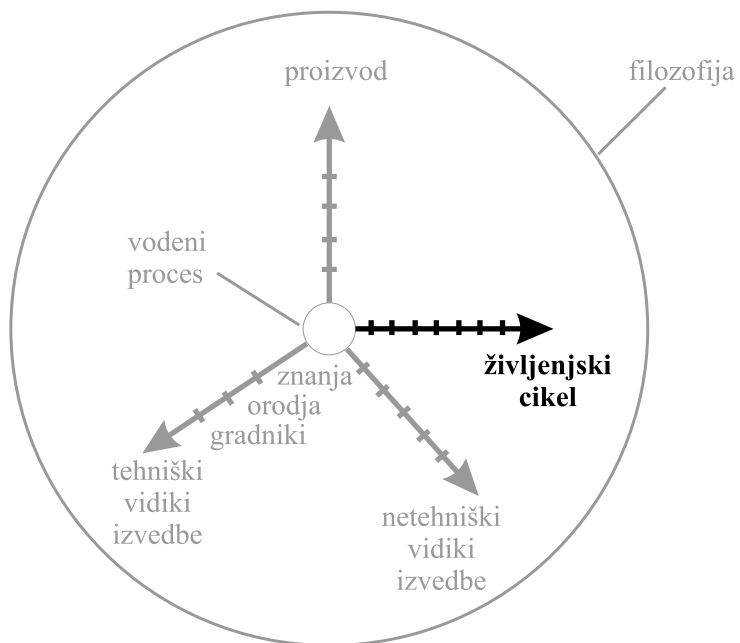


5. Življenjski cikel sistemov za vodenje



5.1 Uvod

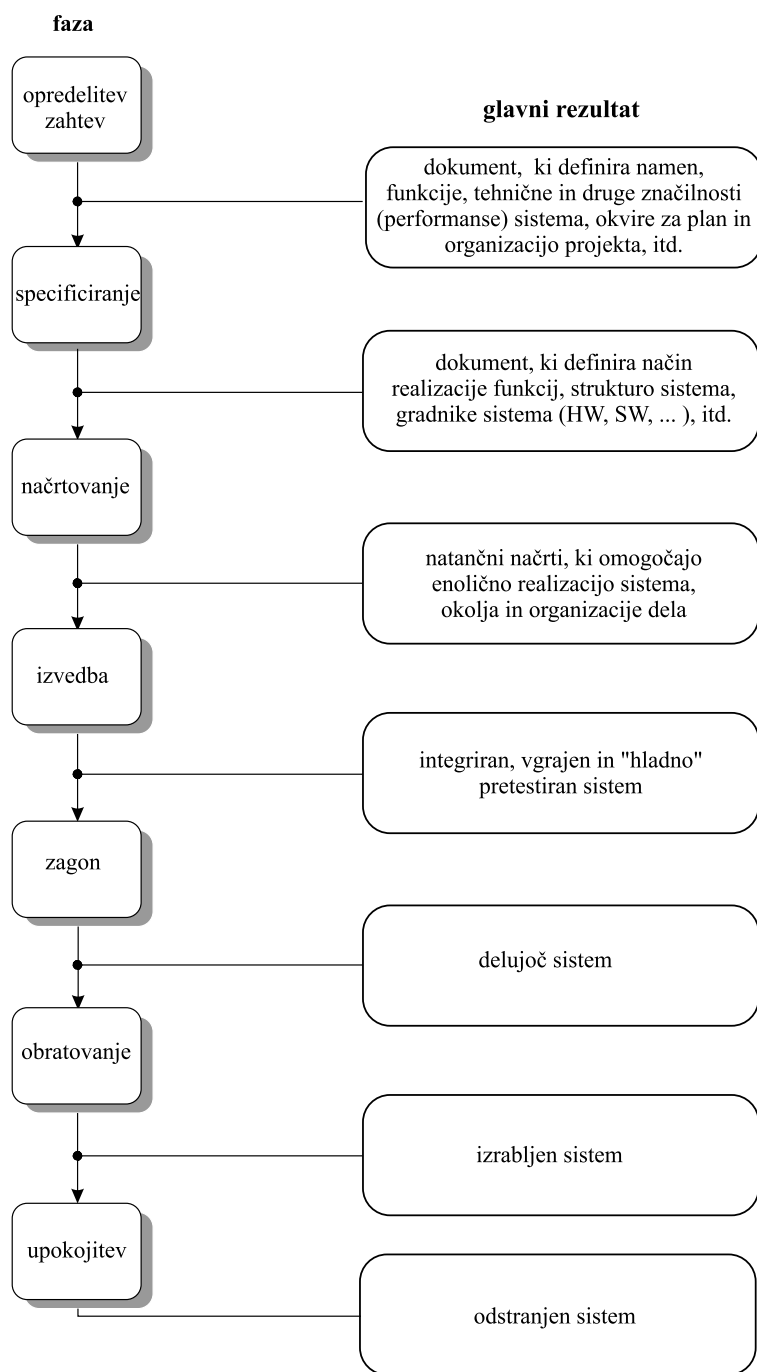
Pričujoče poglavje se nanaša na drugo dimenzijo našega celostnega pogleda, ki smo jo imenovali procesna dimenzija ali dimenzija življenjskega cikla. Pogled skozi to dimenzijo je pomemben, ker se je treba zavedati, da izdelek (to je v našem primeru sistem za vodenje) ni neka statična kategorija ampak "živ" sistem, ki je podvržen spremembam. To pomeni, kot smo že ugotovili, da se v svojem življenjskem obdobju pojavlja v različnih oblikah, in da pretvorbe iz ene v drugo pojavno obliko zahtevajo različen nabor znanj, orodij in gradnikov.

Podlaga za to poglavje je seveda paradigma življenjskega cikla, o kateri smo več govorili v drugem poglavju te knjige, v podpoglavju o sistemskem inženirstvu. Tam smo okvirno opredelili splošni koncept življenjskega cikla, ki se nanaša na kakršenkoli proizvod, napravo, postrojenje, tovarno, itd.

Ta splošni okvir se seveda nekoliko spremeni, če gre za konkretni sistem ali za konkretno področje uporabe. Dve taki bistveno različni področji sta področji proizvodnje večjega števila enakih izdelkov (potrošne dobrine, oprema za objekte, itd.) in izvedba enkratnih (unikatnih) objektov (izgradnja tovarn, elektrarn, itd.). Razlika je seveda v stopnji integracije z okolico, ki v slednjem primeru problem naredi kompleksnejši in težje obvladljiv. Fazni ali linearni življenjski cikel takih sistemov prikazuje Sl. 5.1.

Na sliki so prikazane posamezne faze, ki se, kot smo že omenili, tradicionalno imenujejo po prevladujoči aktivnosti znotraj faze. Bolj pomembni od faz pa so vmesni rezultati, ki so posledica realizacije aktivnosti v posamezni fazi. Ti vmesni rezultati predstavljajo mejnike, na osnovi katerih je mogoče voditi in upravljati projekt.

Računalniško podprti sistemi za vodenje procesov seveda večinoma spadajo v razred unikatnih sistemov, zato je prikazani življenjski cikel v splošnem uporaben tudi zanje. V našem delu smo se odločili, da se pri opisu življenjskega cikla sistemov za vodenje držimo tega splošnejšega okvira, ki je bližje inženirjem iz drugih področij, čeprav seveda obstajajo modeli življenjskih ciklov, ki so posebej prirejani področju vodenja sistemov. (glej npr. Polke, 1994; Sawyer 1995; NAMUR, 1993). Pri podrobnejšem opredeljevanju faz in aktivnosti znotraj faz pa je seveda potrebno upoštevati posebnosti in specifičnosti, ki so lastne sistemom vodenja. Slednje izhajajo iz namena, funkcije, mehanizmov in strukture sistemov za vodenje, ki smo jih opredelili v prejšnjem poglavju.



Sl. 5.1. Linearni (fazni) življenjski cikel unikatnih objektov

Iz namena sistemov za vodenje sledi, da so taki sistemi močno integrirani v proces, ki ga

vodimo. Zato bo življenjski cikel takega sistema tudi zelo odvisen od kompleksnosti in vrste procesa, predvsem pa od tega ali gradimo sistem vodenja za že obstoječi proces ali pa gre za sočasno gradnjo procesa in sistema vodenja.

Na nekatere aktivnosti in faze življenjskega cikla prav gotovo vpliva dejstvo, da je osnovna funkcija sistema vodenje procesa, to pa pomeni, da gre za sistem, ki mora reagirati v realnem času (torej pravočasno sprejeti odločitev in izvesti ukrep).

Mehanizmi izvajanja nekaterih funkcij so lahko zelo zapleteni in zahtevajo mnogo časa za zasnovanje, načrtovanje in preizkušanje. To je eden od najpomembnejših elementov, ki vpliva na obliko življenjskega cikla sistemov za vodenje.

In slednjič še struktura. Ugotovili smo, da je vsak sistem za vodenje pravzaprav sestavljen iz petih ključnih podsistemov in sicer merilnega sistema, izvršnega sistema, komunikacijskega sistema, računalniških in drugih naprav ter človeka, in da za svoje delovanje potrebuje primerno okolje.

Raznovrstnost in obseg funkcij, zapletenost mehanizmov in raznorodnost podsistemov v strukturi sistemov za vodenje imajo seveda za posledico, da se znotraj osnovnega življenjskega cikla prepletajo še drugi življenjski cikli. Poleg že omenjenih glavnih strukturnih komponent sistema, ki imajo vsaka svoj življenjski cikel, so med najbolj zanimivimi gotovo življenjski cikel načrtovanja in realizacije regulacije, kot ene izmed pomembnih funkcij vodenja; življenjski cikel matematičnega modela, kot pomembnega pripomočka pri načrtovanju in izvedbi različnih funkcij vodenja; življenjski cikel programske opreme, kot ključnega segmenta, s katerim so realizirane funkcije vodenja v računalniško podprtem sistemu, itd.

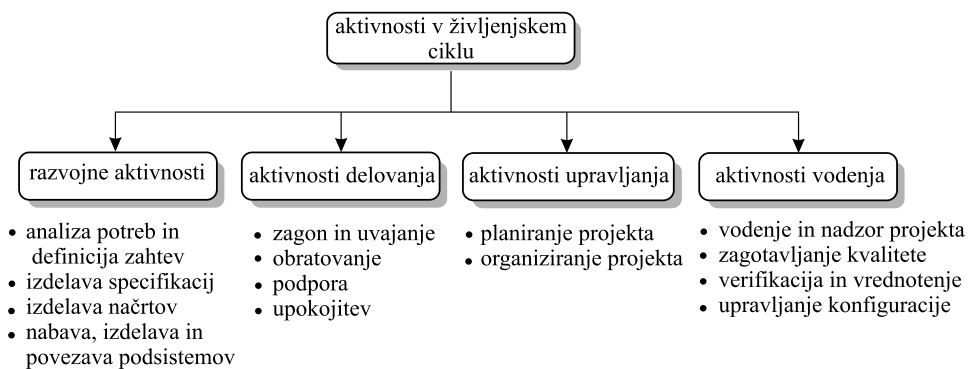
Aktivnosti v življenjskem ciklu in njihova preslikava v faze

Kot smo že prej ugotovili, karakteristiko življenjskemu ciklu ne dajejo toliko imena faz kot pa aktivnosti, ki potekajo v posameznih fazah. Zato si jih v nadaljevanju nekoliko podrobneje oglejmo.

Tudi aktivnosti, ki jih opravljamo v okviru življenjskega cikla za vodenje se na splošnem nivoju ne razlikujejo od aktivnosti pri življenjskem ciklu kateregakoli sistema. Enega od možnih prikazov aktivnosti lahko vidimo na shemi na Sl. 5.2.

Kot vidimo lahko aktivnosti razdelimo v štiri glavne skupine in sicer: razvojne aktivnosti, aktivnosti delovanja, aktivnosti upravljanja in aktivnosti vodenja⁷.

⁷ Izraza "upravljanje" in "vodenje" v tem kontekstu ustrežeta angleškima izrazoma "management" in "control". Pri tem "management" (upravljanje) pomeni bolj strateški, načrtovalski in organizacijski del vodenja, "control" (vodenje) pa bolj izvedbeni (povratnozančni) del vodenja.



Sl. 5.2. Aktivnosti v življenjskem ciklu

Razvojne aktivnosti obsegajo tiste aktivnosti, ki so v glavnem osredotočene na obdobje, v katerem sistem za vodenje nastaja, v manjši meri pa jih srečamo tudi v obdobju delovanja sistema.

Aktivnosti delovanja so aktivnosti, ki večinoma potekajo od faze zagona sistema pa do njegove upokojitve.

Aktivnosti upravljanja pomenijo postavljanje planskih in organizacijskih okvirov, *aktivnosti vodenja* pa zagotavljajo realizacijo v skladu s predvidenimi okviri. Oboje potekajo ves čas življenjskega cikla.

Seveda je to le splošni nabor aktivnosti. Konkretni nabor aktivnosti in njihova preslikava v posamezne faze življenjskega cikla sta odvisna od konkretnega primera. Pri tem je treba ponovno opozoriti, da so nekatere aktivnosti takšnega tipa, da se pojavljajo samo v eni ali dveh fazah življenjskega cikla, spet druge pa se pojavljajo v večini faz.

Vzemimo za primer aktivnost “izdelava specifikacij”. Čeprav bi pričakovali, da se bo pojavila le v fazi “specificiranje” jo v resnici delno srečamo že v fazi opredelitev zahtev, kjer neke zahteve prerastejo že v zamisli rešitev, potem pa pri načrtovanju, izvedbi, zagonu in delovanju. V vseh teh fazah namreč prihaja do spoznanj, ki vplivajo na spremembe pri osnovnih specifikacijah sistema.

Seveda pa je res, da je relativni obseg določene aktivnosti v določeni fazi lahko zelo različen.

Eno od možnih preslikav med aktivnostmi in fazami v življenjskem ciklu prikazuje Tabela 5.1.

Z oznakami v tabeli je podan možen relativni obseg aktivnosti za nek konkretni (tipični) projekt. Seveda bi lahko bila preslikava za nek drug projekt drugačna.

V tabeli lahko vidimo, da se aktivnosti upravljanja in vodenja pojavljajo v vseh fazah

življenjskega cikla, zato jih bomo na kratko opisali v nadaljevanju tega podpoglavja. Razvojne aktivnosti in aktivnosti delovanja pa bomo podrobneje opisali v okviru posameznih faz življenjskega cikla v naslednjih podpoglavjih.

Tabela 5.1. Primer preslikave aktivnosti v faze (v tabeli je podan relativni obseg določene aktivnosti v določeni fazi)

AKTIVNOSTI	FAZE RAZVOJA (nastajanja)				FAZE DELOVANJA (uporabe)		
	OZ	SP	NA	IZ	ZA	OB	UP
razvojne aktivnosti							
• analiza potreb in definicija zahtev	zelo velik	majhen	zelo majhen	zelo majhen	zelo majhen	majhen	/
• izdelava specifikacij	majhen	zelo velik	majhen	zelo majhen	zelo majhen	majhen	/
• izdelava načrtov	/	majhen	zelo velik	majhen	zelo majhen	majhen	/
• nabava, izdelava in integracija podsistemov	/	zelo majhen	majhen	zelo velik	majhen	majhen	/
aktivnosti delovanja							
• zagon in uvajanje	/	/	/	zelo majhen	zelo velik	zelo majhen	/
• delovanje	/	/	/	/	majhen	zelo velik	/
• podpora	/	/	/	/	majhen	zelo velik	/
• upokožitev	/	/	/	/	/	/	zelo velik
aktivnosti upravljanja							
• planiranje projekta	zelo velik	velik	srednji	srednji	majhen	majhen	velik
• organizacija projekta	srednji	zelo velik	velik	velik	velik	majhen	velik
aktivnosti vodenja							
• vodenje in nadzor projekta	majhen	velik	zelo velik	velik	majhen	majhen	velik
• zagotavljanje kvalitete	velik	velik	velik	velik	velik	velik	velik
• verifikacija in vrednotenje	velik	velik	velik	velik	velik	velik	/
• upravljanje konfiguracije	srednji	srednji	srednji	srednji	majhen	majhen	/

Oznake faz: OZ - opredelitev zahtev; SP – specificiranje; NA – načrtovanje; IZ – izvedba; ZA – zagon; OB – obratovanje; UP – upokožitev

Aktivnosti upravljanja in vodenja

Ta segment aktivnosti spada v zelo široko področje vodenja projektov, ki je večini inženirjev dobro znano, zato se ga bomo v tem delu le na kratko dotaknili.

Aktivnosti upravljanja

Aktivnosti upravljanja so tiste aktivnosti, ki postavljajo časovne, finančne, kadrovske, ekonomske, pravne in druge okvire za uspešno realizacijo projekta. Med najpomembnejše spadata planiranje projekta in organiziranje projekta.

- **Planiranje projekta**
Planiranje projekta je aktivnost, ki je ključno povezana z življenjskim ciklom sistema. V fazi planiranja namreč določimo faze in mejnike v projektu ter na ta način izberemo obliko življenjskega cikla. Temu primerno razvrstimo ustrezne aktivnosti ter kot rezultat dobimo bolj ali manj razgrajen plan in urnik projekta.
- **Organiziranje projekta**
Organiziranje projekta je aktivnost, ki je komplementarna planiranju. V okviru te aktivnosti je poudarek na alokaciji kadrovskih in finančnih resursov, organizaciji tima, ki bo izvajal projekt, itd.

Aktivnosti vodenja

Smisel teh aktivnosti je zagotoviti, da bo sistem narejen v skladu s funkcionalnimi zahtevami, tehničnimi zahtevami, organizacijskimi zahtevami, zahtevami za zagon in uporabo, zahtevami, glede kvalitete in zahtevami glede poteka projekta. Med najpomembnejše spadajo vodenje in nadzor projekta, zagotavljanje kvalitete, upravljanje konfiguracije, verifikacija in vrednotenje (validacija).

- **Vodenje in nadzor projekta**
Ta aktivnost zajema spremljanje plana glede rokov, stroškov, obsega aktivnosti, skladnosti z zahtevami, itd., ter sprožanje potrebnih korektivnih akcij.
- **Zagotavljanje kvalitete**
V okviru te aktivnosti gre za organizacijske, administrativne in tehnične ukrepe, ki ob uporabi metod in načrtov za preverjanje kvalitete ter ustreznih orodij in pripomočkov zagotavljajo, da bo kvaliteta izdelka v skladu z zahtevami.
- **Verifikacija in vrednotenje**
Ti dve aktivnosti sta zelo tesno povezani s prejšnjo aktivnostjo.

Verifikacija pomeni preverjanje ali je sistem oz. določena stopnja v evoluciji sistema narejena v skladu s specifikacijami. Vrednotenje pa pomeni preverjanje ali sistem ustreza svojemu namenu oziroma potrebam. Poenostavljeno lahko oba pojma opredelimo takole:

Verifikacija: Ali ta sistem prav delamo?

Vrednotenje: Ali delamo pravi sistem?

- Upravljanje konfiguracije
Ta aktivnost zagotavlja, da so spremembe funkcionalnih in drugih karakteristik sistema (proizvoda) skozi faze njegovega razvoja nadzorovane, in da je končni rezultat v skladu s specificiranimi zahtevami.

Vidimo torej, da se aktivnosti upravljanja in vodenja pri izgradnji in uporabi sistemov za vodenje po svoji vsebini prav nič ne razlikujejo od enakih aktivnosti pri izvajanju drugih projektov. Specifika pa nastopi pri razvojnih aktivnostih, ki jih bomo opisali v okviru posameznih faz življenjskega cikla v nadaljevanju tega poglavja.

5.2 Opredelitev zahtev (konceptualno načrtovanje)

Začetni del te faze je analiza potreb. Potrebe izhajajo iz uporabnikovih problemov in ciljev ter njegove želje, da bi s sistemom za vodenje svoje probleme rešil oziroma dosegel cilje, ki si jih je zastavil.

Analiza potreb je potrebna zato, da ugotovimo ali gre za dejanske potrebe ali le za seznam želja, ter da natančno identificiramo cilje in probleme, ki jih želimo reševati.

Šele ko je to jasno, se lahko lotimo opredelitve zahtev. V zahtevah bomo definirali kaj naj sistem dela, da bo zadovoljil potrebe.

V skladu s smernicami nemških strokovnih združenj inženirjev elektrotehnikov VDI/VDE (VDI/VDE 3694, 1991), glede zahtev in specifikacij pri razvoju sistemov za avtomatizacijo, so v dokumentu "Opredelitev zahtev" (nemško: "Lastenheft", angleško: "system requirements") zbrane vse zahteve naročnika v zvezi z obsegom dobav in zmogljivostmi predvidenega sistema za računalniško podprto vodenje. V njem morajo biti opisane vse zahteve, skupaj z robnimi pogoji, *s stališča uporabnika*, in sicer na tak način, da jih je mogoče opredeliti in preveriti tako glede količin, kakor tudi glede kakovosti.

Dokument "Opredelitev zahtev" določa *KAJ* je treba narediti in *ZAKAJ*. Poudarek je torej na ciljnih in namenu sistema ter na funkcijah, s katerimi bomo ta namen dosegli. Dokument lahko izdelata naročnik sam, lahko pa ga izdelata neodvisna skupina strokovnjakov, ki pri izdelavi tesno sodeluje z naročnikom. Dokument služi kot podlaga za razpis, za ponudbo in/ali pogodbo.

Dokument "Opredelitev zahtev" naj bi praviloma zajemal naslednje elemente.

5.2.1 Uvodni del

V uvodnem delu je treba najprej opredeliti kakšen je *povod* ali kaj je glavni vzrok za pristop k izdelavi računalniško podprtega sistema za vodenje in za katero napravo, sistem oz. proces gre.

V nadaljevanju je treba definirati *cilje* investicije (npr. povečanje zmogljivosti, izboljšanje kvalitete, povečanje zanesljivosti obratovanja, zmanjšanje obremenitev okolja, itd.) ter izoblikovati merila za vrednotenje stopnje doseganja ciljev.

Naslednji element, ki ga je treba opredeliti je *okolje projekta*, oziroma okolje, kjer se bo sistem uporabljal. V tem delu je predstavljen naročnik oziroma investitor, njegova proizvodnja, nekateri tehnični vidiki naprave oz. sistema, ki ga mislimo računalniško podpreti ter ekonomski in organizacijski vidiki investitorja oz. projekta.

Sledi opredelitev glavnih funkcij računalniško podprtega sistema za vodenje ter definiranje projekta, s katerim jih bomo realizirali, skupaj z ustreznimi termini, osebjem in stroški.

Pomemben del uvoda predstavlja tudi opredelitev koristi in stroškov predvidenega sistema za vodenje ter izračun rentabilnosti investicije.

Uvodni del hkrati predstavlja tudi povzetek.

5.2.2 Analiza obstoječega stanja

Analiza obstoječega stanja se navadno začne s *podrobnejšim opisom tehničnega procesa*, sistema ali naprave, ki jo mislimo nadgraditi z računalniško podprtim sistemom za vodenje, z opisom njenega rednega obratovanja ter tudi izrednih situacij, nepravilnosti, itd.

Sledi *opis dosedanjega načina vodenja* oziroma obstoječega sistema za vodenje.

Ker je vsak sistem za vodenje integriran v organizacijsko strukturo, je potrebno opredeliti tudi *organizacijo podjetja* s poudarkom na organizacijski strukturi, organizaciji poteka del, organizaciji obratovanja ter organizaciji poročanja.

Sledi *opis okvirne količine in vrste podatkov*, ki se izmenjujejo, njihov način prenosa, zaščita, itd.

5.2.3 Funkcionalne zahteve

V okviru te točke so opredeljene zahteve za *posamezne funkcije* (funkcionalne zahteve) računalniško podprtega sistema za vodenje.

Kot smo omenili v prejšnjem poglavju je najbolj naravno, da funkcije strukturiramo v skladu s problemsko domeno, na kateri delamo, oziroma ustrezno fizični strukturi procesa, ki ga želimo voditi.

Po določitvi ustreznih izhodnih rezultatov določimo potrebne vhodne podatke in ustrezne obdelave. Rezultate lahko podamo na način kot to kaže Tabela 5.2.

Pri tem funkcija 1 npr. pomeni vodenje sušenja, funkcija 2 vodenje transportnega traku, itd.

Kaj naj bi posamezna funkcija delala je v tej fazi navadno podano v tekstovni obliki.

Tabela 5.2. Strukturiranje funkcij

	Vhodi	Obdelave	Izhodi
funkcija 1			
funkcija 2			
funkcija n			

Poglejmo si primer.



Primer 5.1: Funkcionalne zahteve podane v tekstovni obliki

Na Sl. 5.3 je podan opis dela zahtev za funkcijo izračuna, prikazovanja in shranjevanja integrala masnega in volumskega pretoka suspenzije TiO_2 v okviru postopka "vodenje filtracije".

<p><i>Iz signala volumskega pretoka (FT91018) in gostote na pranju 1 (DT94501) se izračuna masni pretok. Računa se integral masnega pretoka ter integral volumskega pretoka. Izračunani podatki se prikazujejo v oknu, ki se odpre ob kliku na senzor pretoka. Okno vsebuje naslednje informacije:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>integrali volumskega in masnega pretoka za vse tri izmene (meje izmen so podane s parametri), podatek za posamezno izmeno se resetira na 0 ob ponovnem pričetku iste izmene; v zgodovino se shranjujejo podatki za preteklih deset dni.</i> • <i>časovno neomejeni integral masnega pretoka z možnostjo reseta od strani tehnologa; v zgodovino se shranjujejo podatki za preteklih deset integralov ob resetu</i> • <i>časovno neomejeni integral masnega pretoka brez možnosti reseta</i>

Sl. 5.3. Primer funkcionalnih zahtev



Opredelitvi funkcij je treba dodati še opis poteka delovanja posameznih funkcij tako pri rednem obratovanju kot tudi pri obratovanju v posebnih pogojih.

Temu sledi še opis vrste in okvirne količine podatkov, ki jih predvidevamo, ko bomo implementirali nov sistem.

5.2.4 Zahteve po vmesnikih

Ugotovili smo že, da je računalniško podprti sistem za vodenje sestavljen iz računalniškega sistema v ožjem smislu in okolja. Zato enega od ključnih elementov v takem sistemu predstavljajo vmesniki oz. povezave, ki definirajo način povezave računalnika z okoljem.

V najširšem pomenu te besede gre za vmesnike na naslednjih nivojih:

- a) proces - računalnik (to je nivo senzorjev, aktuatorjev, ožičenja, itd.);
- b) človek - računalnik (to so naprave za komunikacijo s človekom);
- c) računalnik - računalnik (v večračunalniškem sistemu);
- d) uporabniški program – računalnik;
- e) uporabniški program - uporabniški program.

5.2.5 Tehnične zahteve

Tehnične zahteve se nanašajo na več segmentov. Prvi obsega zahteve, ki so povezane z *obdelavo podatkov* in opredeljujejo npr. pogostost zajemanja podatkov, ločljivost, dovoljeno napako, itd., oziroma realizacijo posameznih funkcij in opredeljujejo npr. dovoljeni prevzpon ali maksimalni umiritveni čas, če je funkcija regulacija.

Drugi segment se nanaša na *shranjevanje podatkov*, opredeljene pa morajo biti zahteve glede porazdelitve podatkov, dostopnosti, varovanja, arhiviranja, upravljanja arhiva, itd.

Tretji segment opredeljuje zahteve glede *programske opreme (SW)*. Definirati je potrebno kakšno sistemsko programsko opremo potrebujemo, kakšna bi naj bila uporabniška programska oprema, kakšne programske jezike potrebujemo, vrsto in kvaliteto orodij za razvoj programske opreme, ki jih je potrebno nabaviti ter standarde za razvoj programske opreme, ki se jih bo potrebno držati.

Četrti segment predstavlja *materialno opremo (HW)*. Potrebno je opredeliti lastnosti posameznih modulov ali večjih sklopov materialne opreme glede na zahtevnost funkcij, ki jih bodo morale realizirati in način medsebojne povezave.

V naslednjem segmentu je potrebno opredeliti zahteve glede *okolja sistema*. V tem okviru gre predvsem za klimatske, mehanske in električne pogoje, ter pogoje za delo človeka (komandni pult, komandna soba, sedeži za operaterja, osvetlitev, itd.).

Na koncu pa je treba podati *tehnične značilnosti celotnega sistema* kot so npr. podatki o zmogljivosti, neobčutljivost na motnje, obnašanje pri staranju, itd.

5.2.6 Organizacijske zahteve

Nov sistem za vodenje bo vplival tudi na spremembo organizacije dela ter spremembo vsebine in obsega dela določenih ljudi. Zato je treba v tej fazi jasno definirati kakšne so

zahteve glede nove organizacije dela, kako bodo sestavljene skupine operaterjev, kakšna bo vsebina dela operaterjev, kakšna bo nova vloga tehnologov, itd.

5.2.7 Zahteve za zagon in uporabo

Tudi zahteve za zagon in uporabo obsegajo več delov.

Eden najpomembnejših delov so zahteve glede *dokumentacije*. Urejenost na tem področju je ključna za uspeh celotnega projekta, zato je treba že v tej fazi predvideti vrste dokumentacije, obseg dokumentacije, način priprave in dopolnjevanja, itd.

Naslednji del, ki ga je prav tako potrebno obdelati, je način *sestavljanja in vgradnje* oziroma montaže sistema. Pomembno je kam bomo sistem vgradili, kako ga bomo vgrajevali, kaj vse zato potrebujemo, itd.

Na podoben način je treba predvideti kako bo potekal *zagon*. Potrebujemo plan zagona, omejitvene in varnostne pogoje, razgraditev načina obratovanja ročno/avtomatsko pri zagonu, itd.

Zagonu sledi *poskusno obratovanje in prevzem*. V zahtevah je treba predvideti kakšni bodo pogoji obratovanja, kako bodo delovali operaterji, po kakšnem načrtu bo potekal prevzem, kakšni bodo pogoji prevzema, itd.

Eden od ključnih elementov, ki vpliva na uspešnost projekta je ustrezno *šolanje*. V zahtevah je potrebno opredeliti način in obseg šolanja za operaterje, razvojne inženirje, tehnologe, vzdrževalce, itd.

Z uvedbo novega sistema za vodenje se običajno bistveno spremeni *potek obratovanja*. Zato je treba opredeliti potek obratovanja, postopke pri motnjah, zagon in zaustavitev, zasilno obratovanje, itd.

Če hočemo, da bo sistem deloval kvalitetno in učinkovito, ga moramo podpreti z ustreznim konceptom *vzdrževanja sistema in dopolnjevanja programske opreme*. Odločiti se je potrebno za strategijo vzdrževanja (domače storitve, zunanje storitve), definirati ukrepe pri nastopu napak, predvideti ustrezno vzdrževanje verzij programske opreme, način njenega dopolnjevanja, itd.

5.2.8 Zahteve glede kvalitete

Če želimo doseči določeno stopnjo kvalitete računalniško podprtega sistema za vodenje, moramo zagotoviti kvaliteto njegovih elementov in seveda primeren način povezav v celoto. Zagotavljati je torej potrebno kvalitetno materialno opremo (vključno s senzorji in aktuatorji), kvalitetno programsko opremo, kvalitetno okolje ter usposobljene in dobro organizirane ljudi, ki delajo s sistemom.

V ta namen je treba pri zahtevah opredeliti *značilnosti (vidike) kvalitete* (npr. zanesljivost,

razpoložljivost, itd.), način *zagotavljanja kvalitete* ter način *dokazovanja kvalitete*.

5.2.9 Zahteve glede poteka projekta

Eden od vidikov zagotavljanja kvalitete nekega sistema, ki ga načrtujemo in realiziramo je kvalitetno organiziranje in izvajanje celotnega projekta. Zato je v zahtevah potrebno opredeliti način *organiziranja projekta* in *način izvajanja*. Dodatno k temu pa je posebej pomembno tudi *upravljanje konfiguracije* (configuration management), tako na področju dokumentacije kot materialne in programske opreme. Če tega nimamo na primeren način urejenega, lahko pride do velikih napak ali ogromne izgube časa (npr. da se piše programska oprema po starih - ne več veljavnih - verzijah specifikacij).

5.2.10 Varnostne in ekološke zahteve

Večina sistemov za vodenje procesov predstavlja kombinacijo relativno avtonomno delujočega tehničnega dela in človeka kot nadzornika, izvrševalca nekaterih ukrepov in tistega, ki sprejema najzahtevnejše odločitve. V taki kombinaciji je povsem normalno, da lahko prihaja do napak ali nepredvidenih situacij, katerih posledica je ogrožanje varnosti človeka in onesnaževanje okolja. Da bi s primernim načrtovanjem in izvedbo sistema za vodenje te nevarnosti lahko zmanjšali na minimum, je potrebno pripraviti zelo jasne varnostne in ekološke zahteve.

5.3 Specifikacije (preliminarno načrtovanje)

Specifikacije (angleško: system specifications; nemško: Pflichtenheft) izhajajo iz zahtev, pri čemer so podatki iz zahtev podrobneje razgrajeni. Specifikacije določajo *KAKO* in *S ČIM* (s kakšnimi sredstvi, gradniki, funkcijami) je treba izvesti zahteve. To je "dokončna" opredelitev načinov za izvedbo sistema za vodenje.

Če so bile zahteve praviloma neodvisne od načina reševanja problema, so specifikacije praviloma že odvisne od konkretne opreme določenega proizvajalca.

V specifikacijah so običajno zajeti naslednji segmenti:

5.3.1 Specifikacije funkcij

Gre za podrobnejšo razgraditev funkcij kot je bila tista v opredelitvi funkcionalnih zahtev, predvsem pa je potrebno natančno definirati, kako bomo posamezne funkcije izvedli (algoritmi, postopki), s kakšnimi podatki bodo delale in kateri podatki bodo rezultat teh funkcij. V okviru specifikacij funkcij je glavno mesto za opredelitev algoritmov vodenja, zato potrebujemo metode in orodja s področja analize, sinteze, simulacije, itd., ki so podrobneje opredeljene v sedmem poglavju

V okviru specifikacije funkcij je potrebno torej detajlno opredeliti mehanizme, po katerih

posamezne funkcije delujejo. To velja seveda predvsem v primeru, ko implementiramo nove funkcije oziroma funkcije, ki so nestandardne, in so zelo odvisne od konkretnega procesa, ki ga podpiramo z računalniškim vodenjem.

V primeru uporabe standardnih funkcij (npr. prikazi, enostavne regulacije, protokoliranje, itd.), ki so sestavni del na trgu dobavljivih gradnikov za sisteme vodenja, je treba na tem mestu predvsem predvideti potrebne dopolnitve ali prilagoditve teh funkcij, oziroma opredeliti način realizacije funkcij s pomočjo obstoječih gradnikov.

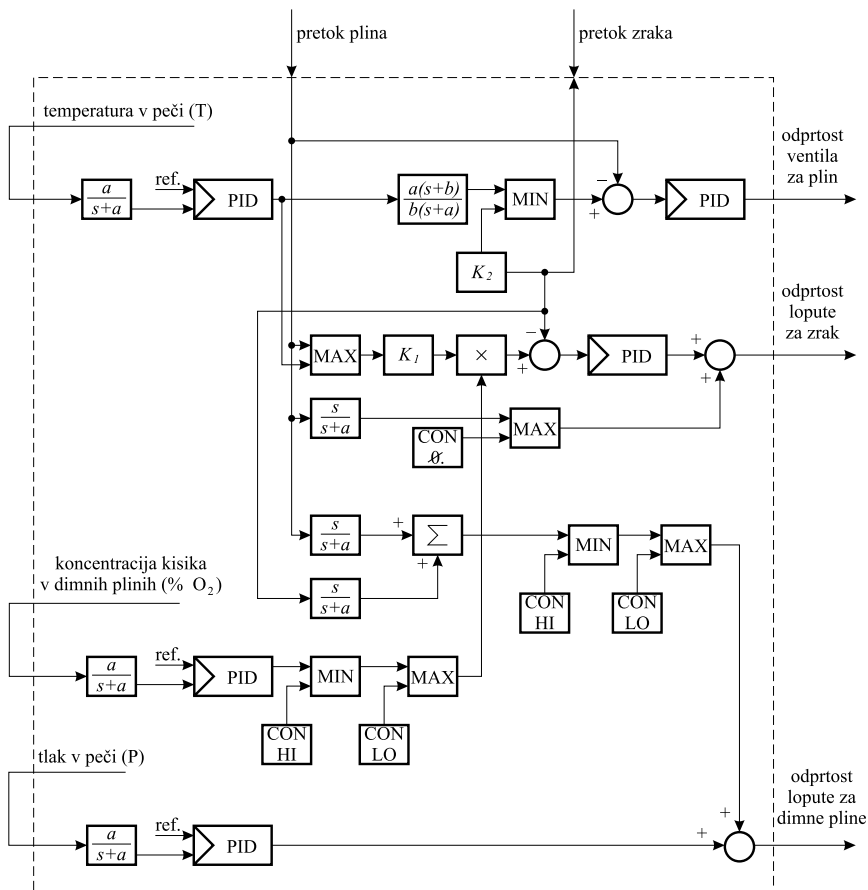
Natančno je potrebno opredeliti vse načine delovanja sistema za vodenje, še posebej pa je treba v specifikacijah ločeno razgraditi scenarij za redno obratovanje procesa in scenarij za moteno ali zasilno obratovanje.

Funkcije, ki smo jih opredelili na ta način predstavljajo osnovo za izvedbo aplikativne programske opreme.

Za ilustracijo si oglejmo primer specifikacije funkcij.

▽

Primer 5.2: *Specifikacije funkcij regulacije zgorevanja v steklarski peči*



Sl. 5.4. Specifikacije regulacije zgorevanja v steklarski peči

Na Sl. 5.4 vidimo primer specifikacij funkcij regulacije zgorevanja v steklarski peči, ki so podane v obliki bločnega diagrama. Regulirati je potrebno temperaturo (T) in tlak (P) v talilni peči ter delež kisika v dimnih plinih (%O₂).

Regulacijska shema je nastala na osnovi razvoja matematičnega modela steklarske peči in z uporabo različnih metod za analizo in načrtovanje algoritmov za vodenje, vgrajenih v enega od paketov za računalniško podprto načrtovanje vodenja (Šega, Strmčnik, 1993).

Shema s pripadajočimi algoritmi za posamezne bloke je predstavljala osnovo za implementacijo regulacije na ciljnim računalniku.

Δ

5.3.2 Koncept in struktura sistema ter alokacija funkcij

Če smo se v okviru analize potreb in postavitve zahtev ter pri opredeljevanju funkcionalnih

specifikacij ukvarjali predvsem z namenom, funkcijami in mehanizmi delovanja bodočega sistema za vodenje, potem je v nadaljevanju specifikacij poudarek predvsem na opredelitvi njegove strukture.

Opredelitev strukture sistema pomeni podrobnejšo zamisel o logični arhitekturi in fizični realizaciji.

Konkretno to pomeni, da moramo opredeliti elemente in njihove medsebojne povezave za vsakega od petih ključnih strukturnih podsistemov sistema za vodenje (merilnega sistema, izvršnega sistema, komunikacijskega sistema, računalniških in drugih naprav, človeka) ter definirati tudi povezave med vsemi podsistemi.

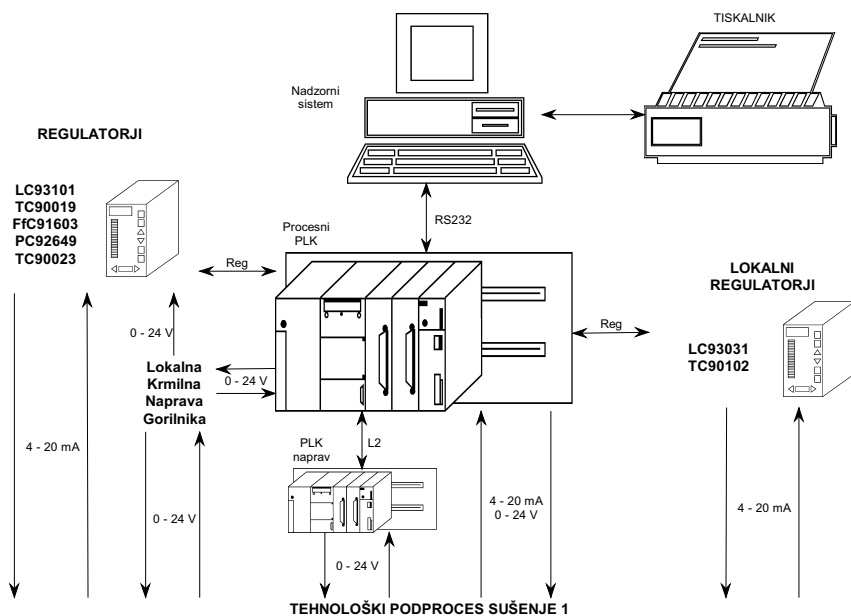
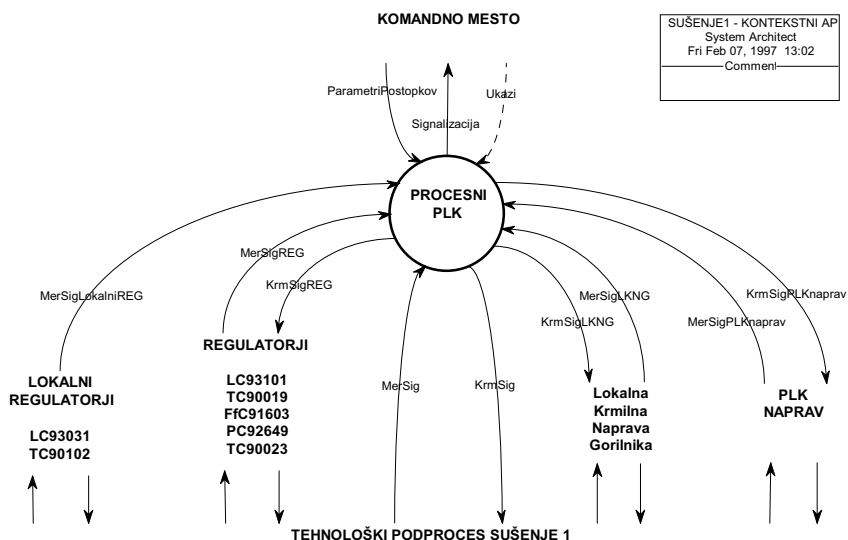
Rezultat je logična struktura (arhitektura) in njej ustrezna fizična struktura sistema, ki kaže, preko katerih logičnih oz. fizičnih enot se bodo izvajale funkcije.

To seveda pomeni, da moramo v fazi postavljanja strukture tudi natančno opredeliti alokacijo funkcij po delih sistema (kje se bo katera od funkcij izvrševala) in delitev funkcij ali opravil med človekom in ostalim delom sistema za vodenje. S to delitvijo seveda opredeljujemo stopnjo avtomatiziranosti sistema za vodenje. Poglejmo si primer logične in fizične strukture sistema za vodenje.

∇

Primer 5.3: *Struktura sistema za vodenje tehnološkega procesa sušenja*

Sl. 5.5 prikazuje primer strukture sistema za vodenje tehnološkega procesa sušenja. Struktura je najprej podana s pomočjo kontekstnega diagrama (gornja shema), nato pa je preslikana še v ustrezno fizično strukturo (spodnja shema).



Sl. 5.5. Logična in fizična struktura sistema za vodenje tehnološkega procesa sušenje v proizvodnji titanovega dioksida

△

5.3.3 Specifikacije računalniške opreme in merilno-regulacijske instrumentacije

Zgradba sistema v današnjih časih v veliki meri temelji na uporabi standardnih, na trgu dosegljivih gradnikov. Zato je v tej fazi izmed širokega nabora možnosti treba izbrati tisto opremo, ki bo zagotavljala funkcionalno in električno kompatibilnost naprav, ustreznost tehničnim in drugim zahtevam ter seveda primerno ceno.

Rezultat tega dela je seznam opreme strukturirane po vrstah (npr. računalniki, merilniki, krmilniki, terminali, senzorji, aktuatorji, regulatorji, itd.), namenu, tipih, funkcionalnih in tehničnih karakteristikah, itd. Ti sezname predstavljajo osnovo za nakup opreme oziroma pogajanje s potencialnim dobaviteljem opreme.

5.3.4 Specifikacije systemske in standardne uporabniške programske opreme

Ko velja za materialno opremo, je potrebna natančnejša opredelitev tudi na področju programskih gradnikov.

Potreben je izbor operacijskega sistema, servisnih in pomožnih programov, programskih jezikov, standardne uporabniške opreme (npr. standardni programski paketi za vodenje in nadzor), opredelitev vmesnikov do že obstoječe programske opreme uporabnika, itd.

5.3.5 Specifikacije sistemov okolja

Sistem vodenja deluje v fizičnem okolju, zato je potrebno opredeliti tudi elemente tega okolja. Med te elemente spadajo predvsem fizične lokacije za naprave sistemov za vodenje in človeka, ki je del tega sistema. To so lokacije ob posameznih napravah in strojih in centralne lokacije (komandne sobe), v katerih so razporejeni deli sistema za vodenje, njihov osnovni namen pa je zagotovitev ustreznega delovnega mesta za ljudi. V okviru specifikacij moramo opredeliti mesto in okvirno velikost teh prostorov.

Poleg navedenega pa je potreben tudi izbor oz. opredelitev sistema klima naprav, napajalnih naprav (npr. brezprekinitveno napajanje), sistema za napajanje pnevmatike (če jo imamo), itd.

5.3.6 Specifikacije organizacije dela

Kot smo videli pri opredeljevanju koncepta in strukture sistema vedno del funkcij sistema za vodenje opravljajo ljudje. Opravljanje teh funkcij pa zahteva ustrezno organizacijo dela.

Če v že obstoječe poslovanje uvajamo nov sistem vodenja, si je v tem delu specifikacij treba zamisliti, kakšna bo spremenjena organizacija dela in kakšna bo spremenjena vloga posameznih ljudi (operaterjev, tehnologov, vzdrževalcev, itd.) v celotnem sistemu za vodenje.

Če pa gre za sistem vodenja, ki se postavlja hkrati z novo napravo ali novim postrojenjem, potem je seveda ustrezna organizacija dela bistveni sestavni del nove tehnologije dela in že mora upoštevati elemente, ki se nanašajo na delo sistemov za vodenje.

5.4 Načrtovanje (detajlno načrtovanje)

V okviru te aktivnosti je treba izdelati načrte za posamezne segmente računalniško podprtega sistema za vodenje do take mere, da je na njihovi osnovi mogoča izvedba sistema. To seveda pomeni, da je obseg načrtovanja lahko zelo različen in je odvisen od tega, v koliki meri gradimo sistem s standardnimi gradniki, ki so dobavljivi na trgu, kje pa smo morebiti vezani na lasten razvoj.

Po drugi strani pa tudi drži, da je obseg načrtovanja odvisen tudi od globine specifikacij. Včasih so specifikacije že tako natančno narejene, da posebna faza načrtovanja nima pravega smisla in je mogoče že na tej osnovi preiti v izvedbo. Z drugimi besedami to pomeni, da združimo faze načrtovanja in izvedbe.

Načrtovanje je mogoče razdeliti na naslednje pomembnejše segmente.

5.4.1 Načrtovanje aplikativne programske opreme

Načrtovanje aplikativne programske opreme je seveda tisti del načrtovanja, ki je v sodobnih sistemih za vodenje najbolj neposredno vezan na funkcije za vodenje. Do izraza pride predvsem pri realizaciji tistih funkcij, ki so zelo specifične ali pa takrat, ko še nimamo na razpolago standardnih gradnikov aplikativne programske opreme. V tem primeru načrti za programsko opremo temeljijo na diagramih poteka ali psevdokodi. Pri izvedbi standardnih funkcij pa je faze načrtovanja, ki bi ji sledila faza kodiranja malo. S sodobnimi programskimi okolji in gradniki je namreč določene funkcije mogoče realizirati kar z ustreznim konfiguriranjem obstoječe, na trgu dobavljive programske opreme, kot bomo to videli v poglavjih 8 in 9.

∇

Primer 5.4: *Načrt programske opreme realiziran v obliki psevdokode*

Na Sl. 5.6 vidimo primer načrta programske opreme realiziranega v obliki psevdokode.

Primer se nanaša na vodenje šaržnega procesa v proizvodnji lepil. Gre za operacijo črpanja (doziranja) kalcita iz skladišnega silosa v tehtalni silos. Podano je stanje operacije "zajemanje" (prehod iz stanja "začetno" v stanje "obratovanje") (Godena in soavtorji, 1998).

```

WAIT ( 'OC\CR.KA.X\Potrditev' ^on OR 'OC\CR.KA.X\Command' = Prekini );
IF 'OC\CR.KA.X\Command' = Prekini THEN
  'PS\CR.KA.X\State' := Prekinjeno;
  EXIT;
ENDIF;

IF 'PP\CR.KA.X\Kolicina' <= 'PP\CR.KA\MinKol' THEN
  'PS\CR.KA.X\State' := Zakljuceno;
  EXIT;
ENDIF;

'PS\CR.KA.X\State' := Zaganjanje.IntrSync;
REPEAT
  IF 'PS\Z.KA.X\State' <> [ Zacetno | Zakljuceno | Zadržano | Ustavljeno |
    Prekinjeno | Zaganjanje.<=IntrSync ] THEN
    'PS\CR.KA.X\IntrSyncWait' := IZ.KA
  ELSE 'PS\CR.KA.X\IntrSyncWait' := EmptyString ENDIF;
  CheckEquipment\CR.KA ( 'PS\CR.KA.X\EquipWait' );
  DISPATCH;
UNTIL 'PS\CR.KA.X\EquipWait' = EmptyString AND 'PS\CR.KA.X\IntrSyncWait' = EmptyString OR
  'OC\CR.KA.X\Command' = Prekini;
IF 'OC\CR.KA.X\Command' = Prekini THEN
  'PS\CR.KA.X\State' := Prekinjeno;
  EXIT;
ENDIF;

IF 'PS\KA.B1\Teza' < 'PP\CR.KA.X\Kolicina' + 'PP\KA.B1\RezKol' THEN
  'PS\CR.KA.X\Kol\TA' := on;
  'OC\CR.KA.X\KolOK' := nedoloceno;
  WAIT ( 'OC\CR.KA.X\KolOK' = DA OR 'OC\CR.KA.X\Command' = Prekini );
  'PS\CR.KA.X\Kol\TA' := off;
  IF 'OC\CR.KA.X\Command' = Prekini THEN
    'PS\CR.KA.X\State' := Prekinjeno;
    EXIT;
  ENDIF;
ENDIF;

'PS\CR.KA.X\State' := Zaganjanje.ExtrSync;
WAIT ( 'PS\ArbKA\Allocation' = [ free | BatchX ] OR 'OC\CR.KA.X\Command' = Prekini );
IF 'OC\CR.KA.X\Command' = Prekini THEN
  'PS\CR.KA.X\State' := Prekinjeno;
  EXIT;
ENDIF;
'PS\ArbKA\Allocation' := BatchX;

'PS\CR.KA.X\ZacetnaTeza' := 'ES\W1401';

'PS\CR.KA.X\State' := Zaganjanje.KrmiljenjeNprav;

'IC\MngM.CR.KA\ON' := on;
WAIT ( 'IC\MngM.CR.KA\ON' = off OR 'OC\CR.KA.X\Command' = Prekini );
IF 'OC\CR.KA.X\Command' = Prekini THEN
  'IC\MngM.CR.KA\ON' := off;
  'PS\CR.KA.X\State' := Prekinitiv;
  EXIT;
ENDIF;

'PS\CR.KA.X\State' := Obratovanje.Crpanje;

```

Sl. 5.6. Primer načrta ene od operacij v vodenju procesa proizvodnje lepil podan v obliki psevdokode

Δ

5.4.2 Načrtovanje mehanskih delov

Ta segment se nanaša predvsem na montažne omare, v katere vgradimo elektronsko in računalniško opremo, police oz. korita za polaganje ožičenja, pritrdilne elemente za vgradnjo senzorjev in aktuatorjev, načrtovanje klime in drugih infrastrukturnih naprav, itd.

5.4.3 Načrtovanje električnih povezav

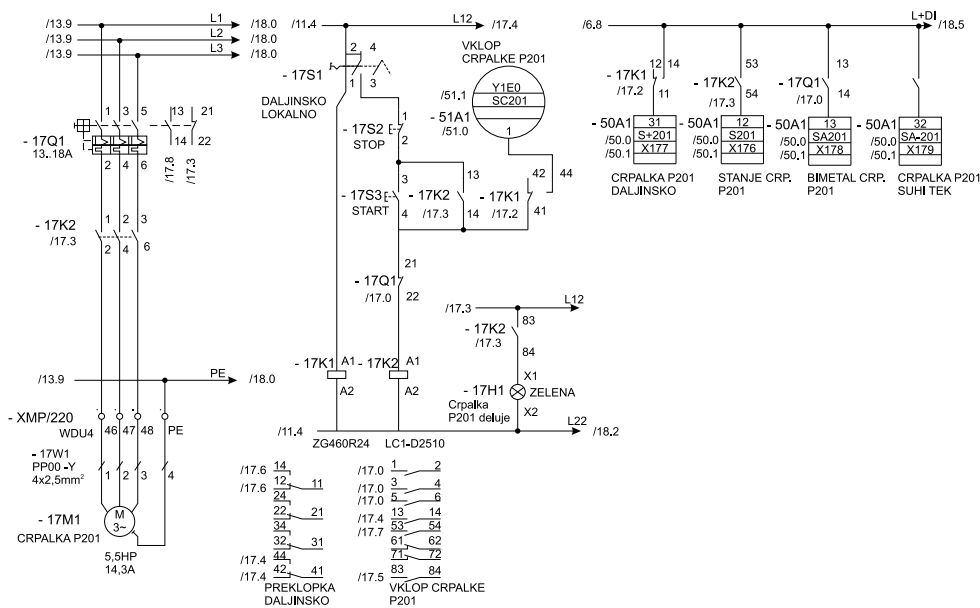
Načrtovanje električnih povezav je ena od najbolj pomembnih načrtovalskih aktivnosti. Zagotoviti mora, da so posamezne naprave sistema za vodenje (senzorji, aktuatorji, računalniki, krmilniki, regulatorji, prikazovalniki, elementi za ročne posege, itd.), ki se v splošnem nahajajo na zelo različnih fizičnih lokacijah med sabo pravilno električno povezani. Rezultat tovrstnega načrtovanja so detajlni vezalni načrti, ki omogočajo enolično montažo naprav in njihovo medsebojno povezavo.

Za ilustracijo si pogledjmo primer takšnega vezalnega načrta.

∇

Primer 5.5: Vezalni načrt za črpalko

Na Sl. 5.7 je podan natančni vezalni načrt ene od črpalk v procesu proizvodnje lepil (Kvasič, 1998), ki je bil osnova za montažo.



Sl. 5.7. Primer vezalnega načrta

Δ

5.4.4 Načrtovanje elektronskih modulov

Večina elektronskih modulov, ki jih potrebujemo pri izgradnji sodobnih sistemov za vodenje je standardiziranih in jih je mogoče dobiti na trgu. Včasih pa je kljub temu potrebno zgraditi določen specialni vmesnik, kakšen posebni merilni pretvornik prilagojen konkretnemu procesu ali kaj podobnega. V tem primeru je seveda potrebno izdelati tudi ustrezne načrte za izdelavo tovrstne opreme.

5.4.5 Načrtovanje in oblikovanje delovnih mest

Ker je človek osrednji del sistema za vodenje je treba pravilnemu načrtovanju njegovega delovnega okolja posvetiti kar največ pozornosti. Ključni objekti načrtovanja so komandna soba kot celota in njeni posamezni elementi kot npr. komandni pult, zasloni, komandni sedeži in podobno ter zagotavljanje ustreznih klimatskih pogojev, osvetlitve, protihrupne zaščite, itd.

5.4.6 Načrtovanje organizacije dela

Načrt organizacije dela pomeni podrobnejšo in konkretnejšo razgraditev tistega, kar smo predvideli že v fazi specificiranja. Bistveni sestavni del tega načrta so konkretne dolžnosti konkretnih ljudi z imeni in priimki.

Vidimo, da načrtovanja celotnega sistema za vodenje ne smemo zamenjati z načrtovanjem posamezne funkcije vodenja (npr. regulacije, krmiljenja ali nadzora). Ta del načrtovanja je sestavni del specificiranja funkcij, torej tistega dela, ki opredeljuje *kako* bo neka funkcija delovala. V tej fazi pa so posamezni algoritmi že stvar načrtovanja aplikativne programske opreme.

5.5 Izvedba (izgradnja)

Sistemi za vodenje so vgrajeni sistemi (embedded systems), kar pomeni, da so integrirani v proces, ki ga želimo voditi. Temu primeren je tudi način njihove izvedbe.

V praksi to pomeni, da je določene komponente in podsisteme mogoče nabaviti, izdelati in preizkusiti, ne da bi bilo to neposredno vezano na proces, ki ga vodimo. Pri tem je do neke mere možno sistem vodenja integrirati in preizkušati v laboratorijskem okolju, končna izvedba sistema pa je vezana na vgraditev v opremo oziroma okolje procesa, za katerega smo sistem vodenja načrtovali. V tem smislu lahko najpomembnejše aktivnosti, ki potekajo znotraj faze izgradnje sistema, razdelimo v tri večje skupine.

5.5.1 Nabava, izdelava in testiranje posameznih podsistemov

V okviru *nabavnih aktivnosti* je potreben nakup in dobava vse standardne opreme, ki smo jo navedli v specifikacijah. To pomeni, da gre po eni strani za računalniško materialno opremo in merilno-regulacijsko instrumentacijo, po drugi strani pa za sistemsko in standardno uporabniško programsko opremo. Temu je treba dodati še sisteme, ki bodo zagotavljali kvalitetno okolje oziroma infrastrukturo za delo sistema za vodenje. Pri nakupih je zelo važno, da dosežemo potrebno usklajenost dobav s potekom del na projektu. To je še posebej važno za tiste elemente in podsisteme, ki so fizično vgrajeni v same procesne naprave, tako kot to velja za senzorje in aktuatorje. Tu je potrebna popolna usklajenost s planom izvedbe oziroma dopolnitve tehnološkega procesa.

Pravilno planiranje nabave je pomembno tudi iz ekonomskih in logističnih vidikov, saj nam lahko prihrani precej denarja in težav s skladiščenjem.

Aktivnost *izdelave* se nanaša predvsem na tiste segmente, ki so specifični za sistem vodenja, ki ga načrtujemo.

Kot smo omenili že v okviru faze načrtovanja gre tu predvsem za izdelavo specifičnih mehanskih komponent, izgradnjo in opremo komandnega pulta, izdelavo specialnih elektronskih modulov in podobno.

Daleč najpomembnejši del je seveda izdelava aplikativne programske opreme. Ta izdelava obsega kodiranje programske opreme, ki smo jo sami zasnovali in konfiguriranje nabavljene standardne uporabniške opreme.

Tretja aktivnost v okviru tega dela je *testiranje* procesnih elementov in podsistemov. Znano je, da je zgodnje odkrivanje napak mnogo cenejše kot pozno, zato je treba tej aktivnosti posvetiti kar največ pozornosti.

Testiranje je v grobem mogoče razdeliti na testiranje materialne opreme in testiranje programske opreme.

Testiranje materialne opreme običajno poteka po postopkih, ki jih je predvidel že proizvajalec oziroma načrtovalec, pomagamo pa si z digitalnimi orodji, merilnimi instrumenti, napajalniki, s priročnimi simulatorji kot npr. signalnimi lučmi in stikali.

Precej zahtevnejše je testiranje programske opreme. V tej fazi je testiranje programske opreme omejeno na testiranje na razvojnem sistemu in ne še na ciljnem računalniškem sistemu, na katerem se bo uporabniški program izvajal.

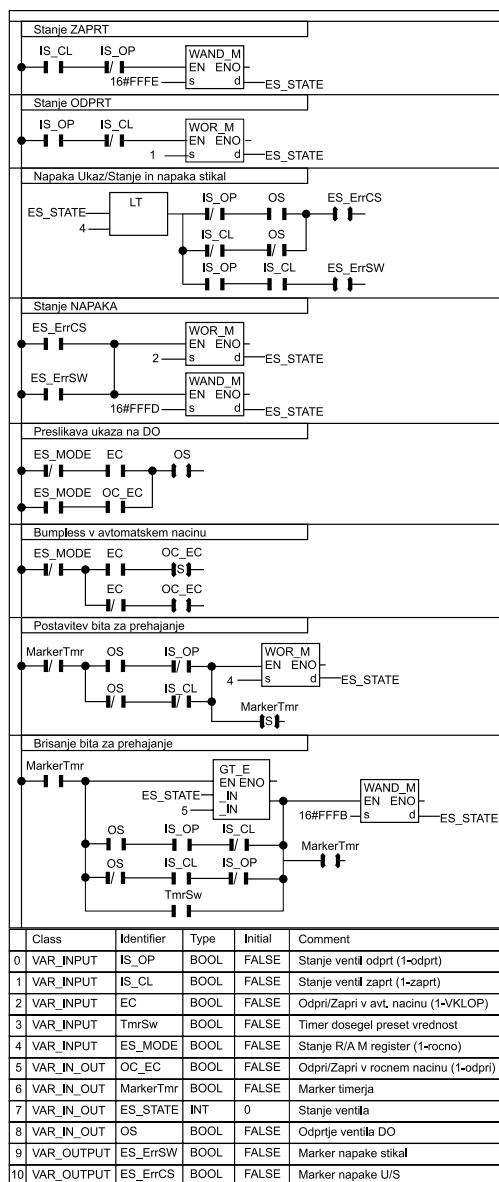
Testiranje v splošnem izvedemo s statično, dinamično ali pa tudi formalno analizo.

S *statično analizo* odkrivamo predvsem sintaktične napake, napake v črkovanju, nepravilno zaporedje stavkov, itd. Statična analiza lahko obsega ročne in avtomatske postopke.

∇

Primer 5.6: *Koda programa za krmiljenje ventila*

Na Sl. 5.8 vidimo primer, ki prikazuje del kode za programirljivi logični krmilnik napisane v jeziku MELSEC MEDOC+, ki temelji na lestvičnih diagramih. Primer se nanaša na krmiljenje enega od ventilov v procesu vodenja proizvodnje lepil (Janežič, 1998).



Sl. 5.8. Koda programa za krmiljenje ventila

Δ

Dinamična analiza je proces odkrivanja napak preko odziva programa na nabor vhodnih podatkov. Analiza obsega pripravo za izvedbo preizkusa (priprava podatkov in scenarijev), preizkus ter analizo rezultatov preizkusa (primerjava dejanskih s pričakovanimi rezultati).

Formalna analiza predstavlja uporabo rigoroznih matematičnih postopkov in jo uporabljamo pri preizkušanju algoritmov vodenja. Z njo preverjamo numerične lastnosti (npr. natančnost, stabilnost, konvergenca), učinkovitost in pravilnost algoritmov.

5.5.2 Laboratorijska integracija podsistemov

Laboratorijska integracija sistema za vodenje običajno obsega povezavo računalniških in drugih naprav, preveritev in vzpostavitev kompletnosti in električne koherence sistema, vgraditev sistemske programske opreme, preveritev in vzpostavitev kompletnosti in programske koherence sistema ter vstavitve aplikativne programske opreme. Merilni sistem, izvršni in komunikacijski sistem z izjemo nekaterih specifičnih segmentov niso vključeni v opisani sistem.

Tako integriran in preizkušen sistem je pripravljen za testiranje aplikacije oziroma laboratorijsko preizkusno delovanje sistema vodenja. Ta obsega predvsem že omenjeno dinamično analizo delovanja aplikativne programske opreme, to je proces odkrivanja napak preko študija odziva na nabor vhodnih podatkov. Pri tem se običajno zadovoljimo s simulacijo vhodov in izhodov, ki pa ne omogoča funkcionalnega preizkusa aplikacije. Problem je seveda predvsem odsotnost realnega časa, nezmožnost testiranja zank in kompleksnih funkcij, itd.

Rešitev je izgradnja (programskega) simulatorja procesa ali njegovega najbolj pomembnega dela ali pa izdelava ustrezne pilotne naprave. Ta pristop se v glavnem uporablja le pri razvoju novih tehnoloških procesov, pri obstoječih procesih pa le izjemoma, ko bi preizkušanje sistema vodenja na procesu predstavljalo preveliko nevarnost ali prevelike stroške.

To testiranje se izvaja pred dobavo sistema končnemu uporabniku, to pomeni pri dobavitelju sistema oziroma tistemu, ki ga razvija. Testiranje se običajno vrši ob prisotnosti uporabnika in v skladu z zahtevami, ki so del dokumenta "opredelitev zahtev". Običajno gre za dogovorjen postopek, ki je zapisan v testni dokumentaciji.

∇

Primer 5.7: *Testiranje materialne in programske opreme*

Sl. 5.9 prikazuje primer testiranja materialne in programske opreme predvidene za regulacijo zgorevanja v parnem kotlu. Regulacijski algoritmi so bili implementirani na mikroračunalniškem regulatorju, testiranje pa je potekalo v realnem času na simulacijskem modelu kotla, ki je bil implementiran na osebni računalniku (Bitenc in soavtorji, 1992).



Sl. 5.9. Testiranje algoritmov vodenja v realnem času z uporabo simulatorja procesa

△

5.5.3 Montaža, integracija in testiranje podsistemov na procesu

Sistem za vodenje bo dobil svojo končno obliko in topološko strukturo šele, ko ga bomo vgradili v proces, ki mu je namenjen. Že v prejšnjih fazah življenjskega cikla smo lahko ugotovili, da imamo v fizičnem smislu opravka z gradbenimi, strojniškimi in elektroinstalaterskimi deli. V tem smislu se tudi dela zelo pogosto organizirajo v obliki gradbenega projekta, strojnega projekta in elektroprojekta.

Večino gradbenih del je treba opraviti že prej, tako da v tej fazi pridejo do izraza strojne in elektroinstalacije.

Merilne sisteme, izvršne sisteme ter računalniške in druge naprave vgradi izvajalec strojnih instalacij v skladu s strojnim projektom, električne povezave (ožičenja) pa izvajalec elektroinstalacij v skladu z elektroprojektom. Pri tem je pomembno, da izvajalca strojnih in elektroinstalacij vgrajeno opremo tudi ustrezno strokovno preizkusita.

Preizkus merilnih in izvršnih sistemov običajno obsega kalibriranje ali preveritev kalibracije instrumentacije ter testiranje elementov instrumentacije na procesu (puščanje, hidrostatični in pnevmatski testi).

Preizkus električnih in signalnih povezav pa obsega enostavne teste kontinuitete in izolacije, ozemljitev, itd.

5.6 Zagon in uvajanje

Faza zagona in uvajanje sistema za vodenje je znana po tem, da je najbolj polna presenečenj in zahteva izrazito praktični ter pragmatični pristop k reševanju problemov. Kljub skrbnemu testiranju posameznih komponent in delov sistema, se običajno vedno

srečujemo z nepredvidenimi zapleti.

V tej fazi so najpomembnejše naslednje aktivnosti.

5.6.1 Dokončna integracija, ponovno testiranje in zagon sistema

Dokončna integracija predstavlja postopno povezavo vseh podsistemov v celovit sistem. Pri tem ponovno preverjamo korektnost prenosa signalov, kalibracijo tipal in izvršilnih organov, pravilnost fizikalnih vrednosti vhodnih signalov, itd. Nato pa se pristopi k postopnemu "hladnemu" in kasneje "vročemu" preizkusu posameznih funkcij.

"Hladni" preizkus funkcij lahko v veliki meri pomeni ponovitev testov, ki smo jih opravili v laboratoriju, vendar brez dejanskega vpliva iz procesa in na proces, medtem ko "vroči" preizkus pomeni, da z merilnim sistemom dobivamo prave podatke iz procesa in z izvršnim sistemom vplivamo na proces.

Postopno preverjanje funkcij je seveda zelo pomembno, saj v okviru te aktivnosti na grobo nastavimo parametre, ki definirajo njihovo delovanje.

Rezultate teh preveritev, preizkusov in nastavitvev dokumentiramo v poročilu o priključitvi sistema, ki je del tehnične dokumentacije sistema.

Ta faza se zaključi s celotnim zagonom sistema vodenja, ki obsega vzpostavitev osnovne funkcionalnosti v skladu s predvidenimi zahtevami in specifikacijami.

5.6.2 Funkcionalno prilagajanje in tehnični prevzem

Faza začetnega obratovanja je pri sistemu vodenja zelo pomembna, saj v njej dosežemo zahtevano obnašanje sistema. Zato jo imenujemo tudi faza funkcionalnega prilagajanja ali usposabljanja. Ta faza obsega optimiranje parametrov, optimiranje funkcij, spremljanje in odpravo napak in prevzemni preizkus delovanja.

Najpomembnejši je seveda prevzemni preizkus. Z njim dokažemo, da sistem deluje v skladu z zahtevami in specifikacijami. Pomemben je tako za izvajalca kot tudi za naročnika. Za izvajalca zato, da dokaže kvaliteto svojega izdelka, za naročnika pa zato, da lahko ugotovi skladnost med naročenim in realiziranim sistemom.

Prevzemni preizkus se opravi v skladu s planom prevzemnega preizkusa, ki je sestavni del zahtev.

Vse spremembe, ki so posledica funkcionalnega prilagajanja dokumentiramo in jih vključno s poročilom o rezultatih prevzemnega preizkusa vključimo v tehnično dokumentacijo sistema.

Pozitivni rezultati vseh testov posameznih delov opreme in celotnega sistema, uspešna faza funkcionalnega prilagajanja ter uspešen prevzemni preizkus so pogoj za *tehnični prevzem* sistema. Ta omogoča, da je sistem formalno sprejet, da se uporabniku predajo vsi rezultati,

da se izvrši dokončno plačilo, in da začne teči doba garancije.

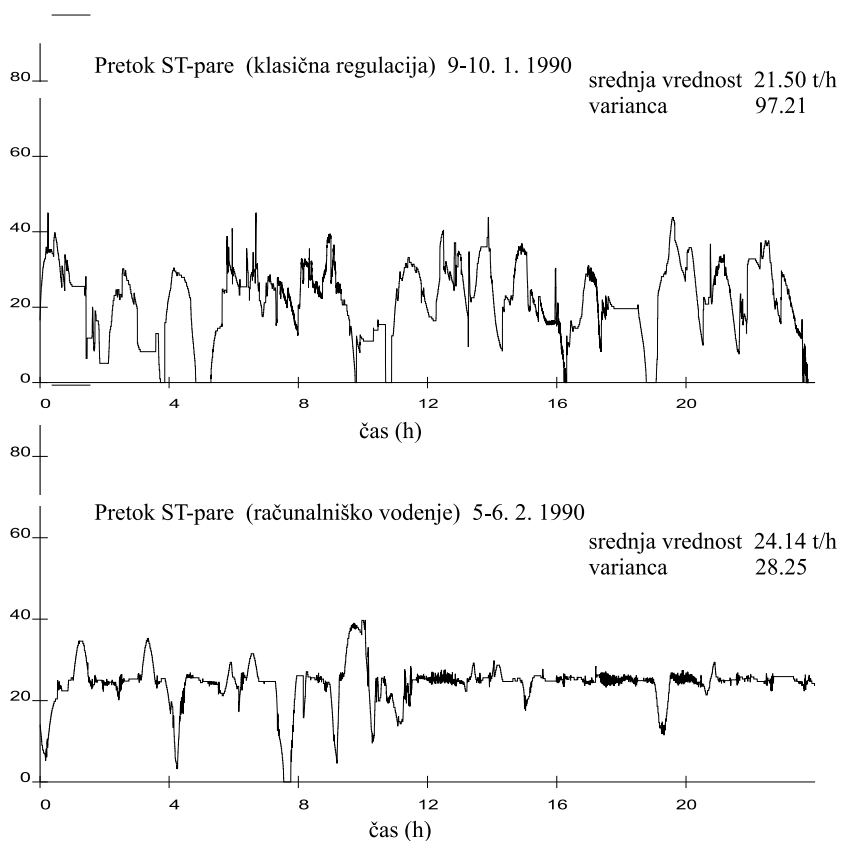
Poglejmo si primer, ki ilustrira prevzemni preizkus.

▽

Primer 5.8: Rezultati prevzemnega preizkusa

Na Sl. 5.10 vidimo rezultate prevzemnega preizkusa sistema za uravnavanje porabe pare pri šaržni proizvodnji celuloze (Petrovčič in soavtorji, 1995).

Diagram kaže skupni potek porabe pare pred instalacijo sistema za vodenje, spodnji diagram pa po instalaciji sistema za vodenje. Rezultati očitno kažejo, da je sistem dosegel svoj namen, saj je poraba pare z uporabo sistema za uravnavanje precej bolj enakomerna.



Sl. 5.10. Rezultati prevzemnega preizkusa sistema za uravnavanje pare v šaržni proizvodnji celuloze

△

5.6.3 Poskusno obratovanje

Včasih lahko fazi funkcionalnega prilagajanja sledi faza poskusnega obratovanja. V odvisnosti od vzrokov sta pomen in umestitev te faze lahko različna. Običajno faza poskusnega obratovanja sledi tehničnemu prevzemu in je njen namen (povečana) pomoč pri upravljanju sistema vodenja; obsega torej občasni nadzor in spremljanje delovanja, dodatno uvajanje operaterjev v upravljanje in vzdrževanje sistema, itd. Poskusno obratovanje je lahko povezano tudi s poskusnim obratovalnim dovoljenjem za postrojenje, ki ga sistem vodi.

Pri zahtevnih problemih vodenja pa lahko to fazo poskusnega obratovanja umestimo tudi pred tehnični pregled; v tem primeru v tej fazi spremljamo delovanje sistema, odpravljamo skrite napake in izboljšujemo lastnosti sistema.

5.6.4 Šolanje uporabnikov in vpeljava predvidene organizacije dela

Čeprav so se uporabniki s poglobitimi cilji in namenom sistema ter predvidenimi funkcijami in tehničnimi možnostmi delno spoznali že v prejšnjih fazah sistema, jih je v tej fazi potrebno izšolati, da bodo sposobni sistem obvladovati in vzdrževati. Gre predvsem za operaterje, tehnologe in vzdrževalce.

Ko so ljudje, ki predstavljajo bistveni del sistema za vodenje, ustrezno usposobljeni, je treba vpeljati predvideno organizacijo dela in jo prilagoditi dejanskim karakteristikam in sposobnostim sistema.

5.6.5 Revizija dokumentacije

Ustrezna dokumentacija je sestavni del vseh faz v življenjskem ciklu sistema za vodenje. Ker pa se sistem vodenja skozi posamezne faze spreminja, je treba dokumentacijo prilagoditi dejansko izvedenemu stanju. Govorimo o projektu izvedenih del. Korektnost tega postopka je še posebej pomembna pri dokumentiranju programske opreme, saj se nam sicer lahko zgodi, da sistema ne bomo sposobni vzdrževati.

5.7 Obratovanje

To je seveda tista faza, v kateri se realizira osnovni namen izgradnje sistema za vodenje. Slednji torej izpolnjuje svojo vlogo in s pomočjo realiziranih funkcij vodenja vodi proces. Pod obratovanjem razumemo, da sistem deluje v obsegu časa in funkcionalnosti tako, kot je bilo predvideno v specifikacijah.

5.7.1 Optimiranje delovanja

Seveda pa je potrebno in tudi smiselno lastnosti sistema za vodenje v fazi obratovanja tudi optimirati. Optimiranje je potrebno iz vsaj treh razlogov. Prvi razlog je, da sčasoma

pridobimo več znanja in veščin o ravnanju s sistemom, zato obstaja večja verjetnost, da bomo bolje nastavili parametre različnih funkcij kot pa je bilo to ob zagonu in poskusnem obratovanju.

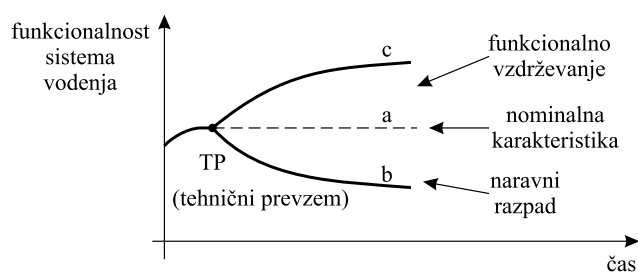
Drugi razlog pa so nenehne spremembe, ki se dogajajo v procesu. Parametri funkcij (npr. regulacije), ki so povsem ustrezali v času poskusnega obratovanja, so lahko ob prvi večji spremembi v procesu (npr. remontu) povsem neustrezni. Po nekaterih analizah npr. več kot 50% regulacijskih zank zaradi navedenega razloga ne deluje dobro ali pa sploh ne deluje. Zato je treba stalnemu optimiranju sistema posvetiti veliko pozornost, saj bo sicer njegova učinkovitost in kvaliteta padla.

Učinkovitost in kvaliteta sistema v fazi obratovanja pa nista odvisni samo od optimiranja ampak predvsem od različnih podpornih funkcij. Med njimi je najpomembnejše *vzdrževanje*.

5.7.2 Vzdrževanje

Funkcionalnost sistema vodenja v dobi obratovanja je odvisna predvsem od načina, kako sistem vzdržujemo.

Prostor možnosti spreminjanja funkcionalnosti sistema vodenja v dobi obratovanja vidimo na Sl. 5.11.



Sl. 5.11. Shematski prikaz razvoja funkcionalnosti sistema v obratovanju

Ob vzpostavitvi funkcionalnosti, to je ob tehničnem prevzemu (točka TP), ima sistem *nominalne karakteristike* funkcionalnosti, določene v investicijskem programu (črtkana premica a).

Krivulja b ponazarja *naravni razpad* funkcionalnosti sistema vodenja z enostavnim vzdrževanjem operabilnosti sistema, brez funkcionalnega vzdrževanja. To je posledica dveh procesov: po eni strani brez posluževanja odpovedujejo kompleksnejše funkcije vodenja oziroma sposobnost njihove uporabe s strani upravljavcev; po drugi strani pa se s časom proces, ki ga vodimo spreminja, s tem pa se dejanska točka optimuma odmika od projektirane točke optimuma.

Krivulja c kaže možni razvoj karakteristik sistema vodenja s *funkcionalnim vzdrževanjem*. S takim vzdrževanjem lahko ne samo vzdržujemo nominalne karakteristike sistema, temveč lahko te karakteristike celo izboljšujemo.

Funkcionalno vzdrževanje sistema obsega naslednje sklope:

- vzdrževanje funkcij;
- vzdrževanje programske opreme (uporabniška programska oprema, sistemska programska oprema, itd.);
- vzdrževanje materialne opreme (računalniška materialna oprema, merilno-regulacijska oprema, itd.);
- vzdrževanje okolja (prostor, napajanje).

Oblike vzdrževanja so: preventivno vzdrževanje, intervencijsko vzdrževanje, sistemska pomoč.

Preventivno vzdrževanje obsega opravila in dela na vseh področjih sistema, katerih namen je izboljševanje operativnosti sistema in zmanjševanje možnosti za nastajanje okvar sistema. Ta opravila in dela so:

- pregled stanja in operativnosti sistema;
- izvajanje preventivnih vzdrževalnih posegov;
- vzdrževanje in varovanje arhiva programske opreme;
- vzdrževanje zaloge rezervnih delov.

Vrsta in pogostost del, ki jih obsega preventivno vzdrževanje, so določene s planom preventivnega vzdrževanja opreme. Za vzdrževanje zaloge rezervnih delov pripravimo seznam priporočljivih rezervnih delov.

Intervencijsko vzdrževanje obsega odpravljanje napak in okvar na sistemu in v delovanju sistema, ki predstavljajo odstopanje od normalnega delovanja sistema v dokumentaciji sistema.

V sistemih, katerih delovanje je bistveno v smislu škode, ki bi nastala ob izpadu sistema, lahko intervencijsko vzdrževanje obsega tudi *preventivne intervencije*, to je zamenjave oziroma nadomestila statistično dotrajanih vitalnih delov sistema *pred* nastopom okvare. Namen preventivnih intervencij je vzdrževanje enakomerne razpoložljivosti in operativnosti sistema skozi celotno dobo uporabe sistema.

Preventivne intervencije se izvajajo po urniku zamenjave aktivnih ali vitalnih delov sistema.

Sistemska pomoč obsega aktivnosti, katerih namera je *izboljšanje načina uporabe sistema* in izboljšanje karakteristik sistema. Te aktivnosti so:

- svetovanje o optimalnejši uporabi sistema;
- izvajanje tečajev o učinkoviti uporabi sistema;

- izboljšave funkcionalnosti sistem.

Funkcionalno vzdrževanje izvaja skupina, ki jo sestavljajo:

- uporabnik;
- tehnolog vodenja;
- dobavitelj opreme.

Pomembno je sodelovanje vseh treh članov. O izvedenih preventivnih in intervencijskih posegih vodi uporabnik evidenco.

Pomemben sestavni del intervencijskega vzdrževanja je diagnostika izvora napak. Pri računalniškem sistemu vodenja pride lahko do nepravilnega delovanja zaradi različnih napak, katerih izvor je lahko v samem sistemu ali pa zunaj njega. Zunanje napake lahko nastanejo na tipalih ali aktuatorjih ali na njihovih povezavah z računalniškim sistemom ali na napajanju sistema. Do napak v samem računalniškem sistemu lahko pride zaradi okvare v materialni opremi sistema ali zaradi morebitne napake v programski opremi.

Zaradi čim hitrejšega odziva ob nepravilnem delovanju sistema je pomembno, da uporabnik, kolikor je v njegovih močeh, določi verjetni izvor napake ter ga tudi odpravi. Pri tem si lahko pomagamo z opisom postopkov za ugotavljanje vzrokov v obliki odločitvenih diagramov, ki uporabnika z vprašanji in različnimi možnimi odgovori pripeljejo do sklepa o vrsti napake in ustreznih ukrepih. Postopki lahko zajemajo tudi osebe, ki se vključijo v reševanje napak in okvar ob različnem poteku dogodkov.

5.8 Upokojitev

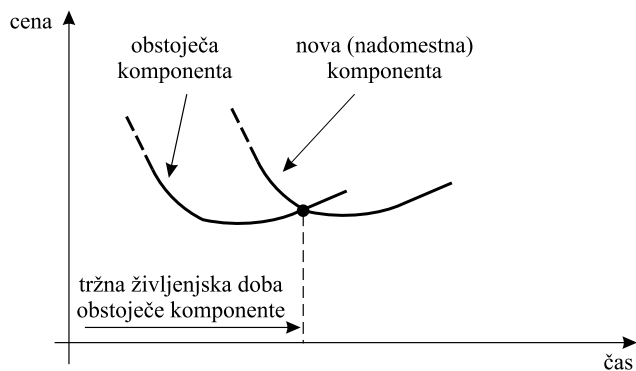
Sistem vodenja upokojimo, ko po tehničnih, ekonomskih ali kakšnih drugih kriterijih ne ustreza več svojemu namenu. Vendar pa je ustreznost sistema kompleksen presek več različnih dejavnikov.

Tako je v zvezi z upokojitvijo posredno ali neposredno povezanih več pojavov:

- tržna življenjska doba komponent;
- različne tehnološke generacije opreme;
- etapna gradnja sistemov.

5.8.1 Problem tržne življenjske dobe komponent oz. nadomestnih delov.

Pojav je shematično prikazan na Sl. 5.12.



Sl. 5.12. Problem tržne življenjske dobe komponent in sestavnih delov

Zaradi stalnega intenzivnega razvoja novih komponent se specifična cena komponent vztrajno manjša. Pojav traja že od pojava mikroračunalnikov in zaenkrat še ni znamenja, da bi prišlo do nasičenja. Zato v življenju določene komponente nastopi trenutek, ko postane njena cena relativno (za isto zmogljivost) višja od cene nove, nadomestne komponente.

Ko se nova komponenta na trgu uveljavi, se proizvodnja stare komponente začne ustavljati, za to je njena razpoložljivost na trgu vedno manjša. Iz obeh razlogov začne njena cena naraščati. Komponenta doseže svojo tržno življenjsko dobo, ko postane njena cena absolutno višja od cene nove komponente.

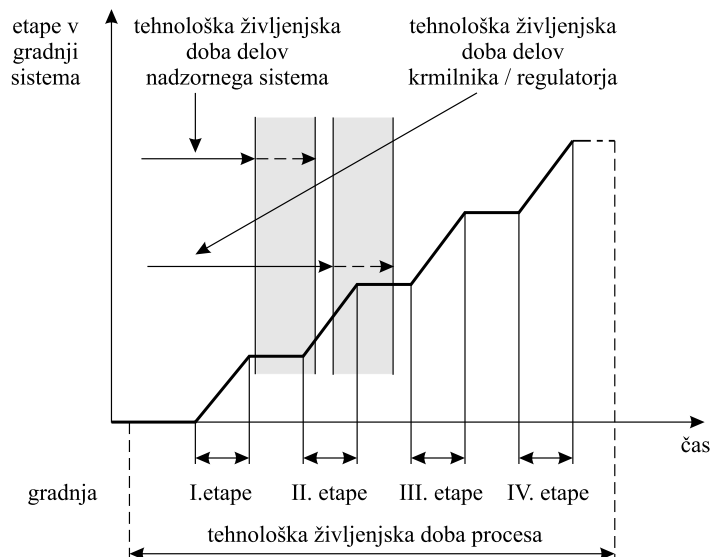
5.8.2 Problem različnih tehnoloških generacij opreme

Hiter razvoj opreme povzroča probleme pri zamenjavi opreme za vzdrževanje in pri dograjevanju sistemov (etapna gradnja). Pri vzdrževanju sistemov so problemi predvsem povezani z razpoložljivostjo komponent in delov opreme in s tem z njihovo ceno. Pri dograjevanju sistemov pa so ti problemi tako cenovni kot tehnični. Ker je etapna gradnja sistemov zelo pogosta iz finančnih razlogov, si velja ta problem poglobljeno ogledati.

5.8.3 Problem etapne gradnje sistemov

Pri etapni gradnji sistemov vodenja moramo upoštevati vsaj naslednje parametre (glej Sl. 5.13):

- tehnološka življenjska doba sistema, ki jo opredeljujejo:
 - * materialna oprema;
 - * sistemska programska oprema;
 - * kompatibilnost in povezljivost zamenjanih/dograjenih delov sistema;
 - * aplikativna programska oprema;
- tehnološka življenjska doba procesa.



Sl. 5.13. Shematski prikaz različnih življenjskih dob opreme sistema vodenja in procesa pri etapni gradnji sistema vodenja

Sistem vodenja doseže svojo tehnološko življenjsko dobo, ko celotni stroški obratovanja sistema presežejo njegove ekonomsko ovrednotene učinke delovanja na proces.

Proces doseže svojo tehnološko življenjsko dobo, ko celotni stroški delovanja procesa presežejo dosegljivo tržno ceno proizvoda.

Zaradi izredno hitrega razvoja gradnikov in tehnologije vodenja je tehnološka življenjska doba procesa, ki ga avtomatiziramo, običajno daljša od tehnološke življenjske dobe sistema vodenja.

Pri vsaki nadaljnji etapi "trošimo" tehnološko življenjsko dobo sistema in tehnološko življenjsko dobo procesa, ki ga avtomatiziramo. Posamezni deli sistema vodenja tržno zastarijo lahko že znotraj ene etape (npr. deli materialne opreme). Dodatno se situacija komplicira, ker se tehnološki in tržni cikli posameznih sestavnih delov sistema ne pokrivajo, temveč so medsebojno zamaknjeni.

Proces, ki ga avtomatiziramo, sicer tehnološko stari bolj počasi, vendar pri več-etapni gradnji sistema vodenja lahko tudi to dobo presežemo, še posebej ker med etapami pride do krajših ali daljših zastojev zaradi tržnih ciklov, ki jim je podvržena večina proizvodov.

Praktična ocena je, da etapna gradnja, ki sega preko treh let, zahteva menjavo generacij sistemov vodenja med samo gradnjo. To pa povzroča probleme kompatibilnosti in povezljivosti, kar draži gradnjo, pogosto pa vodi tudi v napačne investicijske odločitve (na primer vztrajanje pri stari generaciji opreme, ker je dogradnja stare opreme v prvem

trenutku cenejša od zamenjave opreme).

Kot povzetek lahko ugotovimo, da sistem vodenja upokojimo:

- ko so stroški vzdrževanja starega sistema višji od zamenjave: prehod na novi sistem (zamenjava opreme sistema z novo generacijo);
- ko je sistem tehnološko zastarel in njegovi učinki ne zadoščajo več (presega tehnološko življenjsko dobo procesa): prehod na novo tehnologijo (nadomestitev z boljšim sistemom).

5.9 Zaključek

V tem poglavju smo dokaj podrobno opisali življenjski cikel sistemov za vodenje in definirali aktivnosti, ki se izvajajo znotraj posameznih faz v ciklu. V zaključku pa na kratko omenimo še problematiko življenjskega cikla v luči izvajanja investicijskih projektov. Ne glede na to ali gradimo nov proces ali tehnologijo, katerega sestavni del je sistem za vodenje, ali pa zgolj dograjujemo oziroma izboljšujemo sistem za vodenje obstoječega procesa, gre za investicijski projekt. Način izvajanja investicijskega projekta pa je predpisan z zakonodajo.

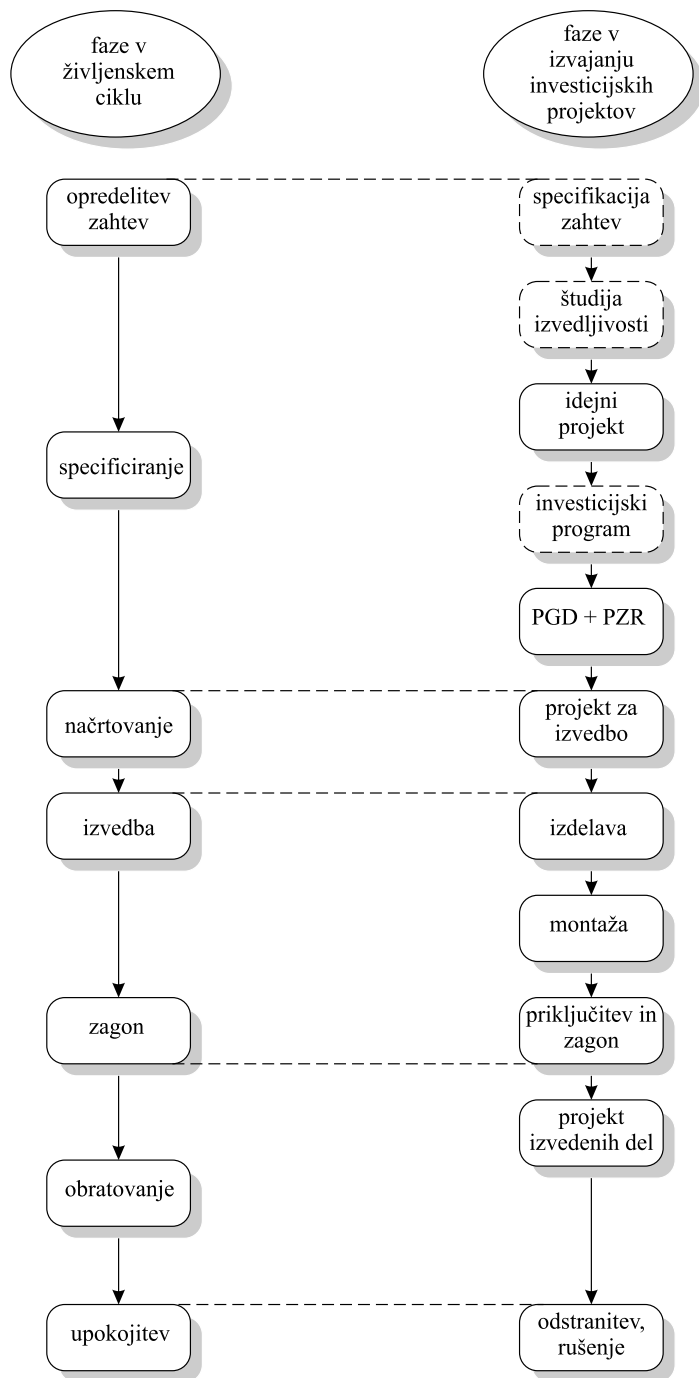
S tem v zvezi se v praksi srečujemo z dvema problemoma.

Prvi je, da so projekti, ki se delajo v okviru investicije, klasično ločeni na gradbeni del, strojni del in elektro del. Del, ki bo obravnaval vodenje in seveda vključuje vse tri omenjene dele, ni posebej predviden. V praksi je največkrat priključen elektro delu, kar pa seveda ni ustrezna rešitev.

Drugi pa se nanaša na faze v investicijskem projektu. Te faze so: specifikacija zahtev; študija izvedljivosti; idejni projekt; investicijski program; projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja (PGD); projekt za izvedbo (PZI); izdelava; montaža; priključitev in zagon; projekt izvedenih del.

Te faze se seveda ne ujemajo popolnoma s fazami življenjskega cikla. Še več, faze redno obratovanje in vzdrževanje v investicijskih projektih ni, saj se klasično smatra, da je investicija zaključena, ko objekt, naprava, tehnologija začne delovati. Šele leta 1996 je bila v gradnji objektov vključena aktivnost odstranitve ali rušenja, kar pomensko ustreza upokojitvi.

Približno relacijo med fazami v življenjskem ciklu sistema za vodenje in fazami v izvajanju investicijskih projektov vidimo na Sl. 5.14.



Sl. 5.14. Relacija med fazami v življenjskem ciklu sistema za vodenje in fazami uvajanja investicijskih projektov

Črtkano so označene faze, ki jih zakon o gradnji objektov sicer ne predpisuje več, so pa sestavni del priprav na investicijo vsakega racionalnega investitorja. Za investicije v državnem in javnem sektorju pa je tudi ta del predpisan z ustreznimi pravili in zakoni.

V praksi to pomeni, da je faze, ki jih predvideva življenjski cikel na razumen način potrebno vključiti v faze izvajanja investicijskega projekta. Ta vključitev seveda ni enolična in je odvisna od dogovora med izvajalcem določene faze in investitorjem.

