odgodom. Dakle, nakon što osoba postane svjesna duga, prođe određeno vrijeme prije nego li tome prilagodi svoj način života. Naravno i relacija kojoj je C uzrok a B posljedica može biti opisana kao kašnjenje. Uostalom i u navedenom primjeru riječ je o relativno sporijoj relaciji u kojem promijenjen način života dovodi do smanjenja duga na način smanjenja dodatnih troškova.

## Osnovni proces: erozija ciljeva

Ovaj proces sastoji se od dvije petlje. U svakoj od njih su tri elementa. Jedan element zajednički je za obje petlje, slika 11.

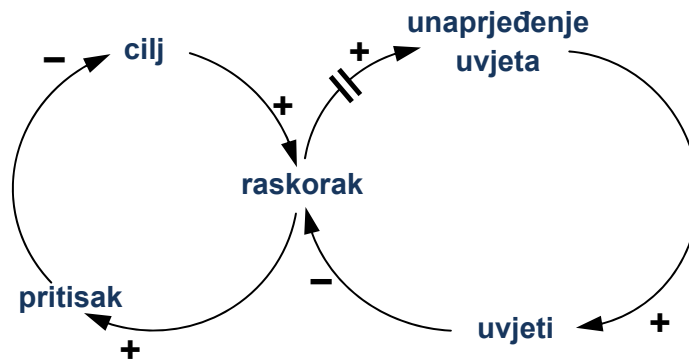


**Slika 11.** Dijagram uzroka i posljedica procesa erozija ciljeva. Znak + označava povećavajući, a znak – smanjujući karakter relacije. Znak // označava kašnjenje.

Razmotrimo ovaj proces na uobičajenom primjeru. Budući se u ovom osnovnom procesu javlja više elemenata, primjer ćemo potkrijepiti dodatnim dijagramom prikazanim na slici 12., kako bismo izbjegli nezgrapnosti stalnog navođenja što u primjeru predstavljaju elementi A, B, C, D, E i F. Primjer vezan uz sliku 12. vezan je uz granice onečišćenosti. Zbog različitih proizvodnih, transportnih i drugih djelatnosti u okolini dolazi do onečišćenja. Npr., motorna vozila emisijom ispušnih plinova doprinose onečišćenju okoline. Onečišćenja se mjere, a ujedno se propisuju granični iznosi onečišćenja koja smiju biti izmjerena. Ako se te granice premaše, poduzimaju se dodatne mjere za naglo smanjenje onečišćenja i njegovo vraćanje u dozvoljene granice. Naravno, cijelo vrijeme postoje i provode se dugoročnije mjere za stalno smanjenje zabilježenog onečišćenja. No, zna se dogoditi da u nekom razdoblju zabilježeno onečišćenje bude relativno blizu graničnom dozvoljenom onečišćenju s trendom daljnjeg rasta. U tom slučaju govori se kako postoji raskorak između stvarnog i željenog onečišćenja (to je element „raskorak“ na dijagramu prikazanom na slici 12.). U tom slučaju nešto treba poduzeti kako bi se raskorak smanjio. Postoje dugoročne mjere koje se poduzimaju tijekom duljeg razdoblja, koje obuhvaćaju više djelatnosti, a uvode se nizom vezanih, manjih promjena. Primjeri takvih mjera su traženje od proizvođača da razviju vozila koja emitiraju manje štetnih plinova u okolinu, poticanje transporta na načine koji smanjuju onečišćenja (npr. poticanje putovanja vlakom, poticanje putovanja autobusima umjesto osobnim automobilima, ...). Takvim procesima unaprjeđuje se stanje okoline jer se smanjuje intenzitet onečišćenja. Na slici 12. te mjere obuhvaćene su elementom „unaprjeđenje uvjeta“. Što je veći raskorak (da se podsjetimo, možemo to imenovati kao: što je veći iznos elementa „raskorak“) više mjera treba poduzeti za njegovo smanjenje, dakle veći element „unaprjeđenje uvjeta“. Mjerenjem onečišćenosti okoline utvrđuje se iznos elementa „uvjeti“ koji obuhvaća stanje okoline. Ako je provedeno „unaprjeđenje uvjeta“, tada su uvjeti bolji, a onda je raskorak manji. Uvođenje mjera kojima se ostvaruje „unaprjeđenje uvjeta“ obično traje veći broj godina! Pripadnoj relaciji na slici 12. zato je dodana oznaka kašnjenja.

S druge strane, kratkoročno se može promijeniti dozvoljena granica onečišćenja. To je kratkoročno rješenje, obično popraćeno napomenama kako je to privremeno rješenje, kako su prethodna granična onečišćenja bila prestroga i sl. Takva promjena ne dolazi sama od sebe nego je posljedica pritiska. Pritisak u pitanju su težnje pojedinaca i institucija vezanih uz trenutno stanje transporta kojima je u kraćem razdoblju nemoguće provesti unaprjeđenje uvjeta. Što je veći raskorak, veći je i pritisak. Ako je pritisak dovoljno jak, dolazi do opisane promjene granice onečišćenja što je na slici 12. opisano elementom „cilj“. U ovom primjeru





**Slika 12.** Dijagram uzroka i posljedica pri pomicanju granica onečišćenosti. Znak + označava povećavajući, a znak – smanjujući karakter relacije. Znak // označava kašnjenje.

cilj označava željeni raskorak između izmjerenog i dozvoljenog onečišćenja. Povećanjem dozvoljene granice onečišćenja smanjuje se razlika između izmjerenog i dozvoljenog onečišćenja i time se smanjuje cilj. Dakle, sam cilj je erodirao zbog čega se i pripadni osnovni proces naziva erozija ciljeva. Posljedica smanjenja cilja je i smanjenje raskoraka, a to smanjuje intenzitet mjera za unaprjeđenje uvjeta. Pojednostavljeno, kratkoročna rješenja označavaju kretanje po lijevoj, a dugoročna po desnoj petlji na slici 12. Ta se kretanja isključuju. No, kretanje po lijevoj petlji je brže jer obuhvaća kratkoročnije relacije (nema kašnjenja) te zato se često u praksi javlja da povećanjem raskoraka nastupa kretanje po lijevoj petlji. Naravno, uslijed povećavanja transporta i drugih aktivnosti svako toliko raskorak će se povećati (elementi i relacije koje dovode do povećanja raskoraka nisu naznačene na slici 12. nego se samo podrazumijevaju), a to često opet pokreće kretanje po lijevoj petlji. Nakon nekoliko razrješavanja raskoraka kretanjem po lijevoj petlji, cilj se znatno razlikuje od početnoga, dakle erodirao je.

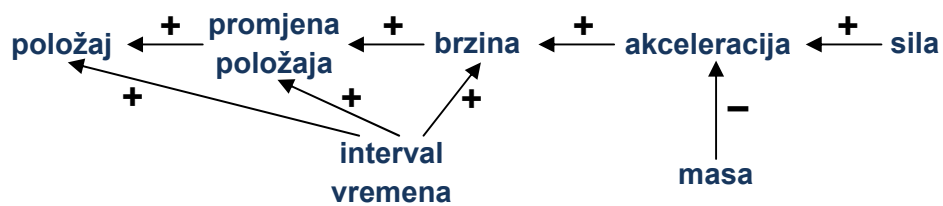
### Primjer: Newtonove jednadžbe gibanja

Razmotrimo pravocrtno gibanje tijela pod djelovanjem sile iznosa  $F$ . Položaj tijela je  $x$ , brzina je omjer prijeđenog puta i vremena tijekom kojeg je prijeđen. Akceleracija,  $a$ , s jedne je strane jednaka omjeru promjene brzine i vremena tijekom kojeg se promjena ostvarila. S druge strane, akceleracija je jednaka omjeru sile na tijelo i mase tijela. Ako su vremena u pitanju vrlo kratka onda navedene veličine smatramo trenutnima, a dodatno prijeđeni put izjednačujemo s razlikom položaja tijela na kraju i početku vremenskog intervala. Pripadni dijagram uzroka i posljedica je na slici 13.

Matematičke izraze kojima se uobičajeno opisuje navedeno gibanje nećemo pisati nego to ostavljamo Vama za vježbu. U dijagramu uzroka i posljedica na slici 13. polazimo od svojstva sile da djeluje na tijelo i predstavlja uzrok gibanja. Dakle, nakon što odredimo vremenski interval i masu tijela, ako znamo silu koja djeluje na tijelo možemo odrediti sve ostale navedene fizikalne veličine. Možda djeluje neuobičajeno kako npr. iz poznate brzine i intervala vremena određujemo promjenu položaja. U tom je pristupu promjena položaja posljedica brzine i intervala vremena. Češće se polazi od definicije u kojoj iz poznate promjene položaja i intervala vremena određujemo brzinu. Iz tog pristupa prividno je brzina posljedica promjene položaja u intervalu vremena. No, riječ je o određivanju brzine na temelju drugih poznatih podataka (prijedenog puta i proteklog vremena). To ne znači kako je prijeđeni put uzrok brzine, nego to znači kako se uobičajeno iz prikupljenih podataka određuje brzina. Neovisno o tome što je uzrok, a što posljedica nakon što napišete popratne jednadžbe lako je i kvantitativno povezati različite veličine navedene na slici 13.

No, dijagram uzroka i posljedica na slici 13. podrazumijeva kako iznos sile ne ovisi o drugim veličinama koje se odnose na tijelo. Uobičajeni primjeri takve sile su npr. pogonska sila

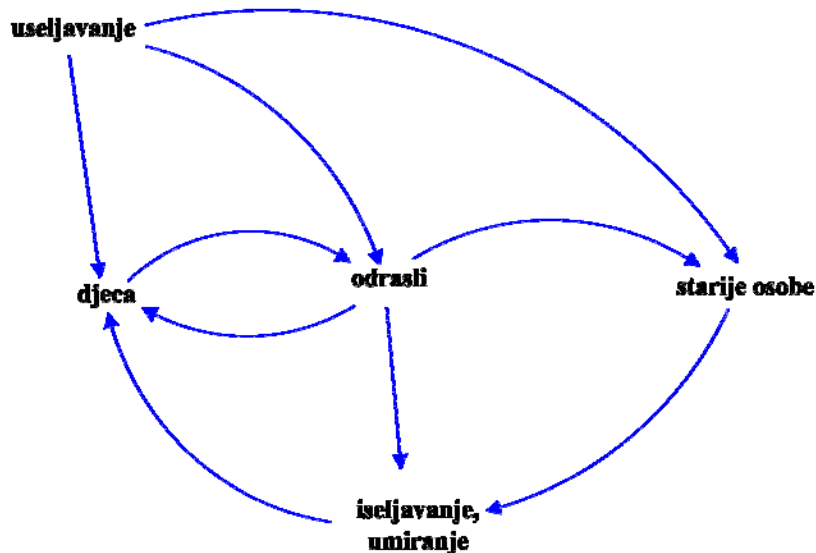
motora, vanjska sila kojom guramo, vučemo ili drugačije djelujemo na tijelo i sl. No, gibanje se može odvijati uz otporne sile poput sile kontaktnog trenja. Otporne sile, kao što su sila otpora zraka ili sila otpora vode, po iznosu ovise i o drugim svojstvima gibanja tijela, npr. o brzini tijela. Možete li opisati situaciju u kojoj otporna sila ovisi o položaju? U nizu situacija i iznosi pogonske sile mogu ovisiti o drugim veličinama gibanja kao što su brzina ili položaj. Uobičajeno takav primjer susrećemo kod automatskog upravljanja i regulacije kod auto-pilota u avionima: ako je potrebno održavati stalnu brzinu leta, tada-se pogonska sila pojačava nakon što se iz različitih razloga brzina leta kratkotrajno smanji. Obratno, ako se brzina leta iz nekog razloga kratkotrajno poveća onda se pogonska sila smanjuje. Budući da su pogonska i otporna sila u ravnoteži prilikom leta, stalnom letnom brzinom tada promjena pogonske sile dovodi do iznosa akceleracije različitog od nule (bilo pozitivnog, bilo negativnog). Dakle, sila na slici 13. je rezultantna sila. Po potrebi treba razmotriti i njene komponente.



**Slika 13.** Dijagram uzroka i posljedica za pravocrtno gibanje tijela. Znak + označava povećavajući, a znak – smanjujući karakter relacije.

### Primjer: stanovništvo otoka

Osnovni elementi i relacije koje utječu na broj stanovnika nekog otoka prikazani su u dijagramu na slici 14. Vama ostavljam da odredite karaktere prikazanih relacija.



**Slika 14.** Dijagram uzroka i posljedica za stanovništvo otoka.