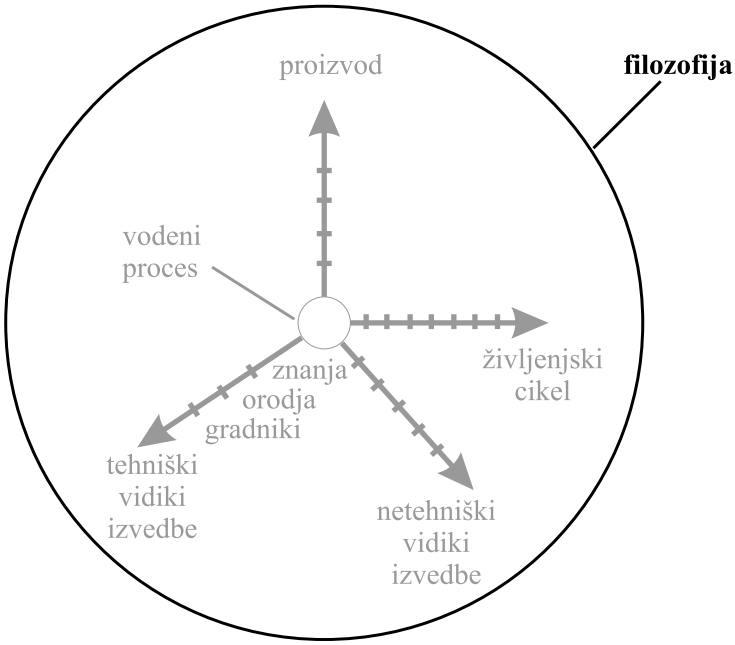
2. Širši konceptualni in metodološki okviri



2.1 Uvod

Uspešno reševanje problemov vodenja zahteva po eni strani poglobljeno razumevanje samih sistemov in procesov, ki jih vodimo, njihove strukture, dinamike, medsebojnih relacij, splošnih zakonitosti in podobnosti, ki se pojavljajo na različnih področjih, itd., po drugi strani pa obvladovanje splošnih konceptov in principov, na katerih vodenje sistemov temelji.

Vendar pa to ni dovolj. Cilj tehnike ni samo, da problem razumemo in ga v principu znamo rešiti, ampak da znamo konkretni tehnični sistem, oziroma v tem primeru sistem za vodenje tudi zgraditi. Zato moramo poznati tudi splošne principe in zakonitosti, ki veljajo pri načrtovanju in izgradnji tehničnih sistemov in seveda posebej tiste, ki jih velja uporabiti pri načrtovanju in izgradnji računalniško podprtih sistemov za vodenje.

V tem poglavju bomo zato po eni strani govorili o sistemski teoriji in teoriji vodenja sistemov, po drugi strani pa o načrtovalskih principih in sistemskem inženirstvu.

2.2 Sistemi in sistemska teorija

Sistemska teorija tvori najširši konceptualni okvir za reševanje problemov vodenja, zato je v kontekstu te knjige še posebej zanimiva. Teorija temelji na obravnavi sistemov, zato najprej poglejmo nekaj njihovih splošnih značilnosti.

2.2.1 Sistemi

Beseda sistem izhaja iz grščine in v dobesednem prevodu pomeni: “povzročati, da stoji skupaj”. V tem smislu pomeni ***sistem neko urejeno tvorbo, ki predstavlja nasprotje naključnosti ali kaosa***. Obstajajo številne različne definicije sistema, ki bolj ali manj poudarjajo določene lastnosti sistemov.

Poglemo si nekatere (Kljajić, 1994):

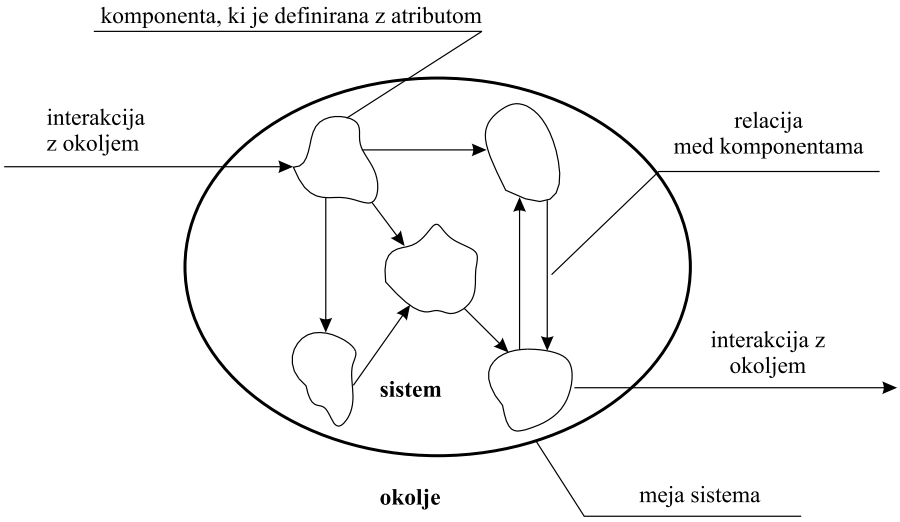
- ***sistem je množica povezanih, delujočih elementov***;
- ***sistem je različnost odnosov in zvez med elementi množice, ki sestavljajo celotno množico***;
- ***sistem je kompleks elementov, ki se nahajajo v medsebojni povezanosti***.

Ena od najbolj splošnih definicij pravi, da je ***sistem množica elementov, ki imajo medsebojne relacije in relacije z okoljem*** (Bertalanffy, 1972).

Shemo tako razumljenega sistema vidimo na Sl. 2.1. Vidimo, da ima sistem neko notranjo strukturo, ki je definirana z različnimi komponentami. Vsaka komponenta ima

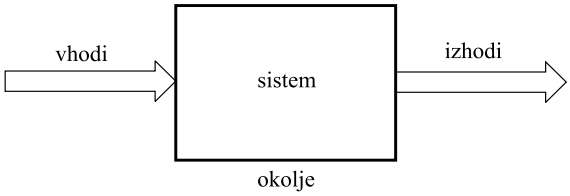
svoje značilnosti in je običajno zopet sistem nižje kompleksnosti. Komponente so povezane z relacijami. Te relacije običajno pomenijo izmenjavo snovi, energije in informacije. Kaj je zunaj in kaj znotraj sistema opredeljujejo meje sistema. Meja sistema torej loči sistem od okolja.

Določene komponente sistema nimajo samo medsebojnih relacij, ampak imajo tudi relacije z okoljem. Te relacije predstavljajo interakcijo z okoljem. Relacijam iz okolja, ki imajo vpliv na posamezne komponente sistema pravimo *vhodi* v sistem, nasprotno pa relacijam, ki vplivajo na okolje pravimo *izhodi* iz sistema.



Sl. 2.1. Shema sistema z notranjo strukturo

Mnogokrat nas notranja struktura sistema ne zanima, zanima pa nas medsebojna odvisnost med vhodom in izhodom sistema in njegova povezanost z okoljem. Zato često sistem predstavimo tudi v obliki, ki jo prikazuje Sl. 2.2.

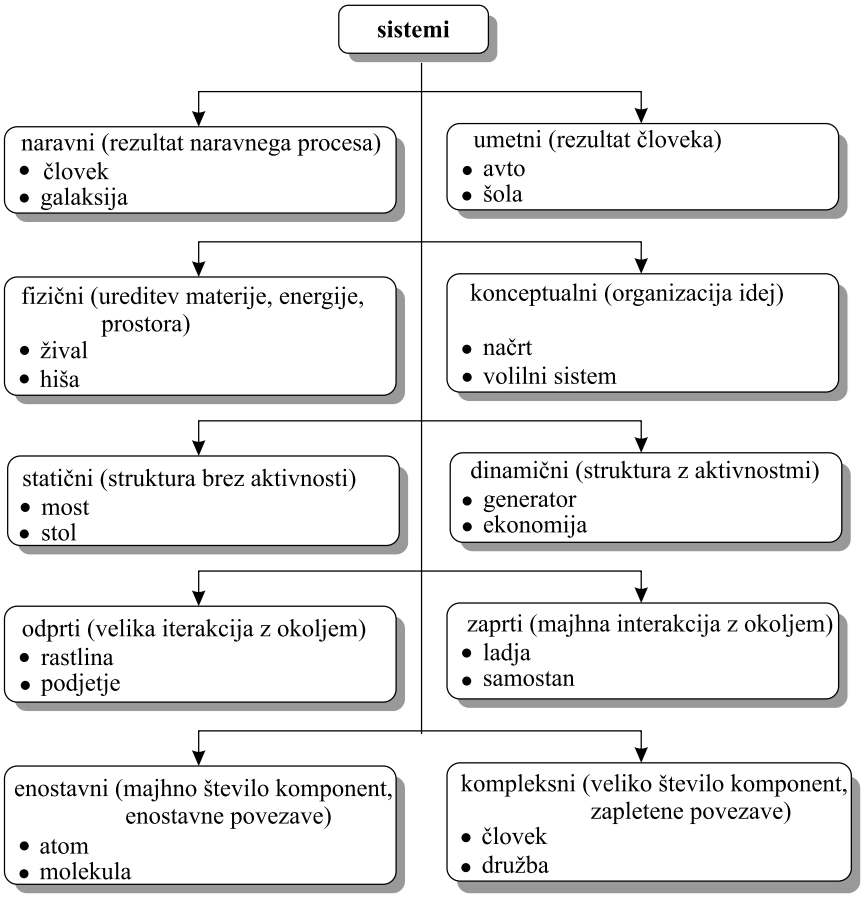


Sl. 2.2. Vhodno-izhodni prikaz sistema

Najbolj pomembno je, da razumemo, v čem je bistvo sistema. Osnovni smisel sistema je, da predstavlja več kot zgolj vsoto posameznih komponent. Že Aristotel je ugotavljal, da je celota več kot vsota sestavnih delov. To, kar je več, ni rezultat ene posamezne komponente, ampak *načina povezave med njimi*, ki rezultira v sinergiji. Ta sinergija

pomeni novo kvaliteto in kvantiteto. (Dvokolo npr. dobimo, ko na pravi način sestavimo dve kolesi z ogrodjem, dodamo sedež, krmilni mehanizem (balanco) in mehanizem za poganjanje in zaviranje. Dobili smo nekaj, kar ima v primerjavi z osnovnimi sestavnimi deli novo funkcijo in nov smisel.)

Sistemi so seveda zelo različni, zato si pri njihovi obravnavi pomagamo z raznimi klasifikacijami po različnih kriterijih. Namen tega dela ni, da bi se obširneje ukvarjali s to problematiko. Zgolj zaradi ilustracije širine koncepta sistema poglejmo eno od možnih klasifikacij. Klasifikacija je prikazana na Sl. 2.3.

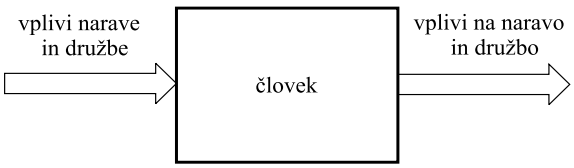


Sl. 2.3. Klasifikacija sistemov

∇

Primer 2.1: *Različni primeri sistemov*

Poglejmo si na osnovi doslej spoznanega nekaj primerov sistemov. Prvi primer sistema naj bo človek. Shematsko je kot vhodno-izhodni sistem prikazan na Sl. 2.4.



Sl. 2.4. Človek kot sistem

Vidimo, da vhode lahko opredelimo kot vplive narave in družbe na človeka, izhode pa kot človekov vpliv na naravo in družbo. Če želimo človeka kot sistem klasificirati, bi lahko rekli, da gre za naravni, fizični, dinamični, odprti in kompleksni sistem.

Drugi primer sistema je televizijski sprejemnik. Shematsko je prikazan na Sl. 2.5.

Sl. 2.5. Televizijski sprejemnik kot sistem

Vhode v sistem predstavljajo električna energija, po eni strani, in televizijski signali v obliki elektromagnetnega valovanja, po drugi strani. Izhoda iz sistema sta slika in zvok.

Televizijski sprejemnik bi lahko opredelili kot umetni, fizični, dinamični, odprti in srednje enostavni sistem.

Tretji primer sistema je konceptualni sistem. Gre za znani pregovor: “Vrabec v roki je boljši kot golob na strehi”, ki v resnici predstavlja način obnašanja v določeni situaciji (Neelamkavil, 1987). Shema sistema je prikazana na Sl. 2.6.

Sl. 2.6. Koncept kot sistem

Vhod v sistem v tem konkretnem primeru predstavlja informacija, ki omogoča izbiro med različnimi možnostmi, izhod pa odločitev, ki izbira eno od možnosti v skladu z opredeljenim konceptom. Ta sistem bi lahko opredelili kot umetni, konceptualni, statični, odprti in enostavni sistem.

Δ

2.2.2 Procesi

Pričujoča knjiga je posvečena vodenju procesov, zato si še na kratko poglejmo, kakšna je razlika med procesom in sistemom, ali bolje rečeno, kakšna je relacija med njima.

Beseda proces izhaja iz latinske besede "procedere" (napredovati) in pomeni nek potek, postopek ali dogajanje (Lauber, 1989).

Ta potek, postopek oziroma dogajanje povzroči *spremembo stanja* v sistemu. Ko govorimo o procesu je torej ključna komponenta čas, saj samo na osnovi opazovanja nekega sistema v različnih časovnih trenutkih lahko opazimo spremembo stanja.

Če smo prej definirali strukturo sistema kot relacijo med posameznimi komponentami in ugotovili, da te relacije pomenijo izmenjavo snovi, energije in informacije, potem lahko rečemo, da v sistemu poteka proces, če ta izmenjava rezultira v spremembah stanja posameznih komponent.

Procesov je seveda veliko vrst (npr. naravni proces, politični proces, organizacijski proces, poslovni proces, psihološki proces, itd.). V kontekstu te knjige pa nas najbolj zanimajo tehnični procesi, zato poglejmo eno od možnih definicij, ki je povzeta po standardu DIN 66201 (Lauber, 1989).

Tehnični proces je skupek soodvisnih potekov v nekem sistemu, ki rezultirajo v transformaciji, transportu ali skladiščenju materije, energije ali informacije.

Sistem je torej okvir, v katerem potekajo procesi ali pa sredstvo, ki omogoča potek procesa. Proces pa je vsebina sistema ali njegovo življenje. Shematsko je prikazan na Sl. 2.7.

Sl. 2.7. Shematski prikaz procesa

Sistem, v katerem potekajo procesi, je torej tisto, kar smo že nekoliko prej opredelili kot *"dinamični sistem"*.

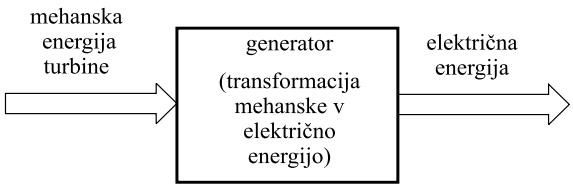
Na osnovi zgoraj napisanega torej lahko rečemo, da težko najdemo sistem, v katerem ne bi potekali procesi. Tudi sistemi, ki smo jih definirali kot statične (npr. most, stol) so podvrženi počasni degradaciji.

V tem smislu so najmanj podvrženi spremembam nekateri konceptualni sistemi, abstraktne relacije med pojmi, itd.

Obstajajo pa sistemi, katerih bistvo je, da omogočajo nek proces, oziroma, da iz

začetnega stanja snovi, energije in informacije omogočajo prehod v neko končno stanje.

Taki sistemi so npr. tovarna, ki omogoča izdelavo izdelkov; centralna kurjava, ki omogoča segrevanje prostorov; ladja, ki omogoča transport izdelkov in surovin; generator, ki omogoča pretvorbo mehanske v električno energijo, itd. Shematski prikaz slednjega lahko vidimo na Sl. 2.8.



Sl. 2.8. Shematski prikaz generatorja

Govorimo o *ciljno usmerjenih dinamičnih sistemih*, in predvsem ti so predmet našega zanimanja.

2.2.3 Sistemska teorija

Človek je v celotnem obdobju svoje zgodovine proučeval naravne sisteme ter snoval in gradil umetne sisteme. Rezultat tega razvoja je bilo spoznanje, da pri proučevanju strukture sistemov, njihove dinamike, medsebojnega vpliva, razvoja, vodenja in podobno, naletimo na pojave, ki niso lastni samo sistemu določene vrste, ampak jih srečamo tudi pri drugih sistemih. Prav to spoznanje je bilo ena od osnovnih motivacij za nastanek sistemske teorije.

Pomemben impulz za nastanek sistemske teorije je predstavljal razvoj abstraktnega (predvsem matematičnega) zapisa posameznih pojavov oziroma sistemov. Pokazalo se je namreč, da imajo povsem različni sistemi, ali bolje rečeno modeli različnih sistemov, analogen matematični zapis.

Poglejmo si primer takšne analogije.

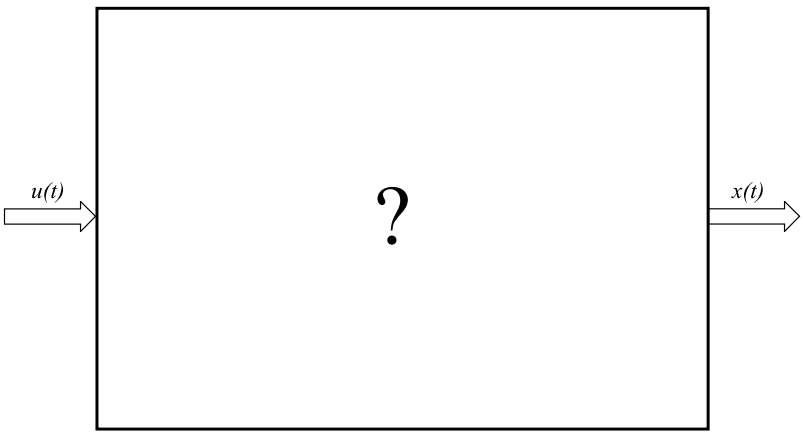
∇

Primer 2.2: *Analogija med modeli različnih sistemov*

Vzemimo sistem z neznano notranjo strukturo (glej Sl. 2.9) s časovno spremenljivim vhodom u(t) in izhodom x(t). Predpostavimo, da je njegovo obnašanje mogoče opisati (modelirati) z naslednjo diferencialno enačbo

$$\frac{dx(t)}{dt} = ax(t) + bu(t) \tag{2.1}$$

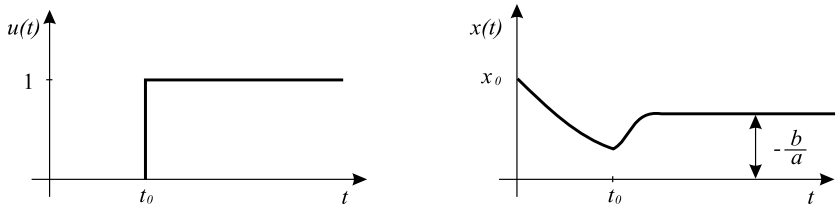
kjer sta a in b konstanti.



Sl. 2.9. Sistem z neznano strukturo

Značilnost tega sistema je očitno, da je sprememba (odvod) izhoda proporcionalna trenutni vrednosti izhoda plus trenutni vrednosti vhoda, pri čemer je začetna vrednost izhoda $x(0) = x_0$.

Pri dani obliki vhoda $u(t)$ in dani začetni vrednosti x_0 ter negativni vrednosti konstante a ter pozitivni vrednosti konstante b se bo model obnašal na način prikazan na Sl. 2.10.



Sl. 2.10. Časovni potek vhoda in izhoda za model ponazorjen z enačbo (2.1)

Postavimo si sedaj vprašanje, kakšen bi lahko bil sistem, ki ga zadovoljivo opišemo s tem modelom.

Prva možnost je, da gre za električno vezje, tako kot je to predstavljeno na Sl. 2.11.
Z upoštevanjem fizikalnih zakonov lahko dobimo naslednje relacije med napetostjo na kondenzatorju $e_1(t)$ in napetostjo baterije $e_0(t)$

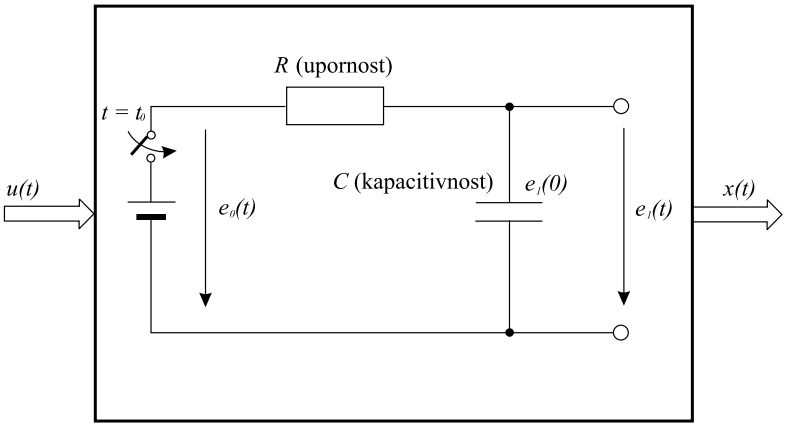
$$\frac{de_1(t)}{dt} = -\frac{1}{RC}e_1(t) + \frac{1}{RC}e_0(t) \qquad (2.2)$$

Če zdaj definiramo še relacije

$$e_1(t) = x(t)$$
$$e_0(t) = u(t)$$
$$e_1(0) = x_0 \quad ; \quad -\frac{1}{RC} = a \quad ; \quad \frac{1}{RC} = b$$

potem ugotovimo, da sta enačbi (2.1) in (2.2) popolnoma ekvivalentni.

Splošni model (2.1) torej zelo dobro opisuje električno vezje podano na Sl. 2.11.



Sl. 2.11. Električno vezje kot neznani sistem

Kaj pa če se za vprašajem na Sl. 2.9 v resnici skriva mehanski sistem (vrteče se kolo), tako kot ga podaja shema na Sl. 2.12.

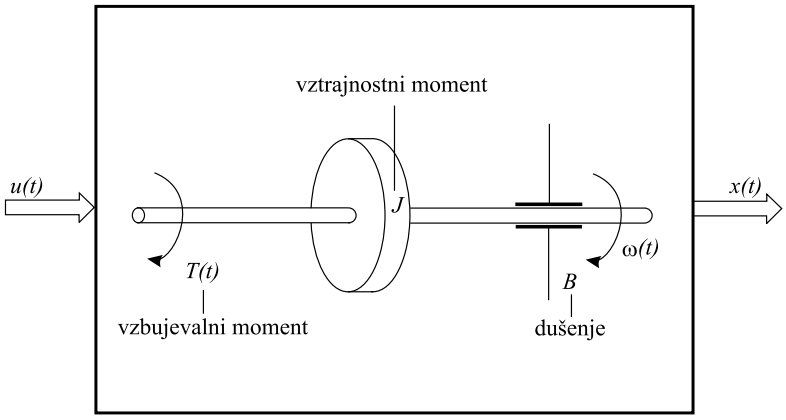
V tem primeru lahko s pomočjo fizikalnih zakonov izrazimo naslednje relacije med kotno hitrostjo $\omega(t)$ vrtečega se kolesa in vzbujevalnim momentom $T(t)$

$$\frac{d\omega(t)}{dt} = -\frac{B}{J}\omega(t) + \frac{1}{J}T(t) \tag{2.3}$$

Če podobno kot prej definiramo naslednje enakosti

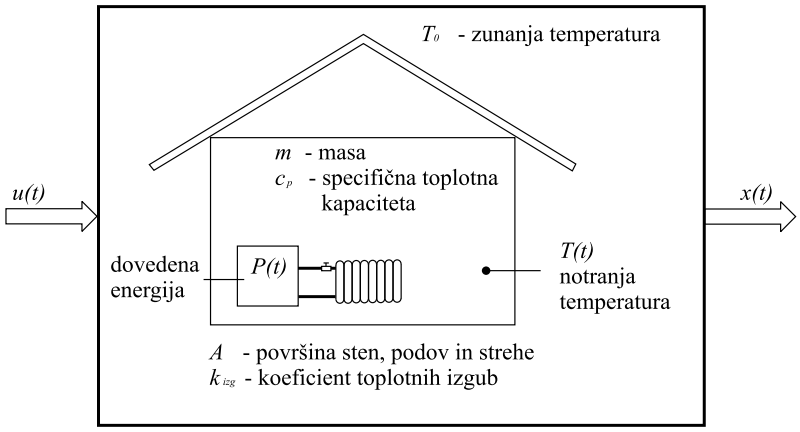
$$\omega(t) = x(t)$$
$$T(t) = u(t)$$
$$\omega(0) = x_0 \quad ; \quad -\frac{B}{J} = a \quad ; \quad \frac{1}{J} = b$$

ugotovimo, da splošni model enako dobro opisuje tudi mehanski sistem.



Sl. 2.12. Vrteče se kolo na osi kot neznani sistem

Popolnoma analogen rezultat dobimo, če opazujemo, kako se spreminja temperatura v hiši, ki jo ogrevamo (glej Sl. 2.13).



Sl. 2.13. Ogrevana hiša kot neznani sistem

V tem primeru dobimo naslednjo enačbo

$$\frac{d[T(t)-T_0]}{dt} = -\frac{A \cdot K_{izg}}{m \cdot c_p}[T(t)-T_0] + \frac{1}{m \cdot c_p}P(t) \quad , \tag{2.4}$$

ki je ob upoštevanju

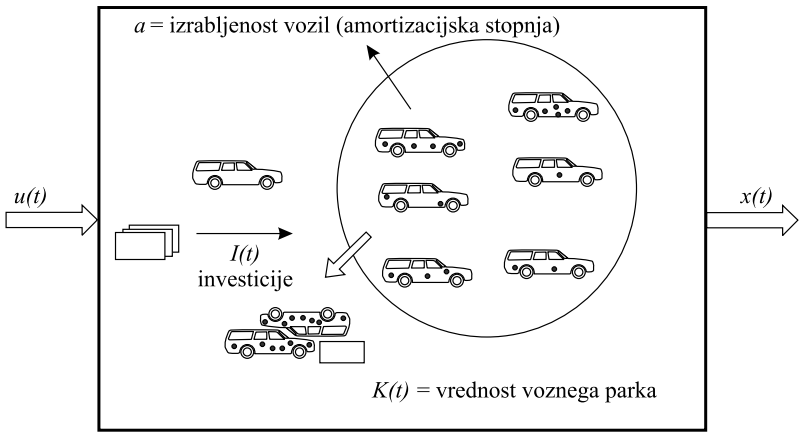
$$T(t) - T_0 = x(t)$$
$$P(t) = u(t)$$
$$T(0) - T_0 = x_0 \quad ; \quad -\frac{A \cdot K_{izg}}{m \cdot c_p} = a \quad ; \quad \frac{1}{m \cdot c_p} = b$$

zopet popolnoma ekvivalentna osnovni enačbi (2.1).

Enak model deluje tudi, če se premaknemo v nekoliko bolj poslovno področje.

Recimo, da gre za lastnika voznega parka, ki posoja vozila različnim uporabnikom. Da bi vzdrževal vrednost osnovnih sredstev mora stalno investirati v nova vozila, saj se stara vozila kvarijo in jih mora odpisovati.

Takšen sistem je shematsko prikazan na Sl. 2.14.



Sl. 2.14. Vozni park kot neznani sistem

Kako se spreminja vrednost voznega parka v odvisnosti od trenutne vrednosti *K(t)* in investicij *I(t)*, lahko popišemo z naslednjo enačbo

$$\frac{dK(t)}{dt} = -aK(t) + I(t) \tag{2.5}$$

Ob upoštevanju relacij

$$K(t) = x(t)$$
$$I(t) = u(t)$$
$$K(0) = x_0 \quad ; \quad -a = a \quad ; \quad 1 = b$$

ponovno ugotovimo ekvivalentnost z enačbo (2.1).

In še zadnji primer. Vzemimo, da nas zanima gibanje števila prebivalcev v neki državi.

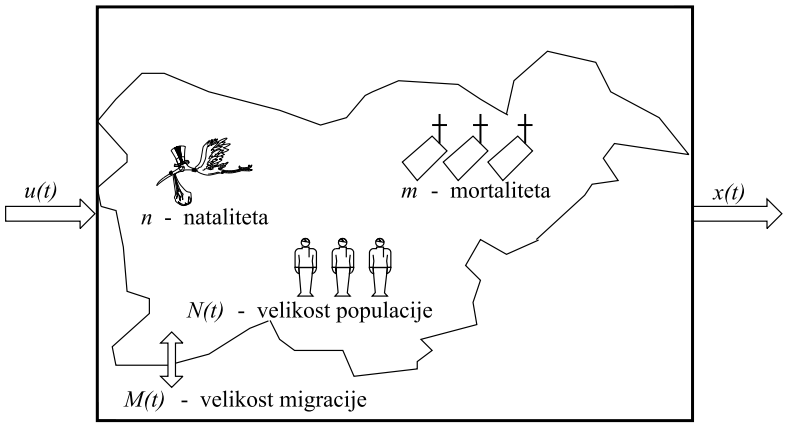
Sprememba v številu prebivalcev *N(t)* bo seveda odvisna od natalitete *(n)*, mortalitete *(m)* in migracije *M(t)* (glej Sl. 2.15).

$$\frac{dN(t)}{dt} = (n-m)N(t) + M(t) \tag{2.6}$$

Če upoštevamo še, da velja

$$N(t) = x(t)$$
$$M(t) = u(t)$$
$$N(0) = x_0 \quad ; \quad n - m = a \quad ; \quad 1 = b$$

potem zopet pristanemo pri enačbi (2.1).



Sl. 2.15. Prebivalstvo države kot neznani sistem

Ta nekoliko obširnejši in precej poenostavljen zapis primerov je bil potreben, da bi spoznali, da lahko povsem različne vidike zelo različnih sistemov opišemo na enak način. To je lep dokaz, da so nekatere značilnosti sistemov neodvisne od vrste sistema.

V tem konkretnem primeru je taka značilnost sistema njegovo *dinamično obnašanje* v odvisnosti od nekega začetnega stanja ter spremembe na vhodu sistema[1].

Δ

Motivacija za nastanek sistemskega razmišljanja, katerega predmet so skupne lastnosti sistemov, torej v veliki meri izhaja iz abstraktnih zapisov modelov sistemov na različnih

[1] Podobnost teh modelov danes seveda ne preseneča, saj vemo, da vsi temeljijo na zakonu o ohranitvi mase oziroma energije, ki pa ga je treba na področjih izven fizike in kemije na pravilen način interpretirati. Seveda pa je v disciplinarno orientiranem svetu kot je naš, kjer vsaka disciplina odkriva svoje zakone in se ravna po svojih pravilih igre, taka ugotovitev vse prej kot samoumevna.

področjih. Vendar pa rezultat tovrstnega razmišljanja ni bila neka enovita in konsistentna sistemska teorija, ampak množica različnih pristopov, ki se ne ukvarjajo s specifičnimi problemi nekega področja, pač pa s problemi, ki se pojavljajo pri večini sistemov.

Zato lahko rečemo, da je sistemska teorija množica konceptov, ki so uporabni za vse sisteme. V tem smislu govorimo o sistemski teoriji kot množici različnih področij, kot so:

- splošna teorija sistemov;
- kibernetika;
- teorija avtomatov;
- teorija vodenja;
- teorija informacij;
- teorija množic, grafov in mrež;
- relacijska matematika;
- teorija iger in odločanja, itd.

Med naštetimi področji je seveda najuniverzalnejša splošna teorija sistemov. Osnova za splošno teorijo sistemov je opredelitev skupnih značilnosti sistemov in njihovo proučevanje. Med takšne skupne značilnosti sistemov spadajo naslednje njihove lastnosti (Bowler, 1981):

a) vsak sistem je množica relacij, ki vsebujejo energijo, snov in informacijo;
b) vsak sistem ima množico notranjih relacij. Te relacije predstavljajo omejitve za potencialno spremenljivost podsistemov, za razvoj sistema in spremenljivost zunanjih relacij;
c) vsak sistem ima množico omejitev, ki definirajo, kaj je v sistemu, in kaj izven njega;
d) vsak sistem ima neko stopnjo vztrajnosti (upira se spremembam);
e) vsak sistem vsebuje ravnotežne procese;
f) *vsak sistem ima neko obliko vodenja, ki teži k ohranjanju integritete sistema;*
g) vsak sistem vsebuje notranje strese, ki jih uravnotežujejo notranji procesi. Nekatere od teh stresov lahko predstavimo kot univerzalne antipode:

    - dominantnost sistema in avtonomija podsistemov;
    - vodenje celotnega sistema in spremenljivost podsistemov;
    - procesi integracije in dezintegracije;
    - procesi sinteze in specializacije;
    - procesi razvoja in konzervacije;

Cilji splošne teorije sistemov so (Chekland, 1996):

1. raziskati izomorfizem konceptov, zakonov in modelov na različnih področjih in podpreti koristen prenos rezultatov iz enega na drugo področje;
2. vzpodbuditi razvoj primernih teoretičnih modelov na področjih, kjer takih modelov manjka;

3. eliminirati podvajanje teoretičnih naporov na različnih področjih;
4. promovirati enotnost znanosti z izboljšanjem komunikacije med specialisti iz različnih področij.

Vendar pa splošna teorija sistemov ni zaživela v obliki, ki bi omogočala izpeljavo uporabnih rezultatov. Bila je celo, in še vedno je, podvržena resni kritiki. Njen problem je prevelika splošnost, ki rezultira v pomanjkanju vsebine.

Zato je mogoče bolj pomembna kot transdisciplinaren način razmišljanja, oziroma kot podlaga za sistemsko filozofijo.

Sistemsko filozofijo razumemo kot preorientacijo mišljenja in sveta v smislu vpeljave "sistema" kot nove znanstvene paradigme (v nasprotju z analitično ali mehanicistično paradigmo klasične znanosti). Gre za nov pogled na svet, v okviru katerega posamezne pojave gledamo kot povezane in ne kot izolirane, glavni predmet interesa pa je postala kompleksnost.

Če klasična mehanicistična (analitična) znanstvena paradigma temelji na razgraditvi posameznega sistema ali procesa na podsisteme ali podprocese in izoliranem proučevanju teh podsistemov in podprocesov, potem sistemska znanstvena paradigma temelji predvsem na proučevanju *povezav* med posameznimi podsistemi in podprocesi.

2.3 Principi vodenja in teorija vodenja

Sistemska teorija se torej ukvarja s takšnimi lastnostmi sistemov, ki so skupne za vse sisteme. Lastnost sistemov, ki je očitno skupna, je vodenje, saj smo v prejšnjem poglavju rekli, da ima vsak sistem neko obliko vodenja, ki teži k ohranjanju integritete sistema. V tem smislu je vodenje torej pogoj za obstoj nekega sistema.

Ali je vodenje res lastnost vseh sistemov ali pa tukaj vendarle obstajajo določene omejitve, je seveda filozofsko vprašanje, ki presega okvir tega dela. Vsekakor pa je res, da je vodenje smiselno povezovati s sistemi, ki imajo nek cilj.

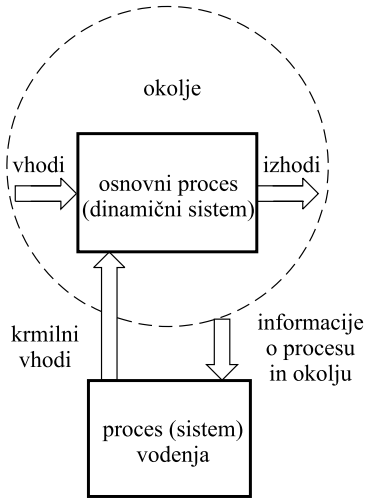
Brez pretirane izgube na splošnosti se bomo v našem delu omejili na *dinamične sisteme*, torej sisteme z notranjimi procesi (aktivnostmi), pri katerih je sedanje stanje odvisno od preteklih stanj in na *ciljno usmerjene sisteme*, torej sisteme, katerih delovanje ima za človeka nek cilj ali smisel.

Če stvari gledamo na ta način, potem lahko postavimo naslednjo definicijo:

Vodenje je proces, s katerim vplivamo na delovanje (obnašanje) sistema z namenom, da dosežemo nek zastavljeni cilj.

2.3.1 Principi vodenja

Zanima nas, ali ta "novi" proces, torej proces vodenja, deluje po kakšnih posebnih mehanizmih oz. posebnih principih.



Sl. 2.16. Dekompozicija procesa na osnovni proces in proces vodenja

Najbrž ni ovire, da iz osnovnega procesa in njegovega okolja izdvojimo proces vodenja, tako kot to prikazuje Sl. 2.16, oziroma ustrezno temu opredelimo osnovni sistem in sistem za vodenje.

Da bi lahko osnovne principe procesa vodenja podrobneje opredelili si poglejmo nekaj konkretnih primerov vodenja.

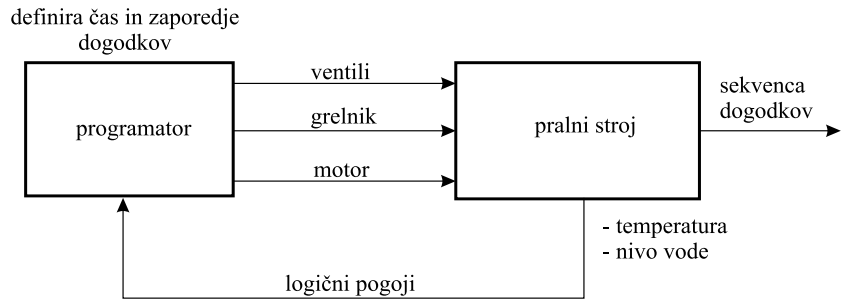
∇

Primer 2.3: *Vodenje pralnega stroja*

Vzemimo enostavni pralni stroj. V njem poteka proces, ki iz umazanega naredi čisto perilo. Sistem vodenja pralnega stroja mora zagotoviti, da bo perilo določene vrste v določenem času oprano tako, da bo uporabnik zadovoljen.

Bistvo vodenja procesa pranja perila je, da proces že vnaprej razdelimo na določene faze (polnjenje z vodo, segrevanje, dodajanje praška, vrtenje bobna, praznjenje vode, itd.) ter že vnaprej določimo, kakšno naj bo zaporedje faz in koliko časa naj določena faza traja, da bo perilo dobro oprano. To rešitev vgradimo v programator, ki potem ustrezno odpira in zapira ventile, vklaplja in izklaplja grelnik ter vklaplja in izklaplja motor in to vedno na enak način, ne glede na to, kaj se v stroju v resnici dogaja.

Seveda pa je dejanski pralni stroj nekoliko bolj zapleten, saj je potrebno upoštevati, da je količina perila, ki ga damo v pranje enkrat lahko velika, drugič majhna. Temu ustrezno je treba prilagajati količino vode, količini vode pa čas segrevanja. Da ta problem rešimo, določenih faz ne pričnemo izvajati, dokler ni dosežen določen nivo vode v bobnu, ali dokler ni dosežena določena temperatura, itd. (glej Sl. 2.17).

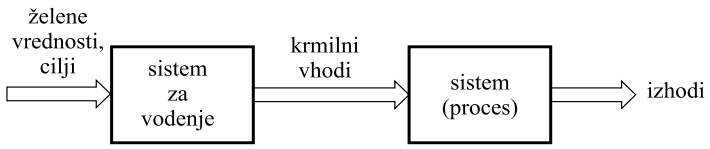


Sl. 2.17. Vodenje pralnega stroja

Δ

Vidimo, da smo za vodenje pralnega stroja uporabili informacijo o želenem cilju (čisto perilo), informacijo o poti kako priti do tega cilja (do katere smo prišli že prej npr. s preizkušanjem) in informacijo o logičnih pogojih (nivo vode, temperatura), ki so pogoj za nadaljevanje izvajanja predpisanih faz.

Osnovni princip vodenja v tem primeru je takoimenovano *odprtozančno vodenje*, ki je shematsko prikazano na Sl. 2.18.



Sl. 2.18. Odprtozančno vodenje

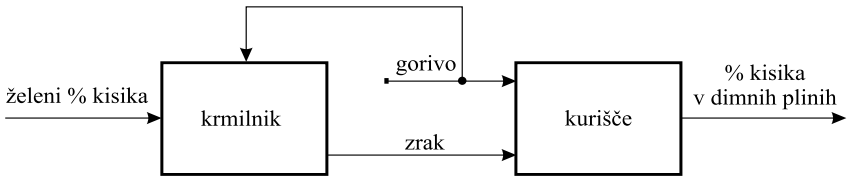
Sistem vodimo, ne da bi preverjali, če se dejansko obnaša tako kot smo predvideli.

Oglejmo si sedaj nekoliko drugačen primer.

∇

Primer 2.4: *Vodenje zgorevanja v kotlu*

Poenostavljeno shemo vodenja zgorevanja v kotlu vidimo na Sl. 2.19. Bistvo dobrega zgorevanja je vzdrževanje pravilnega razmerja med gorivom in zrakom.



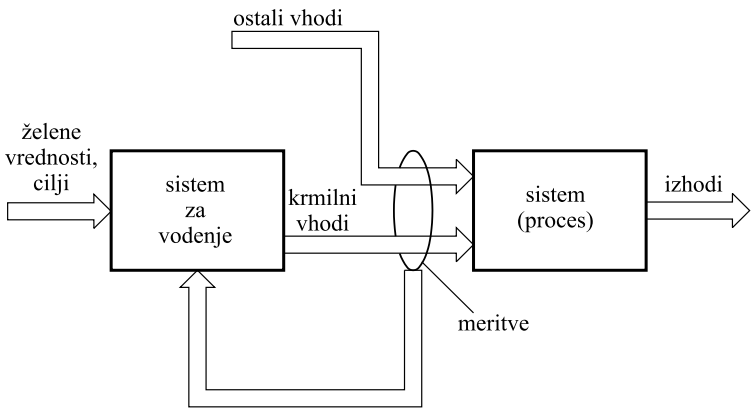
Sl. 2.19. Zgorevanje v kotlu

Če želimo ohranjati konstantni odstotek kisika v dimnih plinih, ki je merilo za kvaliteto zgorevanja, potem moramo meriti vsako spremembo v pretoku goriva in ustrezno temu popravljati pretok zraka.

∆

Tak princip vodenja imenujemo *kompenzacija motnje* (odprtozančno vodenje (krmiljenje) z upoštevanjem motnje). Shematsko je prikazan na Sl. 2.20.

Informacija, ki smo jo tukaj uporabili, je poleg informacije o želeni vrednosti še informacija o neki drugi vhodni spremenljivki, ki za želeno stanje izhoda pomeni motnjo. Poleg tega potrebujemo tudi informacijo o tem, za koliko moramo povečati pretok zraka, če se npr. pretok goriva poveča za 5% in informacijo za koliko se poveča odstotek kisika, če npr. pretok zraka povečamo za 10%. To je seveda informacija o procesu, ki ga vodimo. Če vse te informacije imamo, bomo lahko vzdrževali želeni odstotek kisika, ne da bi ga dejansko tudi stalno merili.



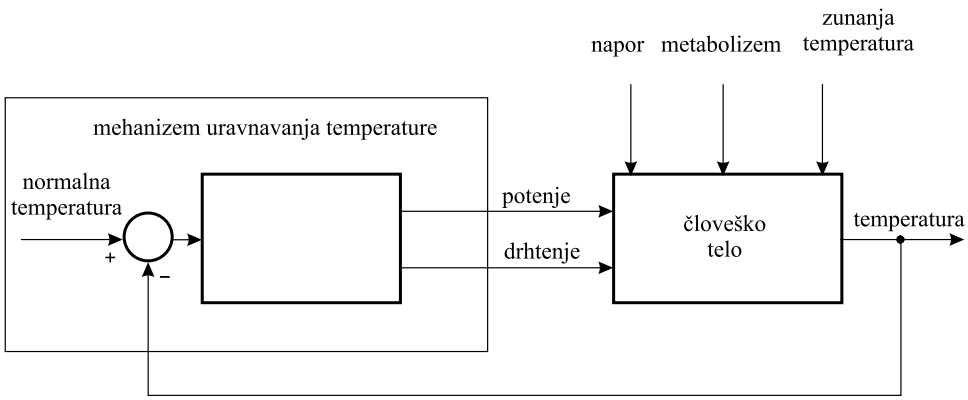
Sl. 2.20. Kompenzacija motnje

Vzemimo sedaj popolnoma drugačen primer vodenja in sicer primer uravnavanja temperature v človeškem telesu.

∇

Primer 2.5: *Uravnavanje temperature v človeškem telesu*

Shemo, ki prikazuje princip uravnavanja temperature v človeškem telesu, vidimo na Sl. 2.21.
Osrednji del sistema za vodenje predstavlja hipotalamus, ki ugotavlja ali je temperatura krvi višja ali nižja od normalne. Če je temperatura previsoka se sprožijo mehanizmi hlajenja, kot je npr. potenje, če pa je temperatura prenizka se sprožijo mehanizmi segrevanja, kot je npr. drhtenje. Ta mehanizem vodenja izloča motnje, ki nastanejo zaradi spreminjanja temperature okolice, spremenjenega metabolizma ali povečanega napora.

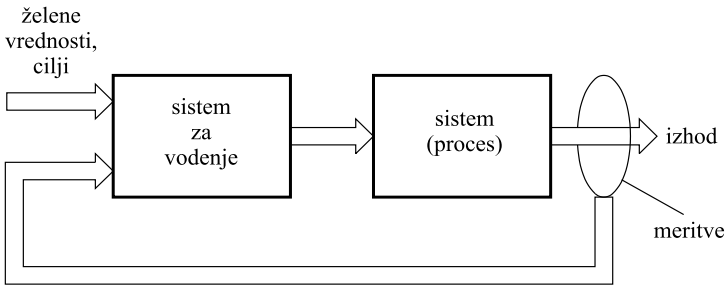


Sl. 2.21. Primer uravnavanja temperature v človeškem telesu

Δ

Očitno je, da je bistvo tega sistema vodenja v *povratni zanki*, ki zagotavlja, da se informacija o dejanskem stanju sistema (informacija izhoda) primerja z informacijo o želenem stanju sistema (informacija vhoda), razlika pa povzroči akcijo, ki popravlja dejansko stanje.

Povratnozančni princip vodenja je prikazan na Sl. 2.22.



Sl. 2.22. Povratnozančni princip vodenja

Poleg teh dveh informacij pa moramo v sistem za vodenje vgraditi tudi informacijo o tem, kako sistem reagira na krmilni vhod določene amplitude in dinamike. Zopet torej potrebujemo informacijo o lastnostih sistema oziroma procesa.

2.3.2 Univerzalni mehanizem (princip delovanja) procesa vodenja

V prejšnjem podpoglavju smo se srečali s tremi najpomembnejšimi principi vodenja, ki v veliki meri definirajo mehanizme delovanja procesa vodenja. Vprašanje je, ali je na tej osnovi mogoče opredeliti univerzalni princip delovanja (mehanizem) procesa vodenja.

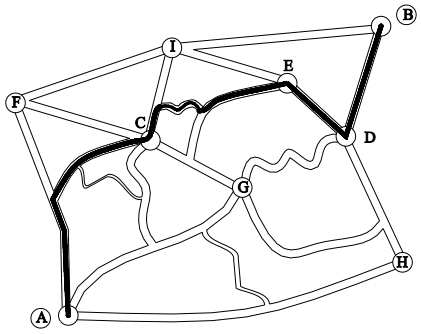
Poglejmo si zdaj še zadnji primer, ki v veliki meri obsega vse tri naštete principe, odkriva pa tudi nekatere dodatne elemente, ki jih pri vodenju moramo upoštevati.

∇

Primer 2.6: *Vožnja avtomobila*

Recimo, da je sistem, ki ga moramo voditi, avtomobil. Cilj vodenja je, da pridemo iz kraja A v precej oddaljen kraj B. Potovati želimo skozi kraja C in D (Sl. 2.23).

Prvi del potovanja predstavlja priprava plana potovanja. V ta namen vzamemo avtokarto na Sl. 2.23 in detajlno proučimo možno pot. Odločimo se npr. za varianto, ki je označena na karti. Pot razdelimo v faze. Najprej se bomo usmerili proti kraju F. Po tej cesti se bomo peljali toliko časa, da zagledamo kažipot za kraj C. Pri kažipotu bomo zavili v desno in se držali iste ceste, dokler ne pridemo v kraj C, itd.



Sl. 2.23. Avtokarta območja med krajema A in B

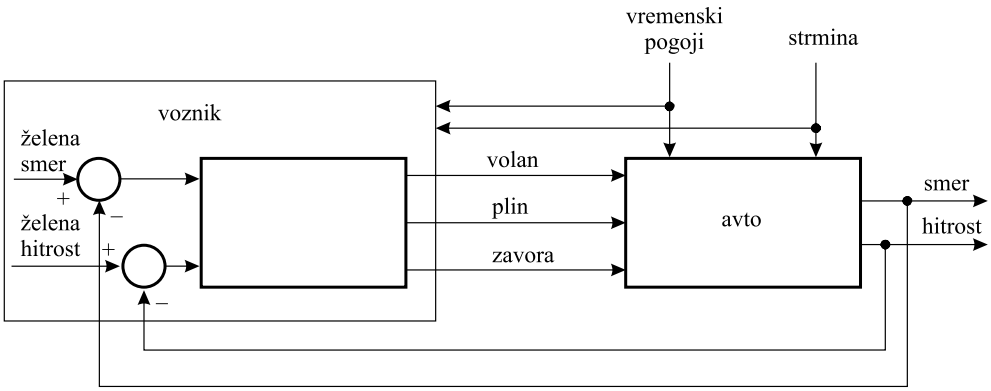
Drugi del potovanja je izvedba tega plana. Ta je prav tako sestavljena iz dveh delov, ki pa potekata sočasno. Prvi del predstavlja sledenje planu in je podobno, kot je bilo to pri pralnem stroju, vnaprej programiran oziroma sestavljen iz sekvence faz, ki smo jih prej opisali. Drugi del pa se nanaša na sledenje avtomobila cesti. Shematsko je ta del prikazan na Sl. 2.24.

Ključni del vožnje je, kot vemo, vzdrževanje želene smeri in želene hitrosti vožnje. Tako o smeri kot hitrosti vožnje se sproti odločamo glede na razmere na cesti. Ker avto dobro poznamo, že vemo, koliko približno je treba obrniti volan, da bomo lepo peljali skozi ovinek. Če pa ugotovimo, da smer ni čisto prava, potem jo z dodatnim zasukom volana popravimo. Podobno velja za hitrost, le da imamo v tem primeru dva izvršna elementa: plin in zavoro. Posebno za zavoro je dobro, da vemo kako “prime”, če se pred nami pojavi nenadna ovira.

Ta del vožnje ima očitno karakteristike povratnozančnega vodenja

To pa seveda še ni vse, kar kot voznik počnemo pri vožnji. Če zagledamo pred seboj strmino, bomo, še preden bo vozilo izgubilo hitrost, pritisnili na plin, da bi ohranili isto hitrost. Ali pa če pred viaduktom zagledamo na vetrokazu, da veter močno piha v levo,

bomo, še preden zapeljemo nanj, volan močno prijeli in ga zavrteli rahlo proti desni, da bi kompenzirali vpliv vetra.



Sl. 2.24. Shema vodenja avtomobila

Vidimo torej, da se v vsakdanjem opravilu, kot je vožnja avtomobila, povezuje kar nekaj osnovnih principov, ki jih srečamo pri vodenju sistemov.

Spregovoriti pa moramo še o dveh pomembnih elementih, ki vplivata na vožnjo.

Prvi tak element je kvaliteta vožnje, torej kvaliteta vodenja avtomobila. Če želimo govoriti o kvaliteti, potem se moramo najprej dogovoriti za kriterij kvalitete. In ta kriterij kvalitete bo vplival tako na izbiro poti, kot na samo vožnjo po cesti. Vprašati se torej moramo, kako želimo priti iz kraja A v kraj B. Ali mogoče najhitreje, ali najbolj varno, ali najceneje, ali najlepše, itd.

Navadno bo izbrani kriterij nek kompromis med raznimi kriteriji, in ta kompromis bo določal način vožnje (vodenja).

Drugi element pa so omejitve, ki jih pri vožnji moramo upoštevati. Te omejitve lahko razdelimo na zunanje omejitve, torej omejitve, ki jih diktira okolje, in na notranje omejitve, torej tiste, ki izhajajo iz avtomobila.

Zunanje omejitve so v našem primeru prometni znaki, prometni predpisi ter konfiguracija terena oz. trasa ceste, po kateri vozimo. Notranje omejitve se seveda nanašajo na maksimalne in minimalne zmogljivosti motorja (pospeški, hitrost), zavornega sistema, itd.

Δ

Iz primera torej lahko vidimo, da sistem vodenja (voznik) potrebuje številne različne informacije, da lahko uspešno in kvalitetno vodi vozilo.

Najprej potrebujemo informacijo o želenem cilju, iz katere nato izpeljemo informacijo o želeni poti. Potem potrebujemo informacijo iz okolice o morebitnih motnjah (npr.

veter), ki lahko vplivajo na sistem. Nato je seveda ključna informacija o trenutnem stanju izhoda sistema (smer, hitrost). Zopet seveda potrebujemo informacijo o tem, kako sistem reagira na spremembe vhodov (zasuk volana, pritisk na zavoro) ter nenazadnje informacijo o kriteriju, ki naj ga upoštevamo pri vodenju ter omejitvah sistema in okolja.

Če torej zadevo nekoliko posplošimo potem lahko zaključimo naslednje:

Eden od bistvenih delov procesa vodenja je *pridobivanje različnih tipov informacij*, kot so:

- informacija o cilju, poti, želeni vrednosti (če ne vemo kam gremo, je vsaka pot prava);
- informacija o kriteriju, ki opredeljuje način doseganja cilja (natančnost, hitrost, cena, varnost, itd.);
- informacija o sistemu, ki ga vodimo (kako reagira na spremembe vhodnih-krmilnih spremenljivk);
- informacija o izhodu sistema (kaj se s sistemom trenutno dogaja);
- informacija o vhodu v sistem (kako okolica vpliva na sistem);
- informacija o omejitvah (ki izhajajo iz sistema in/ali okolice).

Ta segment aktivnosti lahko imenujemo *"opazovanje"* procesa in njegovega okolja.

Te informacije pa seveda, kot smo videli v opisanih primerih, niso same sebi namen, ampak služijo *pripravi ukrepov*, ki naj bi sistem pripeljali proti želenemu cilju, *izbiri teh ukrepov* oziroma *odločanju o ukrepih*. Ta segment aktivnosti lahko imenujemo tudi *"razmišljanje in odločanje"*.

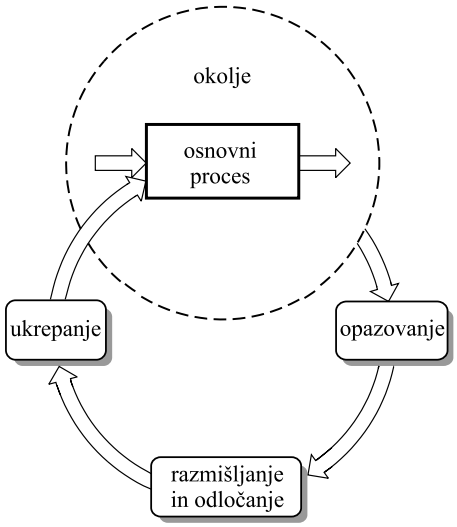
Priprava in izbira ukrepov je seveda srce vodenja, saj tu opredeljujemo, kaj bomo naredili in kako bomo to naredili. Kvaliteta vodenja je nedvomno bistveno odvisna od kvalitete ukrepa pa tudi od njegove pravočasnosti. Oboje pa zavisi od uporabljenega principa in metode vodenja.

Ena od ključnih ugotovitev, ki prav tako sledi iz opisanih primerov je, da je princip vodenja bistveno odvisen od:

- vrste oziroma kombinacije različnih vrst informacije, ki jo uporabimo;
- obsega te informacije in
- časa nastanka informacije (relevantnost informacije, svežina informacije).

Da bi odločitve lahko v resnici izpeljali, potrebujemo še tretjo komponento v sistemu vodenja. Ta tretja komponenta je *ukrepanje*. Na voljo moramo imeti načine in sredstva, ki vplivajo na procese v sistemu, ki ga vodimo, tako da se ti procesi spreminjajo. Še tako dobra in pravočasna odločitev namreč nima smisla, če je ne moremo izpeljati.

Če sedaj vse tri naštete elemente upoštevamo, dobimo razširjeno strukturo procesa vodenja s slike Sl. 2.16, ki je prikazana na Sl. 2.25.



Sl. 2.25. Univerzalni mehanizem (princip delovanja) procesa vodenja

Ta struktura prikazuje univerzalni mehanizem (princip delovanja) procesa vodenja.

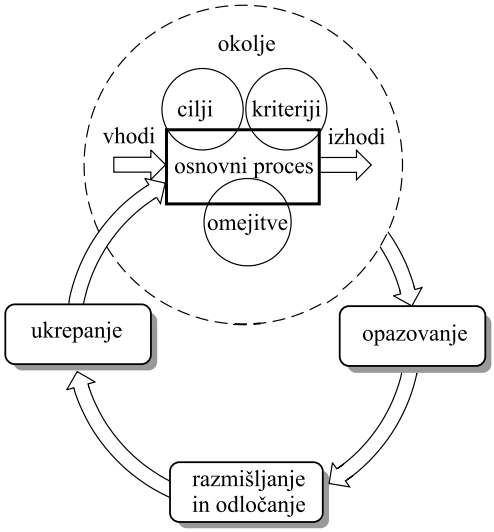
Seveda pa je treba procese, ki tečejo v okviru te strukture pravilno razumeti. Kot smo že prej omenili ni nujno, da vsi tečejo sočasno. Zbiranje informacij in priprava ukrepov lahko tečeta že mnogo prej, preden začnemo dejanski proces tudi voditi, kot smo to npr. videli pri pralnem stroju. To je mogoče takrat, ko predpostavljamo, da se niti proces niti okolje, do takrat, ko bomo želeli ukrepati, ne bosta kaj dosti spremenila. V nasprotju s tem pa morajo pri držanju pravilne smeri avtomobila na cesti zbiranje informacij in priprava ukrepov ter ukrepanje potekati sprotno, tako da avto lahko reagira na okoliščine, ki se hitro spreminjajo.

Če shemo na Sl. 2.25 razširimo še z dodatnimi vrstami informacij, ki smo jih definirali, dobimo shemo kot je prikazana na Sl. 2.26[2].

Na tej osnovi lahko zapišemo naslednjo splošno definicijo za vodenje:

Vodenje je proces transformacije informacije o vodenem (osnovnem) procesu in njegovem okolju v odločitve in ukrepe, ki ob upoštevanju kriterijev in omejitev zagotavljajo doseganje postavljenih ciljev.

[2] Umestitev ciljev in kriterijev na pravo mesto je problematična, saj so lahko le-ti del okolja, ali pa del samega procesa, oziroma njegovega sistema vodenja (pri avtonomnih sistemih).



Sl. 2.26. Razširjeni univerzalni mehanizem procesa vodenja

2.3.3 Kibernetika

V prejšnjem podpoglavju smo na osnovi nekaterih primerov skušali definirati osnovne principe vodenja ter univerzalno strukturo vodenja, ki bi veljala ne glede na področje uporabe.

Ta problematika je pravzaprav predmet proučevanja vede, ki se imenuje kibernetika.

Ime izhaja iz grške besede "kybernetes", ki pomeni krmar. Utemeljitelj kibernetike je Norbert Wiener, ki je v začetku definiral kibernetiko ***kot vedo, ki se ukvarja s študijem vodenja in komunikacij v živih bitjih in tehničnih sistemih*** (Singh, 1987). Kasneje se je kibernetika razvijala tako, da je skušala zajeti fenomene vodenja tudi pri drugih, predvsem organizacijskih in družbenih sistemih. Na ta način je prevzela vlogo splošne teorije sistemov osredotočene na problematiko vodenja. *Bistvo kibernetike je spoznanje o univerzalnosti paradigme povratne zanke in študija njenih zakonitosti***.** Aplikacije teh univerzalnih principov vodenja na različnih področjih je rezultirala v poddisciplinah kot so tehnična kibernetika, biokibernetika, socialna kibernetika, itd.

Lahko rečemo, da je kibernetika dala konceptualne osnove področju vodenja kot ga poznamo danes, z abstraktno, predvsem matematično formulacijo in reševanjem teh problemov pa se ukvarja teorija vodenja. Prav gotovo pa drži, da se meje med obema vedama vedno bolj zabrisujejo.

2.3.4 Teorija vodenja

Teorija vodenja je veda, ki se ukvarja s principi, metodami in postopki za vodenje sistemov s ciljem reševanja osnovnih problemov vodenja.

Izhaja iz uporabne matematike, saj se pokaže, da pri matematični formulaciji problema vodenja naletimo na podobne mehanizme, kot jih uporabna matematika pozna pri teoriji diferencialnih enačb ali pa pri variacijskem računu.

Osnovna težava je seveda v matematični formulaciji informacije o sistemu (matematični model sistema) ter vseh ostalih informacij, ki jih pri določeni strukturi vodenja potrebujemo. Če to uspemo narediti, potem je ob določenih dodatnih pogojih postopek odločanja, ki bo sistem pripeljal do želenega cilja, mogoče eksplicitno izračunati, oziroma je mogoče določiti ustrezno strukturo in parametre sistema za vodenje.

Osrednji poudarek teorije vodenja je na uporabi povratnozančnega principa vodenja. Osnovni problemi, s katerimi se teorija vodenja ukvarja so:

- stabilnost (zmožnost sistema, da se s časom približuje neki vrednosti izhoda);
- vodljivost (zmožnost sistema, da ga iz enega stanja pripeljemo v poljubno drugo stanje);
- spoznavnost (zmožnost sistema, da samo na podlagi izhodov določimo notranja stanja in parametre);
- robustnost (neobčutljivost na spremembe in motnje);
- optimalnost (načrtovanje vodenja v skladu z določenim kriterijem optimalnosti - npr. minimalni čas, v katerem naj sistem doseže novo stanje);
- adaptivnost (zmožnost sistema za vodenje, da se prilagaja spremembam v sistemu, ki ga vodimo), itd.

Posebno pomemben segment teorije vodenja je, zaradi že omenjenega problema formulacije informacije o sistemu, področje matematičnega modeliranja, identifikacije in ocenjevanje parametrov. To je seveda področje, ki ni lastno samo tej veji znanosti in tehnike, lahko pa rečemo, da se je prav v okviru te discipline izredno razvilo.

Teorija vodenja se je najbolj razvila v šestdesetih in sedemdesetih letih tega stoletja. Uspešne rešitve je prinesla predvsem na področjih, kjer je bilo sisteme mogoče izraziti z linearnimi matematičnimi modeli (linearne diferencialne enačbe). Pri nelinearnih modelih pa so zaenkrat rešitve le delne in omejene.

S pojavom digitalnih računalnikov in njihovo uporabo pri vodenju sistemov se je razvila popolnoma samostojna poddisciplina teorije vodenja, ki temelji na vzorčenih signalih in diskretnih matematičnih modelih sistemov. Praktično lahko govorimo o dveh dualnih teorijah: zvezni in diskretni teoriji vodenja.

Širši predstavitvi nekaterih najpogosteje uporabljenih metod in postopkov vodenja je posvečen velik del sedmega poglavja te knjige.

2.3.5 Avtomatika (Avtomatsko vodenje)

Ime avtomatika ima podobno kot kibernetika grški izvor. Izhaja iz besede “automatos”, ki pomeni samogiben.

O avtomatskem vodenju govorimo, kadar se procesi zbiranja informacij o stanju sistema in okolice, priprave ukrepov in odločanja ter ukrepanja vršijo brez posredovanja človeka. Avtomatika je seveda zaradi tega neposredno povezana s tehničnimi sistemi.

Kot smo že omenili njeni začetki segajo nekaj tisoč let nazaj, poseben razcvet pa je avtomatsko vodenje doživelo s pojavom računalnikov in predvsem mikroračunalnikov, tako da danes praktično ni več tehničnega sistema, kjer vsaj del procesov ne bi bil avtomatsko voden.

Pokazalo pa se je tudi, da pretirana avtomatizacija ni dobra, ker lahko izrinja človeka iz nekaterih kreativnih procesov vodenja. Zato se danes predvsem v kompleksnejših tehničnih sistemih išče uravnoteženo delitev dela med avtomatom in človekom.

2.4 Načrtovalski koncepti in sistemsko inženirstvo

Kot smo videli v prejšnjih dveh podpoglavjih, nam po eni strani sistemska teorija nudi dovolj širok pogled na nekatere skupne značilnosti sistemov, med njimi predvsem na vodenje, teorija vodenja pa postavlja teoretične osnove, ki omogočajo razumevanje mehanizmov vodenja in tudi načrtovanje konkretnih postopkov za vodenje. Vendar pa je to premalo, da bi znali graditi sisteme vodenja. Sodobni sistemi za vodenje so seveda predvsem proizvod tehnike. Zato moramo pri njihovi izgradnji upoštevati nekatere splošne koncepte, ki veljajo za tehniko.

Za začetek si poglejmo eno od definicij tehnike. Ta pravi, da je ***tehnika področje dejavnosti, v katerem spremljamo spoznanja, pretežno s področja naravoslovja in matematike, zato da na ekonomičen način izkoristimo materialne in naravne sile v dobro človeštva***. Iz te definicije sledi, da je tehnika predvsem kreativna dejavnost, ki po eni strani zahteva sposobnost, da si zamislimo, kako bi naravne pojave izkoristili v svoj prid, po drugi strani pa veščine, da to tudi izvedemo. Bistveni sestavni del tehnike sta torej načrtovanje in izgradnja sistemov.

Čeprav se je tehnika zgodovinsko gledano delila predvsem na vojaško in civilno tehniko, je danes sestavljena iz številnih disciplin, ki so seveda vsaka zase v toku svojega nastanka razvile svoj pristop k načrtovanju in izgradnji sistemov, s katerimi se ukvarjajo.

Po drugi strani pa je tudi res, da tako kot obstajajo skupne značilnosti sistemov, obstajajo tudi skupne značilnosti (ali bolje skupni koncepti) njihovega načrtovanja in izgradnje, ki niso odvisne od posamezne tehnične discipline.

V nadaljevanju si najprej na kratko oglejmo osnovne definicije, koncepte in značilnosti načrtovanja.

2.4.1 Načrtovalski koncepti in načrtovalski proces

Primeren okvir za razpravo o načrtovalskih konceptih in načrtovalskem procesu je opredeljen v članku Roseman in Gero 1994. Če sledimo tej interpretaciji potem je bistvena razlika med naravnimi stvarmi in bitji ter umetnimi stvarmi ta, da so naravne stvari nastale kot plod evolucije (naravnega procesa), umetne stvari pa vedno nastanejo z nekim *namenom*. ***Načrtovanje je torej neka zavestna namenska aktivnost, katere rezultat naj bi bilo neko stanje, ki prej ni eksistiralo, in naj bi izboljšalo nezadovoljivo sedanje stanje.*** To novo stanje je cilj, ki ga lahko dosežemo, če sprožimo vrsto ustreznih aktivnosti. Osnovni del teh aktivnosti je *načrt*, ki mu sledi *fizična realizacija*.

Načrtovanje torej lahko definiramo tudi kot ciljno usmerjeno aktivnost, ki je tesno povezana z neko potrebo.

2.4.1.1 Osnovni pojmi v načrtovanju

Proces načrtovanja najlaže razumemo, če jasno opredelimo pojme kot so namen, funkcija, mehanizem in struktura nekega objekta ter povezavo med njimi.

Namen nekega objekta je vedno povezan s človekovim vrednotenjem, kaj je koristno, oziroma kaj lahko zadovoljuje njegove potrebe. Zato je vedno pogojen z družbenim in kulturnim okoljem, v katerem se nahajamo. (Kalkulator je npr. v neki primitivni družbi lahko samo za okras, čeprav se njegove lastnosti, ki definirajo njegov namen v neki razviti družbi niso nič spremenile.) Namen pojasnjuje *zakaj* oziroma *zaradi česa* nek objekt dela to kar dela.

Funkcija pove *kaj stvar dela*. To je naloga ali aktivnost nekega objekta. Funkcija nekega objekta se zelo pogosto zamenjuje z namenom. Razlika je kot smo že ugotovili v vključitvi ali izključitvi človeka oziroma njegovega vrednotenja. Funkcija je torej tisto kar obstaja neodvisno od namena.

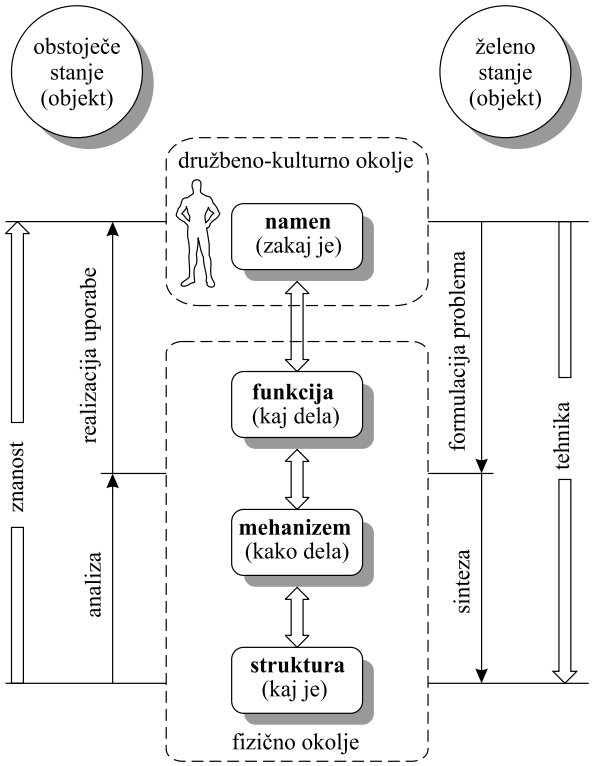
Mehanizem je opis procesov, ki se vršijo znotraj objekta, oziroma nastajajo kot posledica interakcije med objektom in okoljem. Mehanizem definira način obnašanja, katerega posledica je funkcija. Mehanizem torej pove *kako stvar dela*.

Struktura opisuje sestavo objekta. Pove nam kakšne so njegove fizične, topološke in geometrijske značilnosti. Opisuje posamezne komponente objekta in njihovo povezavo. Struktura torej pove *kaj nek objekt je*.

Če sledimo tem opredelitvam in si ogledamo npr. uro, potem lahko rečemo, da je namen ure, da kaže čas. Funkcija ure (analogne) je enakomerno vrtenje kazalcev po označenem krogu. Mehanizem ure je opredeljen z načinom pretvorbe mehanske potencialne energije ali električne energije v mehansko kinetično energijo kazalcev. Struktura ure pa

je definirana z obliko in medsebojno povezavo njenih posameznih delov.

Navedeni pojmi so seveda v določenih medsebojnih relacijah. To je prikazano na Sl. 2.27.



Sl. 2.27. Načrtovalski in spoznavni proces

Procesi, ki definirajo te relacije pa so odvisni od tega ali jih gledamo od spodaj navzgor ali od zgoraj navzdol in ali imamo v mislih obstoječe stanje ali pa novo (želeno) stanje.

Gledano od spodaj navzgor je struktura osnova za mehanizem (način obnašanja) nekega objekta. Ta mehanizem pa povzroči različne funkcije. Človek se seveda odloči ali lahko katera od teh funkcij služi nekemu namenu. Prvi del aktivnosti, kjer s pomočjo strukture želimo razložiti mehanizem je *analiza*, drugi del pa ustreza *realizaciji izkoriščanja (uporabe)*. Značilnosti razmišljanja v tej smeri so tipične za *znanost*, ki razlaga *obstoječe* stanje.

Gledano od zgoraj navzdol pa je začetna točka namen, ki je vedno povezan z rešitvijo nekega problema. Rešitev je mogoče doseči s sistemom (napravo, organizacijo, …, itd.), ki ima ustrezno funkcijo. Sistem bo vršil določeno funkcijo, če bo imel ustrezen mehanizem. Ustrezen mehanizem pa bo imel, če bo imel pravo strukturo.

Prvi del aktivnosti v tem segmentu je *formulacija problema*, drugi del aktivnosti pa

sinteza. Procesi, ki potekajo v tej smeri so značilni za načrtovanje, oziroma širše gledano *tehniko*, ki se ukvarja s kreacijo novega stanja.

Seveda pa načrtovanje ni enosmerna aktivnost, ki bi šla neposredno po vseh stopnjah od zgoraj navzdol, saj ni mogoče npr. iz želenega mehanizma (obnašanja) kar neposredno izpeljati strukture, ki bo to obnašanje zagotavljala. Postopek običajno teče tako, da si zamislimo hipotetično strukturo, za katero potem skušamo pokazati, da bo zagotavljala želeni mehanizem. Podobne ugotovitve veljajo tudi za povezave med drugimi pojmi.

To pomeni da pri načrtovanju vedno kombiniramo analitični (znanstveni) in sintetični (tehnični) pristop (Ford in Gibbs, 1989).

2.4.1.2 Redukcionizem in ekspanzionizem

Glede na to ali je bolj poudarjena analiza in induktivni način razmišljanja ali pa sinteza in deduktivni način razmišljanja ločimo dva koncepta načrtovanja (Nadler, 1985). Prvi je redukcionistični ali konvencionalni (componental design), drugi pa ekspanzionistični ali sistemski (holistic design).

Redukcionizem temelji na ideji o redukciji ali dekompoziciji načrtovanja na posamezne nedeljive dele. Pri tem načinu razstavimo problem na posamezna področja, sekcije in sestavne dele ter vsakega od teh delov posebej načrtujemo. Pristop temelji na predpostavki, da so načrtovalski podproblemi neodvisni eden od drugega, zato bomo dobili načrt celotnega sistema preprosto s seštevkom načrtov posameznih delov.

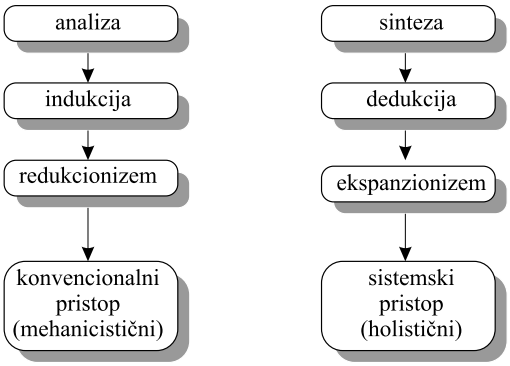
V nasprotju s tem temelji *ekspanzionizem* na ideji, da so sistemi deli večjih sistemov, in da so zato načrtovanja posameznih sistemov samo del širšega načrtovanja. Poudarek načrtovanja je tukaj preusmerjen od posameznih delov na načrtovanje celote z medsebojno povezanimi deli.

Ta razlika v razmišljanju med redukcionizmom in ekspanzionizmom je znana in je le razširitev analitičnega oz. induktivnega razmišljanja po eni strani in sintetičnega ali deduktivnega razmišljanja po drugi strani.

Shematsko lahko zadevo ponazorimo na naslednji način. (glej Sl. 2.28)

Pomembno je, da se redukcionizem in ekspanzionizem oziroma konvencionalni in sistemski pristop ne izključujeta. V bistvu sta komplementarna. Osnovni problem je, kako oba pristopa na optimalni način kombinirati.

Posamezne stopnje v enem in drugem pristopu lahko nekoliko poenostavljeno in posplošeno podamo na naslednji način.



Sl. 2.28. Konvencionalni in sistemski pristop k načrtovanju

Konvencionalni pristop	**Sistemski pristop**
1. zberi informacije in dejstva	1. opredeli potrebe in namen
2. formuliraj problem	2. generiraj alternative, ki ustrezajo namenu
3. razišči alternativne rešitve	3. zastavi si cilj, ki ga je možno realizirati
4. izberi rešitev	4. razvij in razdelaj rešitve
5. podrobneje razdelaj rešitev	5. implementiraj rešitev
6. implementiraj rešitev	

Kot lahko vidimo je poudarek pri *konvencionalnem pristopu* na zbiranju podatkov in študijah obstoječega stanja. To navadno pripelje do definicije problema in tudi iskanje rešitev v kontekstu obstoječih informacij oz. v obstoječem okviru rešitev.

Za razliko od tega pa *sistemski pristop* prestopa običajne okvire razmišljanja, saj je poudarek predvsem na opredeljevanju *namena* nekega sistema, ki ga načrtujemo. To omogoča, da najdemo rešitve, ki so popolnoma različne od že obstoječih rešitev.

Poglejmo si primer ogrevanja stanovanja.

∇

Primer 2.7: *Primer načrtovanja ogrevanja stanovanja*

Rekli smo že, da načrtovanje vedno izhaja iz nekega nezadovoljstva z obstoječim stanjem.

Recimo, da nismo zadovoljni z ogrevanjem, ker nam je v stanovanju prehladno. Konvencionalni pristop k načrtovanju in implementaciji boljše rešitve bi šel približno v naslednji smeri. Najprej bi skušali analizirati situacijo in ugotoviti ali se iz obstoječe

centralne kurjave res ne da "iztisniti" več. Če to ne bi šlo, bi razmišljali o alternativnih rešitvah. Ena možnost bi mogoče bila, da kupimo termostatske ventile in jih v prostorih, kjer se ne zadržujemo preprosto nastavimo na nižje vrednosti. Na ta način dosežemo, da se več toplotne energije lahko sprosti v dnevni sobi, kjer smo večino časa. Druga možnost pa bi bila, da preprosto zamenjamo kotel za centralno kurjavo z močnejšim.

Pri uporabi sistemskega pristopa bi postopali nekoliko drugače. Najprej bi se vprašali, kaj je namen obstoječega sistema za ogrevanje, to se pravi centralne kurjave. Namen je seveda zagotoviti človeku bivanje pri temperaturah, ki so prijetne za počitek in delo ter ustrezne za zdravje. Nato pa bi iskali rešitve, ki zadovoljujejo to človeško potrebo oziroma ustrezajo temu namenu. Takoj opazimo, da je nabor možnih rešitev mnogo širši. Poleg že omenjenih možnosti vezanih na centralno kurjavo, lahko razmišljamo o tem, da bi mogoče izboljšali izolacijo stanovanja. Lahko pa je rešitev tudi preprosto to, da se moramo bolj toplo obleči, kot smo bili dosedaj navajeni, itd.

Δ

Vidimo, da je bistvena razlika med pristopoma v tem, da smo pri prvem razmišljanju reševanje dejanskega problema že v začetku vezali na eno od možnih rešitev in si s tem zelo omejili prostor reševanja.

Konvencionalnemu pristopu torej manjka prav tista družbeno-kulturna komponenta, ki pogojuje namen nekega sistema. Tak pristop je zato uporaben predvsem takrat, ko razvijamo posamezne dele (komponente), ki so samo gradniki nekega večjega sistema in nimajo neposredne povezave z namenom končnega sistema.

2.4.1.3 Značilnosti načrtovanja

Poleg že omenjenih konceptualnih okvirov ima načrtovanje še nekaj drugih pomembnih značilnosti (Nadler, 1985).

Hierarhična narava načrtovanja

Vsako stopnjo v načrtovalskem procesu je navadno možno razdeliti na podstopnje. Tako lahko namen nekega sistema razgradimo na posamezne segmente. Npr. če je namen nekega sistema za računalniško vodenje procesa, da pomaga človeku pri vodenju procesa, potem je ta namen možno razgraditi na namene v zvezi s pomočjo pri zbiranju podatkov, pri krmiljenju, regulaciji, nadzoru, koordinaciji, itd. Iz teh namenov seveda sledijo funkcije računalniškega sistema, ki bodo zagotavljale, da bo zastavljeni namen dosežen. Funkcije seveda zopet lahko razgradimo na podfunkcije, itd. Ta razgraditev omogoči, da sicer zelo kompleksen sistem razdelimo na manjše in zato lažje obvladljive podsisteme. Na ta način dobimo hierarhično strukturo, ki pa je navadno zelo prepletena. Seveda pa je res, da samo razgraditev na hierarhične nivoje ne reši problema kompleksnosti sistema.

Načrtovanje kot odločanje

Proces načrtovanja je proces odločanja med alternativnimi rešitvami. Zato je zelo važno,

kako dobro si predstavljamo možne alternativne rešitve in predvsem po kakšnih kriterijih se odločamo (ekonomski, tehnični, estetski, čustveni, ...). Iz tega tudi zelo jasno izhaja, da imajo na načrtovanje mnogo večji vpliv odločitve, ki jih sprejemamo na začetku načrtovalskega procesa (torej tiste, ki so povezane z namenom nekega sistema) kot tiste, ki smo jih sprejeli na koncu (npr. tiste, ki so povezane s strukturo nekega sistema).

Načrtovanje kot iterativni proces

Kot smo že omenili, načrtovanje nikdar ne poteka enosmerno od zastavljenega cilja proti rešitvi, ampak vedno v zankah. Vzrok je v prepletenosti in medsebojni soodvisnosti posameznih stopenj v načrtovalskem procesu. To seveda pomeni, da nekatere zamišljene rešitve vplivajo nazaj na osnovno zamisel funkcij ali pa lahko v skrajnih primerih redefinirajo namen neke naprave. Postopek ponavljamo toliko časa, da dosežemo neko zadovoljivo stanje.

Načrtovanje kot optimiranje

Ta pogled na načrtovanje je zelo tesno povezan s prejšnjima dvema. V resnici ni optimizacija nič drugega, kot iterativno iskanje maksimalne oziroma minimalne vrednosti nekega kriterija na osnovi odločanja med alternativnimi potmi.

Pri tem je zelo pomembno vedeti, da optimizacija podsistemov še ne pomeni, da je tudi celoten sistem optimalen. Računalnik bo dobro deloval, če je materialna oprema načrtovana tako, da je prilagojena možnostim programske opreme in zahtevam celotnega sistema, in če isto velja za programsko opremo. Če sta materialna oprema in programska oprema vsaka za sebe optimalni, to še ne pomeni, da je njuna povezava optimalna. “Perfekcionizacija” nekega podsistema zato sploh ne pomeni nujno, da smo s tem izboljšali delovanje celotnega sistema. To je zelo pogosta napaka pri načrtovanju.

2.4.2 Sistemsko inženirstvo

Tehnika pa ni samo načrtovanje sistemov ampak je tudi njihova izgradnja, delovanje, vzdrževanje, itd. Tudi ti segmenti so se v preteklosti razvijali predvsem v okviru posameznih tehničnih disciplin in so v nekem smislu predstavljali nadgradnjo temu, kar smo pri načrtovanju imenovali konvencionalni pristop. Nadgradnja ali razširitev sistemskega pristopa k načrtovanju pa je sistemsko inženirstvo[3]. Motivacija za nastanek je bilo dejstvo, da so sodobni tehnični sistemi po svoji sestavi in različnosti posameznih delov zelo kompleksni, ter da presegajo znanje in možnosti posamezne discipline. Zato je tradicionalni disciplinarni pristop k njihovemu načrtovanju in izgradnji mnogokrat odpovedal ali pa se izkazal za slabo učinkovitega.

---

[3] Pri prevajanju izraza “systems engineering” v slovenščino gre za določeno terminološko nedoslednost. Izraz “engineering” navadno prevajamo kot “tehnika”; npr. electrical engineering = elektrotehnika in pod njim razumemo celotno disciplino. Izraz inženiring pa se je v Sloveniji bolj uveljavil za realizacijo kompletnih projektov na nekem področju, od zamisli, načrtovanja,

Izraz "sistemsko inženirstvo" je nastal okrog leta 1950 v Bellovih laboratorijih, da bi opisali aktivnosti oziroma napore, do katerih je prišlo pri povezovanju različnih ljudi in strojev v učinkovito delovno enoto. To je bila naloga, ki je posegala v tradicionalne okvire elektronike, strojništva in drugih disciplin (Blanchard, 1987).

Sistemsko inženirstvo se je uveljavilo predvsem na področjih, kjer gre za zelo velike projekte kot je npr. vojska ali področje vesoljskih raziskav, drugje pa je bilo manj prisotno. Z vse večjim uvajanjem računalnikov v sisteme, ki po eni strani povečujejo učinkovitost, po drugi strani pa pomenijo večjo zapletenost in ključni vpliv na način načrtovanja, izdelave in delovanja sistema, pa se je pomen principov sistemskega inženirstva precej povečal. Zato so ideje sistemskega inženirstva v veliki meri zajete tudi npr. v programskem inženirstvu (software engineering) pa tudi v dejavnosti, ki jo imenujemo sočasno inženirstvo (concurrent engineering).

2.4.2.1 Definicija sistemskega inženirstva

Obstaja več definicij sistemskega inženirstva.

Blanchard (Blanchard, 1987) npr. definira sistemsko inženirstvo kot ***splošno metodologijo za načrtovanje sistemov, ki vključuje raziskavo potreb, specifikacijo problema, raziskavo okolja, odločitve glede na optimalne kriterije, analizo, sintezo, razvoj komponent, realizacijo sistemov, študij psiholoških, sociioloških in drugih faktorjev, ki vplivajo na načrtovanje, itd.***

Sage (Sage, 1987) pravi, da je ***sistemsko inženirstvo opredeljeno kot uporaba upravljanja, usmerjanja in vodenja tehniških dejavnosti pri načrtovanju sistemov, zato da bi zagotovili ali ohranili celovitost in povezanost sistema glede na njegov načrtovani sestav, zanesljivost in učinkovito delovanje.***

Tretja je definicija, ki jo je podal Wymore (Wymore, 1976) pa pravi, da je ***sistemsko inženirstvo strokovna, razumska in akademska veda, ki se ukvarja predvsem s proučevanjem in načrtovanjem velikih in kompleksnih sistemov, v katerih sodelujejo ljudje in stroji.***

Četrta definicija je podana v Chambers Science and Technology Dictionary iz leta 1988 (Skyttle, 1994) in pravi: ***Sistemsko inženirstvo je logični proces aktivnosti, ki transformirajo množico zahtev izhajajočih iz določene misije oziroma cilja v popoln opis sistema, ki zadovoljuje zastavljeni cilj na optimalen način. Ta proces zagotavlja, da so vsi vidiki projekta upoštevani in integrirani v konsistentno celoto.***

Kot vidimo se definicije med sabo nekoliko razlikujejo, kar pa za področje, kjer se bolj eksaktne discipline prepletajo z manj eksaktnimi ni nič nenavadnega.

---

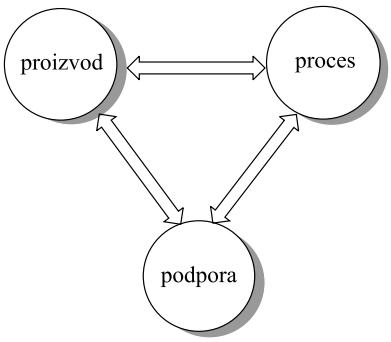
izvedbe in predaje naročniku. Ker gre pri sistemskem inženirstvu prav za ta proces, ne pa za disciplino v širšem smislu, se zdi ta prevod ustreznejši.

2.4.2.2 Značilnosti sistemskega inženirstva

Za sistemsko inženirstvo so bistveni predvsem trije elementi in sicer (Blanchard, Fabrycky, 1990):

- celostni pristop;
- interdisciplinarnost in multidisciplinarnost ter
- koncept življenjskega cikla.

Bistvo *celostnega pristopa* k načrtovanju in izdelavi nekega proizvoda ali načrtovanja in izgradnje sistema je v integraciji inženirskih in podpornih funkcij. Konkretno to pomeni, da ne načrtujemo najprej proizvoda in potem, ko smo razvili prototip, začnemo razmišljati o problematiki proizvodnje ter se na koncu, ko imamo proizvodnjo že rešeno, lotimo problematike vzdrževanja. Namesto tega gre za sočasno načrtovanje proizvoda, procesa njegove proizvodnje in vseh podpornih funkcij, ki omogočajo prodajo in učinkovito uporabo tega proizvoda. Shematsko lahko zadevo poenostavljeno prikažemo na Sl. 2.29:



Sl. 2.29. Integracija proizvoda, procesa in podpore

Takšen celostni pristop seveda zahteva timsko delo, ki vključuje

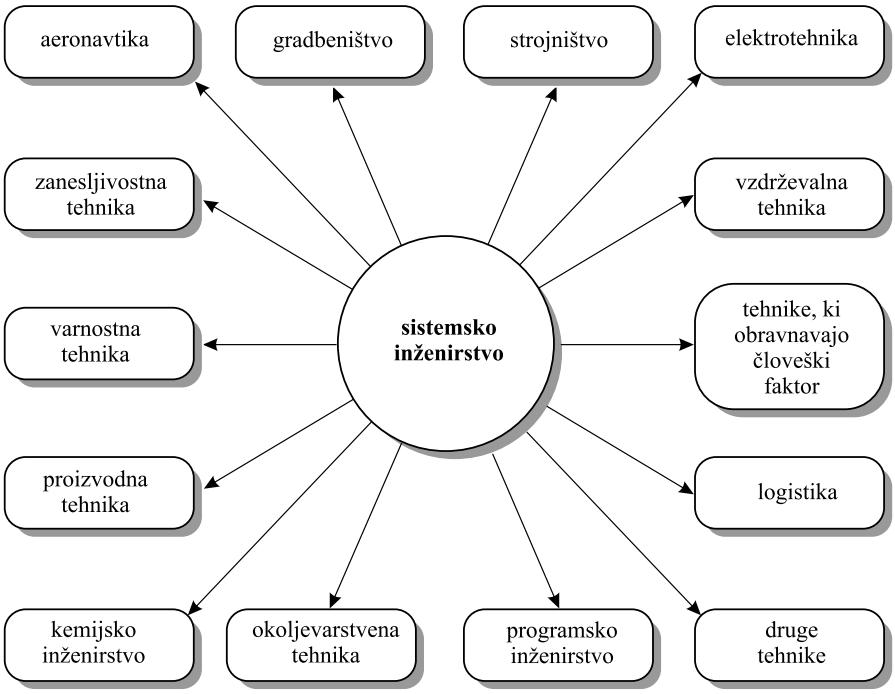
1. strokovnjake z znanji in veščinami iz različnih področij, ki načrtujejo zahtevane funkcije sistema (gradbeništvo, strojništvo, elektrotehnika, ergonomija, itd.);
2. strokovnjake iz različnih področij, ki zagotavljajo podporo potrebno za učinkovito realizacijo tehniških funkcij (finance, pravo, nabava, proizvodnja, znanost, itd.) in
3. potrebne materialne in energetske vire.

Vidimo, da je inherentni del tovrstnega pristopa *interdisciplinarnost in multidisciplinarnost*, ki ju je mogoče ilustrirati s shemo na Sl. 2.30.

Pomena interdisciplinarnosti in multidisciplinarnosti se enostavno ne da preveč poudariti, posebej zaradi tega, ker je v našem prostoru študij oziroma celoten koncept šolanja še vedno zelo disciplinarno orientiran. Posledice tega se kažejo v precej manjši učinkovitosti pri načrtovanju in realizaciji zahtevnejših sistemov, včasih pa tudi v popolnoma zgrešenih

projektih. Stvar je popolnoma razumljiva, če upoštevamo, da imajo različne stroke vsaka svojo filozofijo pristopa k reševanju problemov načrtovanja pa tudi vsaka svoj strokovni jezik. Zato je že enostavno sporazumevanje med strokovnjaki različnih profilov precej težko, kaj šele skupno načrtovanje nekega sistema

Tretji bistveni konceptualni del sistemskega inženirstva je *koncept življenjskega cikla*.



Sl. 2.30. Povezava različnih disciplin v okviru sistemskega inženirstva

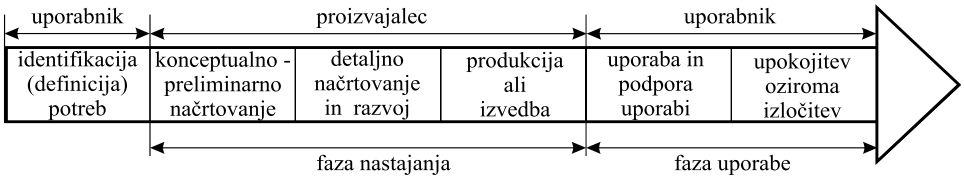
2.4.2.3 Koncept življenjskega cikla

Koncept življenjskega cikla temelji na dveh pomembnih spoznanjih.

Prvo spoznanje je, da imajo tudi sistemi, ki jih ustvarja človek podobno razvojno pot kot živi sistemi; to pomeni dobo spočetja in razvoja, dobo zrelosti in moči ter dobo staranja in smrti.

Drugo spoznanje pa je, da je ta razvojna pot pravzaprav proces, ki se začne in konča pri potrošniku (uporabniku). Na ta način razumljen proces ali življenjski cikel se začne z identifikacijo oz. definicijo potreb ter se nadaljuje s planiranjem, raziskavami, načrtovanjem, proizvodnjo ali izgradnjo, vrednotenjem, uporabo, vzdrževanjem ter podporo pri potrošniku (uporabniku) in se konča z upokojitvijo nekega sistema ali proizvoda. V poenostavljeni obliki ga lahko podamo na naslednji način (Sl. 2.31).

Kaj je tisto, kar tako zasnovani koncept prinaša novega v proces načrtovanja in izgradnje sistemov, oziroma kaj je tisto, po čemer se loči od klasičnih pristopov?



Sl. 2.31. Poenostavljeni življenjski cikel sistema

Tradicionalni pristop se je predvsem osredotočil na fazo nastajanja nekega sistema, medtem ko sta bili problematika uporabe z vzdrževanjem, predvsem pa problematika upokojitve premalo upoštevani. Znane so težave, ki so zaradi zanemarjanja teh faz nastale pri jedrskih elektrarnah, okolju škodljivih kemičnih tovarnah, zahtevnih projektih programske opreme, itd.

Povsem logično je, da je proces načrtovanja drugačen, če se že v tej fazi gleda npr. na problematiko kasnejšega dopolnjevanja nekega sistema ali pa upokojitve, pa tudi rešitve so lahko popolnoma drugačne. Ta filozofija se je v zadnjem času zelo uveljavila na področjih, ki se na ta ali oni način tičejo problematike okolja, vendar pa je univerzalna, in jo je treba upoštevati tudi na ostalih področjih.

Tudi koncept "od uporabnika do uporabnika" prinaša v primerjavi s tradicionalnim gledanjem nove poudarke. Nova poudarka sta predvsem dva.

Prvi se nanaša na odločilnejšo vlogo uporabnika (trga) pri identifikaciji potreb. Zelo važno je, da ugotovimo, kaj uporabnik (potrošnik) pravzaprav v resnici želi. Največkrat se namreč dogaja, da uporabniku skušamo dopovedati, da tisto kar že imamo ali pa tisto, kar smo zelo hitro in poceni sposobni narediti ali prilagoditi, rešuje njegov problem. Posebej pri večjih razvojnih projektih je taka filozofija zelo nevarna.

Drugi poudarek pa je povezan z redefinicijo mesta in vloge, ki ga imajo v življenjskem ciklu podporne funkcije, med katerimi je na prvem mestu *vzdrževanje*. Kako pomembno je, da je proizvod, ki ga kupimo možno enostavno in kvalitetno vzdrževati in kako važno je, da imamo na voljo dobro organizirano vzdrževalno službo, je potrošnikom jasno iz vsakdanjega življenja. Še posebej pomembno vlogo pa je vzdrževanje dobilo z razvojem sistemov, ki so računalniško podprti. Vzdrževanje se je iz klasičnega načina zamenjave delov in popravljanja materialne opreme (v najširšem smislu te besede) razširilo še na vzdrževanje programske opreme. To pa omogoča, da vzdrževanje ni samo podporna funkcija, ki ohranja obstoječo funkcionalnost sistema ampak funkcija, ki omogoča tudi dograjevanje in izboljševanje sistema.

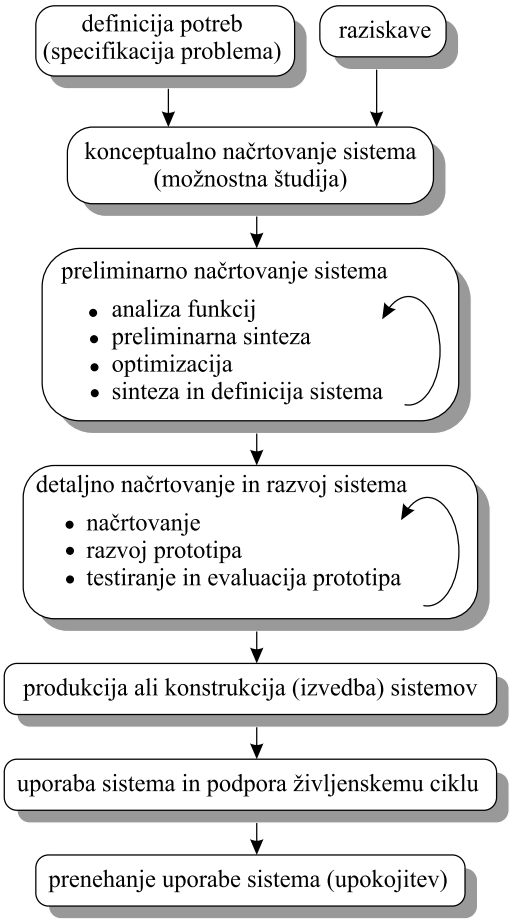
S tem so seveda tradicionalni pogledi na vzdrževanje postali cokla v razvoju.

Poglejmo si sedaj življenjski cikel sistema v nekoliko razširjeni obliki. Predstavljen je na sliki Sl. 2.32, kjer pa so še vedno podane le osnovne aktivnosti, ki predstavljajo okvir cikla.

Važno je, da gre večinoma za zelo kompleksen in iterativen proces z mnogimi povratnimi zankami, ki zagotavljajo konvergentnost celotnega postopka. Pomembno pa je tudi, da je treba obliko življenjskega cikla prirediti problemu, ki ga rešujemo.

Zato uporabljamo različne modele življenjskega cikla (Martin, 1997).

Najbolj običajen je *linearni* (fazni, waterfall) model, kjer tok aktivnosti enakomerno teče od ideje proti realizaciji oziroma je rezultat prejšnje faze vhod v naslednjo fazo. Ta še najbolj ustreza tistemu, ki smo ga prikazali na Sl. 2.31.



Sl. 2.32. Razširjeni prikaz življenjskega cikla sistema

V zahtevnejših primerih z visoko stopnjo negotovosti se uporablja *evolucijski* (prototipni) model. To pomeni, da nekatere kritične segmente v razvoju najprej preizkusimo z izdelavo prototipa in jih šele kasneje zares izvedemo.

Če hočemo zmanjšati rizik, lahko uporabljamo *inkrementalni* model. Ta temelji na razdelitvi faz v funkcionalne inkremente, pri čemer realizacija vsakega inkrementa že omogoča delno uporabo sistema.

Nekoliko drugačen je model *ponovne uporabljivosti komponent*. Ta izhaja iz že obstoječih komponent ali gradnikov, ki jih imamo na voljo in skuša zahteve in načrte prirediti tem okvirom.

Poleg teh modelov obstajajo še drugi modeli življenjskega cikla kot npr.:

- *model uporabe tehnologije*, kjer "forsiramo" uporabo določene tehnologije podobno kot npr. v modelu ponovne uporabljivosti "forsiramo" uporabo obstoječih komponent;
- *model obratnega inženirstva* (reverse engineering model), kjer je poudarek na modifikaciji obstoječega sistema;
- *spiralni model*, kjer gre za iterativno ponavljanje faz v življenjskem ciklu.

Različni modeli življenjskega cikla seveda niso nič drugega kot različni načini razvoja in uporabe določenega sistema.

V praksi je izbira ustreznega življenjskega cikla odvisna od vrste problema, ki ga rešujemo. Pri reševanju zelo kompleksnih sistemov pa često srečamo uporabo različnih življenjskih ciklov za razvoj različnih komponent sistema.

2.4.2.4 Obvladovanje življenjskega cikla

Obvladovati življenjski cikel pomeni obvladovati stroške in čas ter pri tem zagotoviti, da bo sistem deloval v skladu s postavljenimi zahtevami. To laže naredimo, če znamo celoten problem razbiti na manjše podprobleme. V tem smislu je zelo pomembno, da razumemo kaj v življenjskem ciklu pomenijo *faze*, kaj so *aktivnosti*, ki potekajo znotraj posameznih faz in kaj so *vmesni proizvodi (rezultati)*.

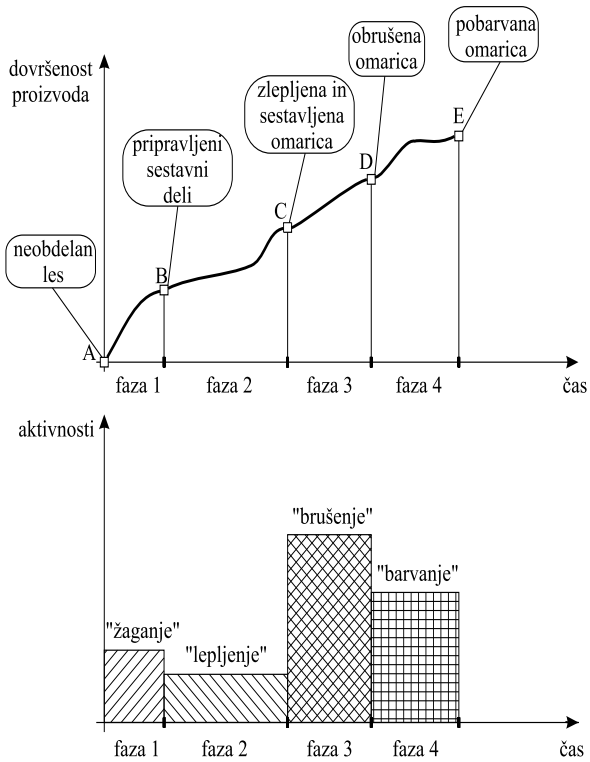
Čeprav gre v celotnem življenjskem ciklu za proces, ki je izrazito kompleksen in kreativen, so ti pojmi ekvivalentni tistim, ki jih srečamo pri precej bolj rutinskih procesih oziroma rutinskih fazah znotraj življenjskega cikla.

Poglejmo si opredelitev teh pojmov na preprostem primeru izdelave omarice s policami za knjige.

∇

Primer 2.8: *Izdelava omarice s policami za knjige*

Proces izdelave omarice lahko ponazorimo s splošno shemo na Sl. 2.33.



Sl. 2.33. Shematski prikaz nastajanja omarice

Krivulja na zgornjem delu slike prikazuje proces nastajanja omarice od začetne točke A (neobdelan les) do končne točke E (pobarvana omarica). Vmesne točke na krivulji predstavljajo delne rezultate. Točka B npr. pomeni, da imamo pripravljene sestavne dele, točka C, da je omarica sestavljena in zlepljena; točka D da je obrušena in pripravljena za barvanje.

Ti delni rezultati torej predstavljajo neke vidne, med sabo bistveno različne stopnje v nastajanju omarice. Da pridemo od ene do druge stopnje dodelanosti omarice, so potrebne različne aktivnosti, ki so prikazane na spodnjem delu Sl. 2.33. Obdobje izvajanja teh aktivnosti med enim in drugim delnim rezultatom imenujemo faze.

Faze često poimenujemo po aktivnosti, ki je v dotični fazi prevladujoča. Iz primera vidimo, da je v prvi fazi najbrž prevladujoča aktivnost žaganje in bi lahko to fazo poimenovali kar “žaganje”, čeprav je jasno, da moramo poleg žaganja tudi zarisati črte, po katerih bomo žagali, po žaganju obrusiti robove, itd. Podobno bi lahko za drugo fazo rekli, da je to “lepljenje”, itd. Žal ta način pri kompleksnejših primerih lahko privede tudi do zamenjave med fazami in aktivnostmi, zato moramo biti glede tega precej previdni.

Δ

Kot torej vidimo iz primera gre za dekompozicijo procesa nastajanja proizvoda na manjše in lažje obvladljive dele, ki se navadno tudi vsebinsko in tehnološko tako razlikujejo, da zahtevajo uporabo drugih tehnologij, drugih strojev ali celo angažiranje drugih ljudi. To seveda hkrati tudi pomeni, da lahko veliko lažje spremljamo, do kakšne stopnje je nek proizvod narejen, kar prispeva k lažji obvladljivosti celotnega procesa.

Poglejmo na obvladljivost življenjskega cikla še v luči problematike vodenja oziroma koncepta povratne zanke.

Podobno kot druge ciljno orientirane procese lahko tudi ta proces razdelimo na osnovni proces in proces vodenja. V osnovnem procesu tečejo aktivnosti, ki povzročijo transformacijo surovin in energije ter informacije v nek končni izdelek ter aktivnosti uporabe tega končnega izdelka. V procesu vodenja pa tečejo aktivnosti *opazovanja*, *razmišljanja in odločanja* ter *ukrepanja*, ki zagotavljajo, da proces razvoja in uporabe proizvoda teče po določeni poti in doseže določen cilj. Konceptualno torej gre za popolnoma enak proces, kot je opredeljen na Sl. 2.26. To je pomembno vedeti, saj lahko na tej osnovi aktivnosti, ki potekajo v posameznih fazah razdelimo na *aktivnosti razvoja in delovanja* po eni strani ter *aktivnosti upravljanja in vodenja* po drugi strani.

Ko gradimo našo omarico torej ne gre zgolj za risanje, žaganje, lepljenje, itd., ampak tudi za planiranje kdaj bomo delali, koliko časa bo trajalo, koliko bo stalo, preverjanje, če je posamezna faza dobro narejena, itd.

Če sedaj ugotovitve, do katerih smo prišli nekoliko povzamemo, potem lahko rečemo, da je *proces kreacije in delovanja nekega tehničnega* sistema precej zapleten *povratnozančni proces*, ki poteka v posameznih fazah, v katerih se prepletajo različne vrste aktivnosti.

Osrednji problem je izbrati takšno zaporedje faz, ki bo jasno določalo evolucijske korake v sistemu, zato da bomo po eni strani lahko videli, kaj se s sistemom dogaja, po drugi strani pa primerno preslikali potrebne aktivnosti v različne faze.

2.4.2.5 Kako uporabljati koncept sistemskega inženirstva

Sistemsko inženirstvo seveda ni metodologija, ki bi se uporabljala kot recept, ki velja za načrtovanje in razvoj ter izvedbo vsakega sistema enako, ampak gre za miselni okvir, ki pomaga uspešneje reševati probleme. Ker gre za zelo širok okvir, ki skuša zajeti kar največ vplivnih faktorjev, lahko na ta način zmanjšamo stopnjo nedoločenosti v procesu načrtovanja, izvedbe in delovanja nekega sistema.

V tem smislu gre za zelo podobne zadeve kot jih predpisuje npr. standard ISO 9001. Prav zahteve po izpolnjevanju tovrstnih standardov so imele za posledico, da se sistemsko inženirstvo vse več uporablja tudi pri razvoju manjših proizvodov oziroma naprav (Skyttle, 1994).

Najpomembnejše in seveda najteže je najti pravo mero med zahtevo, da morajo biti stvari že vnaprej čimbolj specificirane, da bi se izognili kasnejšim težavam, stranpotem in

popravljanju in dejstvom, da se vsega ne da pa tudi ne izplača specificirati. Kot skrajni primer pretiravanja v smeri specifikacij lahko navedemo ameriško vojsko, kjer morajo biti npr. ponudbe za različne razvojne programe, ki jih razpiše vojska tako detajlno specificirane, da to postaja kontraproduktivno (npr. ponudbena dokumentacija se pripravlja več let, obseg dokumentacije je takšen, da je praktično neobvladljiv, itd) (Fowler, 1994). Ker se je ob tem bohotila tudi "tehnična birokracija" so se lotili zelo resnih ukrepov, da bi zadeve speljali zopet nazaj v normalne okvire. V naših razmerah smo zaenkrat še bolj na nasprotni strani te skrajnosti (kampanjski pristop), vendar pa se je treba tudi teh problemov zavedati.

2.5 Zaključek

Kot smo omenili že v uvodu knjige, pričujoče poglavje predstavlja širši, lahko bi rekli filozofski okvir, ki po eni strani opredeljuje način pristopa k reševanju problema vodenja sistemov, po drugi strani pa je imel vpliv tudi na organizacijo nadaljnje vsebine te knjige.

Pri tem je treba posebej poudariti pomen sistemske paradigme, ki omogoča učinkovito prenašanje razumevanja problemov in rešitev iz enega na drugo področje dejavnosti, in je učinkovita predvsem pri reševanju kompleksnih problemov. Tak način seveda pogojuje določeno abstrakcijo problema oziroma zapis procesa v obliki modela, ki ga je mogoče uporabljati za analizo problemov in sintezo vodenja. Poglobljeno je ta problematika obravnavana v poglavju sedem “Tehniški vidiki realizacije - Znanja in veščine” v podpoglavju, ki se nanaša na matematično modeliranje in simulacijo procesov.

Drugi element, ki smo ga uvedli, je splošna povratnozančna paradigma. Ta je pomembna zato, ker kaže, da je osnova vsakemu vodenju nek povratnozančni pogled, pa čeprav se mnogokrat zdi, da prave povratne zanke v marsikaterem sistemu za vodenje ni. Povratnozančna paradigma je seveda podlaga za realizacijo različnih funkcij vodenja, s katero se ukvarja eno od podpoglavij v sedmem poglavju.

Splošni načrtovalski koncepti in koncept sistemskega inženirstva so pomembni zaradi tega, ker presegajo omejitve posameznih disciplin, zato se posebej dobro prilegajo problematiki načrtovanja in izgradnje sistemov za vodenje, ali z drugo besedo, inženirstvu (tehnologiji) vodenja, ki je po naravi interdisciplinarna dejavnost. Če jih razumemo in jih znamo pametno uporabljati so nam lahko v veliko pomoč. Ne morejo pa nadomestiti kreativnega inženirskega duha, ki je potreben, zato da lahko nastajajo novi sistemi in se izboljšujejo in dopolnjujejo obstoječi

Nekatere segmente smo uporabili tudi kot osnovo za strukturo poglavij. To velja npr. za koncepte namena, funkcije, mehanizma in strukture, na kateri temelji struktura četrtega poglavja ter koncept življenjskega cikla, ki je osnova za peto poglavje. Filozofija sistemskega inženirstva pa je seveda v veliki meri podlaga tudi za sodoben razvoj programske opreme, ki je podrobneje opisan v sedmem poglavju.